

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

**Plastik Enjeksiyon Kalıplamada
Termoplastik Malzemelerin
Modelleme ve Analizleri**

Mak. Müh. Cihan CAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Yöneticisi: Yrd.Doç. Dr. E. Selçuk ERDOĞAN
EDİRNE-2008**

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Termoplastik Malzemelerin
Modelleme ve Analizleri

Mak. Müh. Cihan CAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. E. Selçuk ERDOĞAN

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Termoplastik Malzemelerin
Modelleme ve Analizleri

Mak. Müh. Cihan CAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu tez / / tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir

Prof. Dr. H. Erol AKATA

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. F. Bülent YILMAZ

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. E. Selçuk ERDOĞAN

Jüri Üyesi - Tez Danışmanı

ÖZET

Bilgisayar teknolojisi önemli bir parçanın plastik ürün tasarımında yer alır. Bu teknoloji mühendislik tasarımının farklı metodolojilerinin bütününe ihtiyaç duyar. İmalat sürecindeki plastik parça ve analizlerin bilgisayar ortamında kolayca tasarlanabilir. Ürün tasarımı için operasyon ihtiyaçlarının daha iyi belirlenmesini sağlar, bunun sonucunda üretim ihtiyaçlarının karar verilmesinde tasarım verimliliğini maksimuma çıkarır. Plastik enjeksiyon süreci plastik parça üretiminde en popüler üretim yöntemidir. Bu sürecin bilgisayar ortamında CAE analiz programları tarafından simülasyonu yapılabilir. Süreç ihtiyaçları ve parametreler analiz edilebilir. Hesaplanan parametreler soğuma zamanı, süreç zamanı, dolum zamanı, kapama kuvveti gibi değerler elde edildikten sonra uygun ürün dizaynı ve kalıp dizaynı için kullanılır.

Bu çalışmada enjeksiyonla kalıplama prosesiyle imal edilen bir plastik parça modellemesi ve dişi-erkek kalıp parçalarının modellenmesi araştırılmıştır. Plastik parça CAD programı tarafından tasarlanmış ve bir CAE programında proses yetersizlikleri tahmini ve plastik parça yüzeyinde oluşan hatalar hedef alınarak analizi yapılmıştır. Plastik parça için kullanılan malzemeler ABS ve PP termoplastikleri seçilmiştir. Plastik ürünler uygun giriş noktası, soğuma zamanı, tahmini yüzey kalitesi, soğuma kalitesi, çıkma açısı analizi ve statik analiz için çözümlenmiştir. Bu analizler CAD ve CAE bilgisayar programları kullanılarak sonlandırılmıştır. Buna ilaveten plastik enjeksiyonla kalıplama için en iyi parça dizaynı hem ABS termoplastiği hem de PP termoplastiğine göre bulunmuştur. Plastik parça dizaynı PP ve ABS termoplastikleri için bittikten sonra, dişi erkek kısımların modellenmesi için CAD programı kullanılmıştır. Dişi erkek kısımların modelleri hem ABS hem de PP için tamamlandıktan sonra bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Plastik Enjeksiyon Kalıplama, Modelleme ve Analiz

ABSTRACT

Computer technology takes a important part in plastic product design. It requires a completely different methodology of engineering design. Plastic part and analysis the manufacturing process can easily design in computer media. It provides a better understanding of the operating requirements for a product design; resulting maximizing the design efficiency in determine product requirements. Plastic injection process is the most popular manufacturing method for a plastic product. This process can be simulated in computer media by the CAE programmes. Process requirements and parameters can be analyzed. The calculated parameters can be obtained like cooling time, process time, filling time, clamp force etc. then use these for suitable product design and mold design.

In this study a plastic part design which manufactured in injection molding process and the design of core-cavity mold pieces were investigated. The plastic part is modeled by a CAD programme and analyzed in a CAE programme to aim is that prediction of process failures and occurred errors on plastic part surface. Used materials for plastic part is chosen ABS and PP thermoplastics. Plastic parts were analyzed for suitable gate location, cooling time, establish surface quality, cooling quality, draft analyze and static analyze. These analyzes were concluded which using CAD and CAE computer programme. In addition best part design for injection molding was found as to both ABS thermoplastic and PP thermoplastic. After Plastic parts design for PP and ABS thermoplastics was finished, CAD programme was used for core-cavity design. After Core-Cavity designs for both ABS and PP thermoplastics were concluded, found results were compared.

Keywords: Plastic Injection Molding, Design and Analyze

ÖNSÖZ

Plastik ürünler hayatımızın tartışılmaz birer parçası olmaktadır. Enjeksiyon yöntemi de plastik ürünlerin üretiminde üreticinin uyguladığı en sık kullanılan üretim yöntemidir. Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezinde , ürün ve kalıp çekirdeğinin modellenmesi ve ayrıca analizlerinin yapılması akademik ortamda incelenmiştir. Günümüz imkanlarını kullanarak, sanayide kullanılan gerçekçi bir ürünün modellenmesi prediksyon yöntemi ile CAE programı kullanılarak analizleri gerçekleştirilmiş ve nihai ürünler sonlandırılarak kalıp setinin en önemli kısmını oluşturan kalıp çekirdekleri CAD programı kullanılarak modellenmiştir.

Bu tezin yapımında engin bilgi birikimi ve tecrübesiyle beni yönlendirerek, fikirlerini esirgemeyen, kendisine çok değer verdiğim hocam Yrd. Doç. Dr. E. Selçuk ERDOĞAN' a teşekkür ederim. Ayrıca benden desteklerini esirgemeyen gerek akademik ortamda gerek özel hayatta bana sürekli destek olan can dostlarıma saygılarımı sunarım.

Bugüne kadar bana maddi, manevi her konuda yanımda olarak bana karşı sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme bu Yüksek Lisans Tezi'ni armağan ediyorum.

İÇİNDEKİLER

1. POLİMER MALZEMELER	1
1.1. Polimer Malzemeler	1
1.2. Polimerlerin Elde Edilmesi	2
1.3. Zincir Yapılarının Geometrik Dizilişine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması	3
1.3.1. Amorf Yapılı Polimerler	3
1.3.2. Kristal Yapılı Polimerler	3
1.4. Plastikler	4
1.4.1. Termoplastikler	5
1.4.1.1. ABS	6
1.4.1.2. POLİPROPİLEN (PP)	10
1.4.2. Elastomerler	12
1.4.3. Termosetler	13
2. KOMPOZİT MALZEMELER	13
2.1. Kompozit Malzemelerin Takviye Elemanları	15
2.1.1. Kompozit Malzemelerde Katkı	16
2.1.2. Kompozit Malzemelerde Dolgu	16
2.1.3. Kompozit Malzemelerde Takviye	17
3. PLASTİK ENJEKSİYON	18
3.1. Plastik Enjeksiyon İşlemi	18
3.2. Enjeksiyonla Kalıplama	19
3.3. Plastik Enjeksiyon Makinası Terimleri	23
3.3.1 Silindir (Ocak)	23
3.3.2. Baskı Kapasitesi (Shot capacity)	24
3.3.3. Malzeme Ocak İlişkisi	24
3.3.4. Enjeksiyon (Doldurma) Hızı	25
3.3.5. Enjeksiyon Basıncı	25
3.3.6. Vida Dönme Hızı	25
3.3.7. Arka Basıncı	26
3.3.8. Plastik Enjeksiyon Ayar Parametre Değerleri	26
4. PLASTİK ENJEKSİYON KALIP ELEMANLARI	27
4.1. Erkek Kalıp	27
4.2. Dişi Taraf	30
4.3. Plastik Enjeksiyon Ana Kalıp Elemanları	33
4.4. Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Soğutma Sistemleri	41
5. PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLAMADA ÜRÜN MODELLEME	46
5.1. Giriş	46

5.2. Plastik Ürün Modelleme İşleminde Dikkat Edilecek Hususlar ve Normlar	46
5.2.1. Giriş	46
5.2.2. Çekme Miktarı	47
5.2.3. Dahili Gerilim ve Eğilme	48
5.2.4. Parça Kalınlığı	49
5.2.5. Parça Eğimi ve Eğim Açısı	51
5.2.6. Ribs (Kaburga/Feder)	52
5.2.7. Bosslar	53
5.2.8. Kaynak İzi	54
5.2.9. Yüzeysel İşlemler	54
5.2.10. Yuvarlatmalar (Radyüsler)	55
5.2.11. Delikler (Hole)	55
 6. CAD PROGRAMINDA ÜRÜN MODELLEME VE ÖRNEK PARÇA HAZIRLANMASI	 56
6.1. Kalıplama Şartları ve Koşulları	59
6.2. ABS ve PP ile Modelleme ve Analiz	60
6.2.1. ABS ile Kalıplanacak Ürün Modelinin Değerlendirilmesi	61
6.2.1.1. Çıkma Açısı Analiz	62
6.2.1.2. CAE Programında Statik Analiz	63
6.2.1.3. CAE Programında Plastik Enjeksiyon Analizi	70
6.2.1.3.1. CAE Programı ile Plastik Enjeksiyon Giriş Noktasının Belirlenmesi	71
6.2.1.3.2. CAE Programında Dolum Güvenliği Kontrolü Analizi	74
6.2.1.3.3. Soğuma Kalitesi Analizi ve Diğer Analizler	76
6.2.1.3.4. CAE Programı ile Plastik Enjeksiyon Analizlerinin Sonuçları	76
6.2.2. Parçanın CAD Programında Revize Edilmesi	78
6.2.2.1. Revize Edilen Parçanın CAE Programı İle Statik Analizi	79
6.2.2.2. Revize Edilen Parçanın CAE Programı İle Dolum Güvenliği Analizi	80
6.2.3. Plastik Parçanın Radyüs Bölgesinin Revize Edilmesi	82
6.2.4. Plastik Parçanın Boss Bölgesinin Revize Edilmesi	84
6.2.5. Plastik Parçanın Son Modelinin CAE Programı İle Analizi	87
6.2.6. Analizi Sonlandırılan Ürünün (ABS) Kalıp Çekirdeğinin Modellenmesi	90
6.3. PP ile Kalıplanacak Ürün Modelinin Değerlendirilmesi	97
6.3.1. PP Termoplastiği İle Kalıplanacak Parçanın Çıkma Açısı Analizi	99
6.3.2. PP Termoplastiği İle Kalıplanacak Parçanın CAE Programında Statik Analiz	99
6.3.3. PP Termoplastiği İle Kalıplanacak Parçanın CAE Programında Plastik Enjeksiyon Analizi	99
6.3.3.1. PP Termoplastiği İle Kalıplanacak Parçanın CAE Programında Dolum Güvenliği Kontrolü Analizi	100
6.3.3.2. PP Termoplastiği ile Kalıplanacak Parçanın Soğuma Kalitesi Analizi ve Diğer Analizler	101

6.3.4. PP Termoplastiği ile Kalıplanacak Parçanın CAE Programı ile Plastik Enjeksiyon Analizlerinin Sonuçları	101
6.3.5. PP ile Kalıplanacak Parçanın CAD Programında Revize Edilmesi	103
6.3.5.1. Revize Edilen Parçanın CAE Programı İle Statik Analizi	103
6.3.5.2. Revize Edilen Parçanın (PP) CAE Programı İle Dolum Güvenliği Analizi	106
6.3.6. PP Plastik Parçanın Radyüs Bölgesinin Revize Edilmesi	108
6.3.7. Plastik Parçanın (PP) Boss Bölgesinin Revizyonu	111
6.3.8. PP Plastik Parçanın Son Modelinin CAE Programı İle Analizi	113
6.3.9. Analizi Sonlandırılan Ürünün (PP) Kalıp Çekirdeğinin Modellenmesi	116
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	121
KAYNAKLAR	125
ÖZGEÇMİŞ	128

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Bilinen bazı plastiklere ait monomerler ve bunların polimerler içindeki tekrar halleri	1
Şekil 1.2. Mer ünitesi örneği ve polimer kimyasal yapısı	2
Şekil 1.3. Amorf yapı	3
Şekil 1.4. Kristal apı	3
Şekil 1.5. ABS mer yapısı	6
Şekil 1.6. ABS zincir yapısı	7
Şekil 1.7. Polipropilen mer yapısı	10
Şekil 1.8.Elastomerlerin zincir konumları	12
Şekil 2.1. Kar kayaklarının kompozit malzeme ile üretilme aşaması	14
Şekil 3.1. Enjeksiyon makinesinin esas kısımlarını gösterir şema	19
Şekil 3.2. Plastik enjeksiyon makinesi	20
Şekil 3.3. Enjeksiyonla kalıplama (Kapalı Durum)	21
Şekil 3.4 Enjeksiyonla kalıplamadan sonra kalıbın açılmış durumu	22
Şekil 3.5.Vida	24
Şekil 4.1. Plastik enjeksiyon kalıbı	27
Şekil 4.2. Plastik enjeksiyon kalıp elemanlarının düzeni	28
Şekil 4.3. Plastik enjeksiyon kalıbı dışı taraf ve çekirdek ön görünüşü	30
Şekil 4.4. Plastik enjeksiyon kalıbı dışı taraf arka görünümü	31
Şekil 4.5. Merkezleme mili ve burcu	31
Şekil 4.6. Plastik enjeksiyon ana kalıp elemanları	34
Şekil 4.7. Üst tespit plakası örneği	34
Şekil 4.8. Dışı kalıp bağlama bileziği	35
Şekil 4.9. Maça bağlama plakası	35
Şekil 4.10.Dayama plakası	36
Şekil 4.11. Alt tespit plakası	36
Şekil 4.12. Paraleller	37
Şekil 4.13. İtici bağlama plakası	37
Şekil 4.14. İtici plakası ve sistemi	38
Şekil 4.15. Yolluk burcu ölçüleri	39
Şekil 4.16. Yolluk burcu ağız kısmı ölçülendirilmesi	39
Şekil 4.17. Yolluk çekme pimi	40
Şekil 4.18. İtici pim	40
Şekil 4.19.Kılavuz pim	40
Şekil 4.20. Burç	41
Şekil 4.21. Maça soğutma sistemi	41
Şekil 4.22. Soğutucu sistem	42
Şekil 4.23. Su kanallarının konumu	43
Şekil 4.24. Tek parçalı dışı kalıp soğutması	43
Şekil 4.25. Erkek kalıp soğutma sistemi, tıkaçlı düz kanal	44
Şekil 4.26. Kalıp soğutma devreleri	44

Şekil 5.1. Plastik bir levhada bulunan feder modeli	52
Şekil 5.2. Tek parça üzerinde çeşitli boss modelleri	53
Şekil 5.3. Boss modeli	54
Şekil 6.1. CAD programında kullanılan toolbarlar	57
Şekil 6.2. Modellenmiş ve kalıplanacak plastik ürün	58
Şekil 6.3. Kalıplanacak plastik parçanın CAD programında görünümü	59
Şekil 6.4. Tahmini çevrim zamanı	60
Şekil 6.5 Modellenen plastik parçanın teknik resmi	62
Şekil 6.6. Çıkma açısı analiz sonuçları	63
Şekil 6.7. CAE programı ile statik analiz görüntüsü	66
Şekil 6.8. Ağ yapısının CAD programında değerlendirilmesi	67
Şekil 6.9. Plastik parçanın CAE programında ağ yapısı	67
Şekil 6.10. CAE Programında statik analiz sonuçları	68
Şekil 6.11. Eksen takımı	69
Şekil 6.12. Eksen takımına etki eden kuvvetler	69
Şekil 6.13. CAE programıyla en iyi giriş noktası analiz sonuçları	73
Şekil 6.14. Giriş noktası	73
Şekil 6.15. Dolum güvenliği sonucu anlamları	74
Şekil 6.16. Dolum güvenliği analizi sonucu	75
Şekil 6.17. Kalite tahmini sonucu	76
Şekil 6.18. Soğuma kalitesi analiz sonuçları	77
Şekil 6.19. Tahmini ürün kalitesi sonuçları	78
Şekil 6.20. CAD Programında et kalınlığı revizyonu	79
Şekil 6.21. Revize edilen parçanın statik analiz sonuçları	79
Şekil 6.22. Revize edilen parçanın CAE programında soğuma kalitesi sonuçları	81
Şekil 6.23. Revize edilen parçanın CAE programında tahmini ürün kalitesi analizi sonuçları	81
Şekil 6.24. Plastik parçada revize edilen radyüs bölgeleri	82
Şekil 6.25. Radyüs değişikliğinden sonraki tahmini ürün kalitesi analiz sonuçları	83
Şekil 6.26. Radyüs değişikliğinden sonraki soğuma kalitesi analiz sonuçları	84
Şekil 6.27. CAD programında parçanın boss değeri	85
Şekil 6.28. Güncellenen ve eski boss değerleri	86
Şekil 6.29. Revize edilen boss değerlerinin CAD programındaki yeni görünümü	87
Şekil 6.30. Boss bölgesi revize edilmiş parçanın tahmini ürün kalitesi sonuçları	88
Şekil 6.31. Boss bölgesi revize edilmiş parçanın soğuma kalitesi analizi sonuçları	89
Şekil 6.32. Çekme değerinin verilmesi	92
Şekil 6.33. Ürün(ABS) için kalıp ayrımı çizgisinin oluşturulması	92
Şekil 6.34. Ürünün(ABS) kapalı alanının CAD programında belirlenmesi	93
Şekil 6.35. CAD programında parça(ABS) yüzeyinin oluşturulması	94
Şekil 6.36. Kalıp çekirdeklerinin oluşturulması(ABS)	95
Şekil 6.37. Modellenen kalıp çekirdeği (ABS)	95
Şekil 6.38. Erkek kalıp çekirdek modeli (ABS)	96
Şekil 6.39. Dişi kalıp çekirdek modeli (ABS)	96
Şekil 6.40. PP Termoplastiği İle kalıplanacak parçanın CAD programında görünümü	98
Şekil 6.41. PP ile kalıplanacak malzemenin dolum güvenliği analizi sonucu	100

Şekil 6.42. PP termoplastiği ile kalıplanacak parçanın CAE programı ile soğuma kalitesi analiz sonuçları	102
Şekil 6.43. PP termoplastiği ile kalıplanacak parçanın CAE programı ile tahmini ürün kalitesi sonucu	102
Şekil 6.44. Revize edilen parçanın statik analiz sonuçları	103
Şekil 6.45. Et kalınlığı revizyonuna uğrayan parçanın(PP) CAD ortamındaki görüntüsü	105
Şekil 6.46. Tekrar et kalınlığı revizyonu yapılan parçanın(PP) statik analizi	105
Şekil 6.47. Et kalınlığı 2,5mm olan PP parça soğuma kalitesi analizi sonucu	107
Şekil 6.48. Et kalınlığı 2,5mm olan PP parça soğuma kalitesi analizi sonucu	108
Şekil 6.49. Plastik parçada (PP) revize edilen radyüs bölgeleri	109
Şekil 6.50. Plastik parçada (PP) radyüs değişikliğinden sonra soğuma kalitesi analiz sonuçları	110
Şekil 6.51. Plastik parçada (PP) radyüs değişikliğinden sonra tahmini ürün kalitesi analiz sonuçları	111
Şekil 6.52. Güncellenen ve eski boss değerleri (PP)	112
Şekil 6.53. Revize edilen boss değerlerinin CAD programındaki yeni görünümü (PP)	113
Şekil 6.54. Boss bölgesi revize edilmiş parçanın(PP) soğuma kalitesi sonuçları	114
Şekil 6.55. Boss bölgesi revize edilmiş parçanın(PP) tahmini ürün kalitesi sonuçları	115
Şekil 6.56. PP ürün için çekme değerinin verilmesi	117
Şekil 6.57. PP ürün için kalıp ayırım çizgisi	117
Şekil 6.58. CAD programında parça(PP) yüzeyinin oluşturulması	118
Şekil 6.59. Kalıp çekirdeklerinin oluşturulması (PP)	119
Şekil 6.60. Modellenen kalıp çekirdeği (PP)	120
Şekil 6.61. Dişi kalıp çekirdek modeli (PP)	120
Şekil 6.62. Erkek kalıp çekirdek modeli (PP)	121

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1. ABS Malzemesi Akış Bilgileri	8
Çizelge 1.2. ABS Hammadde Satıcıları ve ABS Ticari İsimler	9
Çizelge 1.3. ABS Malzemesinin Avantaj-Dezavantaj, Uygulama Alanları ve Özellikleri	10
Çizelge 1.4. Polipropilen Sayısal Özellikleri	11
Çizelge 1.5. Polipropilen Avantaj-Dezavantajları, Uygulama Alanları ve Özellikleri	12
Çizelge 2.1. Örnek Katkı Malzemeleri	16
Çizelge 2.2. Dolgu Malzemelerinin Özellikleri	16
Çizelge 2.3. Takviye Malzemelerinin Özellikleri	17
Çizelge 2.4. Dolgu ve Takviye Malzemelerinin Özelliklere Etkisi	18
Çizelge 2.5. Takviyeli Mühendislik Plastikleri	18
Çizelge 3.1. Ocak Bölgelerinde Bulunan Sıcaklık Ayarı	25
Çizelge 4.1. Soğutma Sisteminin Ölçüleri	43
Çizelge 4.2. Çeşitli Malzemelerin Enjeksiyon ve Kalıp Sıcaklıkları	45
Çizelge 5.1. Bazı Malzemelerin Farklı Çekme Miktarları	48
Çizelge 5.2. Çeşitli Malzemeler İçin Tavsiye Edilen Parça Kalınlığı	50
Çizelge 6.1. ABS Termoplastiğinin Özellikleri	65
Çizelge 6.2. CAE Programında Statik Analiz Sonuçları	70
Çizelge 6.3. Revize Edilen Parçanın Statik Analiz Sonuçları	80
Çizelge 6.4. PP Malzemesinin Teknik Özellikleri	98
Çizelge 6.5. Statik Analiz Sonuçları	104
Çizelge 6.6. Revize Edilen Parçanın(PP) Statik Analiz Sonuçları	106

1. POLİMER MALZEMELER

1.1. Polimer Malzemeler

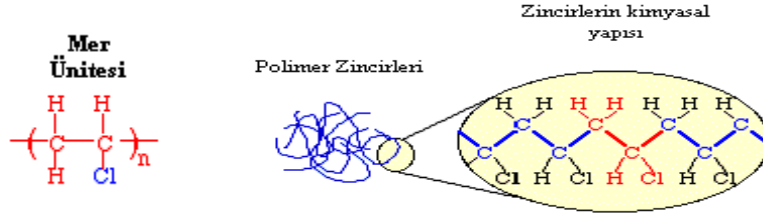
Polimerler çok sayıda makro molekülün düzenli bir şekilde, kimyasal bağlarla bağlanarak oluşturdukları yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Başka bir deyişle polimer küçük, basit kimyasal birimlerin tekrarlanması ile meydana gelmiş uzun moleküllerdir. “Poli-” kelimesi Latince “birden fazla , çok” anlamına gelmektedir. “Mer” adı verilen ünitelerin tekrarlanması ile polimerler meydana gelmektedir. Sonuç olarak polimerler “monomer” denilen birimlerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadırlar.

POLİMER	MONOMER	ZİNCİR’de Tekrarlanan birim
POLİETİLEN	ETİLEN $\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$
POLİVİNİL KLORÜR	VİNİLKLOÜR $\text{CH}_2=\text{CHCl}$	$(-\text{CH}_2-\text{CHCl})_n$
POLİSTİREN	STİREN $\text{CH}_2=\text{CH}$	$(-\text{CH}_2-\text{CH})_n$
POLİPROPİLEN	$\text{CH}_2=\text{CH}$ CH_3	$(-\text{CH}_2-\text{CH}-)_n$ CH_3

Şekil 1.1. Bilinen bazı plastıklere ait monomerler ve bunların polimerler içindeki tekrar halleri

Yukarıda görüldüğü gibi stiren monomerinin polimerizasyonu sonrasında polistiren polimeri meydana gelmiştir. Polimerler yüksek molekül ağırlıklı, uzun , zincirli bir yapı gösteren makromoleküllerden oluşmuşlardır.

Örneğin polietilen bir polimerdir. Polietilen içerdiği polimer zincirlerinde , birbirine kovalent bağlarla bağlı binlerce küçük molekül bulunur. Birbirine kovalent bağlarla bağlı bu moleküller bir araya gelerek polimer zincirlerini oluşturur.



Şekil 1.2. Mer ünitesi örneği ve polimer kimyasal yapısı

Polimer molekülleri, mer'lerden oluşmakla beraber polimerlerin malzeme olarak kullanılabilmesi için çeşitli yöntemlerle işlenmesi gerekmektedir. Polimerler çoğu zaman tek başlarına , saf olarak işlenemediklerinden beraberinde , renklendiriciler, güneş ışığına karşı koruyucular , plastikleştiriciler, kaydırıcılar ve benzeri dolgu malzemeleriyle karıştırılarak, bir ön karışım hazırlanır. Bu karışım “compound” olarak adlandırılır. Bu karışımlardan çeşitli üretim yöntemleriyle (plastik enjeksiyon, plastik ekstrüzyon , şişirme ile kalıplama vb.) mamül ve yarı mamül elde edilir. Bu üretim yöntemleriyle elde edilmiş ve son şekli verilmiş mamül “plastik” olarak adlandırılır. Makromolekül yapısı polimerlerde; selefindeki malzemelerde bulunmayan faydalı özellikler ortaya çıkarmaktadır. [Yaşar,1992]

1.2. Polimerlerin Elde Edilmesi

Plastiğin yapı taşı olan monomerlerin belirli bir tepkimeye girerek bir araya gelmesine ve polimer oluşturma işlemine polimerizasyon adı verilir. Monomerdeki ikili olan bağlar bu tepkime ile serbest kalarak tek bağlı bir yapı oluşturarak polimeri meydana getirir. Polimer molekülleri, büyük molekül ağırlıklı uzun zincirler halinde moleküllerden meydana gelmektedirler. Polimerlerin bu yapıda olmalarının, polimerlerin özelliklerine etkisinin tartışılabilmesi için polimerlerde “molekül ağırlığı” ve “polimerleşme derecesi” kavramlarından söz edilmektedir. Polimerleşme derecesi; bir polimer molekülündeki tekrarlayan monomerlerin yani merlerin, sayısını göstermekte ve molekül ağırlığı ile arasında aşağıda görüldüğü gibi bir bağıntı bulunmaktadır.

MA= Molekül Ağırlığı

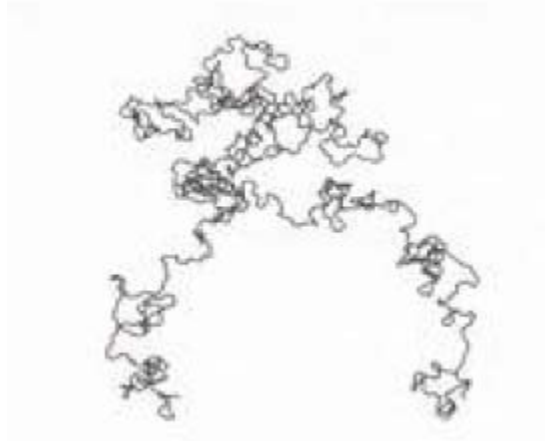
PD= Polimerleşme Derecesi

MA (Polimer) = PD x MA

1.3. Zincir Yapılarının Geometrik Dizilişine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması

1.3.1. Amorf Yapılı Polimerler

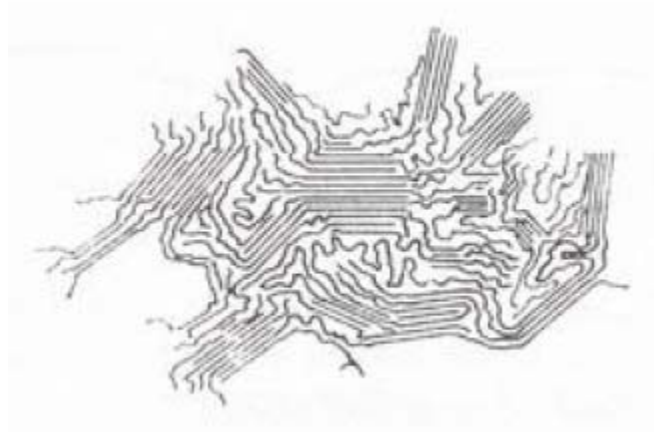
Polimer yumağı içinde belli zincirlerin düzenli bir şekilde durması o bölgelerle düzenli yapı veya kristal oluşumuna neden olur. Polimer zincirlerin yapılarındaki atomlara bağlı olarak çok değişik biçimlerde ve değişik miktarda kristal oluştururlar. Amorf polimerler düşük sıcaklıkta katı ve parlayan özellik gösterirler. Yüksek sıcaklıkta yumuşak ve şekil verilebilir yapıdadırlar



Şekil 1.3. Amorf yapı

1.3.2. Kristal Yapılı Polimerler

Kristal yapıya sahip polimerde, polimer zincirin çeşitli bölümleri bir araya gelerek düzenli bir şekilde dizilerek ve moleküller arası düzenli ve birbirini takip eden boşluklar görülmektedir. Aşağıdaki şekilden de görüleceği gibi düzenli yapılar oluşmaktadır.



Şekil 1.4. Kristal Yapı

1.4. Plastikler

Geniş ve değişik bir plastik malzeme gurubundan herhangi birinin tamamı yahut bir kısmı, karbon ile oksijen, hidrojen, azot ve diğer organik ve inorganik elementlerin bileşimidir. Genellikle plastiklere değişik şekillerin verilmesinde sıcaklık ve basınç kullanılır. Bazen yalnız sıcaklık veya basınç bazen da her ikisi uygulamada etkili olur. Teknik deyimle bir plastik malzeme aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- 1 - Plastik sentetik bir malzemedir. Bu maddeyi insan genellikle doğadan bulmaz, laboratuarda elde eder. Doğada ham maddesi vardır, fakat insan bazı doğal elementleri sentez yapmak suretiyle plastiği meydana getirir.
- 2 - Genellikle plastikler organik bileşimlerdir. Organik bileşimler karbon ihtiva ederler. Bu bileşimlerin bünyesinde karbon atomları birbirine bağlıdır.
- 3 - Plastik malzeme bitmiş bir ürün haline gelmeden önce akıcı yahut şekillenme ve kalıplama yeteneğine sahip olmalıdır.
- 4 - Plastik malzeme polimer halinde bileşik bir maddedir. Polimer, molekül ağırlığı yüksek iki organik bileşiğin normal moleküllerinin sıcaklı ve basınç yahut her ikisinin etkisi altında geniş ve değişik bir molekül özelliği göstermesidir. [2004,Society of Plastics Inductry, Inc]

Mühendislik uygulamalarında plastiklerin sağladığı avantajları şu şekilde sıralayabiliriz;

- Parça konsolidasyonu
- Montaj kolaylıkları
- Boyama ve yüzey işlemlerinin ortadan kalkması
- Yüksek "Mukavemet/Ağırlık" oranı
- Kimyasal mukavemet
- Darbe mukavemeti

Plastiğe bu önemini kazandıran faktörleri ise şu şekilde belirtebiliriz;

- Hafiflik
- Yüksek kimyasal dayanıklılık
- Yalıtkanlık (elektrik, ısı ve ses)
- Hijyen
- Yüksek esneklik ve darbe mukavemeti
- Yüksek tokluk

- Optik özellikler (şeffaflık)
- Kolaylıkla işlenebilirlik (şekillendirilebilme)
- Özelliklerin istekler doğrultusunda değiştirilebilmesi
- Düşük maliyet (hammadde ve imalat)
- Kolay dizayn edilebilme
- Atmosferik koşullara dayanım

Plastik malzemeler üç gruba ayrılırlar:

Termoplastikler, termosetler, elastomerler olarak üç gruba ayrılmaktadır.

1.4.1. Termoplastikler

Bu malzemeler karakteristik olarak ısıtıldığı zaman kalıplanabilme ve soğutulduğu zaman da katılaşılabilmek yeteneğine sahiptirler. Kalıplama sırasında kimyasal bir değişikliğe uğramazlar. En büyük özellikleri ısıtıldıklarında camlaşma sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda yumuşayıp yarı sıvı bir hal aldıktan sonra soğuduğunda camlaşma sıcaklığının altında katı hale dönmeleridir. Camlaşma sıcaklığının alt sınırında soğuk ekstrüzyon, basma, derin çekme gibi işlemler yapılabilirken sıvılaşma sıcaklığının üstünde ise enjeksiyon ile üretim yöntemleri tercih edilebilir ve kullanılabilir.

Termoplastikler polimerizasyon yöntemi ile birim makromoleküle sayısız küçük moleküller katılması ile meydana gelmektedirler. İlk akla gelebilecek yararlar düşük yoğunluk, mekanik davranışların farklılık gösterebilmesi, düşük aşınma, kolay şekil verilebilme, farklı elektrik iletkenlik değerleri, boya maddelerinin kullanımıyla kolay renk kazandırma ve renklendirme, mukavemet kazandırma, düşük elastizite şeklinde söylenebilir. Dezavantaj olarak ise dayanıklılığın nispeten az olması, yüksek ısı genleşme katsayısı olarak söylenebilir. Kimyasal yapısı değişmez sadece fiziksel değişikliğe uğradığından toz haline getirilerek tekrar öğütülebilir, ısıtılabilir ve kalıplanabilir özelliğe sahiptir. Bu sayede termoplastikler geri dönüşümlü olarak tekrar tekrar kullanılabilir.

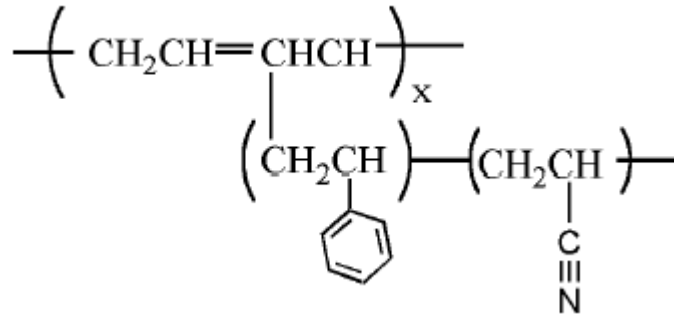
Mühendislik plastiklerinin seçiminde kullanılan temel kriterler

- Mekanik Özellikler
- Darbe Mukavemeti
- Boyutların Kararlılığı

- Sıcaklık Mukavemeti
- Kimyasal Mukavemet
- Alev Geciktiricilik
- Elektriksel Özellikler
- Sürtünme ve Aşınma
- İşleme Özellikleri
- UV Mukavemeti
- Yüzey Sertliği
- Yüzey Görünümü
- Maliyet

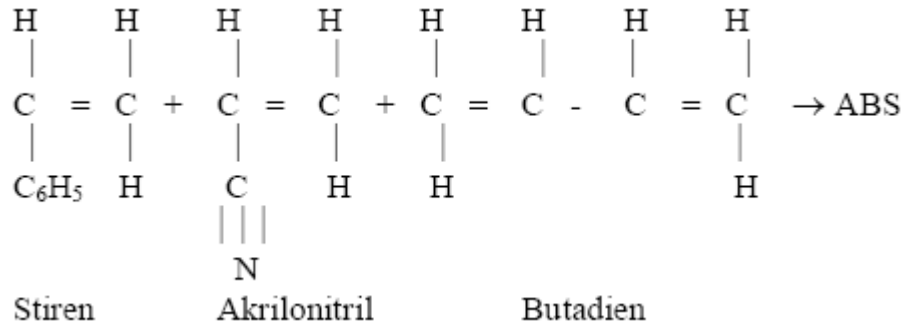
1.4.1.1. ABS

ABS plastikleri lastik gibi tok bir butadien ihtiva eden bir fazın, stiren-akrilonitril kopolimerinden oluşan sürekli fazın içinde tanecikler şeklinde dağılmasından meydana gelmektedir. ABS düşük sıcaklıklarda dahi sert, rijit, tok ve görselliği ön planda tutabilecek parlaklığa sahip bir malzemedir. ABS sanayide en çok kullanılan termoplastikler arasında yer almaktadır. Isıya dayanıklılığından dolayı beyaz eşya, güç donanım kabinlerinde, switch kutularında, elektrolit kaplamaya uygun olanlardan çeşitli otomobil sanayi ürünlerinde, tıbbi ürünlerde ve daha bir çok sektörde kullanılabilir. ABS üretimi ile ABS hızla önem kazanmış ve günümüzde en yaygın olarak kullanılan termoplastikler içinde yer almıştır.



Şekil 1.5. ABS mer yapısı

ABS polimerleri, şekilde şematik olarak gösterildiği gibi, akrilonitril, butadien ve stiren monomerleri reaksiyonu ile elde edilen bir terpolimer olup adını bu üç monomerin ilk harflerinden alır. Amorf termoplastikler sınıfındandır.



Şekil 1.6. ABS zincir yapısı

ABS özelliklerini istenilen yönde modifiye etmek mümkündür. ABS ürün özellikleri yapıya çeşitli katkılar (yanmazlık, şeffaflık, vb. sağlayan) ve dolgu maddeleri (mekanik özelliklerini geliştiren) ilavesi veya ABS'nin diğer polimerlerle karışımlarının (blendlerinin) hazırlanmasıyla da değiştirilir.

ABS'nin elektriksel özellikleri geniş bir frekans aralığında oldukça sabit değerlere sahiptir ve en önemlisi sıcaklık ve nemden etkilenmemektedir. Genel amaçlı ABS'nin dielektrik direnci 16-18 mV/m (400-450 V/mil), ark direnci 50-90 s ve dielektrik sabiti 2.4-3.3'dür.

ABS polimerleri enjeksiyonla kalıplama, ekstrüzyon, şişirerek kalıplama veya haddelme yöntemleriyle işlenebilir. Fakat en çok kullanılan teknikler enjeksiyonla kalıplama ve ekstrüzyondur. İkincil işlemler olarak ısı ve soğuk şekillendirme sayılabilir. Bazı ABS çeşitleri standart metal-işleme aletleri ile soğuk şekillendirilebilir. İlk çekmede %45'e varan ve bunu takip eden diğer çekmelerde ise %35'lik çapta azalma elde etmek mümkündür. Başarılı bir çekme işlemi için yağlama gereklidir. Pres uygulamaları için sulu-yaglayıcı tipleri tercih edilir, susuz tipleri genellikle ön kaplama olarak kullanılır. Yüksek gerilme bölgelerinde görülen gerilimin azalması ile minimum olan veya beyaz pigmentlerce maskelenebilen gerilme-beyazlaşması görülebilir.

		Malzeme			
		1000sn ⁻¹ 'de belirlenen sıcaklıklarda akma direnci			
		220°C	240°C	260°C	280°C
BASF Terluran					
Kolay akan grade	9581	310	206	137	91
Kolay akan darbeye dayanımlı grade	967	275	196	135	99
Isıya dirençli grade	978T	365	243	162	108
Tranparant grade	2802TR	379	286	215	162

		Malzeme			
		240°C'de akma direnci (Nsm ⁻²)			
		100s ⁻¹	1000s ⁻¹	10000s ⁻¹	100000s ⁻¹
Teluran 9581		755	206	56	15
Teluran 967K		843	196	45	11
Teluran 978T		1017	243	58	14

Çizelge 1.1. ABS malzemesi akış bilgileri

Yoğunluğu 1.07 g/cm³'dür. (katkısız grad). Suda batar, doymamış magnezyum kloritte yüzer. Çeşitli renkte kullanma imkanı vardır. Tabii rengi fil dişi veya beyazdır. Bu da plastiğin üretimindeki polimerizasyon metodu ve kullanılan hammadde cinsine bağlıdır. A.B.S. oranı 20/30/50'dir. ABS erimeye yaklaşık 175 °C (350 °F) de başlar ve sıcaklık arttıkça erimiş plastiğin viskozitesi düzgün şekilde düşer. Yaklaşık 290 °C derecede malzeme depolimerizasyonla ve oksidasyon reaksiyonuyla malzeme bozulur. Malzeme alev çıkana kadar ısıtıldığında sarı isli duman çıkarır ve akril alkaline gibi kokar ki bu da yanmış kauçuk kokusudur. Normal gradı kolayca yanar ve alev plastikten çekilse dahi yanmaya devam eder, yanan damlalar oluşur. Stiren plastiğin genel özelliği suda erimiş tuzlara, orta asit ve baz konsantresine dirençlidir. [Farel Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Temel Bilgiler Eğitim Notları, 2004]

BASF	Terluran
Bayer	Novodur
Bayer	Absolac
Bayer	Bayblend (ABS/PC)
Borg Warner	Cyclac
Cdf Chimie	Ugikral
Dow	Magnum
Dow Pulse	(ABS/PC)
DSM	Ronfalin
ENI Chemical	Urtal ve Ravikral
Monsanto	Lustran

Monsanto	Cadon
Montedison	Edister
Rhone Poulenc	Alcoryl
USS Chemical	Arylon T(ABS/Polisulfon)

Çizelge 1.2. ABS hammadde satıcıları ve ABS ticari isimler

Özelliklerini iyileştirmek için ABS başka plastikler ile belirli oranlarda karıştırılıp mekanik özelliklerinde değişiklik gösterebilir. Örneğin ısı ve darbe özelliklerini arttırmak amacı ile PC ile karışımı, PVC ile karışım sağlanarak PVC nin rijitliğini değiştirebilir. ABS in kuvvetlendirilmiş çeşitlerinde %40' a kadar cam elyaf bulunabilir.

ABS polimer yapısı, bir çok dolgu maddelerinin karışım malzemelerinin, tür ve mikarına bağlı olarak değişik özellikler kazanır. PVC ve diğer halojenli malzemeler polimerin yanmaya karşı direncini artırır. Özgül ağırlık dolgusuz polimer için 1.02-1.06 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Yük altında eğilme sıcaklığı 114 °C dır. Termoplastiklerin çoğunda olduğu gibi, malzemenin nemini almak, nem çekici özelliğini minimuma indirebilmek amacıyla kullanılmadan önce iki saat kadar 80-90 °C de kurutulmaktadır. Sanayide kırma olarak adlandırılan yani plastik enjeksiyon işleminde ikinci çevrimini gerçekleştirecek olan bu termoplastiklerin ham ve temiz olan malzemeyle karışım oranı maksimum %20 seviyesinde olmalıdır. ABS termoplastiğinin çekme dayanımı 175-560 kgf/cm², cam elyaf katkılı ABS de ise 773 kgf/cm², karbon elyaf katkılı ABS de 1125 kgf/cm², ABS-PVC alaşımında ise 635 kgf/cm² dayanımlarını gösterir.

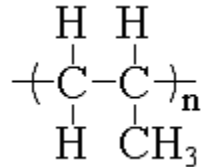
Avantajları	Uygulama Alanları
• Düşük fiyata üstün mekanik mukavet özellikleri • Düşük sıcaklıklarda bile darbe mukavemeti • Kimyasal direnç • Sert ve rijit • Kolay proses edilebilirlik • Güzel görünüm • Çeşitli renkte üretim • Düşük/yüksek parlaklık, pürüzsüz/pürüzlü yüzey kalitesi • Gıda tüzüğüne uygun • Boyanabilir, kaplama yapılabilir	• Genel plastik enjeksiyon parçalar - o Bilgisayar kabinleri - o Video, müzik seti - o Telefon - o Ofis gereçleri - o Tükenmez kalem • Taşıma, otomotiv - o Stop lambası kabini - o Gösterge paneli - o Konsol - o Koltuk kabini - o Kapı panel destekleri - o Ön ızgaralar ve aynalar • Beyaz eşya

Dezavantajları • Opak	- o Elektrikli süpürge kabini - o Mutfak robotu gövdeleri - o Kontrol panelleri - o Buzdolabı kapı sapları, panolar
Biçimlendirme • Enjeksiyon • Ekstrüzyon • Şişirme	• Ekstrüzyon - o Buzdolabı iç gövdeleri - o Masa panelleri - o Bazı gıda ambalajları
Özellikleri • Çok geniş bir alanda kullanılan çeşitli türleri vardır • Esnek ve sert olarak üretilir.	• Opak levhalar - o Duş panelleri - o Kapılar - o Bavullar - o Traktör kabinleri

Çizelge 1.3. ABS malzemesinin avantaj-dezavantaj, uygulama alanları ve özellikleri [Karaarslan,2007]

1.4.1.2. POLİPROPİLEN (PP)

Polipropilen yarı şeffaf beyaz katı bir maddedir. 121 °C'ye kadar sıcaklıklarda uzun süre kullanılabilir. Erime noktası 175 °C'dir. Bu nedenle polipropilen malzemeler sterilize edilebilir. Monomer propilenin atomik yapısı CH₂=CH-CH₃ şeklindedir.



Şekil 1.7. Polipropilen mer yapısı

Ayrıca soğuk organik bileşenlerle çözünmez, sıcak çözümlerde yumuşar. Birçok bükülmeden sonra dahi sertliğin korur. Antioksidant katılmadığı zaman ısı ve ışığın etkisi ile bozulur. Kolay bir şekilde renklendirilemez. İyi bir elektriksel dirence sahiptir. Düşük su absorpsiyonu ve geçirgenliği vardır. -9.4 °C'nin altında kırılındır. Mantarlara ve bakterilere karşı dayanıklıdır. 60 °C'ye kadar kuvvetli asitlere ve bazlara dayanıklıdır. Klor, nitrik asit ve diğer kuvvetli oksitleyiciler tarafından etkilenir. Yakılabilir fakat yavaş yanar. Zehirsizdir. Gıda tüzüğüne uygundur. Uygun şekilde modifiye edildiğinde

iyi bir ısı dayanımına sahiptir. Metal kaplanarak, enjeksiyon veya şişirme kalıplama ve ekstrude edilerek kullanılır.

ÖZELLİK	Birim	Değeri
Özgül ağırlığı	Gr/cm ³	0.90-0.91
Kütlesele yoğunluğu	Gr/cm ³	0.4-0.5
Akmada gerilme direnci	Kg/cm ² (23°C)	300-350
Kopma noktasında uzama	%	600-700
Bükülme mukavemeti	Kg/cm ² (23°C)	7500-8000
Rockwell	R-Scale (23°C)	90-94
Su absorpsiyon hızı	%ağırlık kazancı	<0.03
Dielektrik sabiti	X10 ⁶ CS (10°C)	2.2-2.3
Dielektrik kaybı	X10 ⁶ CS (18°C)	0.0003-0.0010
Voltaj direnci	Kv/mm	30-32
Spesifik hacim direnci	Ohm-cm	<10 ¹⁶
Termal iletkenlik	Kcal/cm/cm ² /sn/°C	2.7x10 ⁻⁷
Spesifik ısı	GrCal/gr/°C	0.46
Termal genleşme katsayısı	Mm/mm/°C	110x106
Deformasyon noktası	°C	120-130
Yumuşama noktası	°C	165-172
Aside karşı direnci		Mükemmel
Alkaliye karşı direnci		Mükemmel
Çözücüye karşı direnci		Mükemmel

Çizelge 1.4. Polipropilen sayısal özellikleri

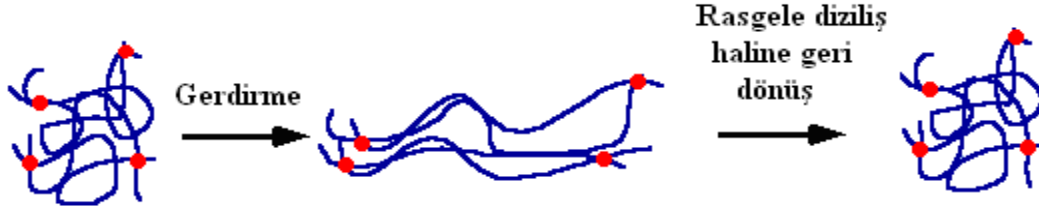
Avantajları • Ucuz • Isı dayanımı iyi • Buhar ile sterilize edilebilir • Yüzeyi serttir • Elektrik özellikleri iyi • Düşük su emme • Film halinde şeffaf • Kaba • Toksik değil	Uygulama Alanları • Otomobil parçaları • Oyuncaklar • Ev eşyaları • Alet tutamakları • Sandalye, oturma grupları • Şişe kasaları • Taraklar • Hastane gereçleri • İp, Paketleme filmi
Dezavantajları • Bazı solventlere hassas • Enjeksiyonda ölçü toleransı zor • Sadece ince kesitlerde saydam • Çarpılma • Ağır yanar	Biçimlendirme • Levha ekstrüzyonu • Profil ekstrüzyonu • Enjeksiyon • Vakum ile şek. • Üfleme kalıpcılığı • Film Kaplama

Özellikleri	• İp, şerit ekstrüzyonu
• Uygun üretimde aşınmaya dayanıklı • Güçlendirilebilir	

Çizelge 1.5. Polipropilen avantaj-dezavantajları, uygulama alanları ve özellikleri [Karaarslan,2007]

1.4.2. Elastomerler

Elastomerler çapraz bağlı bir yapıya sahiptirler ve uzun zincirli yapıdadırlar. Maruz kaldıkları çok küçük gerilmeler sonrasında bile çok büyük elastik deformasyonlara uğrarlar. Bazı elastomerler ilk boyutlarına nazaran % 500 ve üzerinde uzama gösterebilme özelliğine sahip olmakla beraber sonrasında eski boyutlarına dönebilmektedirler. Yüksek elastik deformasyon kabiliyetine sahip olmalarının nedeni; polimer zincirlerini birbirine bağların zayıf çapraz bağlar olmasıdır. Çapraz bağların sayısının artırılması elastomerin daha mukavim ve rijit bir yapı kazanması sağlanmış olur.



Şekil 1.8.Elastomerlerin zincir konumları

Şekil 1.8. de görüldüğü gibi elastomerlerde gerilme öncesinde polimer zincirleri olağan konumunda iken , gerilme sonrasında zincirler gerilme yönünde açılarak malzemenin elastik olarak deformasyona uğramasına sebep olurlar. Gerilme kaldırıldığında ise polimer zincirleri eski konumlarına geri döner. En bilinen elastomer kauçuktur.

Değiştirilmiş natürel maddeler veya ağ şeklinde plastik maddelerdir. Elastomer ağlarının daha geniş olması bunlara esneklik, yumuşaklık ve sıkıştırılabilirlik sağlar. Elastomerlere büyük bir kuvvetle şekil verilebilir. Zira bunlar yük altında sürekli şekil değiştirme dayanımına sahiptirler. [Yaşar,1992]

1.4.3. Termosetler

Üç boyutlu ağ yapısına bağlı plastiklerdir. Makromoleküler yapılarını, kimyasal reaksiyonlar sırasındaki transformasyonlar ile kazanırlar ve makromoleküller arasında da kuvvetli bağlar oluştururlar. Isıtıldıklarında yumuşar ve plastize olurlar, basınç altında kısmen polimerleşme artar ve plastik büyük ölçüde çapraz bağlamaya geçer. Sonucunda da akma özelliğini kaybeder. 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, bun malzemelere mekanik özelliklerini iyileştirmek için %40-60 dolgu maddesi katılır. [Yaşar,1992]

Termoset malzemeler sıcaklık ve basınç uygulamak suretiyle kullanılırlar. Malzeme kalıplandıktan sonra tekrar eski haline getirilemez. Kimyasal reaksiyon malzemenin kalıplanması esnasında veya diğer işlemlerde sertleşir ve bu sertleşme artık sabitleşmiştir. Çünkü kimyasal değişim malzemeye başka bir özellik kazandırır ve eski halinden tamamen farklıdır. Kimyasal değişime örnek olarak, yediğimiz gıdaların hazım sistemindeki değişmesini ve şekerin yanmasını gösterebiliriz.

2. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, kimyasal bileşenleri farklı birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin kullanım yerindeki aranan özellikleri verebilecek daha uygun malzeme oluşumu için makro seviyede birleştirilmesi sonucu meydana gelen malzemelerdir. Makroskobik muayene ile yapı bileşenlerinin ayırt edilmesi mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar ise makro ölçüde homojen olmalarına karşılık mikroskobik muayene ile mikro ölçüde heterojen olduğu görülür. Kompozit malzemelerde yapı bileşenlerinin makro boyutta oldukları kabul edildiğinden bu kavram karışıklığı, bazı kural dışı durumlar olmakla beraber ortadan kalkmaktadır.[Yılmazoğlu,2004]

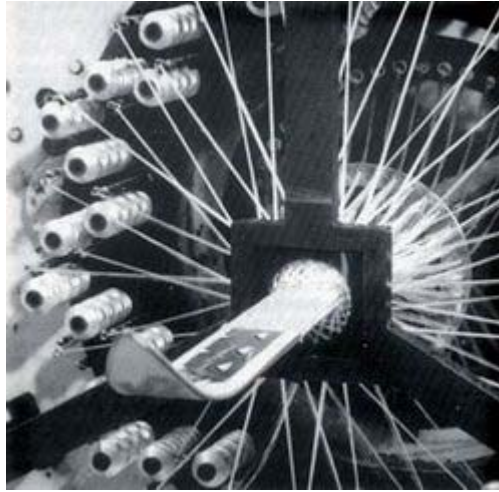
Kompozit malzemelerin genel avantajları;

1. Farklı mekanik özellikler elde etmek için farklı katmanlardan ve farklı kombinasyonlarla kompozit malzeme inşa edilebilir.
2. Kompozit malzemeler kimyasallara, korozyona ve hava şartlarına dayanıklılık gösteririr.

3. Karmaşık parçaların tek olarak üretilmesinden dolayı parça sayısının azalmasını sağlarlar. Böylece ara birleştirme detay ve parçalarının azalmasıyla üretim süresi kısalmaktadır.
4. Yüksek dayanıklılık/ yoğunluk oranı
5. Yüksek modülüs/ağırlık oranı [Philips ,1989]

Dezavantajları;

1. Hammaddenin pahalı olması dezavantaj olarak söylenebilir..
 2. Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesime dayanıklılık özelliği bulunmaktadır.
 3. Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur.
 4. Kompozitler kırılgan (gevrek) malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarılmaları yeni problemler yaratabilir.
- Malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır. Bazı tür kompozitlerin soğutularak saklanmaları gerekmektedir.
 - Sıcak kurutma gerekmektedir.
 - Kompozitler onarılmadan önce çok iyi olarak temizlenmeli ve kurutulmalıdır.
 - Bazı kurutma teknikleri uzun zaman alabilmektedir.[Philips,1989]



Şekil 2.1. Kar kayaklarının kompozit malzeme ile üretilme aşaması

Kompozit malzemeleri kullanılan matris malzemesine göre üç ana grupta toplanabilir.

- Polimerik esaslı kompozit malzemeler
- Metalik esaslı kompozit malzemeler
- Seramik esaslı kompozit malzemeler

Kompozit malzemelerde polimer esaslı matrislerin yanısıra metal, seramik türevli malzemeler de matris olarak kullanılmaktadır. Diğer matrislerin kullanılmasına rağmen kompozit malzemelerin % 90'ı polimer esaslı matrislerle üretilmektedir. Matris malzemelerinin genellikle plastik esaslı olmasından dolayı kompozit malzemeler de genellikle takviye edilmiş plastikler olarak adlandırılırlar. Metal matrisler büyük çaplı uygulamalarda kullanılmak için çok pahalı ve çalışmaları çok zordur. Seramik matrisler ise yüksek oranda kırılğan olmalarından dolayı yeterli dayanıklılığa sahip olmamaları nedeniyle kullanım alanları yüksek ısı ile kullanılan yerlerle sınırlanmaktadır. Karbon matrisli kompozit malzemeleri üretmek çok zor ve çok pahalıdır.

Kompozit malzeme; iki veya daha fazla sayıdaki malzemenin bir araya gelerek, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini yeni oluşacak malzemeye kazandırmak amacıyla, sıcaklık ve basınç gibi dış etkiler yardımıyla, kimyasal ve mekanik bir bağ oluşumu sonrasında oluşan yeni malzemedir. Bir kompozit malzeme genel anlamda üç ana elemandan meydana gelmektedir. Bunlar;

- a) Matris malzemesi
- b) Takviye elemanı
- c) Bağlayıcı eleman

2.1. Kompozit Malzemelerin Takviye Elemanları

Malzemede , bu özelliklere ek olarak geliştirilmesi istenen özellik uyarınca bir çok geliştirme yapılabilir. Yeni oluşturulacak malzemede hangi özelliğin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi isteniyorsa bu doğrultuda matris ve takviye elemanı seçilerek üretim yöntemi belirlenir. Böylelikle bir kompozit malzemenin oluşumu sağlanır

2.1.1. Kompozit Malzemelerde Katkı

Polimerlerin çeşitli özelliklerini geliştirmek için farklı katkılar, güçlendiriciler kullanılır. Katkı malzemelerinin özelliklerini aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

- o Organik maddelerdir.
- o Dayanım ile ilgili olmayan özellikleri değiştirirler; Aşınma Mukavemeti, Alev Geciktiricilik, Renk, Bozunma Mukavemeti, İşlenebilirlik

• Alev Geciktiriciler • Antioksidanlar • Antistatik Katkılar • Bağlayıcılar (Coupling Agents) • Biyokoruyucular • Bloklama Engelleyiciler • Isı Stabilizanları • Kalıp Ayırıcılar	• Kaydırıcılar • Köpürtücü/Köpük önleyici Katkılar • Kristalinite Artırıcılar (Nucleating) • Metal Deaktivatörleri • Renklendiriciler • Sürtünme Engelleyiciler • UV ve Işık Stabilizörleri
--	---

Çizelge 2.1.Örnek katkı malzemeleri

2.1.2. Kompozit Malzemelerde Dolgu

Dolgu malzemeleri inorganik maddelerden oluşmaktadır. Kullanılmasındaki asıl amaç plastiğin daha az yoğun halde bulunan bir yapıya getirerek plastiğin daha fazla hacim kazanmasını sağlamak ve dolayısıyla ekonomik anlamda plastiği ucuzlatmaktır.

• Dolgulu Plastikte - o Özgül Ağırlık artar - o Elastik Modül artar (Sertlik) - o Kalıpta Çekme azalır - o Yüzey Sertliği artar - o Erime Derecesi artar - o Fiyat azalır • Dolgu Malzemeleri - o Kalsiyum Karbonat(Kalsit) - o Mağnezyum Silikat(Talk) - o Cam Küre / Cam Elyaf - o Kaolin, Mika, Wolastonit, Barit - o Karbon Siyahı / Karbon Elyafı	Önemli Parametreleri • Parçacık Büyüklüğü • Parçacık Büyüklüğü Dağılımı • Dispersiyon/İslenme • Makine Aşındırma Etkisi • İşçi Sağlığı-Tozuma • Statik Elektriklendirme • Aglomerasyon • Isı İletkenliği • Saflık-Korozyon • Fiyat
--	--

Çizelge 2.2. Dolgu malzemelerinin özellikleri

2.1.3. Kompozit Malzemelerde Takviye

Kompozit malzemelerde takviye malzemeleri inorganik maddelerden meydana gelmektedir. Aşağıdaki şemada görüldüğü gibi malzemenin fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılır. Kullanılan takviye malzemesi polimer matrise kimyasal olarak bağlandığından malzemenin kimyasal yapısında değişiklik oluşturur.[Karaarslan,2007]

• Takviyeli Plastikte - o Kopma Dayanımı artar - o Basınç Dayanımı artar - o Elastik Modülü artar - o Sünme Modülü artar - o Maksimum Kullanım Sıcaklığı artar - o Darbe Dayanımı artar - o Parça anizotropik olabilir - o Arayüzey ile paralel, özelliklerde zamanla değişme olabilir. • Takviye Malzemeleri - o Tüm Dolguların yüzey Kaplı tipleri + Bağdaştırıcı	• Önemli Parametreler - o Parçacık Büyüklüğü - o Parçacık Büyüklüğü Dağılımı - o Dispersiyon/İslenme - o Yüzey Kaplama Malzemesi - o Bağdaştırıcı Uyumluluğu - o İşçi Sağlığı-Tozunma - o Statik Elektriklenme - o Aglomerasyon - o Isı İletkenliği - o Fiyat
---	---

Çizelge 2.3. Takviye malzemelerinin özellikleri

Özellik	Cam Elyaf	Mika	Talk	Kaolin	Cam Kürecik	Kalsit
Çekme Mukavemeti	+++	+	+	+	+	+
Esneklik Modülü	+++	+	+	+	+	+
Darbe Mukavemeti	+	+	-	-	-	-
Genleşme	-	-	-	-		+
Kalıp Çekmesi	-	-	-	-	-	-
İzotropi/Tolerans	--	+	+	+	++	++
Isı İletkenliği	+	+	+	+	+	++
HDT	++++	++	+	+	+	+
Elektrik Mukavemeti	0	++		++	0	0
Isısal Kararlılık	0	+	+	+	0	0
Sertlik	+++	+	+	+	++	+

Kimyasal Mukavemet	+	0	0	0	+	0
Aşınma	++++	0	+	0	0	0

Çizelge 2.4. Dolgu ve takviye malzemelerinin özelliklere etkisi

	UL Endeksi ° C	Eğilme Modülü Gpa	Kimyasal Mukave met	Alev Geciktiri cilik	İşlenebili rlik	Boyutları n Kararlılığı	Işık Geçirm e	Kayganlık
PP		1,3	8	4	8	6	Bazı Cins	5
ABS	60-80	1,9-2,7	6	5	10	8	Bazı Cins	2
PA	95-105	1,2-3,2	8	8	8	3	Bazı Cins	10
PC	115	2,3-3,2	4	9	5	9	Var	2
PBT PET	150	1,8-3,7	9	10	8	6	Yok	8

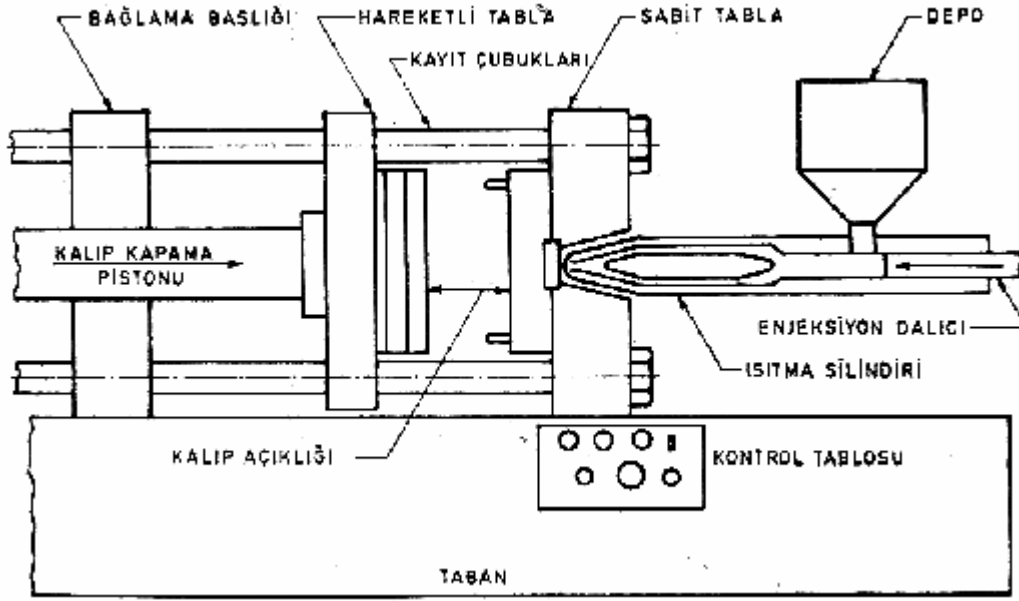
Çizelge 2.5. Takviyeli mühendislik plastikleri

3. PLASTİK ENJEKSİYON

3.1. Plastik Enjeksiyon İşlemi

Birçok üreticilerin yaptığı çeşitli enjeksiyonla kalıplama makineleri vardır. Bu makinelerin ölçüleri, 28 gramdan birkaç kilograma kadar olmak üzere değişir. Ölçü, gram olarak verildiği zaman bu değer dalıcının bir kursunda basabildiği malzeme miktarı olarak kabul edilir. Enjeksiyon makinelerinin iş görmesi için aşağıdaki görevleri yapması gerekir: Kalıbın iki yarım bağlama, kalıp tabanını kapatma, malzemeyi yükleme ve ısıtma, kalıbı açma ve iş parçalarını dışarı atma.

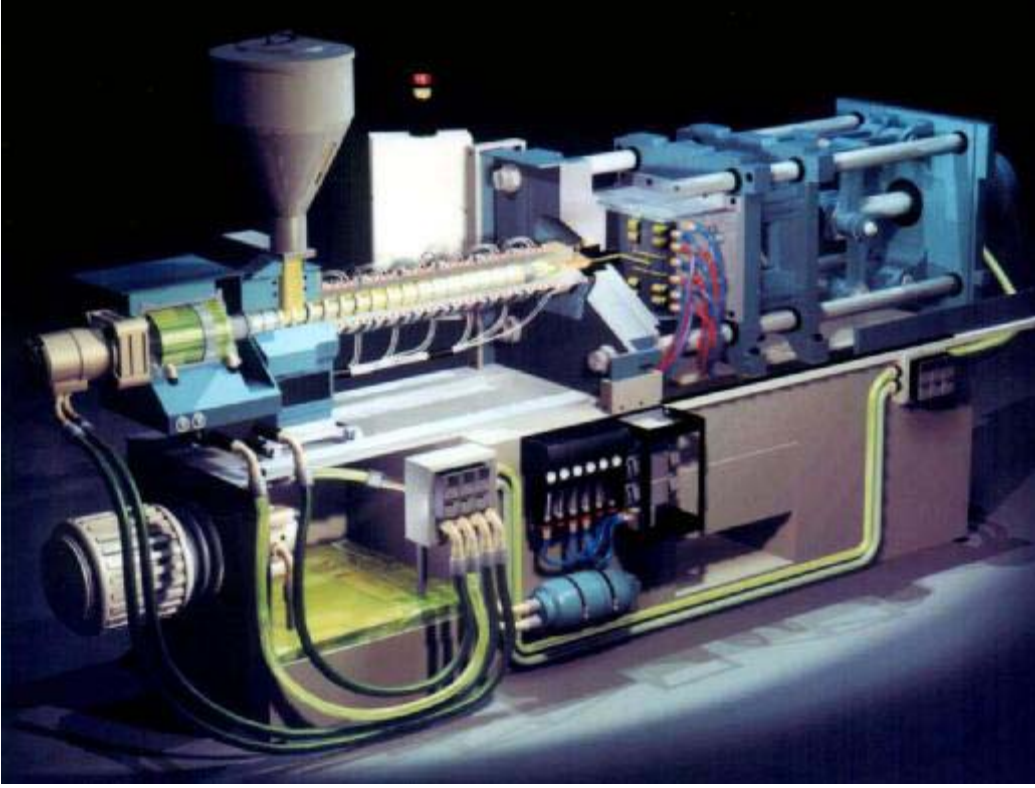
Şekil 3.1 , yatay bir enjeksiyonla kalıplama makinesinin ana parçalarının şemasını göstermektedir. Kalıp tabanı şekilde görüldüğü gibi düşey konumdaki pres tablalarına bağlanır. Düşey preslerde ise kalıp tabanları yatay konumda bağlanır. Düşey presler bilhassa iş parçasının içine (pim, burç, vida, somun vb. gibi) madeni parçaların gömülmesi istenen hallerde kullanılır. Enjeksiyon makineleri genellikle tablalarına kayıtlık görevi yapan, kalıbın açılıp kapanmasını sağlayan ve sertleştirilmiş çelikten dört silindirik çubuğa sahiptir. Şekil 3.1 'de görülen fotoğraf tipik bir enjeksiyonla kalıplama makinesini göstermektedir.



Şekil 3.1. Enjeksiyon makinesinin esas kısımlarını gösterir şema

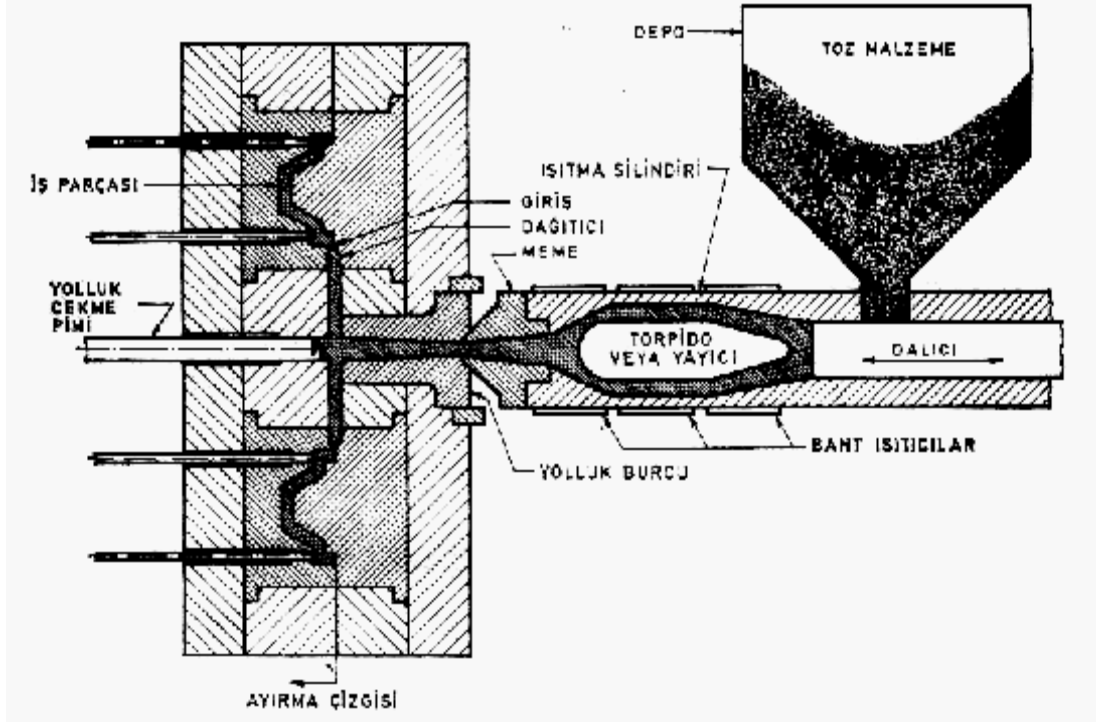
3.2. Enjeksiyonla Kalıplama

Enjeksiyonla kalıplama işlemlerinde termoplastik malzemeler kullanılır. Termoplastikler yapı bakımından sıcaklık karşısında yumuşayıp akıcı hale gelirler ve soğutulduğu zaman sertleşmek suretiyle sadece fiziksel bir değişim gösterirler. Bu sebepten termoplastiklerin biçimlendirilmesinde enjeksiyonla kalıplama tercih edilir.



Şekil 3.2. Plastik enjeksiyon makinesi

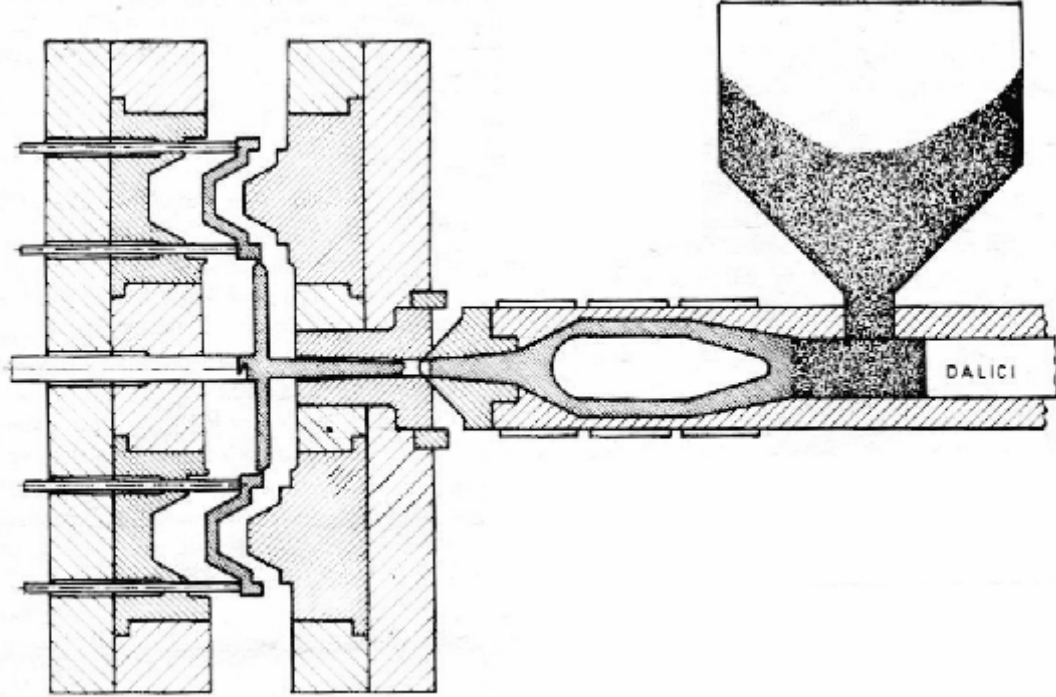
Enjeksiyonla kalıplama işlemi malzemenin ısıtılarak akıcı hale getirilmesi ve kapalı soğuk kalıba itilmesi, kalıp içinde soğumak suretiyle sertleşerek istenilen biçimi alması prensibine dayanır.



Şekil 3.3. Enjeksiyonla kalıplama (Kapalı Durum)

Şekil 3.3 ve şekil 3.4, enjeksiyonla kalıplamanın prensibini göstermektedir. Şekil 3.3, basit bir enjeksiyon kalıbının bir "artış" yapıldıktan sonraki durumunu kapalı olarak göstermektedir. "Atış" terimi parça, giriş, dağıtıcı ve yolluklar da dahil olmak üzere bir devrede kalıp içine gönderilen malzeme miktarı için kullanılacaktır. Malzeme; toz veya küçük parçacıklar halinde depoya konur. Depo, elektrikle ısınan bir silindirin üzerindedir. Malzemenin her tarafına sıcaklık verilebilmesi için, silindi içinde malzemeyi cihazlara doğru sevk eden bir yayıcı (Torpido) bulunur. Silindir içindeki ısınan malzeme yumuşar ve koyu bir şurup haline gelir. Dalıcı bu malzemeyi, memeden yolluğa oradan da kapalı durumdaki kalıbın sütun boşluklarına iter. Malzeme belirli bir soğukluktaki kalıp içinde soğur ve sertleşir. Enjeksiyon dalıcısı geri çekilir, kalıp ayırma çizgisinden açılır ve parça kalıptan çıkarılır. Kalıp açık iken, yolluk çıkarma pimi yolluğu burcundan dışarı çeker. Yolluk, meme ucunun küçük deliğindeki erimiş malzemeden şekil 3.4 'de görüldüğü gibi koparak ayrılır. İş parçaları, dağıtıcılar, girişler ve yolluk bir ünite olarak kalıptan dışarı atılır. İş parçaları yolluk ve dağıtıcılardan dar giriş kısımlarında kopararak çıkarılır. Kalıp açık konumda ve enjeksiyon dalıcısı geri çekilmiş iken, malzeme ısıtma silindirine

gönderilir. Sonra kalıp kapanır ve devre tekrarlanır. Şekil 3.3 ve şekil 3.4 basit tipte bir besleyici düzenini göstermektedir.



Şekil 3.4 Enjeksiyonla kalıplamadan sonra kalıbın açılmış durumu

Çok pratik ve etkili diğer malzeme besleme metotları ise, hacimsel tartılı ve ön plastikleşmiş olarak ısıtma silindirine yapılan beslemelerdir. Hemen hemen bütün enjeksiyon kalıpları yarı, yahut tam otomatiktirler. Bu husus iş parçasının ölçüsüne, kullanılmakta olan presin büyüklüğüne ve kalıpların tek veya çok iş parçası için yapılmış olmalarına bağlıdır. İş parçalarını, yolluk ve dağıtıcıları kalıptan dışarı çıkarmak için kalıbın önemli kısımlarından biri olan bir cins itici sistem kullanılır. Bütün enjeksiyon kalıpları, çeşitli parçalarına delinerek açılmış olan kanallardan su dolaştırılarak soğutulur.

Enjeksiyonla kalıplama, termoplastik malzemeler için geniş uygulama alanı çok etkin ve ekonomik metotlardan biridir. Bu metotla kalıplanan parçalar çok az veya hiç çapak yapmazlar. Böylece, zımparalama, eğeleme ve tamburlama gibi ikinci bir işleme lüzum bırakmazlar. Termoset malzemelerin işlenmesine göre kıyaslanacak olunursa, kalıplama devresinin kısa oluşu nedeni ile çok seri üretim yapmak mümkün olur.

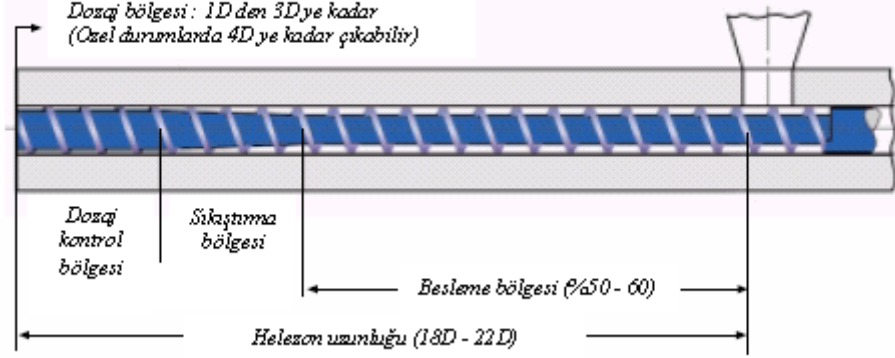
Termoplastik malzemelerde artıklar, dağıtıcılar, yolluklar ve tamam çıkmayan iş parçaları atılmaz, bunlar tekrar öğütülür ve tekrar kalıplanır. [Farel Plastik Eğitim Notları,2005]

Bu malzemeler higroskopiktir (havadan nem çeker) 24 saatte %0.2-0.35 oranında nem çekerler. Bu orandaki nem baskının mekanik yapısını çok etkilemez. Fakat enjeksiyonda %0.2'nin üzerindeki nem oranı yüzeyi büyük oranda etkiler. Eğer malzeme %0.2'den fazla nem çekerse kullanmadan önce sıcak kurutma fırınında 2-4 saat 80-85 °C'de kurutulmalıdır veya nem alıcılı kurutucuda 80 °C 1-2 saat kurutulmalıdır. Sıkı depo kontrolü FI-FO (ilk giren ilk kullanılır) uzun kurutma işlemini azaltır. Önceden malzemenin ısıtılması malzeme işlemeyi kolaylaştırır.

3.3. Plastik Enjeksiyon Makinası Terimleri

3.3.1 Silindir (Ocak)

Sıcaklığa dayanıklılığı PS kadar iyi değildir. Yüksek erime sıcaklığında duman problemi olur. Meme tarafında uygun havalandırma olmalıdır (katalitik yanma); havalandırmalı (vented) makinede havalandırmanın olduğu yerde havalandırma yapılır. Genel kullanım vidası kullanılabilir, örneğin L/D oranı (uzunluk/çap) 18:1 ve sabit vida adımı (pitch) 1 D kullanılabilir. Besleme bölgesi yaklaşık 0.5 L, sıkıştırma bölgesi 0.3 L ve ölçme bölgesi 0.2 L; 2/1 sıkıştırma oranı yeterlidir. Vidaya geriye dönüşsüz valf (non return) takılır. Vidaya geri-dönüşsüz valf yüksek arka basıncı kullanılmayacaksa takılmaz. En iyi sonuç yaylı ve hidrolikle çalışan valfli tiplerde elde edilir. Fakat çoğunlukla baskılar açık memeye ve artı geri emişle erimiş plastiğin sarkmasını azaltır. Açık renklerde büyük baskılarda sarkma (stagnation) renk tonlanmasına sebep olur. Havalandırmalı ocak kurutmayı azaltmak için kullanılabilir. Tipik L/D oranı havalandırmalı vida (screw) için 20/1 veya daha büyüktür. Plastiği havalandırma bölümüne gelmeden önce eritmek için besleme bölgesi sıcaklığı malzeme akışına engel olmayacak şekilde mümkün olduğu kadar yüksek tutulmalıdır. Böylece gazların havalandırmadan uçuşması sağlanır. [Farel Plastik Eğitim Notları,2005]



Şekil 3.5.Vida

3.3.2. Baskı Kapasitesi (Shot capacity)

%80-60 arasında kapasite kullanılmalıdır. Eğer baskı kapasitesi düşük yani %30'dan az ise malzeme bozulu. Bu riski azaltmak için vida hızı, ocak sıcaklığı ve arka basınç azaltılır.

3.3.3. Malzeme Ocak İlişkisi

Ocak sıcaklığı 265°C 'de malzemenin maksimum ocakta kalma süresi 5-6 dakikayı geçmemelidir. Ocak sıcaklığı 280°C olduğu zaman ocakta malzemenin maksimum bekleme süresi 2-3 dakikayı geçmemelidir. Alevlenmeyen grad makine durması esnasında bozulabilir. Eğer önceden görülmeyen sebepten makine durursa makineyi standart gradla temizlemeden önce ocak sıcaklığı 120°C indirilmelidir. Ocakta plastiğin bekleme sürelerinde değişiklik veya baskı süresindeki değişiklik renk değişikliğine sebep olur.

Ocak bölgesi	Sıcaklık ayarı ⁰ C
1-Ocak arkası	180°C'den 230°C
2-Ocak ortası	180°C'den 240°C
3-Ocak ortası	210°C'den 260°C
4-Ocak önü	210°C'den 260°C
5-Meme	210°C'den 260°C
6-Kalıp	60°C'den 90°C

Çizelge 3.1. Ocak bölgelerinde bulunan sıcaklık ayarı

3.3.4. Enjeksiyon (Doldurma) Hızı

Alevlenmeyen grad için yavaş ve sıcaklığa dirençli grad için yüksek (baskı içi gerilimi azaltmak için) enjeksiyon hızı kullanılır. En iyi baskı yüzeyi (örneğin yüksek parlaklık) programlanmış hız, iyi kurutulmuş malzeme ve yüksek kalıp, erime sıcaklığı ile elde edilir.

3.3.5. Enjeksiyon Basıncı

Makine ilk etap (enjeksiyon) için 1500 bar; 150 MNm-2; 1400 psi, ikinci etap (ütüleme) için 750 bar; 75 MNm-2; 10700 psi'e kadar basınç verebilecek kapasitede olmalıdır.

Genelde enjeksiyon kalıpcıları, amorf polimerlerdeki tecrübelerine dayanarak enjeksiyon sonrası basınç altında sıcak ütüleme süresini kısa tutup, uzun soğuma süreleri tercih etmektedirler. Kalıp boşluğu tam anlamına dolduktan sonra, polimer molekülleri kristalleşmeye başlar. Molekül zincirleri halinde katılaşarak yüksek bir yoğunluk kazanırlar. Bu katılaşma elbette ki dışarıdan içeriye doğru gerçekleşir. İşte bu aşamada sıcak tutma süresi kısa olursa mikro ölçekli olmak üzere boşluklar oluşur. [Poppe,2004]

3.3.6. Vida Dönme Hızı

Düşük vida hızı tavsiye edilir; hız (rpm) baskı süresine uyum sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır fakat vida yüzey hızı 0.55-0.65 m/s'den yüksek olmamalıdır. Eğer 40 mm çaplı vida kullanılırsa vida dönme hızı 290 rpm'den yüksek olmamalıdır. Benzer olarak

maksimum vida çapı, vida 200 rpm döndüğünde ve vida yüzey hızı olarak 0.55-0.65 m/s elde etmek için 60 mm olmalıdır.

3.3.7. Arka Basıncı

Enjeksiyon makinesinin ocak kısmında bulunan vidanın dönmesi sırasında huni kısmına doğru olan basıncı ifade eder. Genel olarak nominal değer 75 bar sabit baskı ağırlığı elde etmek için kullanılır.

3.3.8. Plastik Enjeksiyon Ayar Parametre Değerleri

ABS enjeksiyonunda standart vidalı enjeksiyon makineleri kullanılır. Önerilen vida sıkıştırma oranı 2/1-3/1 ve vida boy/çap oranı 20/1'dir. Özellikle yanma-geciktiricili ABS tipleri için daha iyi performans gösteren, daha düşük basınçla çalışan vidalar tercih edilmelidir. Orta veya büyük enjeksiyon makinelerinde kullanılan çoğu yüksek basınçlı vidalar erime sıcaklığında çok fazla artışa neden olabilir. Genellikle 69-138 MPa'lık bir enjeksiyon basıncı yeterlidir. Önerilen mengene sıkıştırma basıncı ise 28-42 MPa'dır. Vida hızı ve geri basıncı erime sıcaklığının kontrolü için kullanılabilir. 0.35-0.70 MPa'lık bir geri basınç genelde basılan malzemenin miktarı, besleme ve eriyik akışı için yeterli kontrolü sağlar. Kalıba basılan miktar gövde eriyik kapasitesinin %60-80'idir. Eğer daha düşük ise işlem basamakları polimer eriyiğin enjeksiyon makinesinde uzun kalış süresinin etkisini azaltacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu, vidanın dönüş hızını azaltarak, silindir sıcaklığını düşürerek, geri basıncı mümkün olan en düşük değere çekerek ve vidanın basma durumunda kalış süresini olabildiğince uzun tutarak başılır. Meme ucu ısıtılmalıdır. Meme sıcaklık kontrolü kapalı-döngü olmalı ve erime sıcaklığına ayarlanmalıdır. ABS polimerleri için çalışma sıcaklıkları 200 ile 265 °C arasındadır ve çalışılan polimerin tipine bağlıdır. Genelde sıcaklığı, besleme hunisinden kalıp yönüne doğru artan bir sıcaklık profili sağlayacak şekilde ayarlanır.

Tipik bir 5 ısıtma bölgesi enjeksiyon makinesinde sıcaklıklar, sırasıyla şöyledir: I.Bölge: 180-265°C; II.Bölge: 180-240°C; III.Bölge: 210-250°C; IV.Bölge: 210-260°C; V.Bölge: 210-265°C; ve Kalıp: 60-90°C. Optimum enjeksiyon hızı parçanın geometrisi, besleme hunisinden enjeksiyon vidasına geçiş bölgesinin tasarımı ve taşıyıcı sisteme bağlıdır. Parlaklık polimer türüne ve kalıplama koşullarına bağlıdır. Yüksek enjeksiyon

hızları, kalıp ve erime sıcaklıkları parçaya gelişmiş özellikler ve estetik kazandırır. [Farel Plastik Eğitim Notları,2004]

4. PLASTİK ENJEKSİYON KALIP ELEMANLARI

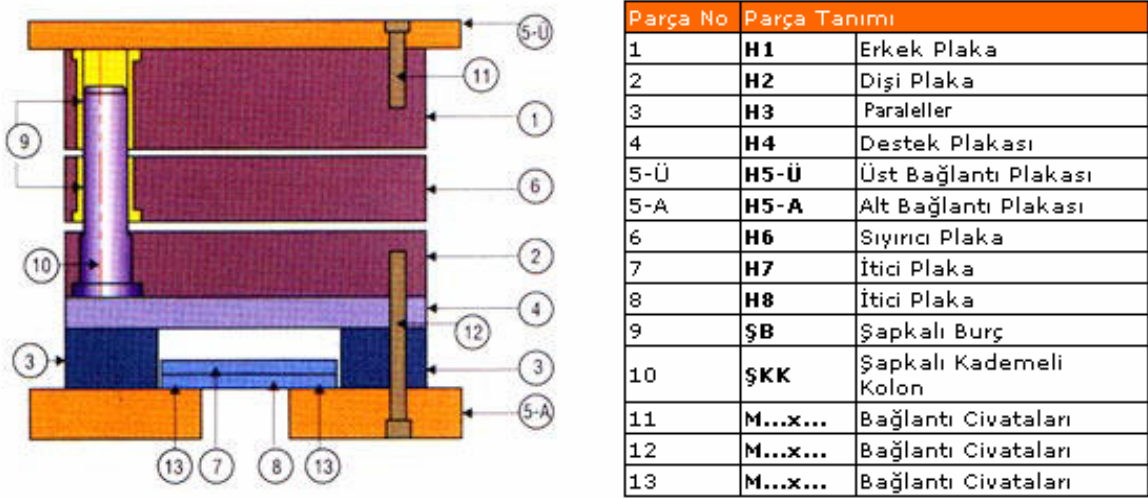
4.1. Erkek Kalıp

4.1.1. Erkek Çekirdek

Erkek çekirdek (core) kalıplanan parçanın iç kısımlarını ve delik, feder gibi detayları çıkaran ana kalıp elemanlarından. Erkek çekirdek malzemesi de dişi çekirdek gibi ön ısıtım işlem görmüş çelik malzemeden yapılır. İtici erkek çekirdek üzerinde bulunur ve erkek çekirdek ile dişi çekirdek (cavity) arasında kalan boşluk plastik parça et kalınlığını oluşturur. Plastik malzemenin şeklini kazandırdığı için kalıbın en önemli elemanlarının başında gelmektedir.



Şekil 4.1. Plastik enjeksiyon kalıbı



Şekil 4.2. Plastik enjeksiyon kalıp elemanlarının düzeni

4.1.2. Destek Pimi

destek pimleri silindirik bir parça olup kalıp bağlama plakasına sabitlenir ve itici plakasından boşluklu geçerek erkek kalıp plakasına dayanır. Böylece kalıbın ağırlığından ve enjeksiyon esnasında oluşan basınçtan dolayı kalıp plakalarına destek olarak sehim verme olayının önüne geçilir. Çok büyük kalıplarda destek pimlerinin boyu uzun tutularak ön yükleme sağlanmış olur. Destek pimlerinin sayısı ve çapı kalıp boyutuna göre değişir.

4.1.3. Yağlama Tertibatı

Standart kalıp elemanı olup itici plakaları kılavuzlama mil ve burcunun kalıp çalışması esnasında yağlanmasını sağlar.

4.1.4. Geri Döndürücü Pimler

Diğer itici pimlerle beraber itici plakasına bağlı olup, erkek kalıp plakasında hassas yataklanmış olarak geçer ve dişi kalıp plakasında son bulur. Enjeksiyon esnasında kalıp açılırken hareketli duruma geçen itici plakası ve pimler parçayı kalıptan çıkardıktan sonra kalıp kapanma çevrimine gelindiğinde geri döndürücü pimler dişi kalıp plakası vasıtasıyla normal konumuna getirilmiş olur. Enjeksiyon makinesinin geri döndürme mekanizmasında oluşabilecek arıza da itici pimleri geri çekerek kalıbın zarar görmesini önler.

4.1.5. İtici Plakalar Klavuzlaması

Standart bir kalıp elemanı olup şapkalı bir milden ve ara flanşlı bir burçtan oluşur. Görevi itici plakaları ve dolayısıyla itici pimlerinin çalışması esnasında plakaların doğru bir şekilde klavuzlayarak konumlamasını sağlar. Flanş, itici plakası ve itici destek plakası arasında yer alırken şapkalı mil erkek kalıp bağlama plakası, itici plakaları ve flanştan geçerek erkek kalıp plakasından hassas olarak yataklanır. Genellikle bir kalıpta dört adet bulunur. Standart parça olarak satıldığından kalıp tasarımcısı üretici firma kataloğundan faydalanarak rahatlıkla kullanabilir. Özel kalıp setlerinde ise boyutları istenen şekilde özel imalat yapılarak kullanılabilir.

4.1.6. Sabitleme Pimi

Sabit bir pim olmakla beraber erkek kalıp plakası, paralel plakalar ve kalıp bağlama plakasından hassas geçerek bu plakaların birbirlerine göre hizalanmasını ve vibrasyona karşı direncini arttırarak esnemeyi ve oynamayı engeller.

4.1.7. Hızlı Rekor Bağlantı Elemanı

Standart kalıp elemanı parçası olup, kalıptaki su rekoru ile enjeksiyon makinasının su giriş bağlantısı için kullanılır. Elemanın erkek tarafı kalıba vidalanır, dişi tarafı ise enjeksiyon makinası su dağıtım servisine sabitlenir. Sabitleme piminin en büyük özelliği çok çabuk bir biçimde bağlantı yapılabilmesini sağlamak ve su sızdırmazlığını sağlamaktır.

4.1.8. Yolluk Çekici

Kalıp açıldığında yolluk salkımının yolluk memesinden kurtularak erkek tarafında kalmasını sağlayan elemandır. Bu yolluk dağıtım kanalında açılan ters açılı konik ile sağlanır.

4.1.9. İtici Pimler

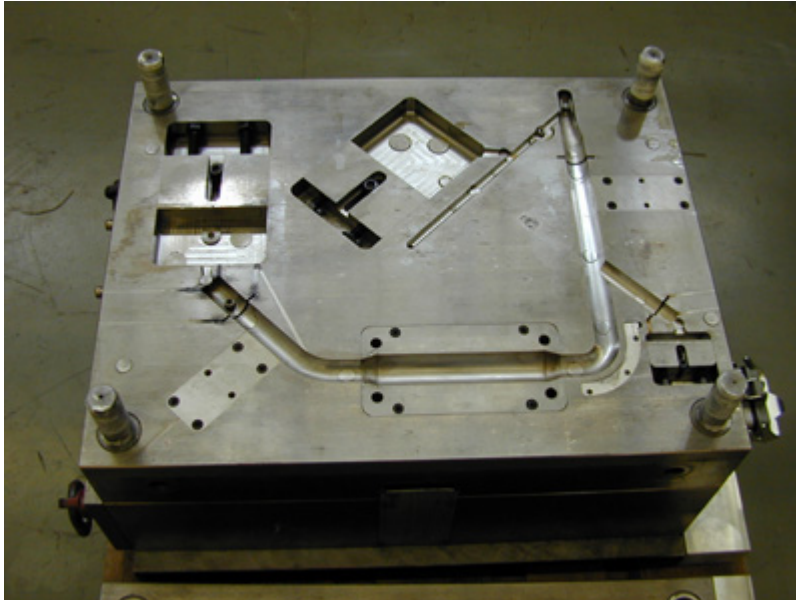
Şapkalı bir pim olmakla beraber itici plakada sabit olarak yer alır. Görevi kalıp açıldığında itici mekanizmasının çalışmasıyla harekete geçerek erkek çekirdek üzerinde kalmış olan plastik ürünün kalıptan çıkmasını sağlamaktır. İtici plakası ile erkek kalıp

plakası arasındaki mesafe iticilerin strokunu belirler. Bu stroka toplam mesafenin %10 u kadar emniyet payı da ilave edilir. İtici erkek çekirdek lokmalarında hassas yataklanırken erkek kalıp plakasında ve itici plakasında boşta geçer. İtici sayısı, iticilerin yeri ve itici tipi kalıp tasarımcısının başlıca göz önünde bulundurması gereken başlıca husustur.

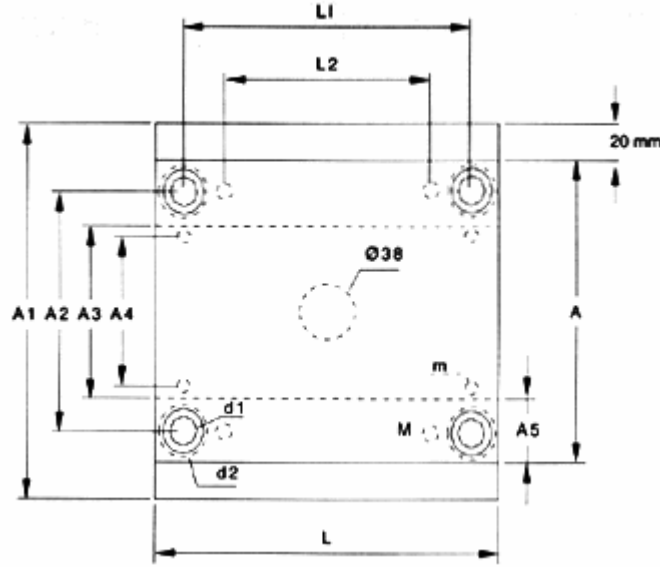
4.2. Dişi Kalıp

4.2.1. Dişi Çekirdek (Cavity)

Dişi çekirdek genellikle kalıplanan parçanın dış, kozmetik kısmını çıkaran temel kalıp elemanıdır. Dişi çekirdeğin bulunduğu tarafa dişi veya kalıbın A yarısı denir. Dişi çekirdekler genelde ön ısıtma işlemi görmüş çeliklere işlenmektedir. Kalıplanan ürünün özelliklerine bağlı olarak uygun çelik seçimi yapılmalıdır. Genellikle kalıplanan parçanın dış kısmını yani görünen bölgesini oluşturmaktadırlar. Bu nedenden dolayı bu bölgenin polisaj işlemi ayrıntılı işçilik gerektirir. Erkek çekirdek ile beraber ürünün şeklini vermesi açısından en önemli kalıp elemanlarından denebilir.



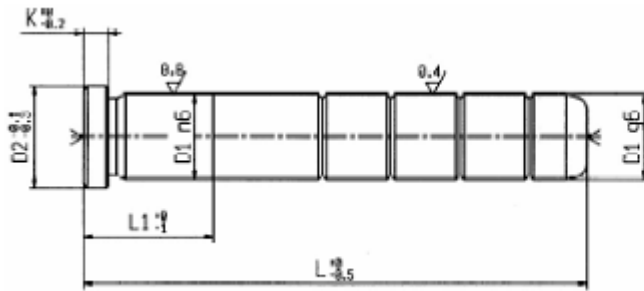
Şekil 4.3. Plastik enjeksiyon kalıbı dişi taraf ve çekirdek ön görünüşü



Şekil 4.4. Plastik enjeksiyon kalıbı dişi taraf arka görünümü

4.2.2. Merkezleme Mili ve Burcu

Merkezleme mili ve burcu kalıbın erkek ve dişi plakalarının birbirlerine göre konumlanmasını sağlar. Genellikle kalıbın dişi tarafına merkezleme milleri, erkek tarafına ise burçlar yerleştirilir. Bir kalıpta kalıbın dış kenarına monte edilmiş dört adet mil ve burç bulunur. Mil ve burç setlerinden biri hatalı kalıp kapanmasını önlemek amacıyla diğer üç setteki mil ve burçlardan eksen aralığı kaçık olarak monte edilir. Bu kaçık taraf genellikle kalıbın üst kısmına ve enjeksiyon makinası operatörünün tarafına gelecek şekilde yerleştirilir.



Şekil 4.5. Merkezleme mili ve burcu

4.2.3. Kalıp Plakası Bağlantı Civataları

Kalıp plakalarını bağlamak amacıyla kullanılmakla beraber genellikle metrik ölçüde, imbus başlı civatalar kullanılır.

4.2.4. Hızlı Rekor Bağlantı Elemanı

Erkek tarafta olduğu gibi dişi tarafta da aynı şekilde bulunmaktadır.

4.2.5. Yolluk Salkımı (Sprue)

Erkek tarafta olduğu gibi dişi tarafta da aynı şekilde bulunmaktadır. Yolluk salkımında bulunan koniklik, enjeksiyon makinası tarafında küçük çapta, yolluk dağıtım kanalında ise daha büyük çapta bulunmalıdır.

4.2.6. Mapa Delikleri

Kalıp plakalarının ve kalıp setinin komple veya parça parça taşınabilirliğini sağlamak amacıyla mapa delikleri bulunur. Mapa deliği taşınan kısmın ağırlığıyla orantılı bir çapa sahip olmalıdır.

4.2.7. Merkezleme Flanşı

Merkezleme flanşı kalıbın enjeksiyon makinasına merkezlenmiş bir şekilde bağlanmasını sağlar. Enjeksiyon makinalarının flanş boşluğu farklı olup kalıp tasarımcısının tasarım esnasında bu değeri kullanılacak makinenin teknik bilgilerine bağlı olarak ataması gerekmektedir.

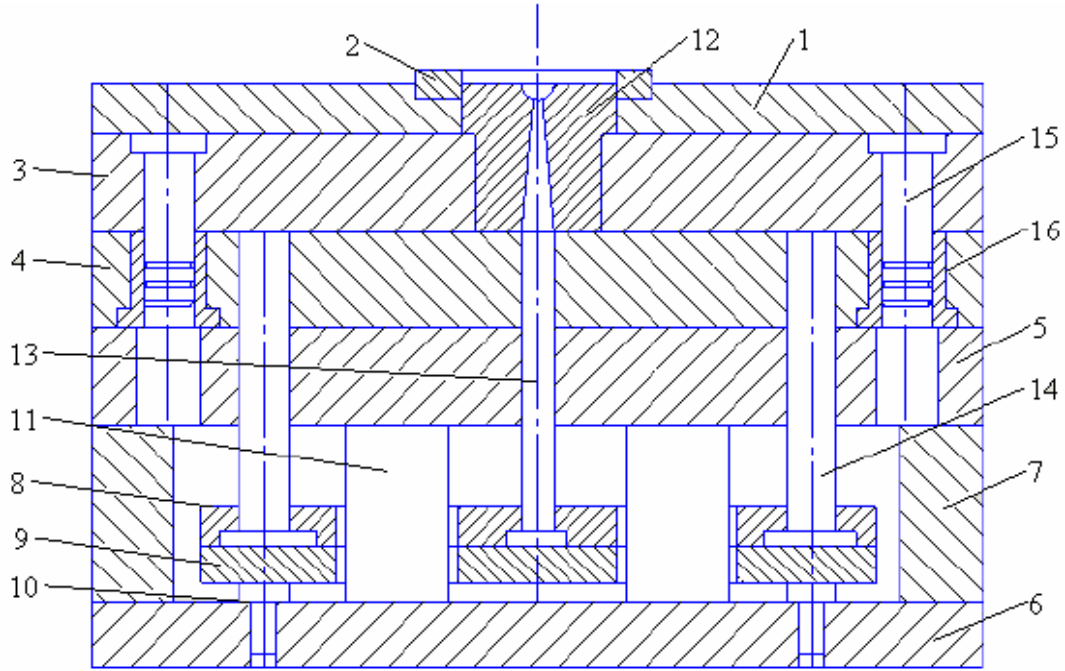
4.2.8. Kalıp Bağlama Yuvaları

Bu yuvalar kalıbın her iki tarafına ve enjeksiyon makinasının çalışma eksenine dik gelecek şekilde açılmış olup kalıbın makinaya bağlanmasını sağlar. Bu yuvalara oturtulan pabuç, civatalar tarafından kalıp enjeksiyon makinasına emniyetli bir biçimde sabitlenir. Tasarımcı kalıba açılacak yuvaların boyutlarını üretilecek kalıba uygun olarak tasarlamalıdır.

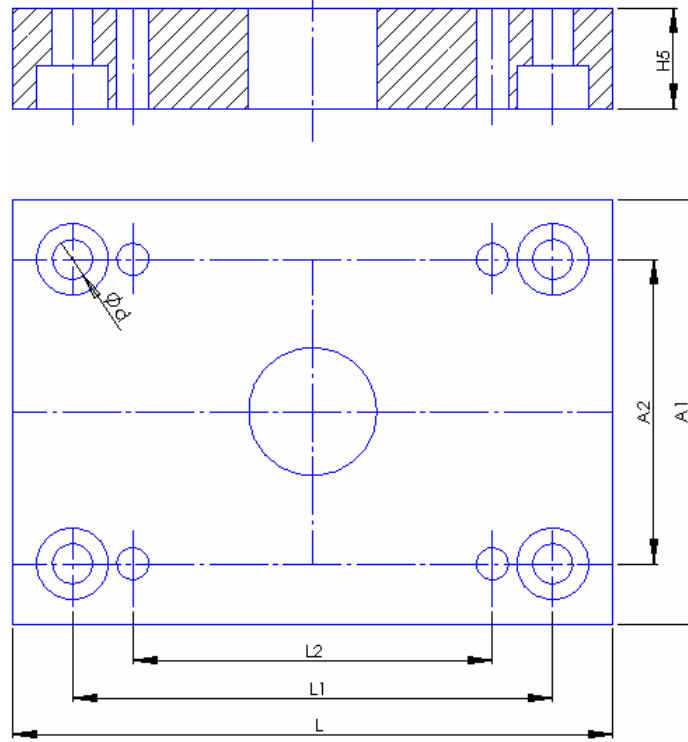
4.2.9. Standart Kalıp Plakası

Standart kalıp plakası tüm kalıbı içermektedir. Merkezleme mil ve burçlar, desteklemeler, lokmalar, tüm yardımcı elemanlar örnek olarak hidrolik silindir, vida mekanizması, elektrik bağlantıları gibi standart bir kalıp plakasını oluşturur. Bu standarda erkek ve dişi çekirdekleri ve lokmaları dahil değildir.

4.3. Plastik Enjeksiyon Ana Kalıp Elemanları



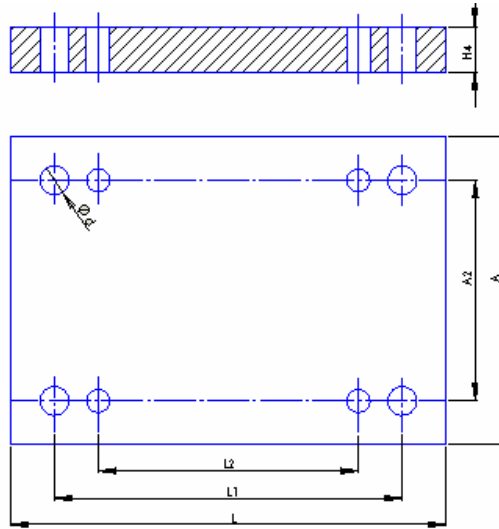
- 1) ÜST TESPİT PLAKASI
- 2) MERKEZLEME BLEZİĞİ
- 3) DİŞİ KALIP BAĞLAMA BLEZİĞİ
- 4) MAÇA BAĞLAMA PLAKASI
- 5) DAYAMA PLAKASI
- 6) ALT TESPİT PLAKASI
- 7) PARALEL
- 8) İTİCİ BAĞLAMA PLAKASI
- 9) İTİCİ PLAKASI
- 10) DAYAMA PİMLERİ
- 11) SÜTUNLAR
- 12) YOLLUK BURCU
- 13) YOLLUK ÇEKME PİMİ



Şekil 4.8. Dişi kalıp bağlama bleziği

4.3.4. Maça Bağlama Plakası

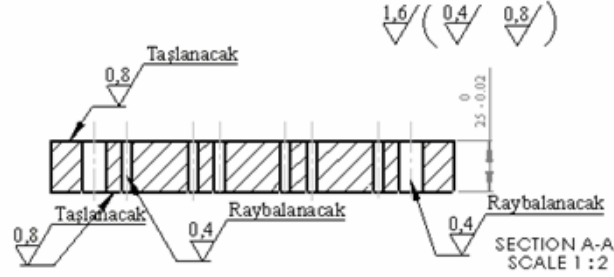
Kalıbın hareketli kısmının üst plakasıdır. Dişi kalıp bağlama plakası ile kalıp ayrılma çizgisini teşkil ederler. Kılavuz pim burçlarını olduğu gibi maça ve dişli kalıp bloklarını tutmak için kullanılır.



Şekil 4.9. Maça bağlama plakası

4.3.5. Dayama Plakası

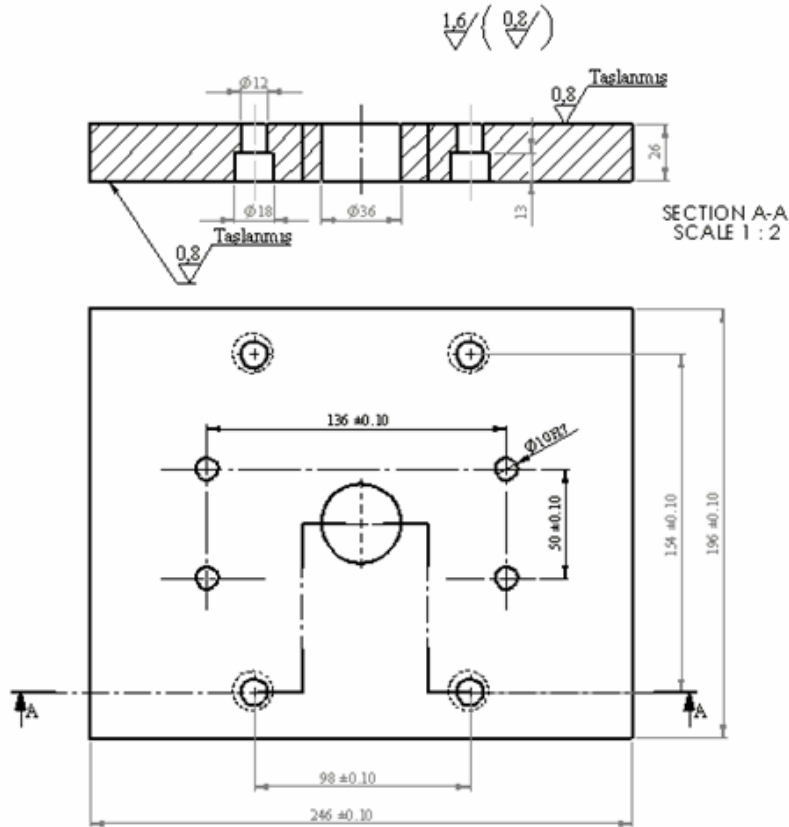
Maça bağlama plakasının arkasına yerleştirilmiş olup enjeksiyonla kalıplamanı yüksek basıncı altında maça plakasının eğilmesini önlemek içindir.



Şekil 4.10. Dayama plakası

4.3.6. Alt Tespit Plakası

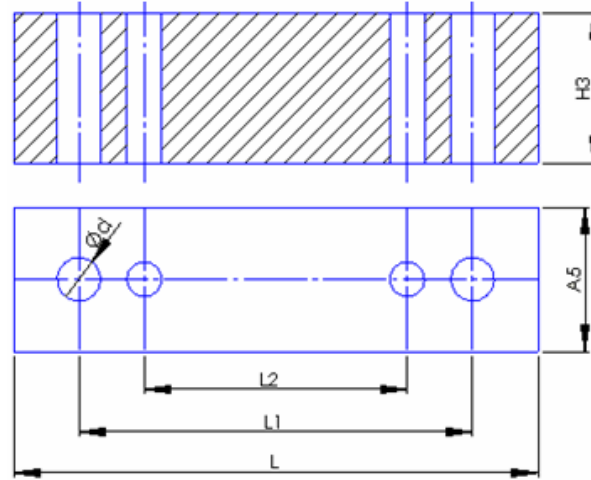
Kalıbın hareketli kısmını, enjeksiyon makinesinin hareketli tablasına tutturmak içindir.



Şekil 4.11. Alt tespit plakası

4.3.7. Paraleller

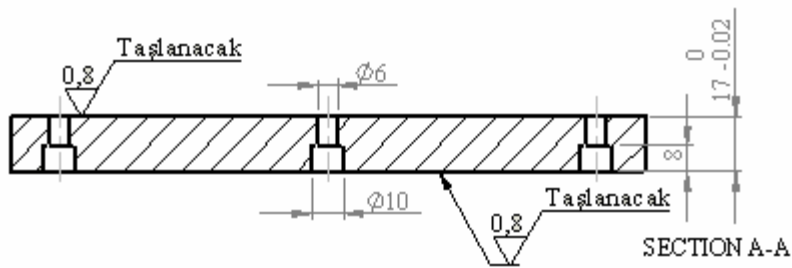
Alt tespit plakasının üstüne, kalıplandıktan sonra itici pimlerin çıkardığı iş parçasının dışarı alınabilmesi için boşluk sağlamak amacıyla dayana plakasının altına tespit edilir.



Şekil 4.12. Paraleller

4.3.8. İtici Bağlama Plakası

İtici pimleri, iticileri geri itme pimleri ve yolluk çekme pimlerinin başları için yuvalar açılmıştır.

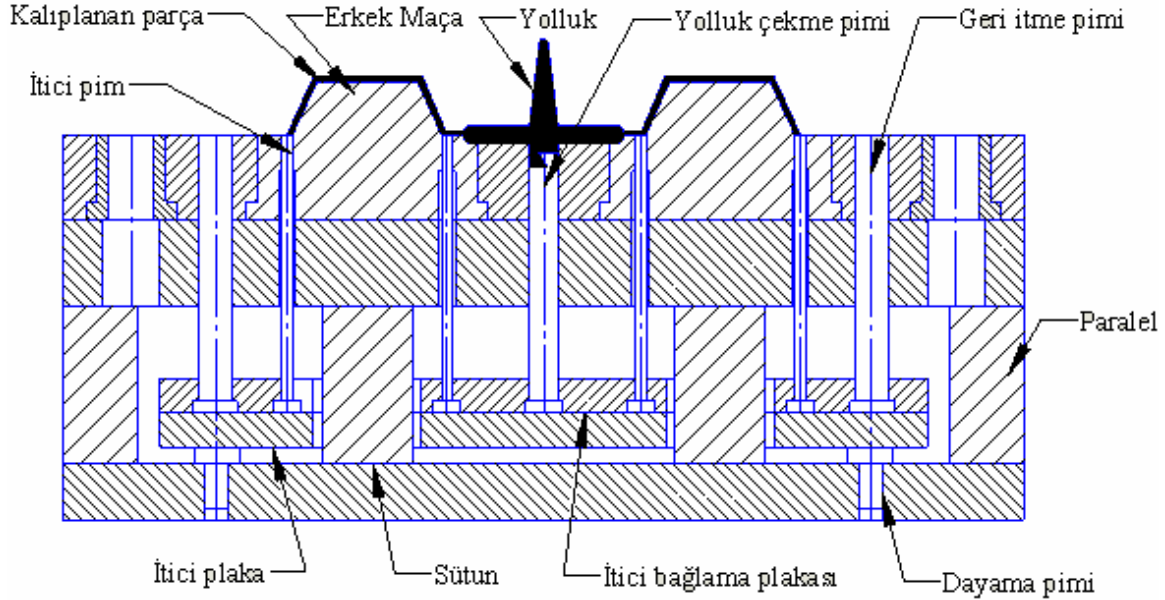


Şekil 4.13. İtici bağlama plakası

4.3.9. İtici Plakası

İtici sistem tespit plakası ile dayama plakası arasında paralellerin temin ettiği boşluk içinde hareket eder. İtici pimlerin yerini ve sayılarını, iş parçasının biçimi ve büyüklüğü tayin eder. Birçok kalıp takımlarında 4 veya daha fazla geri itme pimleri kullanılır, bunlardan birinin çapı değişiktir. Böylece kalıp montajı sadece bir konumda yapılabilir. Destek plakasındaki, ve maça blokundaki delikler itici pimlerin çaplarından 0,8 mm daha büyük olarak delinir. Aynı boşluk yolluk çekme piminde de olmalıdır. İtici

bağlama plakasındaki delikler itici pimlerin çapından 0,4 mm büyük delinir. İtici bağlama plakası pim başı yuvaları pim başlarından 0,8 mm büyük açılmalıdır. Bu yuvaların derinliği pim başlarından 0,07 ile 0,12 mm daha fazla olmalıdır. Paralelle itici sistemin kenarı arasındaki boşluk en az 1.5 mm olmalıdır. Eğer sütunlar kullanılıyorsa, itici sistem ile delinen delikler arasında her kenar için boşluk 1,5 mm civarında olmalıdır. Sütun taşıyıcılar paralellerin yüksekliğinden 0,05 mm yüksek işlenmelidir



Şekil 4.14. İtici plakası ve sistemi

4.3.10. Dayama Pimleri

İtici plakaya desteklik görevi yaparlar.

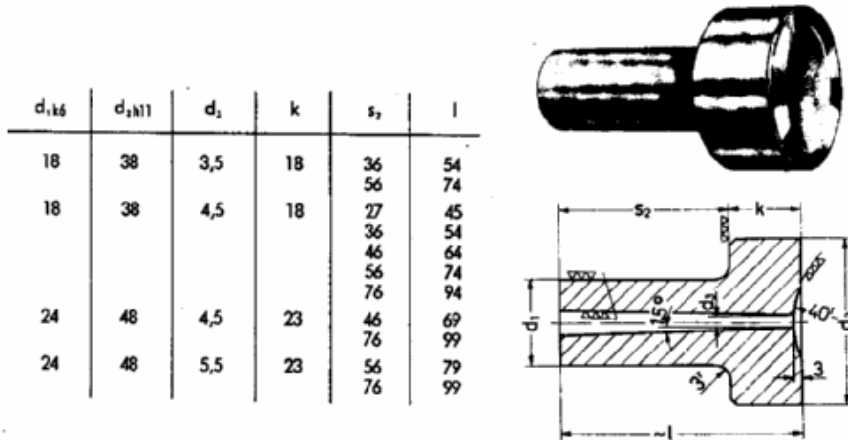
4.3.11. Sütunlar

Alt tespit plakası ile dayama plakası arasında yerleştirilen silindirik çubuklardır. Boyları paralellerle aynı yüksekliktedir. Alt tespit plakasına cıvatalanmıştır. Maça bağlama plakasına ilave bir dayama olarak kullanılır.

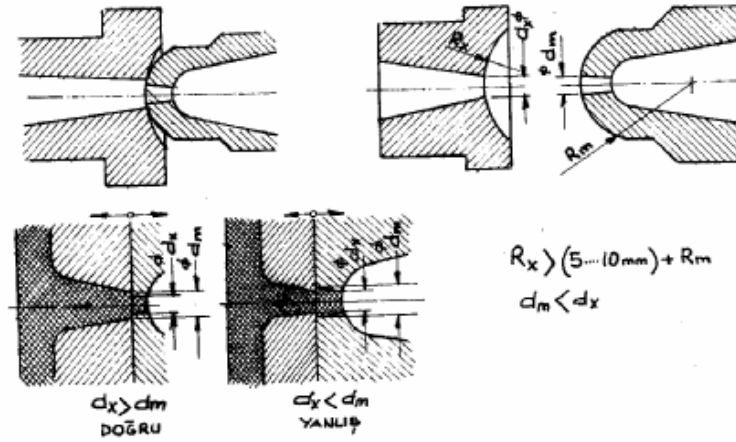
4.3.12. Yolluk Burcu

Enjeksiyon makinesi memesine yuvalık eder. Konik deliğinden malzemenin kalıp dağıtıcısına iletmesine aracı olan kalıp elemanıdır. Yolluk burcunun plastik giriş ağzı iç bükey küresel yüzülü yapılarak, dışbükey küresel yüzülü enjekte memesine uyması sağlanır.

Ayrıca, yolluk burcunun plastik giriş ağının kavis yarıçapı, enjekte memesi ucu kavis yarıçapından biraz büyük yapılır ve burç ağzında sertleşen artık plastik maddenin enjekte memesi oturma yüzeyinde kalması önlenir. [Yelbey,2000]



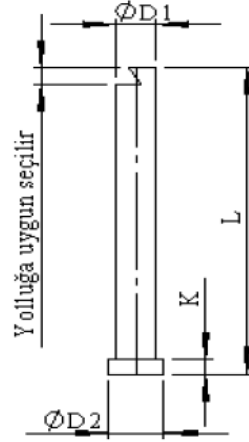
Şekil 4.15. Yolluk burcu ölçüleri



Şekil 4.16. Yolluk burcu ağız kısmı ölçülendirilmesi

4.3.13. Yolluk Çekme Pimi

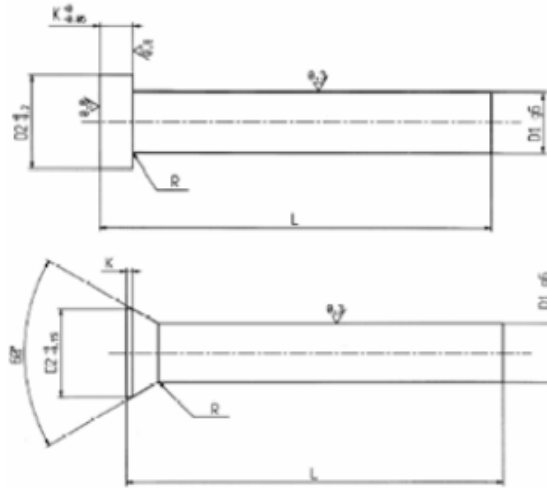
Yolluğun açık olan alt kısmına doğrudan doğruya yerleştirilmiştir. Atış yapıldıktan sonra yolluktaki malzemenin burçtan çekilmesinde kullanılır.



Şekil 4.17. Yolluk çekme pimi

4.3.14. İtici Pim

İtici bağlama plakasına yerleştirilmiştir. İtici bağlama ve itici plakalarını hareket ettirir. Böylece itici pimler kalıbın kapanması için alt konuma getirilmiştir.



Şekil 4.18. İtici pim

4.3.15. Kılavuz Pim (Kolon)

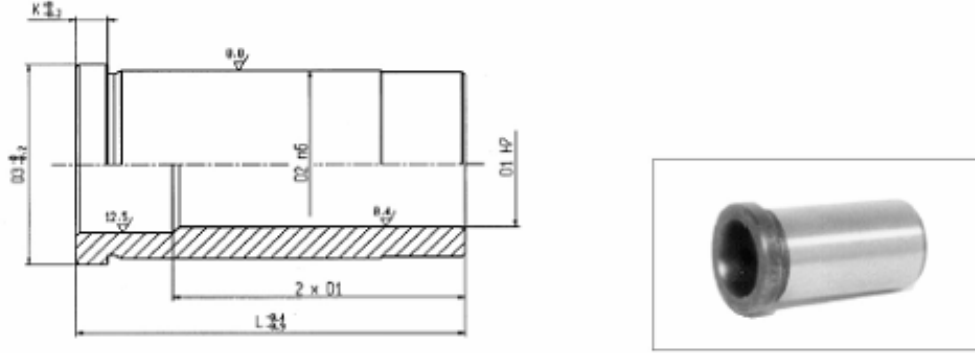
Sulanmış ve taşlanmış pimler plakaların birine pres edilmiştir. Kalıp takımının iki yarım kısımlarını tam ayarında (sağa sola kaçmamaları için) tutar.



Şekil 4.19. Kılavuz pim

4.3.16. Burç

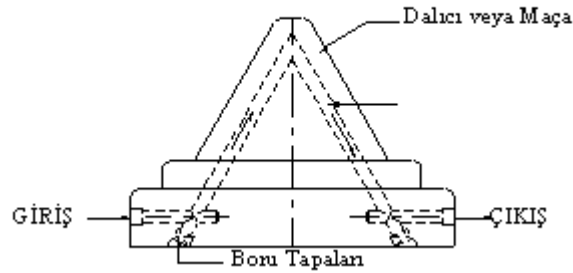
Kılavuz kolon ve burçlarının ölçüleri kalıp boyutuna uygun, fonksiyonel görevlerini yapabilecek ölçülerde belirlenir. Bu işlemi kalıp tasarımcısı veya yapımıcısı gerçekleştirir. Sulanmış ve taşlanmış burçlar plakaların birine pres edilmiştir. Kılavuz pimleri yataklık yaparlar. Bazı enjeksiyon kalıp takımları paralellerle alt tespit plakasına kaynatılır. Böylece meydana gelen boşluk ünitesine itici kasası adı verilir.[Eriçken,1984]



Şekil 4.20. Burç

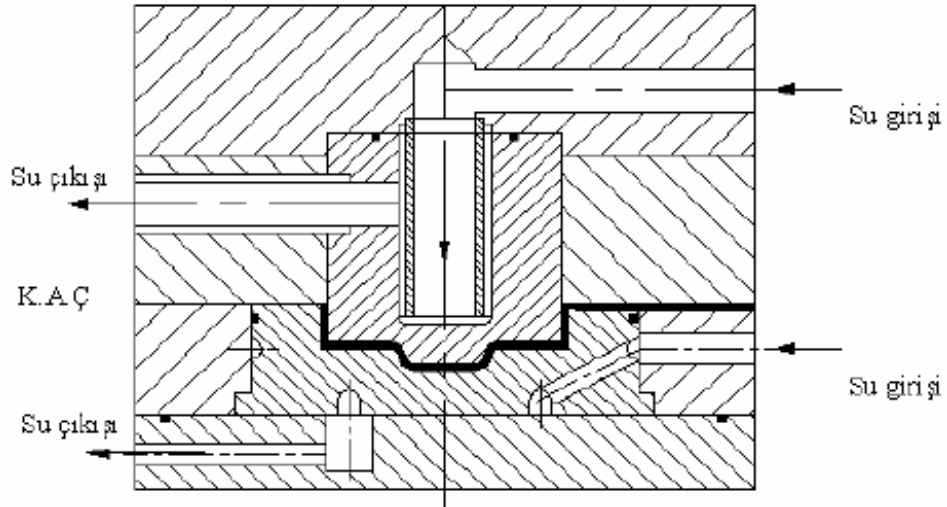
4.4. Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Soğutma Sistemleri

Plastik kalıpları 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.



Şekil 4.21. Maça soğutma sistemi

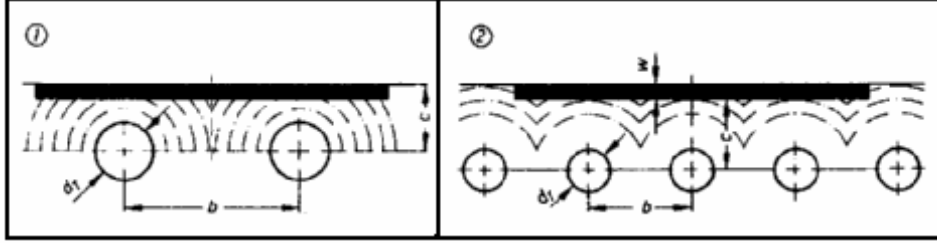
Enjeksiyon kalıplama metodunda plastik madde daha önce ısıtıldığından, kalıp içerisinde yeniden ısıtmaya gerek yoktur. Ancak, kalıplama süresince enjekte memesinden kalıp boşluğunun dolmasına kadar geçen zaman içerisinde meydana gelebilecek ısı kaybını önleyici sistem düşünülmelidir. Bu ve benzeri kalıplama 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 tapa 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-ringler de denir.[Megep,2002]



Şekil 4.22. Soğutucu sistem

Kalıpların soğutulmaları genellikle kalıbın ısıyla temasta olan bölgelerine açılan kanallardan su akımı geçirilerek sağlanır. Böylece kalıplanan malzemeden kalıba iletilen ısı devridaim eden su akımına transfer edilir. Ayrıca sıcak kalıbın kendi yüzeylerinden de ısıyla bir miktar ısı dışarıya transfer olur. Parçanın homojen sertleşmesini, şeklini korumasını sağlamak için kalıpların kontrollü olarak soğutulmaları önemlidir. Su kanallarının düzenlenmesinde önerilere dikkat etmelidir. [Erci,1972]

Şekil 4.23 'te sol şekilde görülen 1 nolu düzenlemede kanal aralıkları sağdaki şekle göre büyük tutulmuştur. Kanallar kalıp yüzeyine çok yakın yapılmıştır ve delik çapları büyük seçilmiştir. Bu tarz bir düzenlemede ısı iletimi uygun şekilde sağlanamaz. Uygulama 2 numara ile gösterilen sağ şekildeki gibi olmalıdır. Uygulanabilir ölçüler çizelge 4.1 'de verilmiştir.

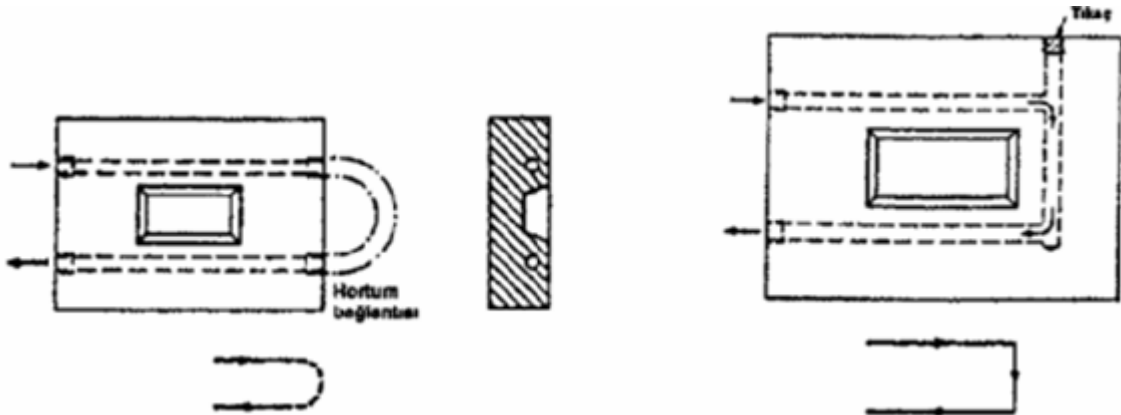


Şekil 4.23. Su kanallarının konumu

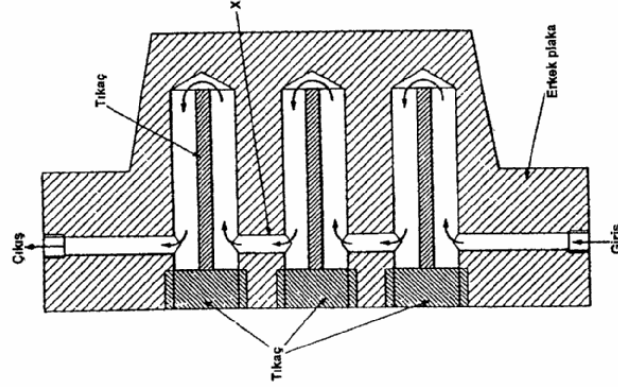
Kalınlık (w)	Kanal çapı (dT)
$\leq 2\text{ mm}$	8–10
$\leq 4\text{ mm}$	10–12
$\leq 6\text{ mm}$	12–15

Çizelge 4.1. Soğutma sisteminin ölçüleri

Şekil 4.23 e göre; c ölçüsü delik çapı (dT) ölçüsünün 2–3 katı olmalıdır. b ölçüsü delik çapı (dT) ölçüsünün en fazla 3 katı alınmalıdır. Su kanalları uçlarına hortum bağlama ekipmanı vidalanacağından buralarda genellikle 3/8, 1/4 ve 1/2 inç boru diş vidaları kullanılacaksa matkap çapları da bunlara uygun olarak 11, 14 ve 17,5 mm seçilebilir. Metrik ince vida için de, benzeri bir kademelendirme yapılabilir. Soğutma suyu kanallarının düzenlenmesi kalıp parçalarının durumuna, iş parçasının şekline ve üretim imkânlarına bağlıdır. Aşağıda konu ile ilgili çeşitli örnekler verilmiştir. [Megep,2003]



Şekil 4.24. Tek parçalı dışı kalıp soğutması



Şekil 4.25. Erkek kalıp soğutma sistemi, tıkaçlı düz kanal

Soğutma kanallarının kalıp yüzeyine olan mesafesi tasarımcı tarafından dikkat edilmesi gereken bir konudur. Su kanalları kalıp yüzeyine ne kadar yakın olursa soğutma o kadar etkili olur. Kanallar birbirine yakın olduğu oranda da etkili bir soğutma gerçekleşir ancak kalıp maliyetinde de büyük etkisi olur.

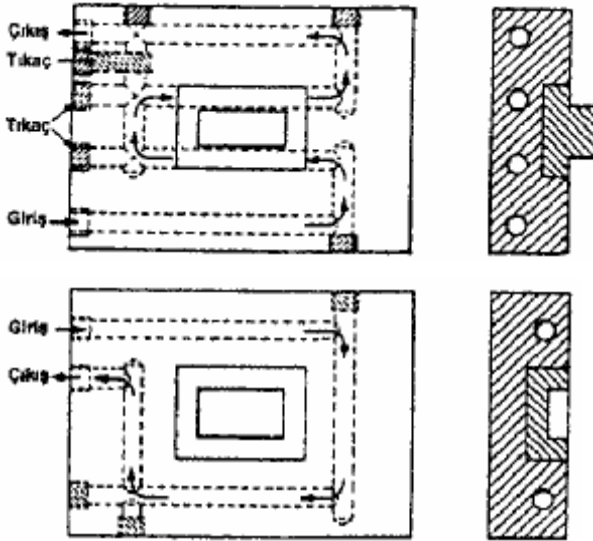
A: Su kanalının kalıp yüzeyine uzaklığı

B: İki su kanalı arasındaki mesafe ise

D: Su kanalı çapı

$B = 2,5 - 3,5D$

$A = 0,8 - 1,5B$ değerleri yaklaşık olarak ve tecrübeye bağlı olarak alınabilir.



Şekil 4.26. Kalıp soğutma devreleri

Kalıp içerisinde 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. Suyun akışı, soğutma suyunun kalıba giriş ve çıkışındaki basınç farkı, su kanallarının kesitleri, soğutma suyunun akmaya karşı gösterdiği direnç, kanalların sistematığına ve uzunluğuna ve Reynold sayısına göre değişkenlik gösterir. Reynold sayısı 3200 den küçük olduğunda soğutma kanallarında geçen su laminar akış görülmekte iken, 4000 den büyük olduğunda ise türbülanslı akıştan söz edilir. Bu iki durumda $Re < 3200$ ise akışkanın sadece kanala yakın bulunan molekülleri kanal çeperi ile ısı transferinde bulunacağından kalıp soğutma sistemi verimli olmaz. Ancak $Re > 4000$ ise akışkan türbülanslı akış özelliği göstererek molekülleri çeperlere daha çok çarparak ısı transferinin gerçekleşmesini kolaylaştırır. Bu nedenden dolayı $Re > 4000$ olan akışkan da daha iyi bir soğutma elde edilebilir ve soğutma sisteminde türbülanslı bir akış istenir. Büyük çaplı soğutma sistemi kanallarında akış türü laminar akışa yöneliktir. Bunun nedeni kesit çapının artmasından dolayı moleküllerin çeperlere daha az temas halinde bulunarak ısı transferinin azalması diyebiliriz. [Megep,2006]

Aşağıdaki çizelge 4.2 de soğutma süresine etki eden başlıca parametreler olan enjeksiyon sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı değerlerinin termoplastik malzemeler için kullanılan değerleri görülmektedir.

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	60-10
SAN	220-270	40-80

Çizelge 4.2. Çeşitli malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları [Engel,2005]

5. PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLAMADA ÜRÜN MODELLEME

5.1. Giriş

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 faydalanmaktadır.

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.

5.2. Plastik Ürün Modelleme İşleminde Dikkat Edilecek Hususlar ve Normlar

5.2.1. Giriş

Kalıp boşluğu kalıbın bir parçası olup, enjeksiyon ünitesinden gelen erimiş plastiği direk yolluğa alıp istenilen ürün hacmini kazandırmak amacıyla kalıp şeklinde soğutarak plastik parçanın oluşumu sağlanır.. Kalıp boşluğu tasarımıyla, belirli bir ürün modellenmesinde bazı faktörleri göz önüne almamız gerekir. Bu faktörler, kalıp boşluğunun mümkün olduğunca kolay doldurmasıdır. Basılan parçanın mümkün olduğunca iç gerilimsiz olması, plastik soğuması esnasında çeker ve plastik parça açılan kalıptan atılabilir olmasıdır. Kalıp tasarımcıları, bu faktörleri göz önüne alıp kalıp modellerken bu konuyla ilgili sınırlayıcı faktörleri ve ürün tasarımcıların sınırlayıcı faktörlerini ve zorluklarını bunlarla ilgili tavsiyeleri vermelidir. Bu faktörle beraber ürün

ve kalıp modellenmesi için ürün et kalınlığı, çekme, çıkma açısı değeri gibi bir çok özellik düşünülerek gerekli ürün ve kalıp çeliği modelleme işlemleri gerçekleştirilmelidir.

5.2.2. Çekme Miktarı

Bütün malzemeler soğuması esnasında çekerler. Plastiğin erime sıcaklığında kalıp sıcaklığına soğumasına kalıp çekmesi adı verilir. Plastikteki çekmenin ana nedeni plastiğin termal genişleme miktarına bağlıdır. Bu genişleme katsayısı ile ölçülür. Plastik malzemenin termal genişleme katsayısı metallerle karşılaştırıldığında yüksektir. Genel olarak 100 °C sıcaklık artışı veya azalışında malzemeye bağlı olarak 0.001 ve 0-02 mm genişleme veya çekme görülür. Kristalleşen termoplastikler, kristalleşme oranına göre ilave bir çekmeye maruz kalırlar, bu kristalleşme ve çekme oranı soğuma hızına bağlıdır. Örneğin, polietilen hızlı soğutulduğunda çok zor kristalleşir fakat yavaş soğutma ile %50'ye kadar kristalleşme sağlanabilir. İçindeki katkılar soğuma esnasında dahili basıncın kalmasını sağlar. Dahili basıncı üretmenin en uygun yolu erimiş plastiğin içinde gaz oluşturmaktadır. Bu da plastiğin içine köpükendirici katkı maddesi koyularak yapılır bu da proses esnasında gaz çıkarır (nötrojen). Ürün çok az hücreli yapıya sahiptir. Nitrojen gazına alternatif olarak enjeksiyon tekniği kalıp bölümlerinin ortasından gaz tüneli sağlayarak bu boşluğu sağlar. Bu ikinci tekniğin avantajı, birinci teknikle üretilen gazın yüzeye doğru kaçarak yüzey bozukluğu gibi hataların olmamasıdır. [Zöllner,2005]

	%
Dökme reçine	0.9-1.3
Katkı maddesi tahta tozundan fenoplast	0.6-0.8
Katkı maddesi kumaş liflerinden fenoplast	0.3-0.5
Katkı maddesi kağıt kırpıntısı olan fenoplast	0.3-0.6
Katkı maddesi aspest olan fenoplast	0.15-0.3

Reçineler ve selüloz	0.5-0.7
PVC	2-0.3

Çizelge 5.1. Bazı malzemelerin farklı çekme miktarları

Sertleşebilen plastiklerde çekme, sertlikle ters orantılı olarak değişir. Fenolik plastik maddelerindeki çekme payı miktarı 25 mm boyda 0.025-0.375 mm arasında değişir. Termoplastiklerdeki maddelerden polietilenin 25 mm boydaki en büyük çekme payı miktarı 1.25 mm, naylonda 1 mm'dir.

Sertleşebilen plastiklerde çekme, sertlikle ters orantılı olarak değişir. Fenolik plastik maddelerindeki çekme payı miktarı 25 mm boyda 0.025-0.375 mm arasında değişir. Termoplastiklerdeki maddelerden polietilenin 25 mm boydaki en büyük çekme payı miktarı 1.25 mm, naylonda 1 mm'dir.

5.2.3. Dahili Gerilim ve Eğilme

Kalın kısımlı parça üretildiği zaman sıcaklıklardaki ani değişim, farklı soğumalardan dolayı termal olarak oluşturulmuş dahili stres (gerilim) oluşturur. Eğer bu oluşan iç gerilim, belirlenen stres seviyesinden yüksekse parçada yamulma oluşur. Üretim esnasında oluşan termal iç gerilim, üretim esnasında veya üretimden sonra parçanın yavaş soğuması işlemiyle azaltılabilir. Dahili stres ayrıca akma yönünde oluşan molekül yönlenmesiyle bu yönde (akma yönünde) olur (izotropik olmayan yapı). İzotropik olmayan yapı iki sebepten ortaya çıkar. Molekül yönlenmesi ve fiber gibi katkı maddelerinin yönlenmesiyle oluşur. Molekül oryantasyonu (yönlenmesi), erimiş polimer akışında moleküllerin gelişigüzel şeklinde uzatılmış şekle zorlanarak gelmesiyle oluşur. Moleküllerdeki uzama oranı polimerin özelliğine ve uygulanan yüzeysel kuvvetlere bağlıdır. Yüzeysel kuvvetler kanal (yolluk) boyutuna bağlıdır. Yolluk boyutu küçüldükçe artar. Enjeksiyon baskıda genel akma oranı değerleri 1000-5000 s⁻¹'dir. Bu moleküllerin şekillerinin bozulma oranı (uzaması) dikkate değer miktardadır. Yolluk girişinden, kalıp boşluğuna giren uzatılmış moleküller eski, gelişigüzel hallerine dönme eğilimindedir ve

eğer bu oluşursa ürün izotropik yapıdadır. Pratikte bu durum aşağıdaki nedenlerden dolayı tam olarak oluşmaz. [Bayer Application Technology Information,2005]

- Soğuma esnasında polimer zincirinin hareket kabiliyetini kaybetmesi
- Kalıp boşluğuna devamlı plastik akışının olması sonuç olarak, genelde akma yönünde moleküller yönlendiği (uzadığı) şekilde soğur (donar).

Bu işlemdeki molekül oryantasyonu, film üretimindekinden azdır. Bu film üretiminde molekül yönlenmesi istenilerek verilmiştir. Oryantasyonun soğuması (molekülün yönlenererek soğuması) ürün içerisinde iç gerilim oluşturur, bu da ürünü zayıflatır ve düşük bir kuvvet uygulamasında ürünün kırılmasına sebep olur. Ufak bir çatlak, plastiğin akma yönünde kolay büyür. Bununla beraber akma yönünde sertlik artar. Ayrıca yönlenmiş molekül soğuması boyutsal dengesizliğe sebep olabilir. Isı uygulandığında donmuş moleküller eski haline gelirler. Bu da parçada eğilmeye ve bozulmaya sebep olur. Moleküllerdeki izotropik olmayan yapı geniş yolluk kullanılarak düşük akma oranı ve yavaş soğutmayla en aza indirilebilir. Parçada çok ince kısım olmaması sağlanmalıdır. Fiberler (genellikle cam) 0.3-05 mm uzunluğunda polimerle birlikte kuvvetlendirici takviye maddesi olarak kullanılır, polimer zincirleri ile aynı yönde yönleneceklerinden izotropik olmayan yapı oluştururlar. Mineral tozlar asbest oranı düşük olduğundan fiberler kadar, izotropik olmayan yapı oluşturulmazlar.

5.2.4. Parça Kalınlığı

Parça kalınlığında bazı faktörlerin hesaba katılması gerekir. Parçanın belli bölgelerin mekanik ihtiyacı belli parça kalınlığının kullanılmasını belirler. Parçada kalın kısım soğuma etkinliğinden dolayı engellenmelidir (soğutma süresi üretim oranını sınırlar) çökmeyi, parçada eğilmeyi engellemek için kalın kısmı olmamalıdır. Erimiş plastiğin kalıp boşluğunu doldurmayacağından dolayı ince kısımlarda olmamalı. Ekonomik faktörlerde parçanın kalınlığını belirleyen unsurdur. Örneğin, kullanılan malzeme miktarı. Eğer parça çok ince yapıldıysa mekanik kuvveti arttırmak için federlerle kuvvetlendirilmelidir. Malzeme akma karakteristikleri plastikten plastiğe değişir. Aşağıdaki çizelgede parça kalınlıkları için tipik değerleri gösterir. 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]

Genel olarak, kalın ve ince kısımlar arasındaki oran 3/1'den büyük olmamalıdır. Parça doldurma, parçanın kalın tarafından ince tarafına doğru olmalıdır. Kalın bölümler için akma uzunluğunda bazı sınırlamalar olur, çünkü plastik akarken soğumaya başlar. Soğurken akma direnci artar. Sonuç olarak soğuyup sertleşir ve parçanın tamamen dolmasına engel olabilir. Erimiş plastik akma uzunluğu parça kalınlığına, kullanılan plastik çeşidine (kolay akan-zor akan) bağlıdır, kalıplama şartlarına da bağlıdır.

Malzeme	Tavsiye Edilen Parça Kalınlığı
ABS	1,00-3,50
ASETAL	0,50-3,15
AKRİLİK	0,65-3,80
SELLÜLOZİK	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
POLİETİLEN ALÇAK YOĞUNLUK	0,50-6,35
POLİETİLEN YÜKSEK YOĞUNLUK	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
POLİSTREN	0,85-3,80
SAN	0,85-3,80
SERT PVC	1,00-3,80

Çizelge 5.2. Çeşitli malzemeler için tavsiye edilen parça kalınlığı

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 doldurulmamasıdır, Akış yolu uzun parçalarda et kalınlığının artması gerekebilir. Fakat iyi konumlandırılmış birden çok ürün besleme ağzı sayesinde bu gerek 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 yeknesaklıktır. 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 tedrici ve yumuşak bir şekilde yapılmalı, ya da ayrı ayrı parçalar halinde imal edilip montaj yapıştırma veya kaynakla birleştirilmelidir. [Plastik Parça Tasarımı Farel Plastik Eğitim Notları,2005]

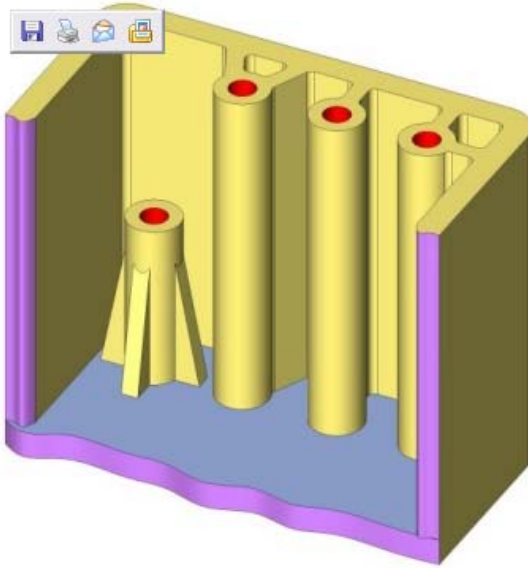
5.2.5. Parça Eğimi ve Eğim Açısı

Parça dizayn edilirken kalıp ayırım çizgisine dik olan bütün yüzeyler, parçanın kalıptan atılabilmesi için eğimlendirilmelidir. Bu eğim açısı: Kullanılan malzemenin, parça şekline, eğim açısına bağlıdır. En az eğim açısı 0.5^0 , 1.5^0 - 3^0 normal eğim açısıdır. Termoplastik soğurken kalıp erkek kısmına doğru çeker. Baskının parçanın itilmeden önce erkek kısmı üzerinde kalması için dahili ve harici yüzeyler için düzgün eğim açısı seçimi gereklidir.

Örnek olarak parça erkek lokma üzerinde kalması isteniyor ise eğim açısı kalıp boşluğunda dışiden az olmalıdır. Federler için eğim açısı en az 5 derece olmalıdır. Parça köşeleri yuvarlatılarak erimiş plastik mümkün olduğu kadar engelsiz uzun akması sağlanmalıdır. Keskin köşeler plastik akışını engeller dahili stres oluşturlar, özellikle fiber takviyeli plastikte çok görülür. Polimer köşenin iç kısmı üzerine çekme yapar. Köşelerde oluşan gerilim konstransyonu parçanın kullanım esnasında bozulmasına akmayla oluşturulmuş gerilim eğilmeyi artırır. Köşelerin iç kısmının radyüsü en az duvar kalınlığı $\frac{1}{2}$ kadar olması tavsiye edilir. Duvar kalınlığının $\frac{1}{4}$ 'ü de kabul edilebilir. Her durumda bu radyüs 0.5^0 'den az olmamalıdır. Köşenin dış radyüsü diğer faktörler aksini belirtmediği takdirde iç radyüs artı parça kalınlığıdır. . [Plastik Parça Tasarımı Farel Plastik Eğitim Notları,2005]

5.2.7. Bosslar

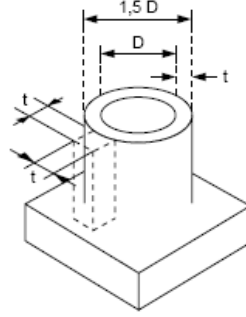
Parçanın içine takılmış pimleri desteklemek için kullanılır. Parça içine vidalama yapmak içinde kullanılır. Çökmeyi engellemek için keskin köşeli olmamalıdır. Kalınlıklar duvar kalınlığının $\frac{3}{4}$ 'ünden az olmamalıdır. Yuvarlak şekil dışındaki boslar mümkün olduğunca kullanılmamalıdır. Birinci sebebi, stres oluşmasına engel olmak ikinci sebebi, kalıp maliyetini azaltmaktır. Parçanın genel kuvveti üzerinde federin pozisyonu önemlidir. Parçanın köşelerinde veya duvar kenarlarında olur. Parça içine metal konulacaksa, farklı dizayn çeşitleri yapılabilir. Metal parçada keskin köşe olmamalıdır.



Şekil 5.2. Tek parça üzerinde çeşitli boss modelleri

Tavsiye edilen iç çap, vida adım aralığı olmalıdır. Bossun dış çapı, vida çapının 2.5 katı olması tavsiye edilir. Aynı zamanda buraya havalandırma takılmak suretiyle kalıp boşluğunun tam dolması halindeki yanma izlerine engel olunur. [Çınar,2006]

Boss dizaynlarında keskin ve kati sınırlamalar bulunmamakla beraber genellikle analizler sonucunda uygun boss dizaynı parçaya göre modellenir.



Şekil 5.3. Örnek boss modeli

5.2.8. Kaynak İzi

Akan iki plastiğin, ön kısmının birleştiği yerde oluşur. Bu oluşum parçanın zayıflamasına sebep olur. Kaynak izi, genellikle parça yüzeyinde iz bırakır. İki sebebi vardır. Birden fazla yollukla doldurma, plastiğin pimlerin çevresinden dolaşması. Büyük ve karmaşık kalıplarda çoklu yolluk kullanmak gerekir. Kaynak izi giderilemez, ancak etkisi en aza indirilebilir.

Gerek parçanın şeklinden, gerek ise de besleme sistemi yerleşiminden olsun plastik parçalarında kaynak izi oluşumundan kaçınılmaya çalışılsa da kimi zaman önlenemez. Örneğin plastik bir deliğin etrafından dolaşırken akış doğru düzenlenmemişse akan eriyik karşılaşır ve iz yapar. Tamamen kaybedilemediği hallerde etkisi en aza indirilmeye çalışılır. Renkli malzemelerden imal edilen plastik parçalarda mukavemete çok etki etmeyen kaynak izleri affedilebilirse de, şeffaf malzemelerde görüldüğü için giderilmesi gerekir. [UMG ABS Notes,2006]

5.2.9. Yüzeysel İşlemler

Plastik parçada aranan yüzeysel özellikler, kalıp yüzeyine yapılması gereken işlemleri belirler. Çok parlak yüzeyli ürün elde etmek için, kalıp yüksek kaliteli nikel krom çeliğinden veya çok parlatılabilir krom yüzeyli çeliklerden üretilmelidir. Bu çeşit kalıpların üretilmesi uzun süreli parlatma işleminden dolayı çok pahalıdır ve bunun yapılmasında da boyutsal dengeli olması da dikkat edilmesi gereken husustur. Bazı durumlarda kumlu yüzey aranan bir özellik olabilir. Bu belirli bir yüzey elde etmek için kullanılır veya baskıdan oluşan problemleri gizlemek için kumlu yüzey kullanılabilir. Örneğin, kaynak izi, cam fiberli plastikten yapılmış parçalardaki hatayı gizlemek için

kalıp yüzeyinin istenilen şekilde kumlamayarak üretimi maliyeti arttırır, fakat bu maliyet artışı basit kumlama şekli kullanılarak azaltılabilir. [Farel Plastik Eğitim Notları,2005]

5.2.10. Yuvarlatmalar (Radyüsler)

Plastik enjeksiyonunda akışın sağlanması için yüksek basınçlara çıkılmaktadır. Keskin köşeler akışı engelleyici bir etki yaparlar ve buralarda gerilim yoğunlaşması olur. Bu nedenle parçanın bu kesitlerinin darbeye karşı mukavemeti azalır. Ayrıca parçanın kalıptan kolaylıkla süzdürülmesini engeller. Hem akışın, hem de süzdürülmenin rahatlatılması yanında parçadaki gerilimlerin dağıtılması bakımından iç ve dış köşeler yuvarlatılmalıdır. (Radyüs verilmelidir). Dönüşlerde iç köşeye verilecek radyüs et kalınlığının 1/2'si kadar olması tavsiye edilir. Dış köşeye ise bu et kalınlığının 3/2'si oranında radyüs verilmesi uygun olabilir.. Dönüşlerde et kalınlığı korunursa çekme farkından doğacak çarpılmalar da önlenabilir.

5.2.11. Delikler (Hole)

Eğer maruz kalabileceği fazlaca bir yük söz konusu ise parçada oluşturulacak delikler bozlarla birlikte tasarlanırlar. Çapı 6 mm.'den az olan deliklere eşlik edecek bozun et kalınlığı, bu çapa eşit veya yükün durumuna göre daha fazla olarak seçilmelidir. Daha büyük çaplı delikler pratikte genellikle fazlaca yük taşımayacakları için bozların eşliğine ihtiyaç göstermezler. Üründe azami mukavemetin korunması ve enjeksiyonda yeknesak bir akışın sağlanması bakımından deliklerin bilinçli bir şekilde tasarlanmış olması gerekir. Büyükçe deliklerde bu mesafe çapın % 70'ine kadar düşürülebilir. Çapı 1,5 mm.'den küçük kör deliklerin derinliği çapları kadar olmalıdır. Büyük deliklerde derinlik/çap oranı büyüyebilir. Ancak derinliğin çapın dört misline çıktığı durumlarda kör delikten vazgeçip, deliğin duvarı tümüyle deldiği tasarım seçilmelidir. Büyük bir deliği meydana getiren pimin kalıp duvarına değer ucunda pah kırılarak, kalıplama esnasında basıncın etkisiyle pimin merkezlenmesinin bozulmasının engellenmesi lazımdır. Montajın kolaylaştırılması, elektrik akımının iletilmesi, parçanın dekorasyonu ve daha birçok nedenle plastik parçaya metal insertler eklenebilirler. Genellikle bakır, pirinç, çelik gibi metallerden yapılmakla beraber kalıplama esnasında veya daha parça sıcakken

içerisine bastırılarak ya da soğuduktan sonra, örneğin dişli bağlantılar kullanılarak, parçaya eklenebilir.

6. CAD PROGRAMINDA ÜRÜN MODELLEME VE ÖRNEK PARÇA HAZIRLANMASI

Ürün tasarımına başlarken öncelikli olarak parçanın boyutları için verilecek toleransın tespiti ele alınır. Zor ve birçok faktörü göz önünde bulundurulması gereken bu işlem sırasında dikkat edilmesi gereken noktalar şunlardır. Kalıp ve proses ile ilgili olarak kalıp tasarımı esnasında kalıpcılık tekniğinin getirdiği mantıksal işlemler (örneğin koniklik verilmesi gibi), kalıp için kullanılması planlanan metalin zaman içinde korozyona uğraması veya aşınması gibi faktörlere ilaveten enjeksiyon sırasındaki şartların çekmeye etkileri, kullanılacak malzemedeki değişiklikler, kalıplama sonrası ortam şartlarının parçaya etkisi, çekmeler gibi özelliklere dikkat edilmelidir. Ürünün kullanım yeri ile ilgili olarak üretilen parçanın kullanım esnasında aşınması, maruz kalacağı dış yüklerin büyüklük ve süresi (malzemenin sürünme halinde uzaması gibi),yüksek sıcaklık etkileri, temasta olabileceği kimyasal maddelerden etkilenmesi, nemden dolayı şişme gibi olumsuzluklar görülebilir. [MPA Solution for Mold Design,2003]

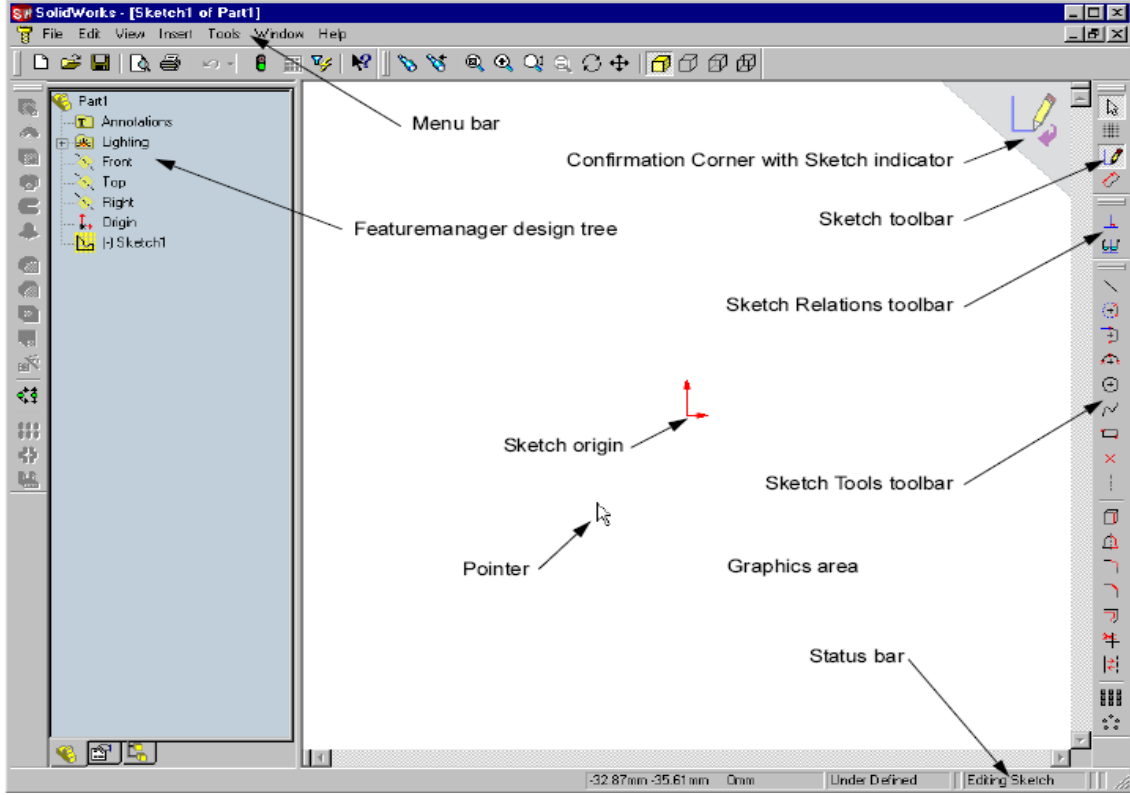
Örnek çalışmada kullanılan parçanın teknik resmi ve CAD programında tasarlanmış görünümü şekilde görülmektedir. Parça tasarımının CAD programında yapılmasının nedenlerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- a) CAD Programı ile ürünün üç boyutlu olarak incelenebilmesi
- b) Ürün modellenmesi esnasında revizyon kolaylığı, programın kullanılabilirliğinin rahat olması
- c) Analiz programlarına geçişi sağlayan formatları ihtiva ederek, parçada analizlerin yapılabilmesine olanak sağlaması denebilir.

CAD yazılımında üç adet döküman tipi vardır. “Part”, parça tasarımının yapıldığı; “Assembly”, parçaların montajının yapıldığı; “Drawing” ise parçanın veya montajın teknik resminin çıkartıldığı dökümandır. Taslaklar (Sketch) referans düzlemlerde veya düzlemsel yüzeylerde oluşturulur. Sayfa açıldığında hazır olarak üç tane referans düzlem

mevcuttur. İlk taslak genellikle bu düzlemlerden birinde seçilir. [SolidWorks Student Workbook,2003]

Örnek parçayı oluşturmak amacıyla CAD programının standart toolbar kısmında “New” kısmı tuşlanarak karşımıza çıkan “New SolidWorks Document” penceresinden Tutorial kısmı işaretlenerek “Part” ikonu seçilerek “OK” butonuna basılır ve yeni parça dökümanını oluşturmamızı sağlayan pencere görülür.



Şekil 6.1. CAD programında kullanılan toolbarlar

Örnek çalışmada tasarlanan parça için CAD programında kullanılan modelleme komutları şunlardır:

“Extrude, Extrude-thin, Cut-Extrude, Fillet, Draft, Mounting Boss, Shell, ”

a)Extrude: Bu komut taslakta çizilmiş olan profile derinlik kazandırır bir katı model oluşturur. Derinlik yönü istenilen şekilde belirtilebilir, istendiği takdirde her iki yönde derinlik kazandırılabilir.

b)Cut-Extrude: Bu komut kullanım şekli olarak “extrude” deki gibi olmasına karşın “sketch” te yani uygulanan taslağa derinlik verir ve daha önce oluşturulmuş bir yöntem ile oluşturulmuş olan bir nesneden boşaltma sağlar.

c)Extrude-Thin: Bu komut ile belirlenen taslak şekilde belirlenen değerde et kalınlığı verilerek ve doğrultusu belirlenerek katı oluşturulur. ”Extrude” komutunun içerisinde oluşturularak kullanılır.

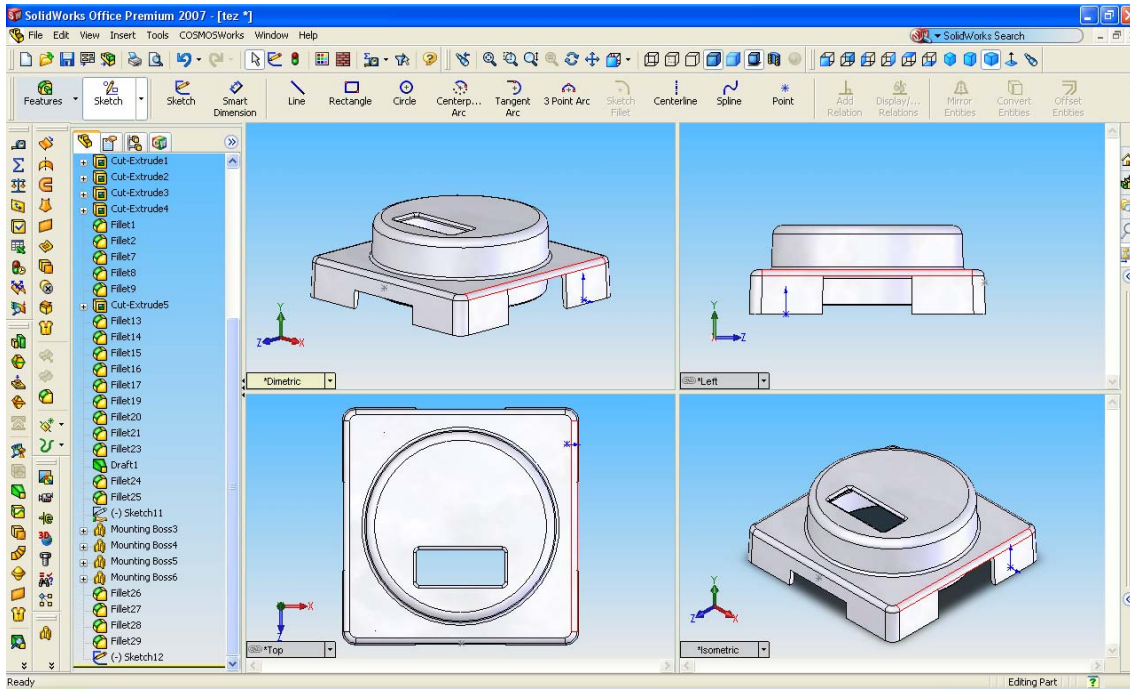
d)Fillet: Keskin köşelere istenen radyüsü vererek parçanın daha estetik görünmesini sağlar. Hammaddenin kalıp içerisinde daha rahat akmasını sağlar.

e)Draft: Modellenmiş nesnenin üzerinde seçilen yüzeyin sabit kalacak şekilde derinlik doğrultusunda, içeriye veya dışarıya doğru açı verilmesini sağlayan komuttur.

f)Mounting Boss: Plastik parçaya montajlama yapılmasını sağlayan kısımdır. Boss tasarımı çok farklı değişiklikler gösterir ve dikkat edilmesi gereken bir parçadır.

e)Shell: Et kalınlığı vermek için kullanılan komuttur. [SolidWorks Student Workbook,2004]

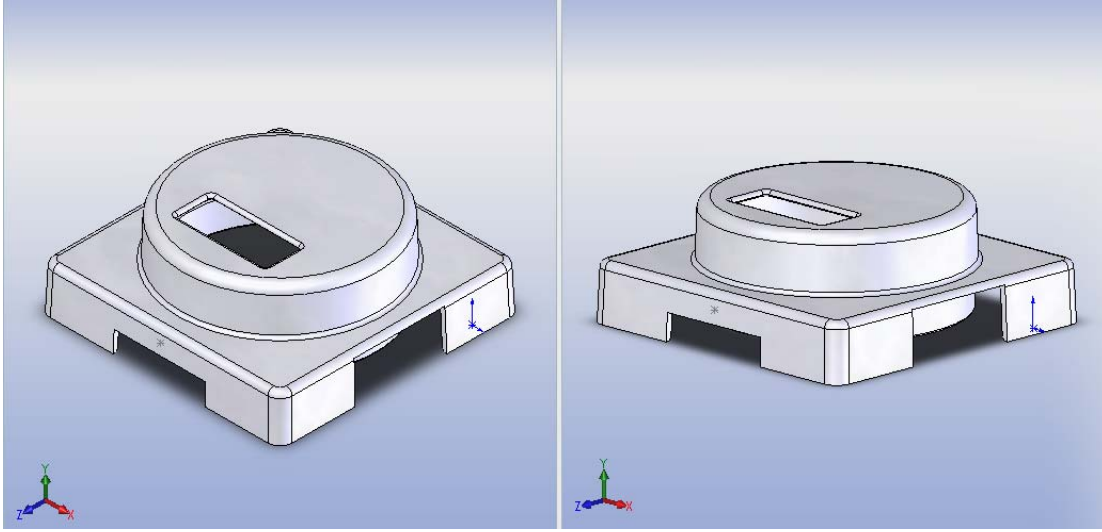
Bu komutlar yardımı ile kabaca modellenen parça şekil 6.2 'te görülmektedir.



Şekil 6.2. Modellenmiş ve kalıplanacak plastik ürün

6.1. Kalıplama Şartları ve Koşulları

Belirli kalite standartlarına uygun üretim yapabilmek için her plastik ürün kullanım yerine ve teknik özelliklerine bağlı olarak bazı koşul ve şartlara uygun olması istenir. Plastik ürünün belirlenen toleranslar dahilinde üretiminin yapılması gerekir ki kullanıldığı yer açısından hayati önem taşır.



Şekil 6.3. Kalıplanacak plastik parçanın CAD programında görünümü

Bu parça üzerinde değiştirilebilecek boyutsal değerler ve toleranslar şöyle kabul edilmiştir.

Bosslar; dizayn edilecek plastik parçada bulunan bossların sayısı ve bossları oluşturan taban dairenin merkezi sabit kalacak şekilde istenildiği biçimde değiştirilebilir.

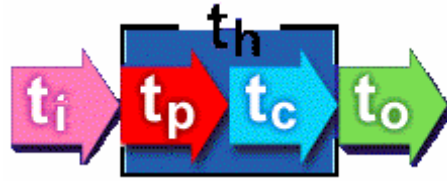
Extrude-Thin; plastik parçanın tasarımı esnasında extrude-thin komutu ile oluşturulan alt iç kısımda bulunan bölgenin uzunluğu 2 mm toleranslıdır. Yani max:12mm min:8mm değerinde olmalıdır.

Shell(Et kalınlığı); plastik parçanın dizaynında çok önemli bir yer tutan et kalınlığı bu parçada 1 - 3mm aralığında olmalıdır.

Parça üst kısmından 200N luk kuvveti karşılayabilecek dayanıklılığa sahip olmalı ve plastik birleşim bölgesi parçanın görüntüsünü olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde oluşturulmalıdır.

Etki eden kuvvete göre maksimum deplasman değeri 2mm yi geçmemelidir.

Tahmini çevrim zamanı, parçanın dolması ve parça kalınlığının %90'nının donması için gerekli zamandır. Plastik malzemenin donması için atım sıcaklığına soğuması gerekir. Plastik malzeme atım sıcaklığı, değeri kullanılan programların malzeme veri tabanında bulunan malzeme derecesi spesifik özelliğidir. Tahmini çevrim zamanı, enjeksiyon zamanı, %90 donma zamanı ve mengene açılma zamanını içerir. Mengene açılma zamanı kullanıcı tanımlıdır ve enjeksiyon makinelerinde ihmal edilebilecek kadar ufak değerlerdedir. [Moldflow Tutorials,2003]



t_i – enjeksiyon zamanı

t_p – dolum zamanı

t_c – soğuma zamanı (%90 parça kalınlığının donması)

t_h – tutma zamanı

t_o – mengene açılma zamanı

Şekil 6.4. Tahmini çevrim zamanı

Bu durumda örnek parça için çevrim süresi maksimum 30s değerini geçmemelidir. Bu değer üretim süresini etkileyen en önemli parametredir ve üretimin verimliliğini doğrudan etkiler.

Kalıp göz sayısı; bu şartlar altında kalıplanacak parçanın en az iki gözlü olacak şekilde kalıbının tasarlanması düşünülmüştür.

6.2. ABS ve PP ile Modelleme ve Analiz

Termoplastikten üretilmesi planlanan ürünün ilk parça tasarımı modellendikten sonra adım adım analiz edilerek geliştirilecek ve en iyi analiz sonuçları dizaynın her kademesinde yapılan değişikliklere göre belirlenecek ve değerlendirilecektir. Bu parçanın **ABS** ve **PP** termoplastik malzemelerinden üretilmesi istenmektedir. Ancak ilk etapta ABS termoplastiği üzerinden gerekli modellemeler yapılacaktır. Oluşturulan modellemeler analizler sonucunda prediksyon yapılarak güncellenecektir. Daha sonra PP malzemesinden aynı ürünün ilgili analizleri yapılarak bu iki malzemedan üretilen

ürünler arasındaki karşılaştırmalar yapılacak ve sonuçlar değerlendirilecektir. Sanal mühendislik yapılarak elde edilen veriler yorumlanacaktır.

6.2.1. ABS ile Kalıplanacak Ürün Modelinin Değerlendirilmesi

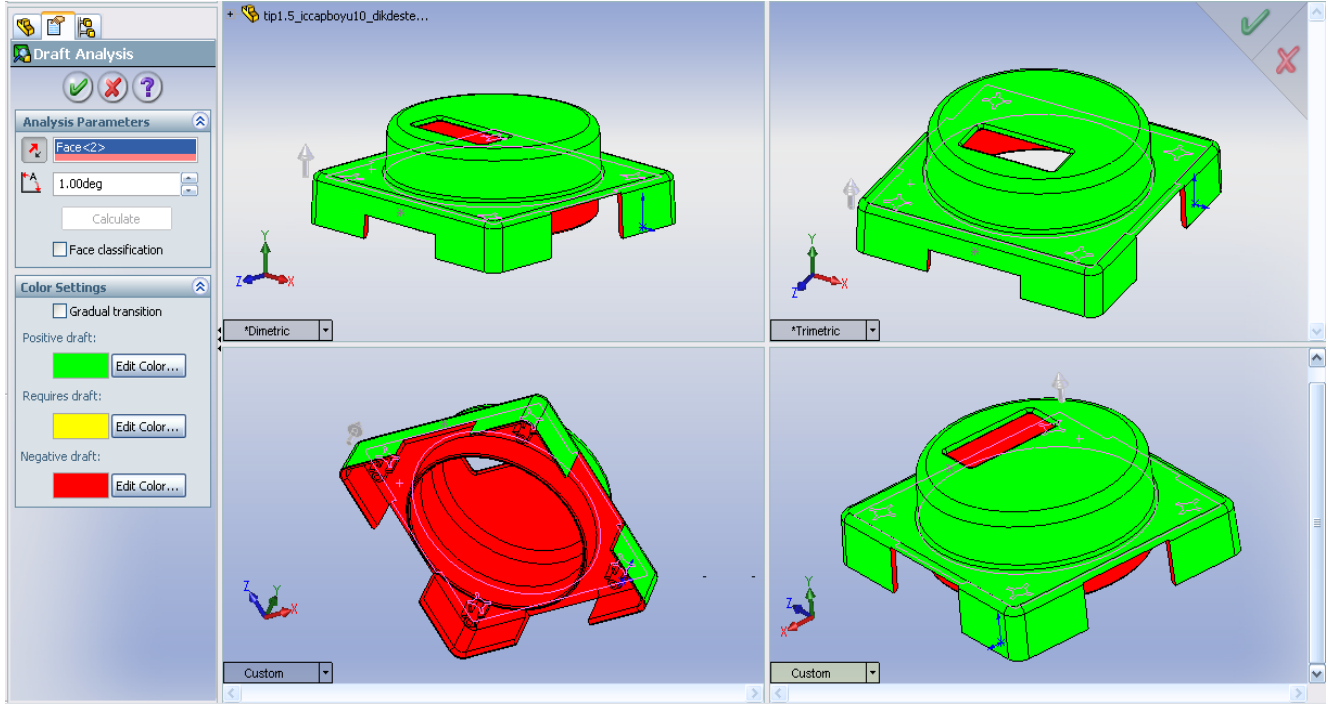
ABS termoplastiği visibilitesi yüksek, parlaklığı üst seviyede olan bir termoplastiktir. Kalıplanacak parçanın özellikle dış kısımları görsellik bakımından önemlidir, çünkü ürünün beğenilmesi konusunda önemli bir husustur. Malzeme olarak ABS seçildiğinde parça görüntü olarak ABS 'in rengini alır. CAD programında kullanılacak malzeme “Edit” menüsünden “Appearance” sekmesinden “Material” seçilerek kullanılacak hammadde olan ABS belirlenir ve parça rengi seçilen malzemenin rengini alır.

CAD programı ile modellemesi sanal ortamda yapılarak sonlandırılan ve kapak olarak tasarlanacak parçanın teknik çizim değerleri aşağıda şekilde gösterilmiştir. Modelde görülen değişkenlerin değerleri şu şekilde belirtilebilir; Boss dizayn değerleri ayrıntılı olarak teknik resimde görülmektedir. Extrude-thin komutuyla tasarlanan iç bölgenin uzunluğu 10mm olarak alınmıştır. Shell; yani et kalınlığı değeri ilk olarak 1,5 mm olarak alınmıştır. Bu koşullar altında parçanın ilk etapta verilen değerlere uygun dizaynı çıkma açısı analizine alınmalıdır. Bu değerler doğrultusunda güncellenerek çıkma açısı analizine ve CAE programında 200N kuvvete dayanıklılığı statik analizi yapıp tasarlanan birinci parçanın dayanıklılığı incelenmelidir.



Parçanın kalıptan rahatça ayrılıp iticiler yardımıyla da kalıptan dışarı atma işlemini gerçekleştirmek için tasarlanan parçanın çıkma açısı analizi yapılmalıdır. Aksi takdirde diğer yapılan her türlü analizler istenen şekilde olsa bile ürün üretilmeyecektir çünkü kalıptan çıkma problemi yaşayacaktır. Analizini yapacağımız ürünün çıkma açısı analizi sonuçları görülmektedir ve bu analiz sonuçlarına göre ürünün üretilmesi esnasında çıkma açısı konusunda herhangi bir problem ile karşılaşmayacaktır. CAE programı ile bu analizin yapılma şekli şu şekildedir; Dizaynı tamamlanan parça ekranda iken “Tools” seçeneğinden “Draft Analysis...” sekmesi işaretlenir ve ekranda aşağıdaki şekil görülerek çıkma açısı yönü ile düzlemi seçilerek açı değeri girilir. Gerekli açı değeri şekilde

görüldüğü gibi 1° dir. Ekranda görülen “Calculate” tuşuna basılarak hesaplamaların yapılması sağlanır.



Şekil 6.6. Çıkma açısı analiz sonuçları

Şekilde görüldüğü gibi kırmızı bölge parçanın kalıp üzerinde kalacağı yüzeyi, yeşil bölge ise parçanın hiçbir problem olmadan çıkabileceği yüzeyi göstermektedir. Sonuç olarak parçada herhangi bir çıkma problemi olmayacağı görülmektedir. Revize edilmesi durumunda ise bu değerın altındaki bir çıkma açısı sadece parçada problem çıkarır. Bu sonucun ardından CosmosWorks ile statik analiz işlemine geçilir.

6.2.1.2. CAE Programında Statik Analiz

CAE programı ile parçalara, montajlara ve sac metallere statik analiz, nonlinear analizler yapılabilir. Bunların yanında daha profesyonel kullanıcılar için frekans, bükme, termal, termal gerilme, yüzey optimizasyonu analizleri gibi bir çok analizi yapmamıza olanak sağlamaktadır.

Tasarım kısmında modellenmiş olan *.prt uzantılı CAD datası hiç bir uzantı değişikliği olmadan açılabilir. Bu işlemi gerçekleştirmenin bir kaç basit yöntemi vardır. CAE statik analiz programı açılıp dosya açılabilir veya CAD ortamında programdayken

“Tool” ardından “Add-Ins...” seçilerek istenen ek özellik olan “CosmosWorks” özelliği bu programdan çıkış yapılmadan kullanılmaya hazır hale getirilmiş olur ve CAD programında “CosmosWorks Manager” analiz ağacı ekranda görülür. “CosmosWorks Manager” ağaç yapısında bulunan adımların kısaca açıklaması şöyledir:

Seçenekler(Options) : Malzemele, yükler ve sonuçlar için yaygın olarak kullanılan birim tiplerini ayarlar.

Malzeme(Material): Parça için standart kütüphaneden bir malzeme seçilerek yada kullanıcı istediği malzeme datalarını girerek oluşturulur.

Engelleme(Restraint): Parçanın, analiz sırasında yerinde kalacak olan yüzleri seçilir. Bunlar bazen kısıtlama (constraint) olarak da adlandırılır.

Yük(Load): Gerilme uygulayacak ve parçayı deforme edecek olan kuvvetler ve basınçlar gibi dış yükleri belirlenir.

Analiz (Analyze): Analizi çalıştırın ve isteğe bağlı olarak kullanılan mesh’ in kalınlığı ayarlanır.

Sonuç(Results): Analizin sonuçlarını gösterir.[SolidWorks 2004 Parçalar ve Montajlar]

Ürün dizaynı CAD programı ile yapıldığından analiz ortamından CAD ortamına ve CAD ortamından analiz ortamına geçiş son derece basitlik sağlayarak tasarımcıya büyük hız ve avantaj kazandırır. Bu noktada ilk parça için gerçekleştirilmek istenen statik analize geçilebilir. Bu doğrultuda “CosmosWorks” seçeneğinden “study” imleci seçilerek bir çalışma ortamının oluşmasını sağlayan ağaç yapısı maneger kısmında görülür. “CosmosWorks Maneger” kısmında görünen “Study 1” içerisinde yer alan “Solid” seçeneğinde sağ tıklanarak “Apply Material to all...” seçeneği seçilerek ürünün hangi hammaddeden imal edileceği belirlenir. Seçilen hammaddenin teknik özellikleri istenildiği gibi değiştirilebilir. Aynı işlemi “CosmosWorks” imlecinden “Material” seçeneği tercih edilerekte yapılabilir. Bu kısımda tercih edilen hammadde ABS termoplastiğidir. Seçilen ABS termoplastiğin özellikleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

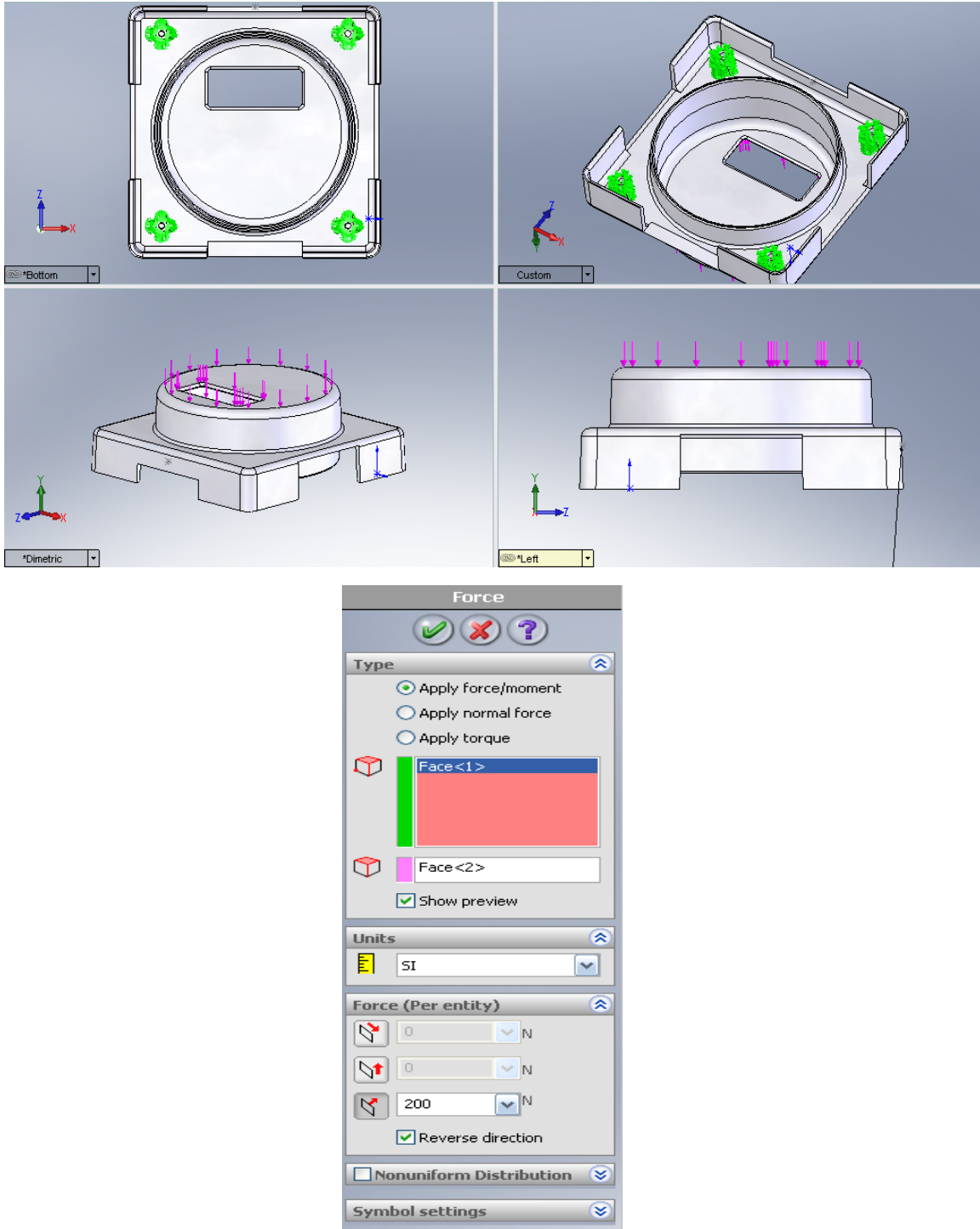
	Değer	Birim
Elastik Modül	2,00E+09	N/m ²
Poisson's Oranı	0.394	NA

Kayma Modülü	3,19E+11	N/m ²
Yoğunluk	1020	kg/m ³
Çekme Kuvveti	3,00E+07	N/m ²
Termal Kondaktivite	0.2256	W/(m.K)
Spesifik Isı	1386	J/(kg.K)

Çizelge 6.1. ABS termoplastiğinin özellikleri

Ağaç yapısının ikinci aşamasında “Load/Restraint” değerleri atanmalıdır. Bu komutun ilk değeri “Restraint” değeri ile atanmalıdır ki bu bölgeler parçanın alt kısmındaki 4 adet bossun bulunduğu bölgedir ve aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi bölgeler tayin edilir. Bu bölgenin amacı parçanın sabitleneceği kısımların belirlenerek analizin yapılmasını amaçlamaktır. Bosslara vida ile montaj yapılacağından bu bölgeler parçanın sabitleneceği kısım olarak seçilmektedir ve seçilen kısımlar şekilde görüldüğü gibi yeşil bir renk alır.

Ardından ikinci işlem olarak “Load” işlemi yapılacaktır. Bu işlemi başlatmak için “CosmosWorks Manager” dan “Load/Restraint” seçeneğine sağ tıklanarak gelen seçeneklerden “Force” seçilir. Oluşan menüden kuvvetin uygulama şekli ve uygulanacak kısmı belirtilir. Parça için bu bölge parçanın en üst yüzeyinde bulunan bölgedir. Ardından uygulanacak kuvvetin doğrultusuna uygun bir yüzey seçilerek kuvvetin değeri ve birimi girilerek onaylanarak sabitlenecek ve kuvvetin uygulanacağı yüzeyler belirtilmiş olur.

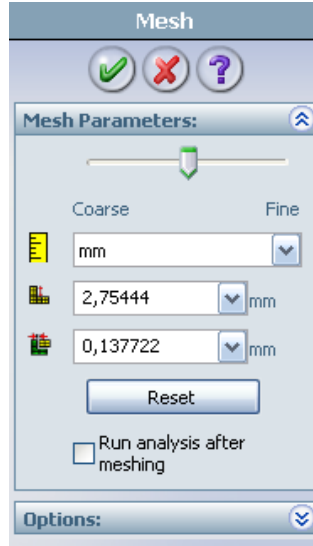


Şekil 6.7. CAE programı ile statik analiz görüntüsü

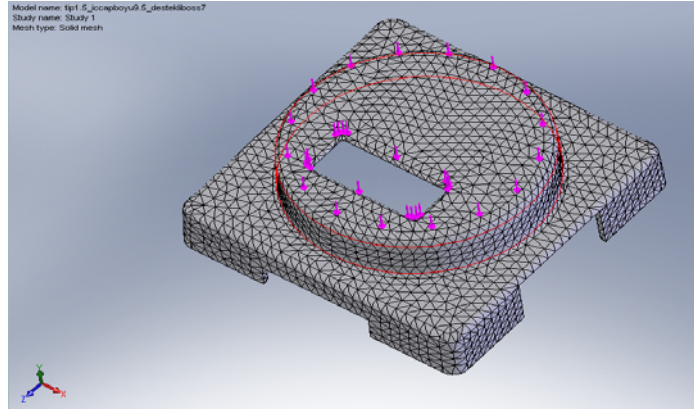
Bu aşamadan sonra yapılacak işlem ağ yapısı yani “Mesh” kısmını oluşturmak ve aktif hale getirmektir. Ağ yapısının oluşturulmasındaki amaç FEM denilen sonlu

elemanlar yöntemine uygun ve yöntemin doğrultusunda hesaplamalar yapmaktır.[Liu,2003]

“CosmosWorks Manager” ağacında görülen “Mesh” kısmına sağ tıklanarak “Create Mesh” seçeneği tercih edilir. Karşımıza gelen seçenekler aşağıdaki şekilde görülmektedir. Mesh yapısı ile parça belirlenen ufak parçacıklara ayrılarak herbir parçacığın ayrı olarak analizinin yapılması ve bu ayrı parçacıkların birleşerek bütün oluşturması sağlanarak parça analizi tamamlanmış olacaktır. Buna ilaveten bu seçenekte birim belirlendikten sonra global genişlik ve tolerans belirlenerek ağ yapısının oluşması tamamlanır. Örnek parçanın birinci dizaynı için alınan değerler aşağıdaki şekilde görülmektedir. İşlemin sonlanmasıyla parçanın aldığı görünüm aşağıdaki şekilde görülmektedir.

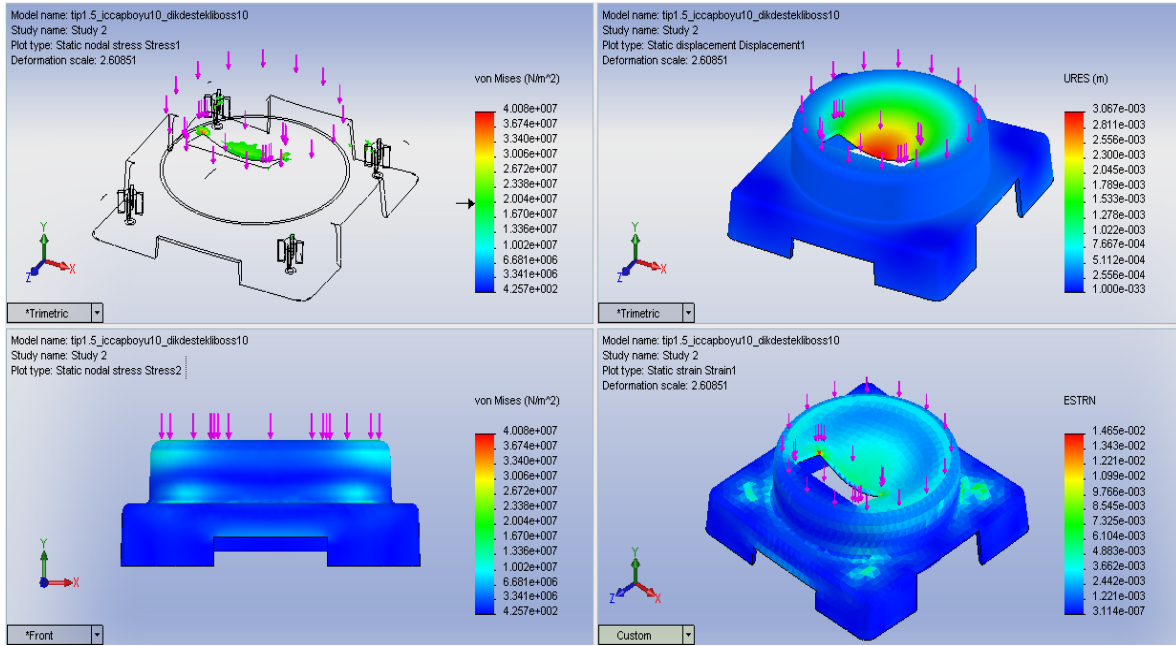


Şekil 6.8. Ağ yapısının CAD programında değerlendirilmesi



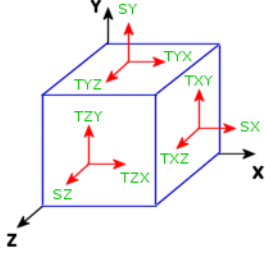
Şekil 6.9. Plastik parçanın CAE programında ağ yapısı

Analize hazırlanan parçanın son aşamasını gerçekleştirip analiz sonuçlarını almak amacıyla “CosmosWorks Manager” ağac yapısından “Study 1” çalışması üzerine sağ tıklanarak analiz hesapları sonlandırılır. İşlemin sonlanmasıyla ağaç yapısında görülen “Results” kısmında sonuçlar gözlenir ve bu sonuçlar istenildiği şekilde görülerek animasyon şeklinde de izlenebilecek şekle getirilebilir. İlk gelen sonuç Von-Mises yasasına göre alınan sonuçlardır ve bu alınan sonuçların parçaya göre yayılan sonuçları renk/değer parametresi şeklinde üç boyutlu olarak görülür. İsteğe bağlı olarak animasyon haline getirilerek gerek program içerisinde gerek program dışında görülebilecek şekilde kayıt edilerek herhangi bir CAD veya CAE programı kullanılmaksızın sonuçlar gözlemlenebilir.



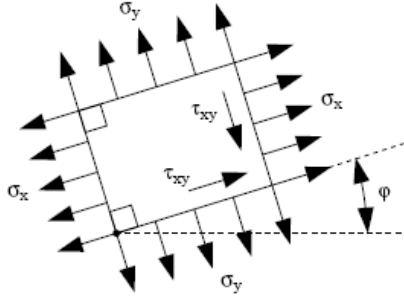
Şekil 6.10. CAE Programında statik analiz sonuçları

Von-Mises Yasasına göre aşağıdaki şekle göre formüle edilen σ_{vonMises} kriterinin formülasyonu;



Şekil 6.11. Eksen takımı

$$\sigma_{\text{vonMises}} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]/2\}^{(1/2)}$$



Şekil 6.12. Eksen takımına etki eden kuvvetler

Asal gerilmeler cinsinden üst şekile göre

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2) \right]^{1/2} = \sigma_{\text{vonMises}}$$

Program sonuçlarında görünen “Displacement1” bölümü φ simgesiyle gösterilir.

Sonuçlar URES adı altında renk/değer grafiği şeklinde gösterilir. Program tarafından ;

UX = Deplasman (X ekseninde)

UY = Deplasman (Y ekseninde)

UZ = Deplasman (Z ekseninde)

URES = Toplam Deplasman (Resultant displacement) olarak adlandırılır.

Sonuçlar kısmının en alt kısmında yeralan genleme (Strain, ϵ) değerleri görülür.

EPSX = X ekseninde normal genleme

EPSY = Y ekseninde normal genleme

EPSZ = Z ekseninde normal gerilme

GMXY = Kayma genlemesi (Y doğrultusunda YZ yüzeyinde)

GMXZ = Kayma genlemesi (Z doğrultusunda YZ yüzeyinde)

GMYZ = Kayma genlemesi (Z doğrultusunda XZ yüzeyinde)

ESTRN = Zıt genleme (Equivalent strain)

Karşı genleme olarak (Equivalent strain,ESTRN) program tarafından aşağıdaki formülasyona uygun şekilde hesaplamalar yapılır. [DuPont Notes,2006]

$$ESTRN=2 [(\epsilon_1+\epsilon_2)/3]^{(1/2)}$$

$$\epsilon_1 = 0.5 [(EPSX-\epsilon^*)^2 + (EPSY-\epsilon^*)^2 + (EPSZ-\epsilon^*)^2],$$

$$\epsilon_2 = 0.5 [(GMXY)^2 + (GMXZ)^2 + (GMYZ)^2] / 4,$$

$$\epsilon^* = (EPSX + EPSY + EPSZ) / 3$$

Yapılan işlemlerin sonuçlarının tamamının görüldüğü tablo aşağıda görülmektedir.

	Analiz Çeşidi	Min	Lokasyon(x,y,z)	Max	Lokasyon(x,y,z)
Gerilme	VON: von Mises Gerilme	425.694 N/m ² Node: 27357	(-66.9704 mm, 4.9939 mm, 60.0213 mm)	4.00849e+007 N/m ²	(-21.3021 mm, 29 mm, 35.7716 mm)
Deplasman	URES: Deplasman	0 m Node: 27	(-7.74661 mm, 3.5 mm, 57.5701 mm)	3,06691 mm	(-36.0092 mm, 29 mm, 35.4787 mm)
Genleme	ESTRN: Genleme	3,11E-02 Element: 11024	(-4.8123 mm, 3.87472 mm, -2.26797 mm)	0.0146491	(-64.2727 mm, 12.6665 mm, 1.43333 mm)

Çizelge 6.2. CAE programında statik analiz sonuçları

Sonuçlara bakıldığında maksimum deplasman değeri 2mm nin üzerindedir ve parça için emniyetsizdir. Bu durumda parça üzerinde et kalınlığı bakımından revizyona gidilmelidir.

6.2.1.3. CAE Programında Plastik Enjeksiyon Analizi

Plastik enjeksiyon kalıpcılığının, gerek seri üretim açısından avantajları nedeni ile gerekse plastiklerin kullanımının her geçen gün artması dolayısı ile sanayideki yeri her geçen gün artmaktadır. Bu durum bu işle ilgilenen herkesin kendini daha fazla geliştirmesine , en iyi tasarımı yapmak ve en iyi ürünü elde etmek için bütün imkanlardan en üst düzeyde faydalanmasına yol açmaktadır. CAE programları ise belirtilen

kolaylıklardan bir tanesi olup, plastik enjeksiyon kalıp tasarımcısının modelleme sırasında, ürün kalıpta basıldıktan sonra meydana gelebilecek hataları daha tasarım aşamasında belirleyebilmesi gibi çok büyük bir avantaja sahip olmasını sağlamaktadır. Ayrıca tasarım esnasında faydalı olabilecek analizlerde ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden bu CAE programlarının kullanılması üreticiye zamandan ve maliyetten büyük tasarruflar sağlayacağı gibi tüketicinin de hem kaliteli hem de ucuz ürün alması sağlamış olacaktır.

Parça tasarımı sırasında analiz programlarının kullanım imalatı aşamasına geçildiğinde çıkabilecek sorunların ortadan kalkmasını sağlar. Tespit edilebilecek bu hataların büyük bir çoğunluğu hacimsel kökenlidir ve parça tasarımında küçük değişiklikler yapılarak giderilebilir. [Kuldaşlı A.B. , 2006]

6.2.1.3.1. CAE Programı ile Plastik Enjeksiyon Giriş Noktasının Belirlenmesi

Parçanın modülüne girilerek diğer değişkenlerin hangi oranda değişeceği ve yorumlanacağı analiz programı ile sağlanacaktır. Yolluk giriş kısmı, enjeksiyon memesinin kalıba genişlediği kısımdır. Tek enjeksiyon yeri tek gözlü bir kalıpta, yolluk giriş kısmı kalıp gözü cidarı ile bitişir. Yolluk giriş kısmı açılışı mümkün olduğu kadar ufak olmalıdır fakat gözü yeterli şekilde doldurmalıdır. Yolluk giriş kısmındaki koniklik açısı kolayca enjekte edebilecek şekilde yeteri kadar büyük olmalı ancak soğuma zamanı ve kullanılan malzemenin, yolluk giriş kısmı çapının artmasıyla artacağından çok da büyük olmalıdır.[MPI Tutorials,2003]

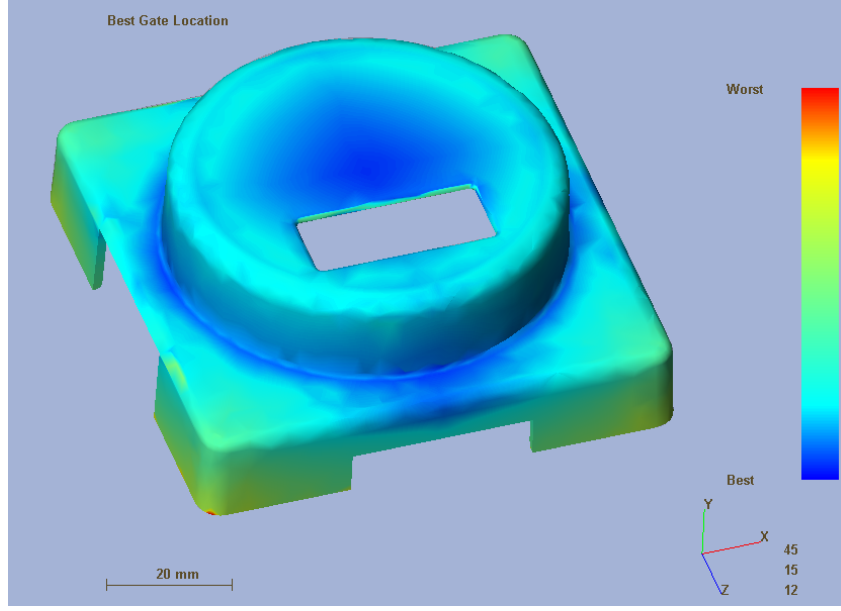
Giriş yeri seçimindeki hata işlem esnasında zorluklara yol açacağı gibi aynı zamanda da kalıplanan parçanın kalitesine doğrudan etki edecektir. Tüm diğer kalıplama işlemine ait hesaplamalardan öte bu seçim işlem sonucunu birincil derecede etkiler. Aksi şekilde birçok sorunun düzeltilmesi ve çözümü de giriş yeri ile ilgili parametreler ile oynayarak düzeltilebilir. Giriş yerinin belirlemesi ile etkilenen parametreler şunlardır;

- Dolum esnasında plastiğin davranışı
- Son parçanın ölçü ve tolerans değerleri
- Çökmeler ve kaynak izleri oluşumu
- Mekanik özellik seviyesi
- Yüzey kalitesi [Hasenauer vd.,2004]

Teknik datanın CAD ortamından “CAE” veya analiz ortamına yani CAE programına alınabilmesi için datanın *.STL uzantısı ile kaydedilerek analiz programında “*.STL” datası şeklinde açılması gerekir. Analiz programında da açılan bu datalar için önce kullanılan metarial yani hammadde atanır (ABS). Ardından “Analysis” menüsünden “set molding proses” seçeneği “thermoplastic injection molding” ve “set analysis sequance” seçeneğinde “best gate location” olarak atanır. “Mesh” yapısı belirlenerek ürünün ağ yapısı şeklinde görülmesi sağlanır ve ürünün istenilen detaylarda analiz edilmesi gerçekleşerek, tercihe bağlı olarak en hassas yada en detaylı mesh yapısı oluşturulur. Tek bir parça için uygun olabilecek en iyi giriş lokasyonu için analize başlanır. Bulunan sonuçlar şekil de görülmektedir. Program ürün üzerinde oluşan renk dalgalanmasına göre bize yorum yapma imkanı verir. Parçanın göbek bölgesinde ve et kalınlığı yüksek olan bölgelerde mavi renk daha fazladır ve bu bölgeler giriş için en uygun yerlerdir.

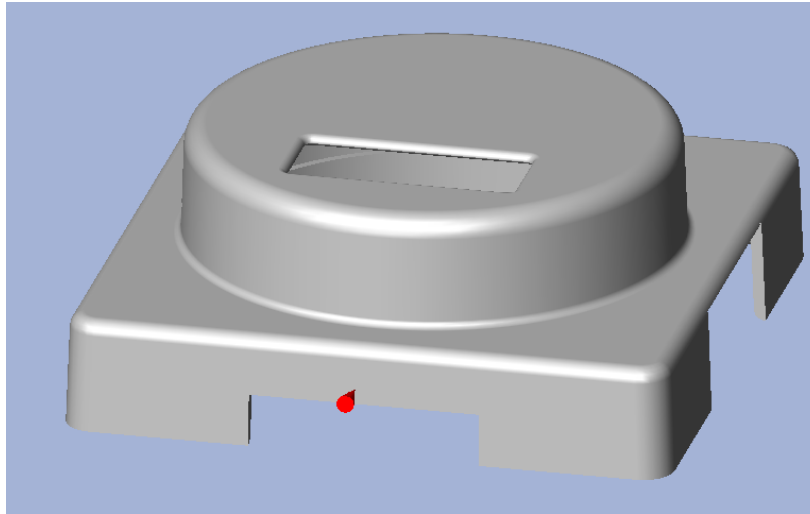
Polimer enjeksiyon yerini kararlı ve en uygun bölgeden vermek için aşağıdaki maddelerin parça üzerinde yapılması uygundur;

- Polimer enjeksiyon yerini parçanın en kalın yerine taşımak
- Polimer enjeksiyon yerini kararsızlığın olduğu yere daha büyük basınç uygulanan yere taşımak. Tüm enjeksiyon basıncının bu noktaya uygulanacak, kalın bosslar/kaburgalar son dolun noktası olarak bulunması kullanışlı olur.
- Kararsızlığın olduğu tüm cidar kalınlıklarını akış direncini azaltacak şekilde arttırmak.
- Daha fazla viskoz malzeme kullanmak gerekir.



Şekil 6.13. CAE programıyla en iyi giriş noktası analiz sonuçları

Örnek parçada giriş lokasyonu kalıbın iki gözlü olacağından dolayı göbekten veya üst yüzeylerden alınması mantıksal olarak doğru olamayacağından, en uygun giriş lokasyonu parçanın yan tarafında bulunan en uygun bölgeden verilmiştir. Aşağıdaki şekilde kalıbın iki gözlü olarak düşünüldüğünde ki tasarımcı tarafından belirlenen en uygun giriş lokasyonu görülmektedir.



Şekil 6.14. Giriş noktası

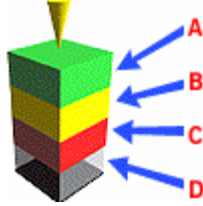
CAE programında analiz edilebilecek parametreler şunlardır.

- Dolum Güvenliği

- Dolum Zamanı
- Akışkan Cephesi Sıcaklığı
- Enjeksiyon Basıncı Sonucu
- Basınç Düşüşü
- Kalite Tahmini Sonucu
- Hava Kabarcıkları
- Soğuma Kalitesi Sonucu
- Donma Zamanı Değişimi
- Yüzey Sıcaklığı Değişimi
- Çökme İzleri
- Kaynak İzleri

6.2.1.3.2. CAE Programında Dolum Güvenliği Kontrolü Analizi

CAE analiz programı ile dolum güvenliği sonucu, plastikte dolan kalıp gözü boyunca ihtimal bölgeleri belirlenir. Bu sonuç basınç ve sıcaklık sonuçlarından çıkartılır. Aşağıdaki görülen renklendirmeye uygun olarak plastik ürün dolum güvenirlği açısından değerlendirilebilir.



Şekil 6.15. Dolum güvenliği sonucu anlamları

Tümü Yeşil: Parça kolayca kalıplanır ve parça kalitesi kabul edilebilir.

Biraz Sarı: Parçanın kalıplanması zor olabilir yada kalite kabul edilemeyebilir. Sarının görünme yüzdesi arttıkça, parçanın kalıplanmasındaki zorluk artar ve parça kalitesi azalır.

Biraz Sarı ve Kırmızı: Parçanın kalıplanması aşırı zor dur yada kalite kabul edilemeyebilir. Sarı ve kırmızı yüzdesi arttığında, parçanın kalıplanmasındaki zorluk artacaktır ve parça kalitesi düzecektir.

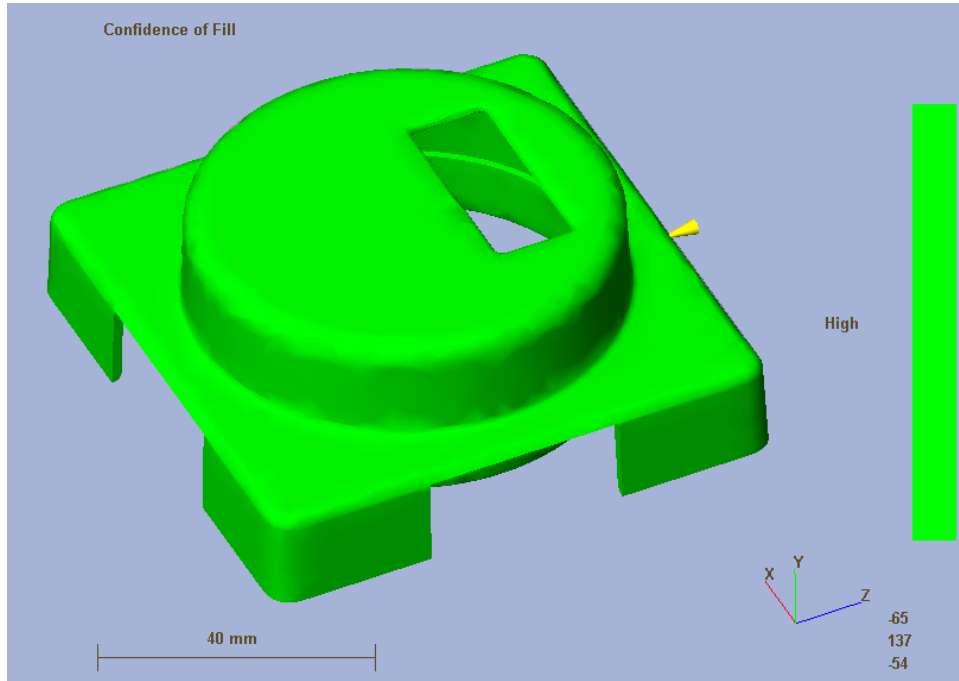
Hep Şeffaf: Parça kalıplanamaz çünkü eksik basım meydana gelecektir.

Dolum güvenliğini analizini başlatmak için “Analysis Wizard” düğmesine tıklayarak ”Plastic Filling” seçeneği seçilerek “Next” seçeneğine tıklanır. Ardından gelen pencere “Select Material” dir ve bu alanda kullanılacak malzeme seçilerek analize devam edilir. Ardından gelen “Processing Conditions” penceresinden “Material Properties” bölümünde;

Kalıp Sıcaklığı(Mold Temperature)= 60 °C

Hammadde Erime Sıcaklığı(Melt Temperature)= 235°C parametre değerleri girilir.

“Maximum injection pressure limit” bölümünde ise enjeksiyon makinesinin sahip olduğu maksimum enjeksiyon basınç değeri girilmelidir ki uygulama parçası için 180 MPa olan standart değer belirlenmiştir. Ayrıca “Machine injection time” bölümünde “Automatic injection time” seçeneği seçilerek enjeksiyon süresinin otomatik olması istenmiştir. “Machine clamp open time” bölümü ise enjeksiyon makinesinin mengene bölümünün açılma süresini içermektedir ve bu değer örnek parça için standart değer olan 3 s olarak alınmaktadır.”Processing Conditions” penceresinde bulunan parametre değerleri parçaya göre atandıktan sonra “Finish” düğmesine basılarak analiz hesaplarına programın başlaması sağlanır. Sonlanan işlemden parçanın aldığı görünüm ve sayısal sonuçlar aşağıdadır.



Şekil 6.16. Dolum güvenliği analizi sonucu

Aktif enjeksiyon süresi= 1,17 s

Aktif enjeksiyon basıncı = 32,22 MPa

Birleşim çizgisi = Evet

Tahmini çevrim süresi = 11.88 s

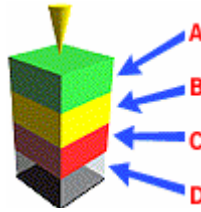
Kapama kuvveti = 8.32 ton

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi parçanın sadece dolum analizi olarak hiç bir problem bulunmamaktadır.

6.2.1.3.3. Soğuma Kalitesi Analizi ve Diğer Analizler

CAE programında diğer analizler için “Analysis Selection” seçeneği seçilip diğer seçenekler olan “Molding Window”, “Cooling Quality” ve “Sink Marks” analizleri de seçilerek bütün analizler dolum analizindeki ilerleyiş şekline uygun biçimde devam edilir ve sonlandırılır. Bütün bu işlemlerin sonuçları programın “Results Summary” bölümünde yazılı ve görsel olarak belirlenebilmektedir.

Soğuma Kalitesi Analiz sonuçlarına bakıldığında, soğuma kalitesi planı, trafik lambasına uyacak şekilde yeşil, sarı, kırmızı bölgeler gösterir. Soğuma kalitesi analizi için, tasarım olanakları yüksek (yeşil) soğuma miktarı, orta (sarı) soğuma miktarı yada düşük (kırmızı) soğuma miktarı olan bölgeleri gösterir. Soğuma kalitesi sonucu, yüzey sıcaklık değişimi ve donma zamanı değişiminin bir bileşimidir. Bu sonuçlar aşağıdaki renklendirmeye göre değerlendirilerek yorumlanabilir.



A:yüksek kaliteye sahip

B:kalite sorunları olabilir.

C:tamamen kalite sorunları var

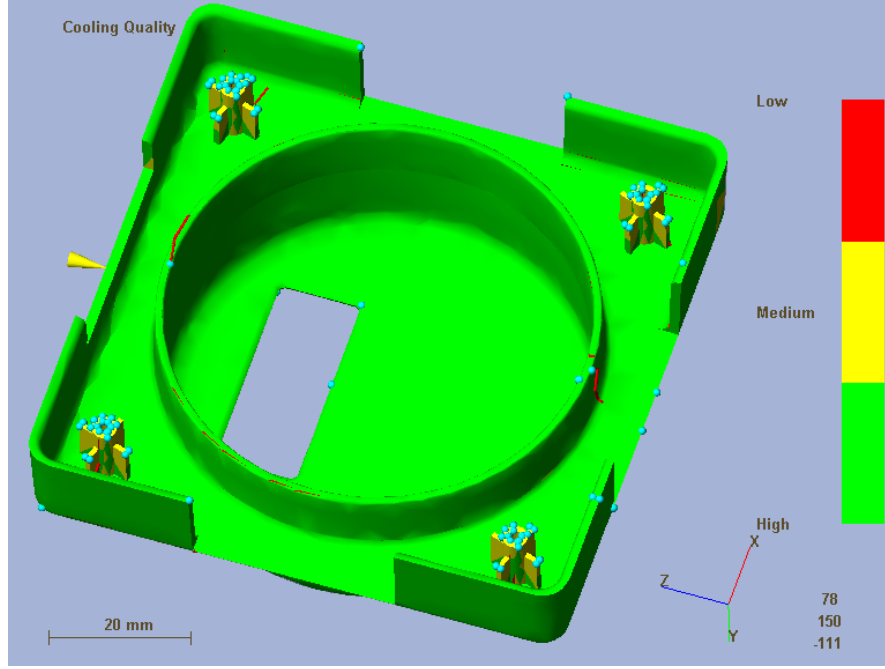
D:dolmaz (eksik basım)

Şekil 6.17. Kalite tahmini sonucu

6.2.1.3.4. CAE Programı ile Plastik Enjeksiyon Analizlerinin Sonuçları

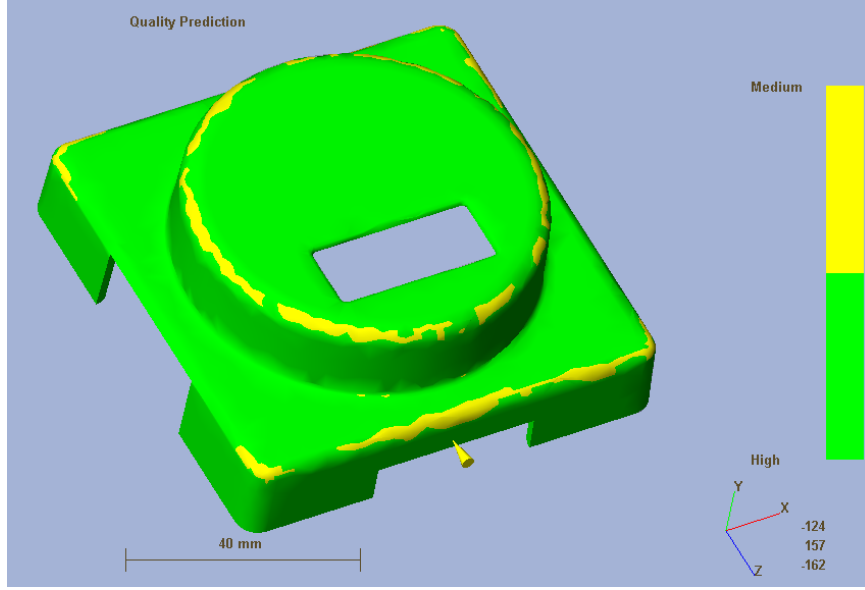
CAE programı sonuçlarına göre parçayı yorumlamak gerekirse soğuma kalitesi sonuçlarına bakıldığında aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi boss bölgelerinde soğumadan

kaynaklanacak problem olabileceği açıkça görülmektedir. Mavi noktacıklar hava baloncuklarını temsil etmektedir ve federler üzerinde yoğunlaşmıştır. Özellikle bossların kulakçık olarak tabir edilen bölgeleri revizyona ihtiyacının daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 6.18. Soğuma kalitesi analiz sonuçları

Bu koşullarda yukarıdaki şekilde de görüleceği gibi parçanın alt kısmında ürünün montajlanması amacıyla kullanılan bossların revize edilmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Bossların revize edilmesi şu şekilde planlanmıştır. Bossların kalınlığı et kalınlığına bağlı olarak revize edilmeli ve bossların yanında bulunan kulakçıkların eğimli yada dik olarak tasarlanıp tasarlanmayacağı konusu analiz edilerek optimum dizayn parça için bulunmalıdır. Ürün et kalınlığı 2mm olarak analizler yapılmalı ve radyüs verilen bölgeler aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi tahmini ürün kalitesi değerlerine göre revize edilmeli ve ardından tekrar analizi yapılarak CAE programında sonuçlar değerlendirilmelidir.



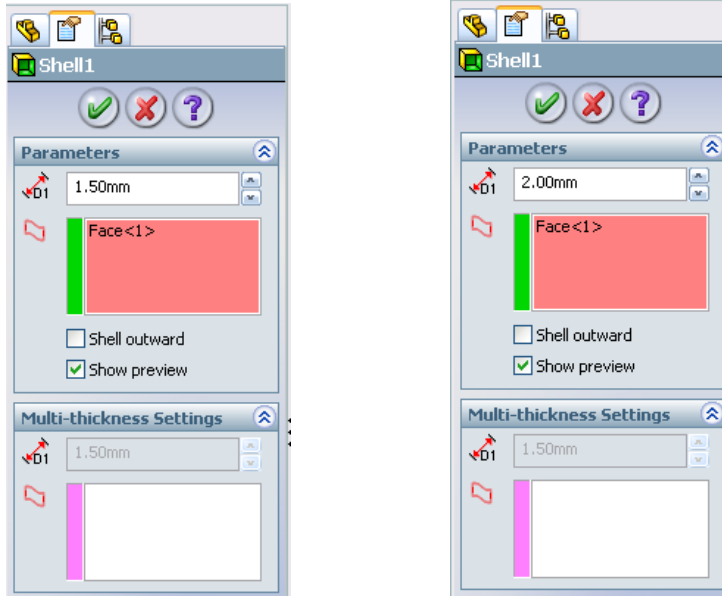
Şekil 6.19. Tahmini ürün kalitesi sonuçları

6.2.2. Parçanın CAD Programında Revize Edilmesi

Tahmini kalite değerlerindeki uygunsuz bölgelerde bulunan radyüs değerleri CAD ortamına dönülerek değiştirilmelidir. Radyüs değişimi analiz sonucu görülen sarı renkteki bölgeler üzerinde yapılmalıdır. Bu bölgelerde radyüs değerleri uygun verilmediği için ürün üzerinde plastiğin akması esnasında parça et kalınlığının üniformluğunu sağlanamadığından kalitesizlik meydana gelmektedir. Bu noktada sarı bölgelerde yapılacak olan CAD revizyonu için CAD program ortamına geri dönülerek revizyon işlemi gerçekleştirilmelidir.

İlk revize edilecek değer olarak parça et kalınlığı 1,5mm den 2mm ye çıkarılarak CAE statik analizinde 200N yükü karşılayıp karşılamayacağı tespit edilmeli ardından parça üzerindeki revizyonların uygulanmasına geçilmelidir.

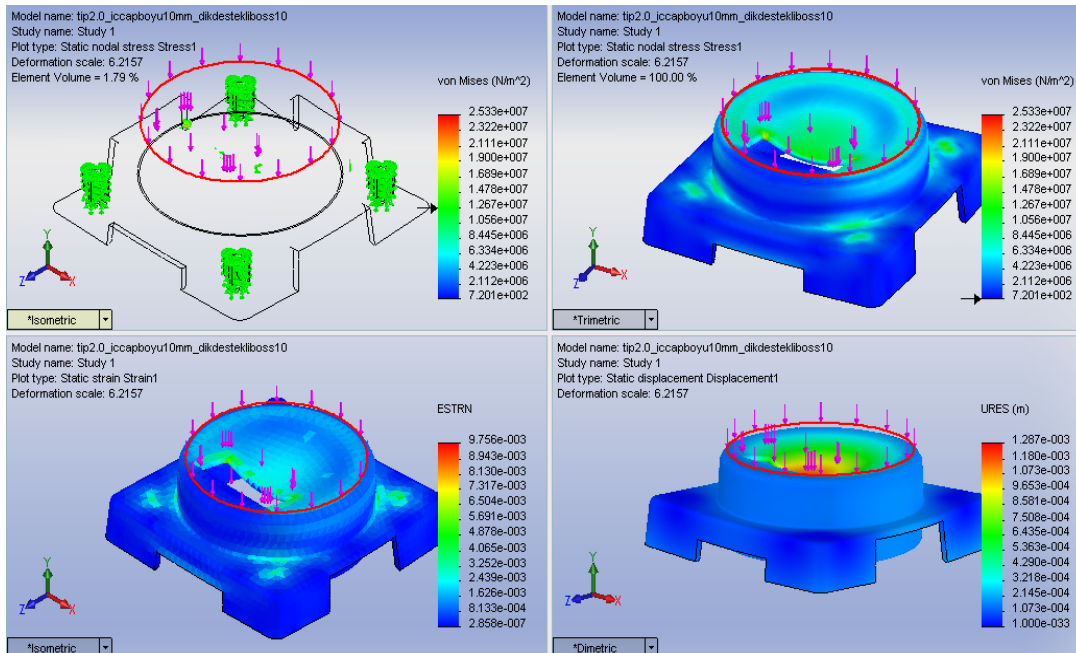
CAE statik analiz programı ile analize başlamadan önce CAD programında et kalınlığını belirleyen komut olan “Shell” e sağ tıklanarak “Edit Feature” seçeneği revize edilmek üzere seçilir. Ardından et kalınlığı değeri olan 1,5mm; 2mm değerine yükseltilerek parça kayıt edilir. Aşağıda CAD ortamında yani CAD programında yapılan revizyon işlemi eski ve yeni değerler ve değişiklikler olarak görülmektedir.



Şekil 6.20. CAD Programında et kalınlığı revizyonu

6.2.2.1. Revize Edilen Parçanın CAE Programı İle Statik Analizi

CAE analiz programı ile statik analize ortamına taşınan plastik parça ve analiz kriterleri daha önce belirtildiği gibi “Restraint” ve “Load” değerleri atanır ve ağ yapısı oluşturulduktan sonra “Run” komutuyla analiz sonlandırılır. Analiz sonuçları aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir.[SolidWorks for Designers Mold Design,2003]



Şekil 6.21. Revize edilen parçanın statik analiz sonuçları

Revize edilen parçanın CAE statik analiz programı analiz sonuçları aşağıda görüldüğü gibidir. Deplasman değerleri parça üretim koşullarında belirtilen değerler içerisinde. Deplasman değeri sonuçlara bakıldığında maksimum deplasman değeri olarak belirlenen 2mm 'nin altındadır ve parça için uygun şartlar içerisinde. Bu durumda parça üzerinde et kalınlığı bakımından revizyona gidilmesine gerek yoktur ve bu değer et kalınlığı olarak uygundur.

	Çeşit	Min	Lokasyon(x,y,z)	Max	Lokasyon(x,y,z)
Gerilme	VON: von Mises stress	720.07 N/m ²	(-4.98431 mm, 4.4982 mm, 59.9971 mm)	2.53348e+007 N/m ²	(-10.1205 mm, 11.8333 mm, -0.400277 mm)
Deplasman	URES: Resultant displacement	0 m	(-66.9613 mm, 3 mm, 57.5701 mm)	1.28709 mm	(-36.0092 mm, 29 mm, 35.4787 mm)
Genleme	ESTRN: Equivalent strain	2,86E-02	(-5.301 mm, 4.09889 mm, 59.9366 mm)	0.0097565	(-64.268 mm, 12.1382 mm, 1.40132 mm)

Çizelge 6.3. Revize edilen parçanın statik analiz sonuçları

6.2.2.2. Revize Edilen Parçanın CAE Programı İle Dolum Güvenliği Analizi

Uygun bulunan et kalınlığı değerleri ile geliştirilen yeni parça CAE ortamına alınarak giriş noktası ilk yapılan analizde olduğu gibi yapılır ve sonuçlandırılır. Yapılan analiz sonuçları aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir. Aşağıdaki şekilde görülen kırmızı bölgeler parça soğumasından kaynaklanacak problemleri göstermektedir ve revize edilmesi gerekmektedir. Bu bölgede yapılacak değişiklik CAD ortamında yapılacaktır ki bu revizyon ihtiyacı ilk dizayna göre daha fazla artmış olduğu açıkça şekilden görülmektedir. Et kalınlığının artmasıyla güncellenen sayısal verilerde şunlardır;

Aktif enjeksiyon süresi= 1,26 s

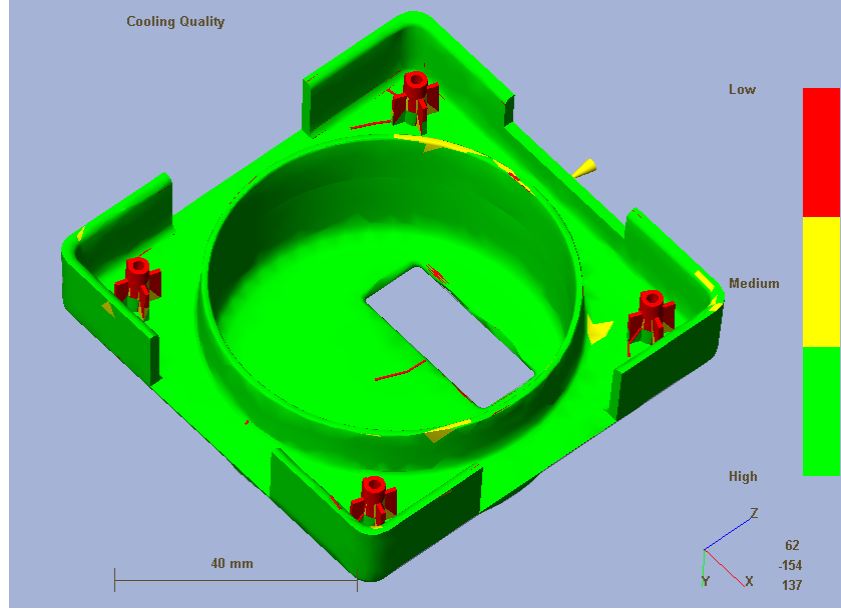
Aktif enjeksiyon basıncı = 21,90 MPa

Birleşim çizgisi = Evet

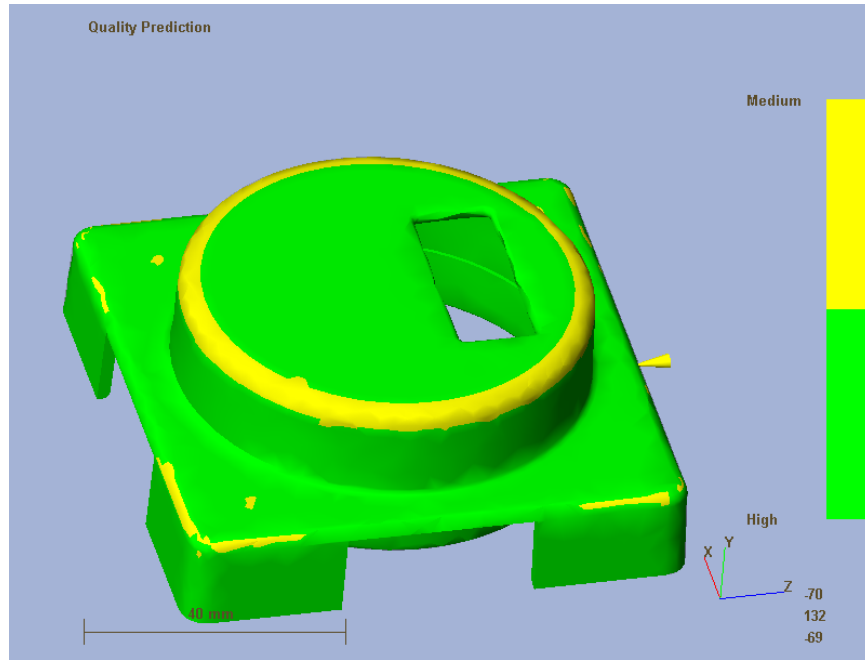
Tahmini çevrim süresi = 7,99 s

Kapama kuvveti = 5,78 ton

Bulunan sayısal verilere dayanılarak, enjeksiyon basıncı et kalınlığı arttığında dolayı düşmüştür, enjeksiyon basıncı düştüğü için daha düşük kapama kuvvetine ihtiyaç vardır. Ayrıca doldurulan hacim artmasına rağmen ve eriyik halde bulunan plastik akışkan daha rahat hareket edeceğinden dolayı çevrim süresi değeri de düşmüştür.



Şekil 6.22. Revize edilen parçanın CAE programında soğuma kalitesi sonuçları

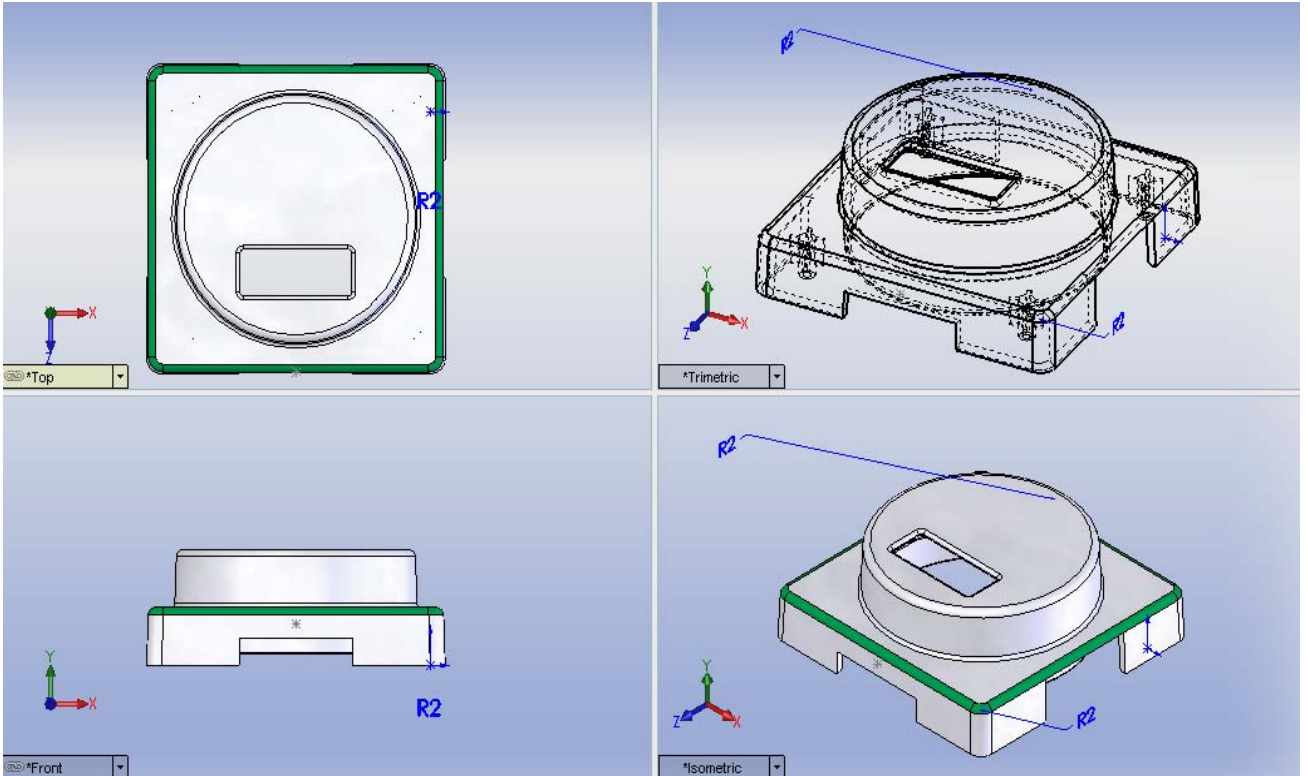


Şekil 6.23. Revize edilen parçanın CAE programında tahmini ürün kalitesi analizi sonuçları

6.2.3. Plastik Parçanın Radyüs Bölgesinin Revize Edilmesi

Parça üzerinde kalitesizlik oluşturan sarı bölgelerin radyüs değerleri düşürülmelidir. Bu değerler şu şekilde revize edilerek güncellenmelidir; parçanın üst kısmında 3mm radyüse sahip bölge 2mm ye çekilmeli ve parçanın iç ve dış kısımlarında bulunan radyüsler 2mm den 1,5mm ye indirilerek gerekli radyüs değişikliği parçaya üniform kazandırılmayı amaçlayarak yapılmalı ve analiz sonuçları değerlendirilmelidir. Bu doğrultuda parça tekrar revize edilmelidir. Verilen radyüs değerlerinin her birinden kaynaklanan değişiklikler CAE programı ile yapılan plastik enjeksiyon sonuçlarına yansır.

Radyüs revizyonuna başlamak amacıyla CAD programında kullanılan dataya geri dönülerek gerekli değişiklikler ilgili komut olan “Fillet” ile gerçekleştirildikten sonra radyüs revizyonuna uğramış parça CAE analiz ortamına tekrar taşınır. Aşağıdaki şekilde gerekli revizyonun yapıldığı bölgeler ve yeni atanan değerler görülmektedir. Parçanın üst, ön, trimetrik ve isometrik görünümüyle revize edilen radyüsler belirtilmiştir.



Şekil 6.24. Plastik parçada revize edilen radyüs bölgeleri

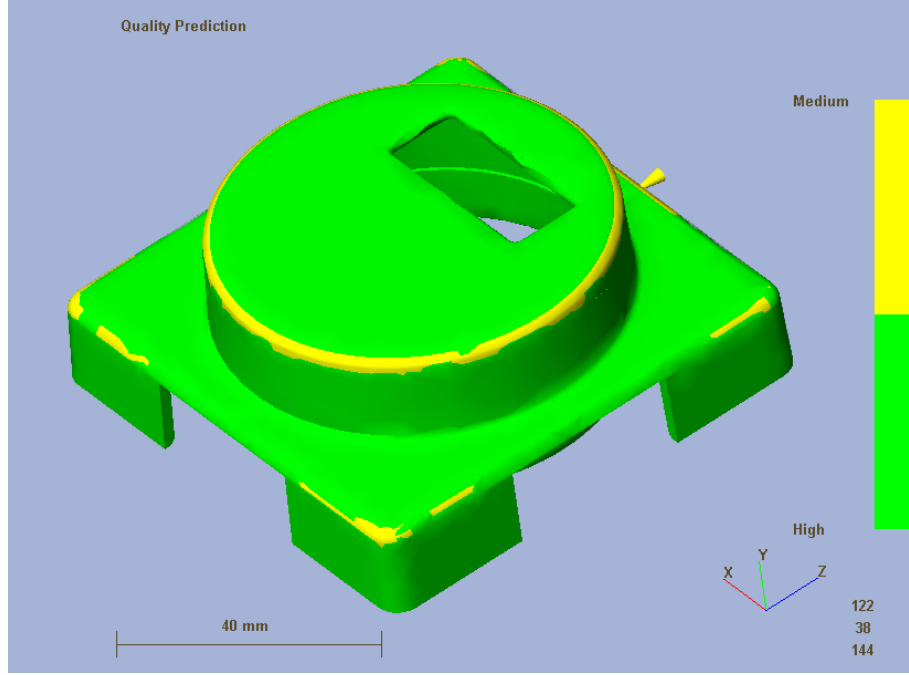
Aktif enjeksiyon süresi= 1,26 s

Aktif enjeksiyon basıncı = 21,25 MPa

Birleşim çizgisi = Evet

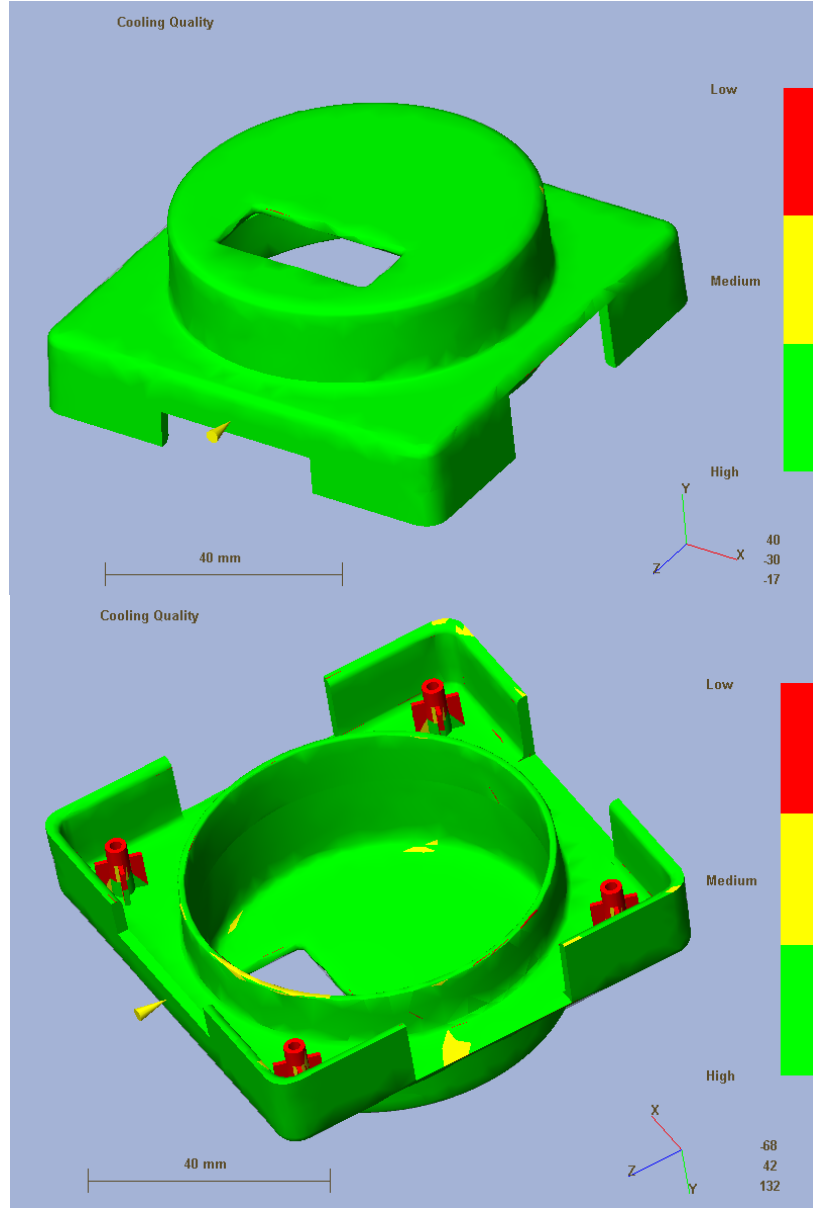
Tahmini çevrim süresi = 7,82 s

Kapama kuvveti = 5,63 ton



Şekil 6.25. Radyüs değişikliğinden sonraki tahmini ürün kalitesi analiz sonuçları

Aşağıda analiz sonuçlarında görüleceği üzere ürünün boss bölgesinde CAD programı ile değişiklik yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde ürünün boss bölgelerinde soğumadan kaynaklanan ciddi kalite problemleri gözlenir.

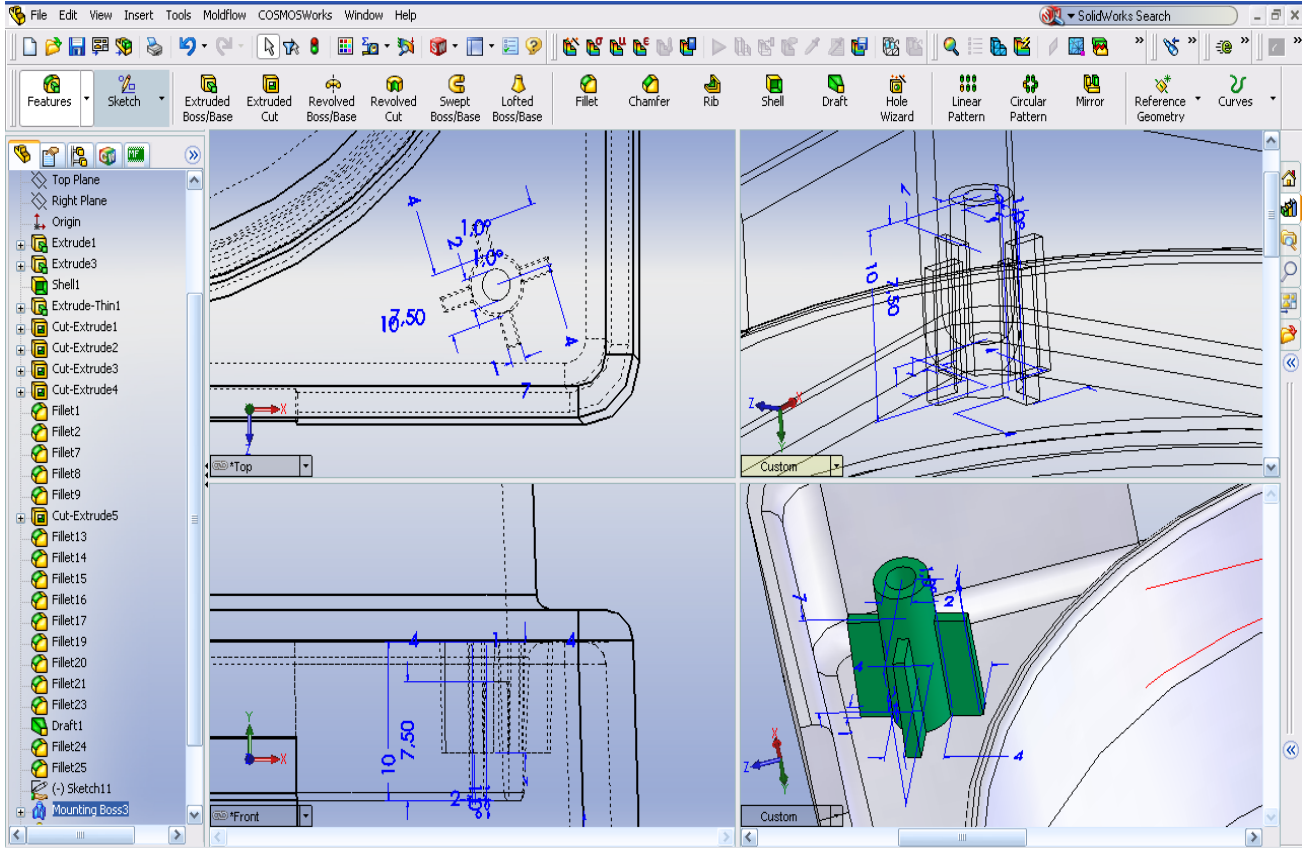


Şekil 6.26. Radyüs değişikliğinden sonraki soğuma kalitesi analiz sonuçları

6.2.4. Plastik Parçanın Boss Bölgesinin Revizyonu

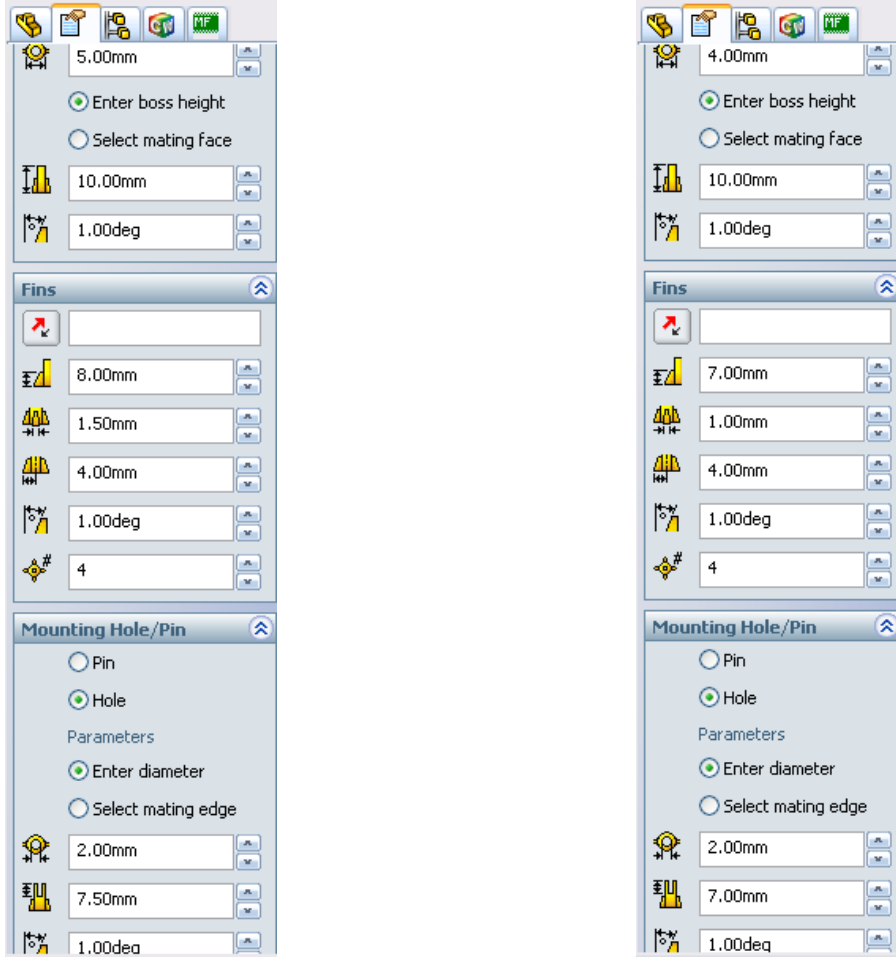
Bulunan görsel sonuçlara göre oluşturulabilecek optimum parça tasarımı için üründe boss kısmının geliştirilmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Yukarıda görünen ürünün boss bölgesinin soğuma kalitesi sonuçlarına göre bosslarda çok kötü bir soğuma kalitesizliği analiz edilmektedir. Bunu gidermek için dizayn değişikliği yapılmalı ve öncelikle bossların da et kalınlığı arttırılmalı; aynı zamanda dik olan kulakçık kısımlarına

çıkma açısı yani eğim verilerek değeri de et kalınlığını ve bossun kalınlığını aşmayacak şekilde revize edilerek güncellenmelidir.



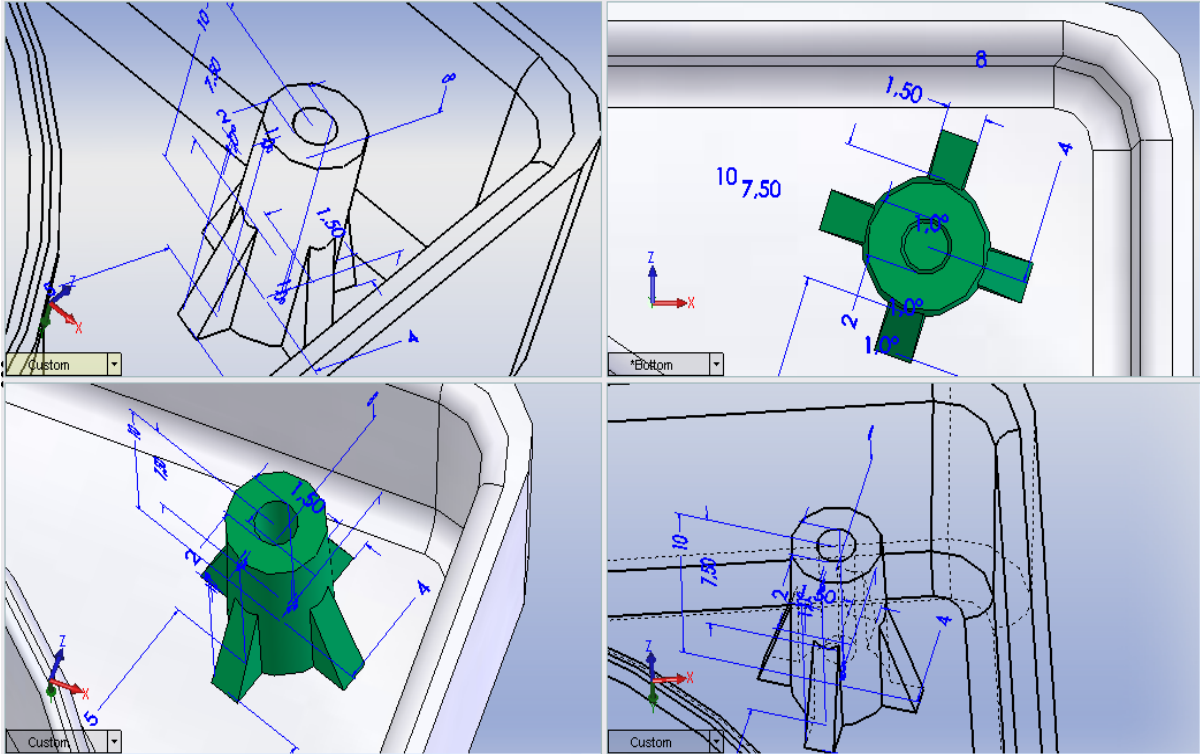
Şekil 6.27. CAD programında parçanın boss değeri

Plastik parçanın revize edilecek boss bölgesi için verilen yeni değerler aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 6.28. Güncellenen ve eski boss değerleri

Değişen bu değerlerin yanında soğuma kalitesini arttırmak amacıyla bossların kulakçık (fins) kısımlarına 18^0 çıkma açısı verilerek tasarlanan yeni bossun dizaynı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 6.29. Revize edilen boss değerlerinin CAD programındaki yeni görünümü

6.2.5. Plastik Parçanın Son Modelinin CAE Programı İle Analizi

Bossları da revize edilen bu plastik parçanın CAE analiz programı ile analiz edilmesi gereklidir. Yapılan analiz sonuçlarına göre parçanın doğru revize edilip edilmediği veya kabul edilebilir sınırlar içerisinde bulunduğu tespit edilebilir. Parçayı CAE analiz ortamına almak amacıyla parça, *.stl dosyasına CAD programı tarafından çevrilerek analiz programı tarafından açılır. Bir diğer seçenek ise CAD programında ekstra özelliklerden ve program lisansının uygunluğuna göre “Tools” seçeneğinden “Adds-Ins...” sekmesi tıklanarak “MoldFlow” özelliği aktive edilir ve analiz ortamına girmek için artık bu sekme kullanılabilir. CAD programında dosyasında açık olan parça bu sayede hemen analiz ortamına alınabilir.

Analiz ortamına alınan parçaya giriş lokasyon noktası atanarak ve programın analize başlaması için gerekli değerler girilerek yapılması istenen analizler seçilir. Bütün analizler seçilerek start verilir. Bulunan sonuçlara göre;

Aktif enjeksiyon süresi= 1,27 s

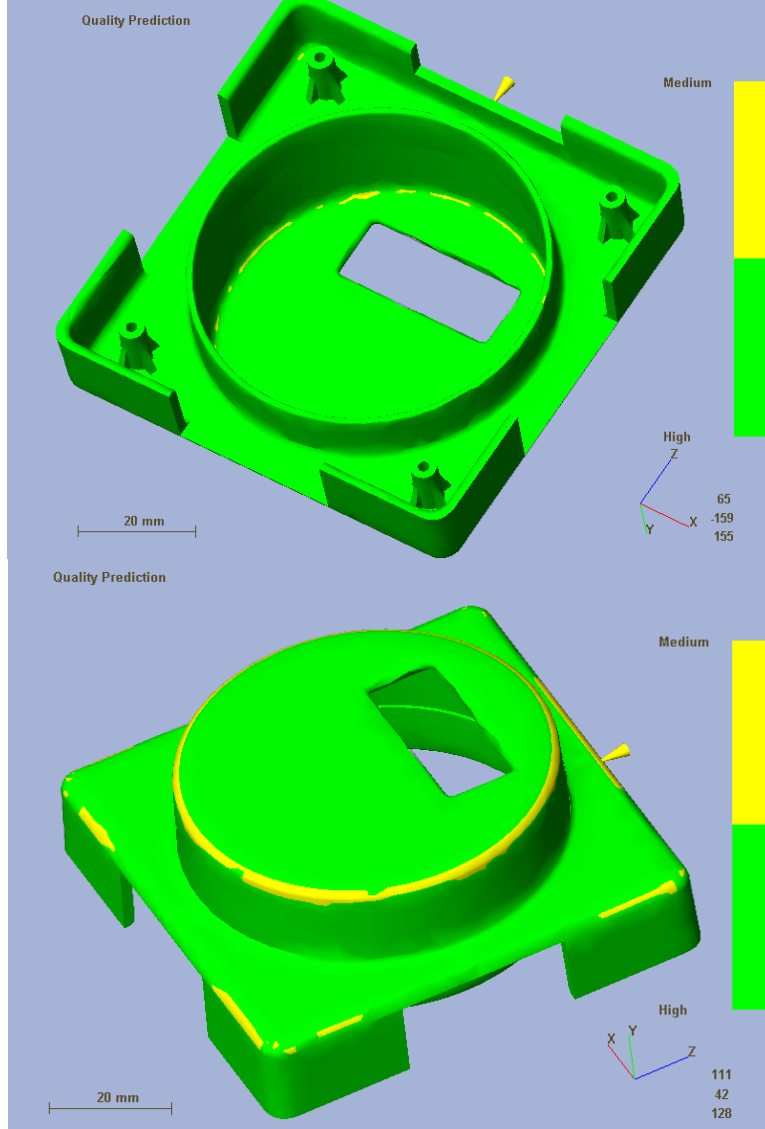
Aktif enjeksiyon basıncı = 21,20 MPa

Birleşim çizgisi = Evet

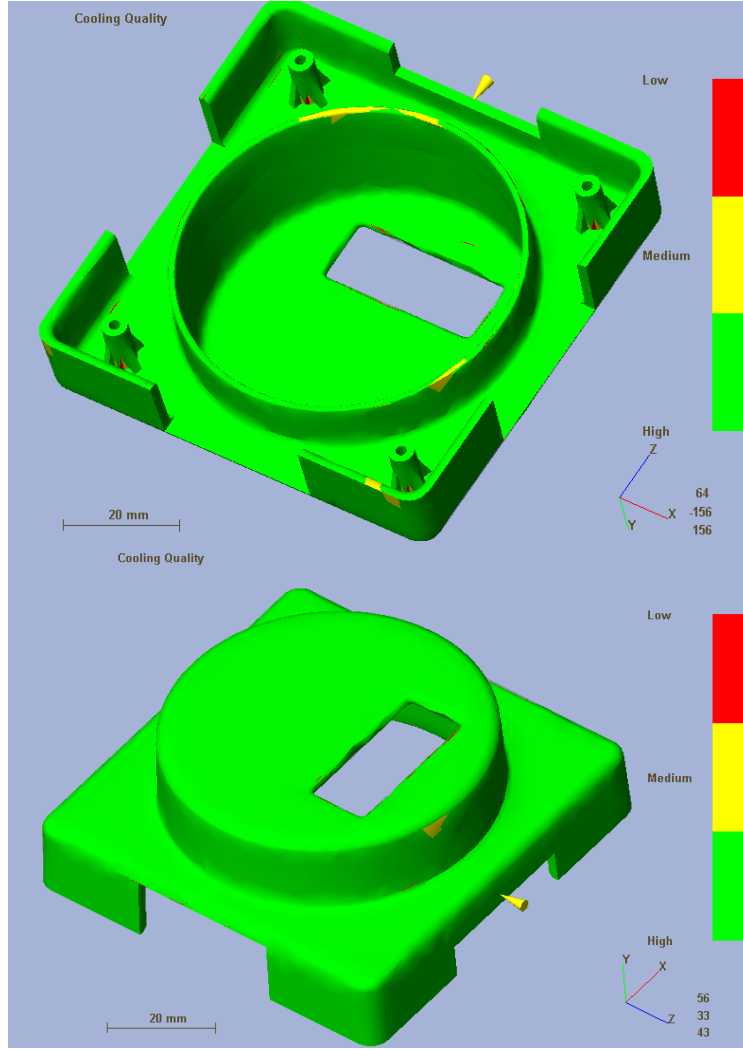
Tahmini çevrim süresi = 10.35 s

Kapama kuvveti = 5,57 ton

Ayrıca tahmini ürün kalitesi ve soğuma kalitesi analiz sonuçları boss değişiminden sonra aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir.



Şekil 6.30. Boss bölgesi revize edilmiş parçanın tahmini ürün kalitesi sonuçları



Şekil 6.31. Boss bölgesi revize edilmiş parçanın soğuma kalitesi analizi sonuçları

Eğer soğuma kalitesi, yüzey sıcaklık değişimi yada soğuma zamanı değişimi etkili olarak ortalamadan daha düşük olmasına bağlı olarak parçanın ince kesitlerde çok düşükse kararsızlık yada eksik basın meydana gelebilir ve sonuç kırmızı alan olarak gösterir. Daha kalın cidarlar yada daha yüksek eriyik sıcaklığına gerek duyulabilir. Eğer kaynak çizgilerinin olduğu yerde çok düşükse, kaynak çizgileri daha kötü görünür. Soğuma kalitesinin çok düşük olduğu bölgelerde, yüzey sıcaklık değişimi yada donma zamanı değişimi etkili olarak, normalden daha yüksek olması durumunda, eğer etkili soğuma kalıp tasarımında yer almıyorsa malzeme bozulması ve yüzey kusurları meydana gelebilir. Akışkan cephesi sıcaklığının her zaman, kullandığınız polimer için tavsiye edilebilen sıcaklık aralığında olmasına dikkat edilmelidir. ABS malzemesinden üretilen

parça için plastik enjeksiyon analiz sonuçlarının en iyi optimize edildiği durum ve model artık belirlenmiştir. Yukarıdaki çizelge değerlerine uygun bir biçimde enjeksiyon yapılabilir. Kalıplanması planlanan ABS ten imalatı yapılacak plastik ürün en yüksek kalite standartlarında, teknik sınır değerlerini aşmadan üretilmesi amacıyla optimize edilmiştir. Bütün optimizasyonu tamamlanan plastik ürün kalıplanabilir şekle CAD programıyla getirilmiştir.

6.2.6. Analizi Sonlandırılan Ürünün (ABS) Kalıp Çekirdeğinin Modellenmesi

Ürün, fikrin kavramsallaşmasından bitmiş mamul haline gelinceye kadar iki önemli proses doğrultusunda gelişir; Tasarım prosesi (CAD) ve üretim prosesi (CAM). Sentez ve analiz, tasarım prosesini oluşturan bazı ana alt proseslerdir. Yapılan sentez ve analizlerin sonuçları da bize en verimli ve istenen üst seviye kalitedeki kalıp çekirdeğini oluşturmamızı sağlamaktadır. Oluşturulan kalıp çekirdeği kalıp setinin en önemli ve değişken elemanı olma özelliğini taşır.

Modellemesi analizler sonucunda sonlandırılan, değerlendirilen, kalıplanması planlanan plastik parçanın dişi ve erkek çekirdeklerinin CAD programıyla beraber modellenmesi bu bölümde yapılacaktır. Kalıp çekirdeklerinin modellenmesi ürüne nihai şeklini vereceğinden dolayı kalıp setinin en önemli kısmıdır. Kalıp çeliği kalıp setine uygun boyutlar ve toleranslar altında modellenerek kalıp setine montajı sağlanır. Eğer kalıp setinde iki gözlü veya aile kalıbı şeklinde olarak üretim yapılması isteniyorsa ki bu örnek çalışmada başlangıç aşamasında iki gözlü kalıplama yapılacağı belirlenmişti kalıp çekirdekleri kalıplanacak göz sayısına göre lokmalara ayrılabilir. Bu şekilde modellemenin yapılması kalıp setinin montajlanması sırasında kolaylık sağlamakla beraber üretim koşullarında, üretimin enjeksiyon makinesinde gerçekleşmesi sırasında veya kalıbın bakım onarımının yapılması sırasında kalıp çekirdeklerine zarar gelmesi durumunda bütün çeliğin tekrar imal edilmesinden sadece zarar gören gözün imal edilmesi planlanır. Böylece bu tür bir problemle karşılaşılması durumunda daha hızlı çözüm bulunarak üretime devam edilmesi işlemi gerçekleştirilebilir. Kalıp çekirdeğinin modellenmesi için CAD programları kullanılır. CAD programlarının kullanılması ile eğer kalıp çok gözlü ise kalıp çekirdeklerinin dizilişi sanal ortamda görülerek modellemeyi yapan tasarımcının tecrübesine bağlı olarak çeşitli değerlendirmeler gözlenebilir. Ayrıca

CAD programında modellenen bu çekirdekler bilgisayar destekli imalat (CAM) ortamına alınarak CNC makinelerinde işlenebilir. Günümüzde özellikleri günden güne artan CNC makinelerinde kalıpların işlenmesi yani bilgisayar destekli imalatının yapılması gerek kalıp üreticisi gerekse plastik enjeksiyon yöntemini kullanarak imalat yapan firmalar açısından büyük önem taşır.

ABS malzemesi kullanılarak kalıplanmak istenen ve predikasyonu tamamlanan örnek çalışma için kullanılan CAD programında dişi ve erkek kalıp çeliklerini oluşturmak için aşağıdaki yollar sırasıyla izlenir.

a)Maça düzeneğinin kullanılıp kullanılmayacağı CAD programı ile parçada tespit edilir ki maça sisteminin kullanılmasına örnek parça için gerek yoktur.

b)Çekme miktarı kullanılan malzemenin teknik özelliklerine göre verilir.

c)Kalıp ayırım çizgisi belirlenir.

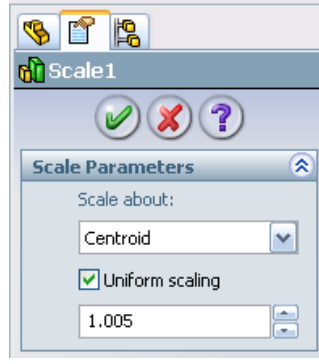
d)Kapalı yüzeyler örnek parça için belirlenir.

e)Parça yüzeyi belirlenir.

f)Kalıp çelikleri belirlenir.

Bu parça için akış düzlemine dik herhangi bir boşluk görülmediği için maça tertibatına gerek yoktur.

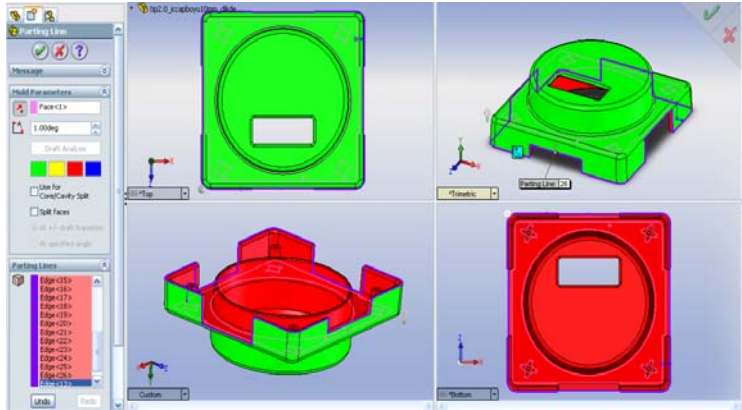
ABS malzemesi için belirlenen çekme miktarı % 0,5 olarak hammadde üreticisinden alınmıştır. Bu doğrultuda sonlandırılan ABS ile kalıplanmak istenen ürün CAD programı ortamında “mold tools” kısmından yada programın “insert” kısmından “molds” sekmesinde bulunan “scale” seçeneğine tıklanarak ekrana değeri vereceğimiz pencere gelir. Çekme miktarının çeşidi ve üniformluğu yani x,y,z eksenlerine göre ne derecede çekme verileceği kullanıcının isteğine bağlı olmakla birlikte çalışılan örnek parça için üniform çekme seviyesi seçeneği işaretlenerek 1,005 değeri girilir ve çekme işlemi sonlandırılır. Çekme işlemi parçanın her bir yönden üniform olarak % 0,5 oranında üniform olarak büyümesini sağlar. Plastik ürün üretimden sonra çektiğinde ilk modellenen değerlerine ulaşabilmesi için çekme değeri CAD programında verilmek zorundadır. Aşağıda şekil 6.32 de CAD programında çekme değerinin verildiği pencere görülmektedir.



Şekil 6.32. Çekme değerin verilmesi

Çekme değerinin verilmesinin ardından örnek parçanın kalıp ayırım çizgisinin belirlenmesi gerekir. Kalıp ayırım çizgisi kalıbın dışı ve erkek çekirdeklerinin öpüştüğü ve ayrıldığı çizgiyi belirtir. Enjeksiyon işleminden sonra çok ince bir çizgi şeklinde görülebilir. Genellikle plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilen ürünler bakım görmediğinde ve aşırı derecede fazla baskı yaptığıında ilk bu bölgelerde deforme olmaya başlar ve buda ürünün kalıp ayırım çizgisinde çapak oluşumuna neden olur.

CAD programında kalıp ayırım çizgisinin belirlenmesi için “mold tools” kısmında bulunan “Parting Line” seçeneğine tıklanarak iticinin temas ettiği yüzey ve çıkma açısı değeri girilir. Çıkma açısı değerinin yönüne bağlı olarak CAD programı kalıp ayırım çizgisini çıkma açısı yönünden analiz ettikten sonra otomatik olarak kalıp ayırım çizgisini belirler. Çıkma açısı değeri ABS malzeme için 1^0 olarak girilerek analiz başlangıcı verildikten sonra kalıp ayırım çizgisini oluşturan doğrular teker teker belirlenir. Aşağıdaki şekilde çıkma açısı analizinden sonra CAD programının otomatik olarak bulduğu kalıp ayırım çizgisi görülmektedir.

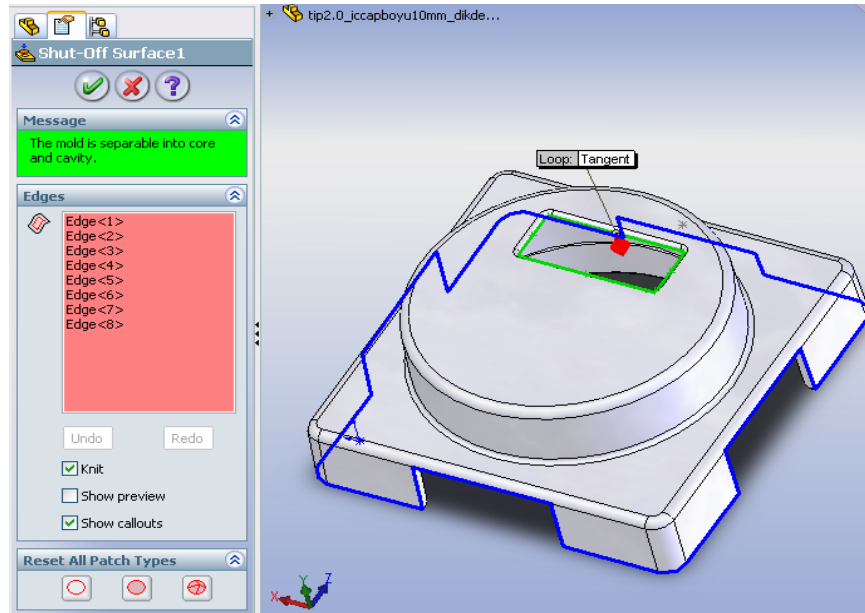


Şekil 6.33. Ürün(ABS) için kalıp ayırımı çizgisinin oluşturulması

Kalıp ayrımı çizgisi ürünü ikiye bölerek kalıbın dişi ve erkek çekirdeğinin oluşmasının belirginleşmesini sağlar. Bu analiz sonucunda renklendirilen bölgelerde kırmızı renk çıkma açısına ihtiyaç duyulan bölgeyi, yeşil renk ise ürünün rahatlıkla çıkabileceği çıkma açısına gerek duyulmayan bölgeyi belirtir.

ABS den kalıplanacak ürünün kırmızı renk ile görülen kısmı itici çeliğinin temas edeceği kısım olmakla beraber yeşil bölge kalıbın dişi kısmının temas ettiği yüzeyi belirtir. Koyu mavi renk ise plastik parçanın kalıp ayırım yüzeyini göstermektedir.

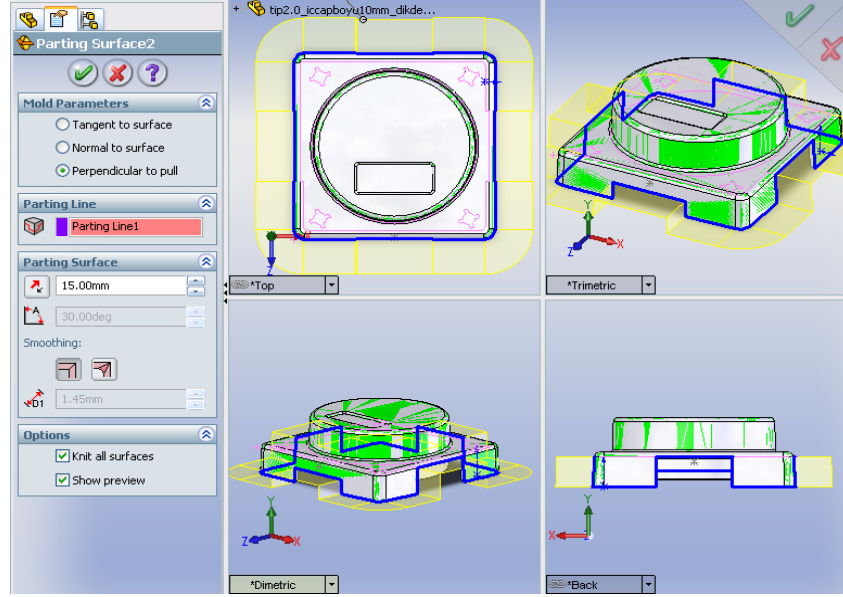
Bu aşamadan sonra kalıbın üründe bulunan boş kısımlarını kapatacak kapalı yüzeyli bölgelerin belirlenmesi gerekir. Bu amaçla “mold tools” menüsünden “shut-off surface” seçilerek karşımıza gelen menüden ürünün tamamen açık olan kısmı yani üst orta bölgede yer alan kısmının çizgisel olarak belirtilerek kapalı alan tanımlanır ve işlem sonunda “The mold is sparable into core and cavity.” mesajı CAD programı tarafından verilerek işlemin doğru yapıldığı ve kalıbın dişi erkek çekirdek kısmının oluşturulabileceği belirtilmiştir.



Şekil 6.34. Ürünün(ABS) kapalı alanının CAD programında belirlenmesi

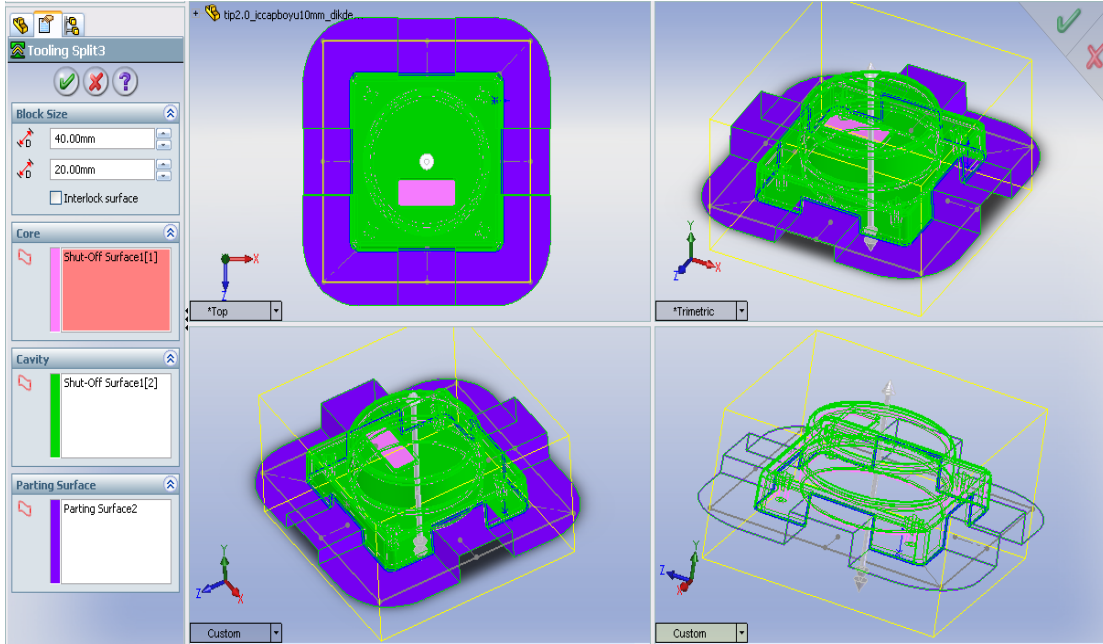
Bu aşamadan sonra “mold tools” toolbar kısmında bulunan “parting surface” seçeneğine tıklanarak ürünün kalıptan ayrılma yüzeyi belirtilmelidir. Bu işlem kalıbın ayrılma yüzeyini belirteceğinden kalıp ayırım çizgisinin CAD programına gösterilerek belirtilmesi ve oluşturulacak yüzeyin belirtilmesi istenir ki bu ürün için oluşturulacak

parça yüzeyi 25mm değerindedir. Şekil 6.35 de CAD programında oluşturulan parça yüzeyinin oluşturulma değerleri ve parça yüzeyi görülmektedir.



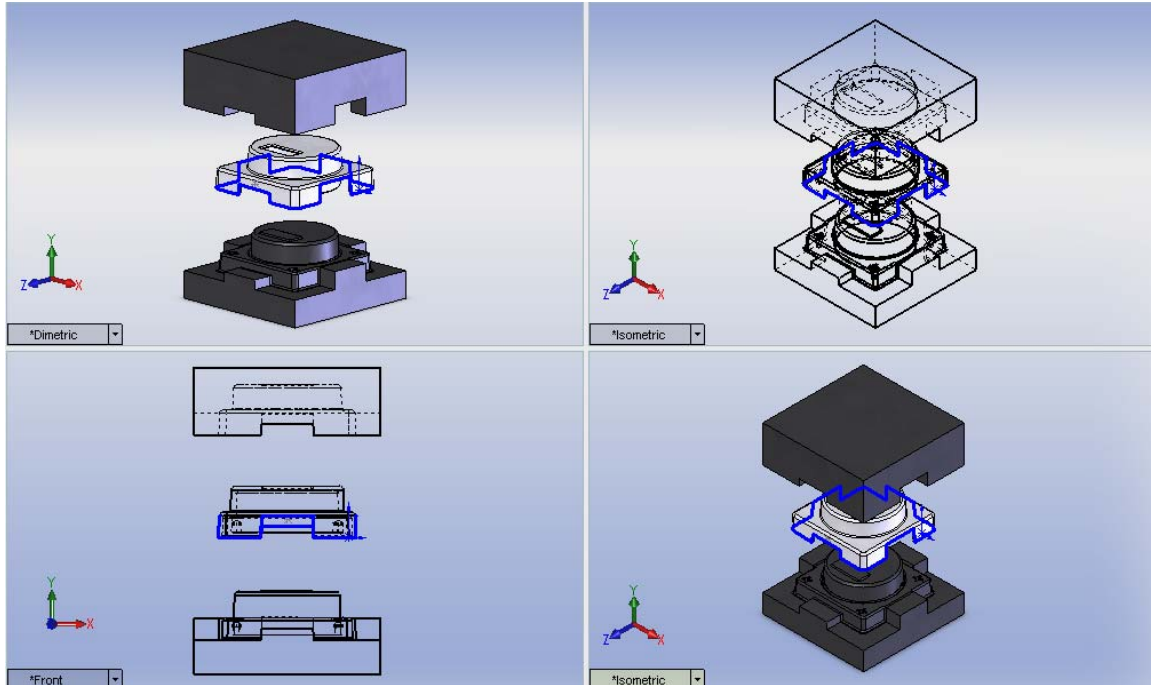
Şekil 6.35. CAD programında parça(ABS) yüzeyinin oluşturulması

Bu işlemin ardından kalıp çekirdeklerinin oluşturulmasına geçilebilir. Bu amaçla “mold tools” menüsünden “toolng split” seçeneğine tıklanarak gerekli işlemlerin uygulanmasına başlanır. Bu doğrultuda karşımıza çıkan ilk menü bir sketch kısmının oluşturulmasıdır ve oluşturulacak sketch’ in yüzeyinin seçilmesi istenir. Burada oluşturulacak iki boyutlu çizimin anlamı kalıp çeliğinin boyutlarını kazandırmaktır. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi parçadan 15mm uzaklıkta olacak şekilde kalıp çelikleri modellenecektir. Sketch’ in oluşturulmasıyla “exit sketch” komutuyla sketch kısmından çıkılarak karşımıza hemen gelen ekrandan dişi ve erkek çelik kısımlarının kalınlık değerleri istenmektedir. Diğer görünen değerler dişi, erkek çekirdek ve parça yüzeyi değerleri CAD programı tarafından otomatik olarak gösterilir. Burada atanacak değerler kalıp setine uygun olmalıdır. Dişi çekirdek için 40mm, erkek çekirdek için 20mm kalınlık değeri kalıp setine uygun olacağından atanarak aşağıdaki şekil görülür.



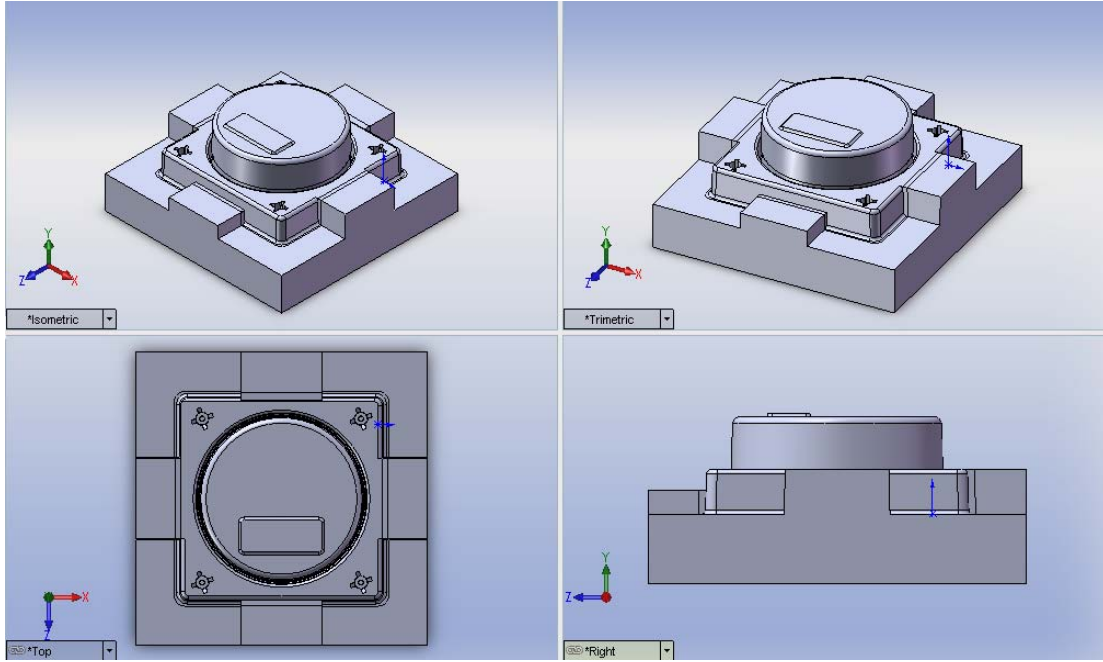
Şekil 6.36. Kalıp çekirdeklerinin oluşturulması (ABS)

İşlemin onaylanarak bitirilmesinin ardından “feature manager” ürün ağaç kısmında kalıp çelikleri ile ilgili olan klasörler oluşturularak daha rahat hareket edilebilme çeliklerin ayrı ayrı CAD ortamlarına taşınmaları ve CAM işlemine hazır hale getirilmeleri gerçekleşir.

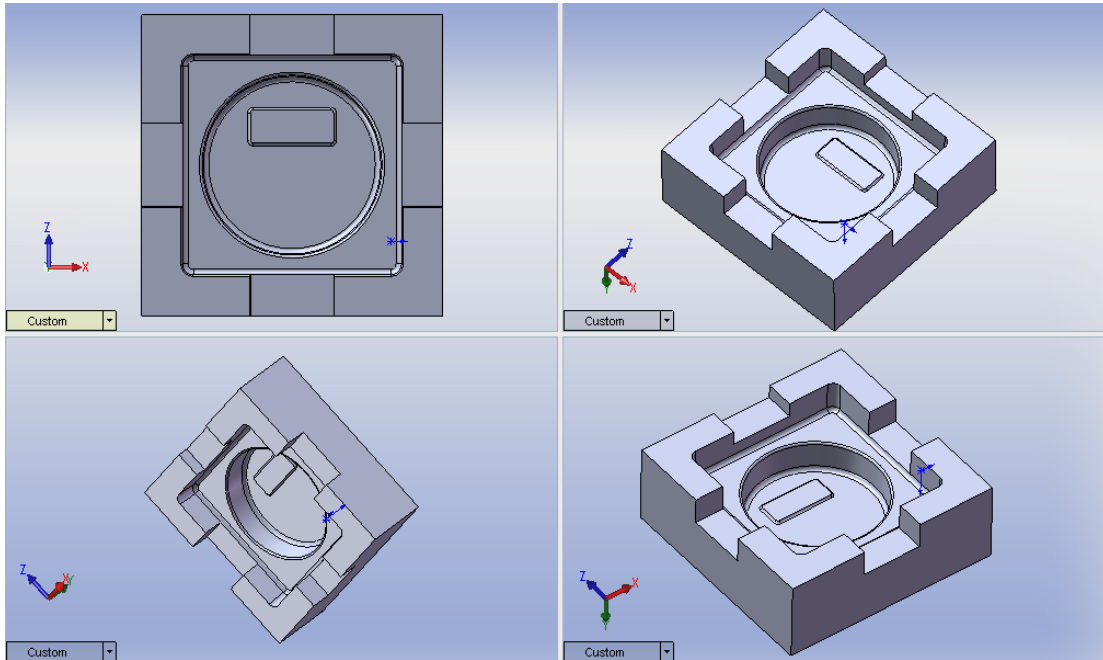


6.37. Modellenen kalıp çekirdeği (ABS)

Aşağıda oluşturulan çekirdeklerin ayrı ayrı CAD ortamına aktarılmış modellenmiş halleri görülmektedir.



Şekil 6.38. Erkek kalıp çekirdek modeli (ABS)



Şekil 6.39. Dişi kalıp çekirdek modeli (ABS)

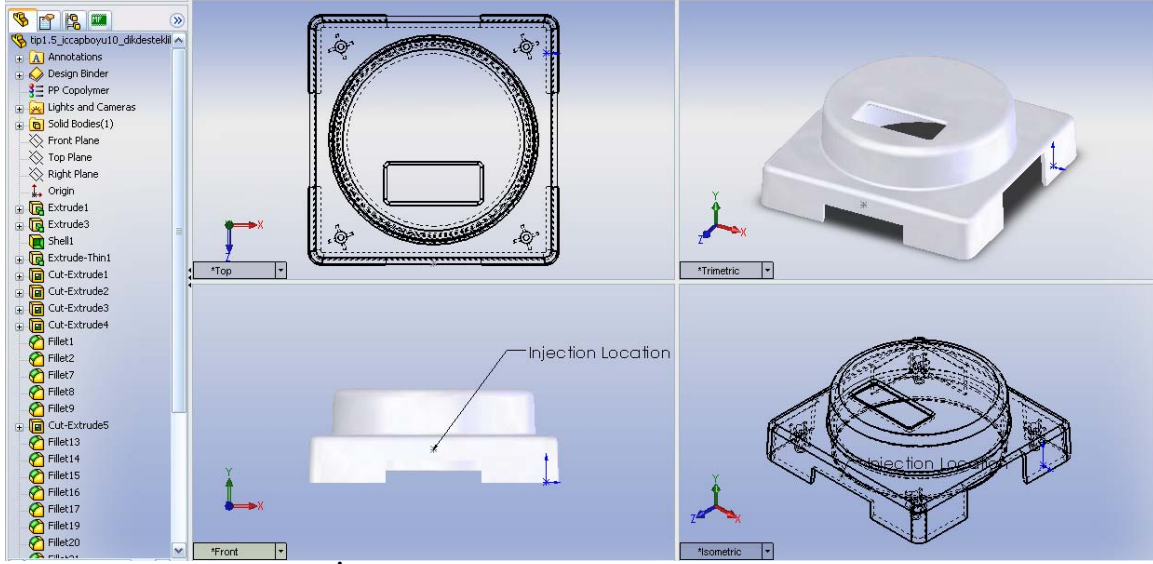
Çekirdeklerin imalatında kullanılacak çeliğin niteliği bakımdan hassas bir konudur. Plastiklerin çoğu aşağıdaki 4 sınıfa giren malzemelerden birinden yapılan kalıplarla üretilirler :

- (a) ön sertleştirilmiş çelikler ,
- (b) yüzey sertleştirilmiş çelikler ,
- (c) tam sertleştirilmiş çelikler ,
- (d) berilyum-bakır alaşımları.

Bazı plastikler özellikle lastik için ısıtıl işleminden geçirilmemiş yumuşak çelik ve döküm alüminyum alaşımlarından yapılmış kalıplar kullanılabilir. Ön sertleştirilmiş çelik , daha çok enjeksiyon kalıplarında ve bazen sıkıştırmayla döküm kalıplarında kullanılır. Bu çelik rockwell c 32-36 (brinell 302-341) sertlikte üretildiğinden ısıtıl işlem gerektirmez. Büyük enjeksiyon döküm kalıplarında ve düşük üretimli sıkıştırma kalıplarında kullanılır. Ön sertleştirilmiş çelik termoplastik malzemelerin çoğunda iyi sonuç vermekle birlikte naylon için daha sert bir çelik gerekir. Ön sertleştirilmiş kalıplarda hasar ve bozulma plastik dökümden çok , kalıba yapışmış kalıntıların kazınma suretiyle çıkarılmasından ileri gelir. Kalıp çeliği seçiminde dökülecek plastik parçaların boyutları çok önemlidir. Parça tasarımının etkileri dolaylıdır. Başka bir deyişle , parça tasarımı kalıbın işleme metodunu , buda seçilecek kalıp malzemesini etkiler.

6.3. PP ile Kalıplanacak Ürün Modelinin Değerlendirilmesi

PP termoplastiği kimyasal maddelere karşı dayanımı fazla, hafif ve esnektir. Ayrıca kalıplanma özelliği yüksek ve kolay temin edilebilme özelliklerine de sahiptir. Malzeme olarak PP seçildiğinde parça görüntü olarak CAD programında PP malzemesinin üretimden sonraki rengine yakın bir renk ile görülür. CAD programında kullanılacak malzeme “Edit” menüsünden “Appearance” sekmesinden “Material” seçilerek kullanılacak hammadde olan PP belirlenir ve parça rengi pencerede aşağıdaki şekilde görülür.



Şekil 6.40. PP Termoplastiği İle kalıplanacak parçanın CAD programında görünümü

PP malzemesi ile aynı ürünün modellenmesi ele alınacaktır. Modellemek için gerekli ve yeterli koşul, şartlar bölüm 6.1 de belirtildiği gibidir ve bu parça için standart alınmıştır. Ürünün teknik resim değerleri başlangıç konumundaki değerleridir. Kullanılacak PP malzemesinin teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

	Değer	Birim
Elastik Modül	8,96E+09	N/m ²
Poisson's Oranı	0.4103	NA
Kayma Modülü	3,158E+07	N/m ²
Yoğunluk	890	kg/m ³
Çekme Kuvveti	2,76E+07	N/m ²
Termal Kondaktivite	0,147	W/(m.K)
Spesifik Isı	1386	J/(kg.K)

Çizelge 6.4. PP Malzemesinin teknik özellikleri

6.3.1. PP Termoplastiği İle Kalıplanacak Parçanın Çıkma Açısı Analizi

Parçanın kalıptan rahatça ayrılıp iticiler yardımıyla da kalıptan dışarı atma işlemini gerçekleştirmek için modellenen parçanın çıkma açısı analizi yapılmalıdır. Aksi takdirde diğer yapılan her türlü analizler istenen şekilde olsa bile ürün kalıptan çıkma problemi yaşayacağından üretilmeyecektir. Gerekli açı değeri şekilde görüldüğü gibi 1⁰ dir. Ekranda görülen “Calculate” tuşuna basılarak hesaplamanın yapılması sağlanır. Bulunan sonuçlar malzemeden bağımsızdır. Çıkma açısı değeri değişmediği sürece CAE programı ile yapılan analizlerin sonucu aynıdır.

6.3.2. PP Termoplastiği İle Kalıplanacak Parçanın CAE Programında Statik Analizi

Modeli hazır olan plastik ürün statik analiz ortamına alınır. Bu doğrultuda “CosmosWorks” seçeneğinden “study” imleci seçilerek bir çalışma ortamının oluşmasını sağlayan ağaç yapısı maneger kısmında görülür. “CosmosWorks Maneger” kısmında görünen “Study 1” içerisinde yer alan “Solid” seçeneğinde sağ tıklanarak “Apply Material to all...” seçeneği seçilerek ürünün hammaddesi olan PP seçilir. Seçilen hammaddenin teknik özellikleri istenildiği gibi değiştirilebilir. Aynı işlemi “CosmosWorks” imlecinden “Material” seçeneğine girilerekte yapılabilir. Bu kısımda tercih edilen hammadde gene PP termoplastiğidir.

Plastik ürün CAD ortamından CAE programına alınarak gerekli şartları sağlayacak şekilde analiz değerleri bölüm 5.1.3 de belirtildiği gibidir girilerek analiz sonlandırılır. CAE statik analiz programı çok yüksek deplasman değeri oluştuğunu tespit ederek analizi görsel hale getirmeyerek sadece özet bir rapor ile parça için oluşan durumu raporlar. Bu durumda parça üzerinde et kalınlığı bakımından revizyona gidilerek et kalınlığı artırılmalıdır.

6.3.3. PP Termoplastiği İle Kalıplanacak Parçanın CAE Programında Plastik Enjeksiyon Analizi

Ürün daha önce bölüm 6.1.4 'de anlatıldığı şekilde analizi CAE programı ile gerçekleştirilecektir. Teknik datanın CAD ortamından “CAE” veya analiz ortamına yani CAE programına alınabilmesi için datanın *.STL uzantısı ile kaydedilerek analiz programında “*.STL” datası şeklinde açılması gerekir. Analiz programında da açılan bu

dataolar için önce kullanılan hammadde olan PP atanır. Örnek parçada giriş lokasyonu kalıbın iki gözlü olacağından dolayı göbekten veya üst yüzeylerden alınması doğru olmayacağından, en uygun giriş lokasyonu parçanın yan tarafında bulunan en uygun bölgeden verilmiştir. Giriş noktası aynı kalmıştır.

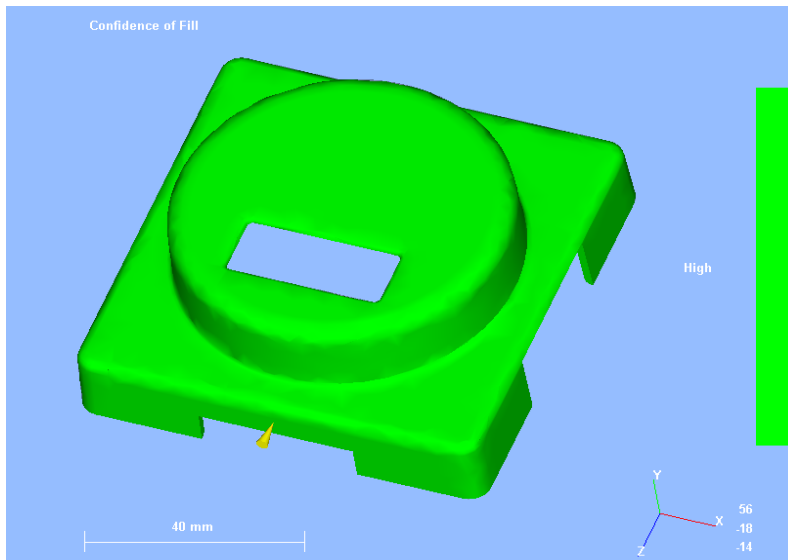
6.3.3.1. PP Termoplastiği İle Kalıplanacak Parçanın CAE Programında Dolum Güvenliği Kontrolü Analizi

CAE analiz programı ile dolum güvenliği sonucu, plastikte dolan kalıp gözü boyunca ihtimal bölgeleri belirlenebileceği ve bu ihmal bölgelerine göre parçanın revize edilmesi gerektiği daha önce belirtilmişti. Dolum güvenliğinin analizini başlatmak için “Analysis Wizard” düğmesine tıklayarak ”Plastic Filling” seçeneği ve “Next” seçeneğine tıklanarak. gelen pencereden “Select Material” sekmesi tıklanır. Bu alanda kullanılacak malzeme seçilerek analize devam edilir. Malzeme olarak PP seçilir. Ardından gelen “Processing Conditions” penceresinden “Material Properties” bölümünde;

Kalıp Sıcaklığı(Mold Temperature)= 40 °C

Hammadde Erime Sıcaklığı(Melt Temperature)= 240 °C parametre değerleri PP için girilir.

Diğer karşımıza çıkan seçenekler bölüm 6.1.4.2. de anlatıldığı gibi girilerek “Finish” düğmesine basılır. Analiz hesaplarına programın başlaması sağlanır. Sonlanan işlemden parçanın aldığı görünüm ve görülen sonuçlar aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir.



Şekil 6.41. PP ile kalıplanacak malzemenin dolum güvenliği analizi sonucu

Aktif enjeksiyon süresi= 0,75 s

Aktif enjeksiyon basıncı = 17,44 MPa

Birleşim çizgisi = Evet

Tahmini çevrim süresi = 7,09 s

Kapama kuvveti = 4,61 ton

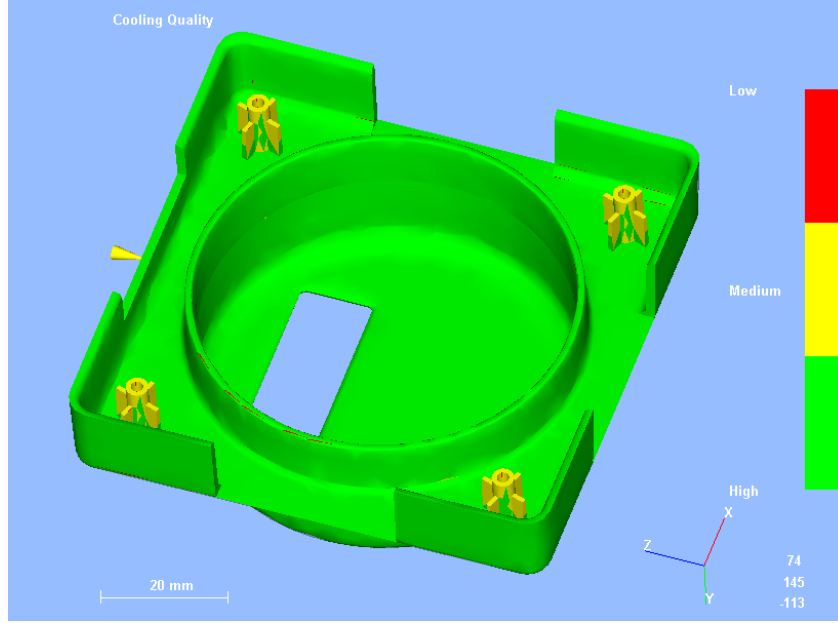
Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi parçanın sadece dolum analizi olarak hiç bir problem bulunmamaktadır.

6.3.3.2. PP Termoplastiği ile Kalıplanacak Parçanın Soğuma Kalitesi Analizi ve Diğer Analizler

CAE programında diğer analizler için “Analysis Selection” seçeneği seçilip diğer seçeneklerin seçilmesiyle soğuma kalitesi ve diğer analizlerin nasıl yapılabileceği bölüm 6.2.1.3.3 te belirtilmiştir. Bu analizlerin değerlendirilmesi sonucu parçanın gerekli revizyonu açısından önemlidir.

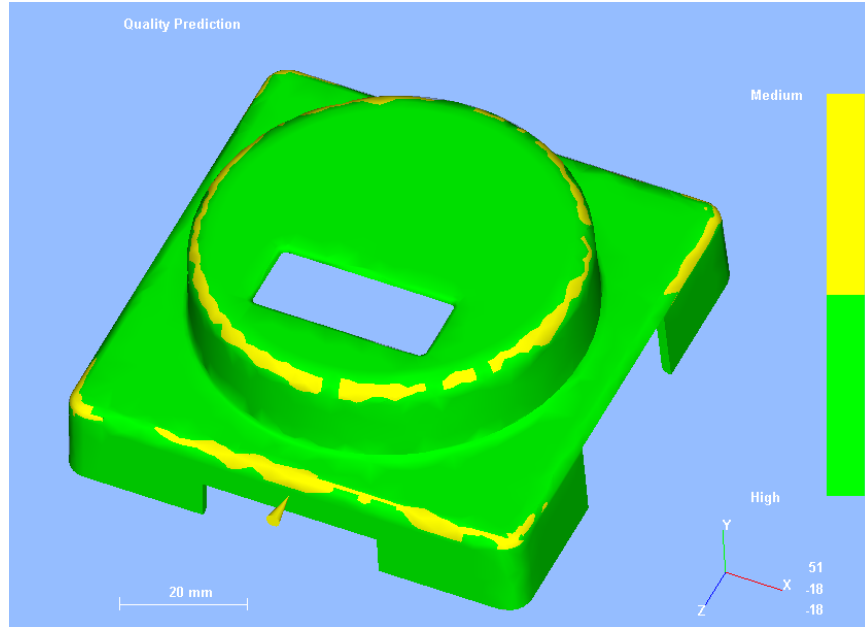
6.3.4. PP Termoplastiği ile Kalıplanacak Parçanın CAE Programı ile Plastik Enjeksiyon Analizlerinin Sonuçları

Soğuma kalitesi sonuçlarına bakıldığında aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi boss bölgelerinde soğumadan kaynaklanacak problem olabileceği açıkça görülmektedir. Özellikle bossların kulakçık olarak tabir edilen bölgeleri revizyona ihtiyacının daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 6.42. PP termoplastiği ile kalıplanacak parçanın CAE programı ile soğuma kalitesi analiz sonuçları

Bu koşullarda yukarıdaki şekilde de görüleceği gibi parçanın alt kısmında ürünün montajlanması amacıyla kullanılan bossların revize edilmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.43. PP termoplastiği ile kalıplanacak parçanın CAE programı ile tahmini ürün kalitesi sonucu

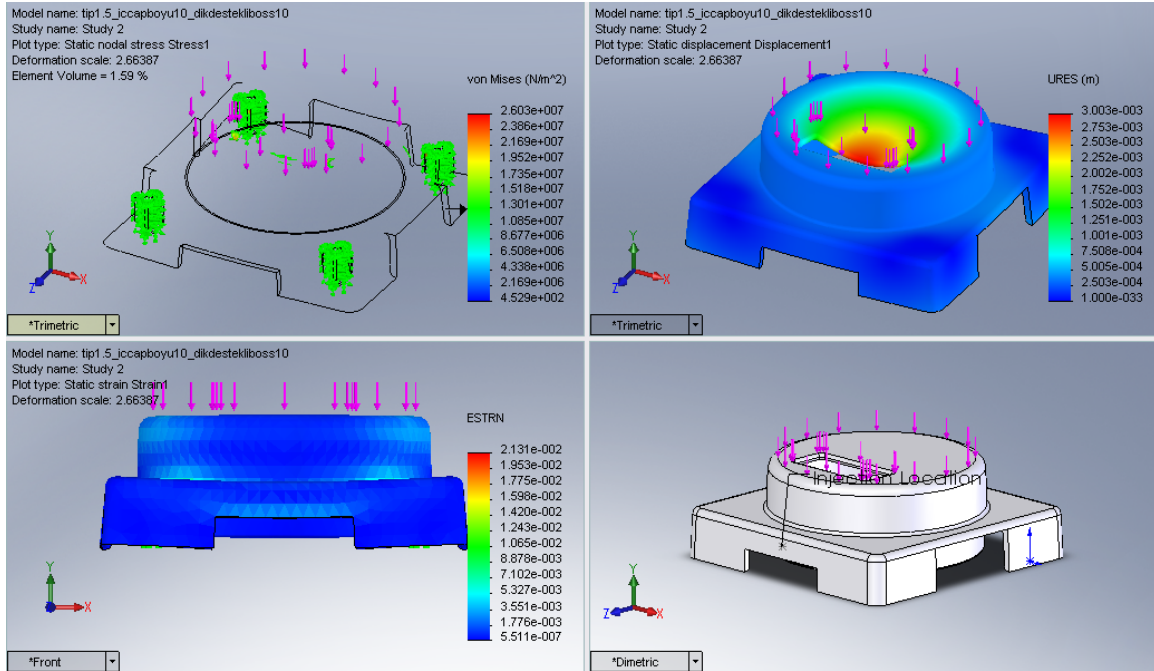
Plastik parçanın radyüs verilen bölgeleri yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi tahmini ürün kalitesi değerlerine göre revize edilmeli ve ardından tekrar analizi yapılarak CAE programında sonuçlar değerlendirilmelidir. Yukarıdaki şekilden de anlaşılacağı gibi sarı renkte görülen bölgeler CAD programında revize edilmelidir.

6.3.5. PP ile Kalıplanacak Parçanın CAD Programında Revize Edilmesi

Plastik parça CAE statik analiz programı sonuçlarına göre et kalınlığının düşük olmasından kaynaklanan problem görülmüştü. Gerekli revizyon PP malzemesi ile üretilecek ürünün et kalınlığının 1,5 mm den 2 mm ye çıkarılmasıdır. CAD programına dönülerek et kalınlığı değeri “shell” komutu ile revize edilir.

6.3.5.1. Revize Edilen Parçanın CAE Programı İle Statik Analizi

CAD programında et kalınlığı 2mm ye çıkarılan parça CAE analiz programı ile statik analize ortamına taşınarak analiz kriterleri daha önce belirtildiği gibi “Restraint” ve “Load” değerleri atanarak ve ağ yapısı oluşturulduktan sonra “Run” komutuyla analiz sonlandırılır ve hesaplamaların yapılması sağlanır. Analiz sonuçları aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir.



Şekil 6.44. Revize edilen parçanın statik analiz sonuçları

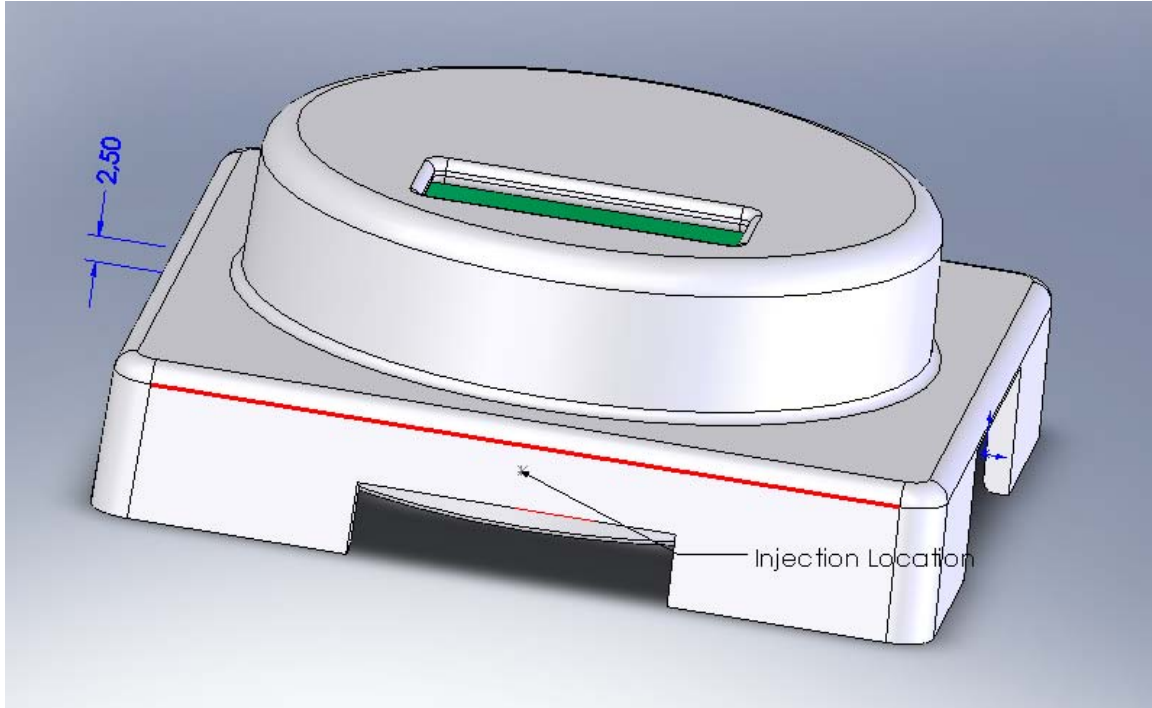
Revize edilen parçanın CAE statik analiz programı analiz sonuçları aşağıda görüldüğü gibidir. Deplasman değerleri parça üretim koşullarında belirtilen değerler içerisinde değildir. Deplasman değeri sonuçlarına bakıldığında maksimum deplasman değeri olarak belirlenen 2mm' nin üzerindedir ve parça için uygun değildir. Bu durumda parça üzerinde et kalınlığı bakımından gerçekleşen revizyon miktarı yeterli değildir ve et kalınlığı arttırılmalıdır.

	Analiz Çeşidi	Min	Lokasyon(x,y,z)	Max	Lokasyon(x,y,z)
Gerilme	VON: von Mises Gerilme	452.918 N/m ²	(-66.4647 mm, 3 mm, -3.75763 mm)	2.60287e+007 N/m ²	(-63.8434 mm, 11.8333 mm, 1.58725 mm)
Deplasman	URES: Deplasman	0 m	(-7.74661 mm, 3 mm, 57.5701 mm)	3.0032 mm	(-36.0092 mm, 29 mm, 35.4787 mm)
Genleme	ESTRN: Genleme	5.51126e-007	(-65.4803 mm, 3.34904 mm, 60.1283 mm)	0.0213057	(-64.2404 mm, 12.4167 mm, 1.15436 mm)

Çizelge 6.5. Statik analiz sonuçları

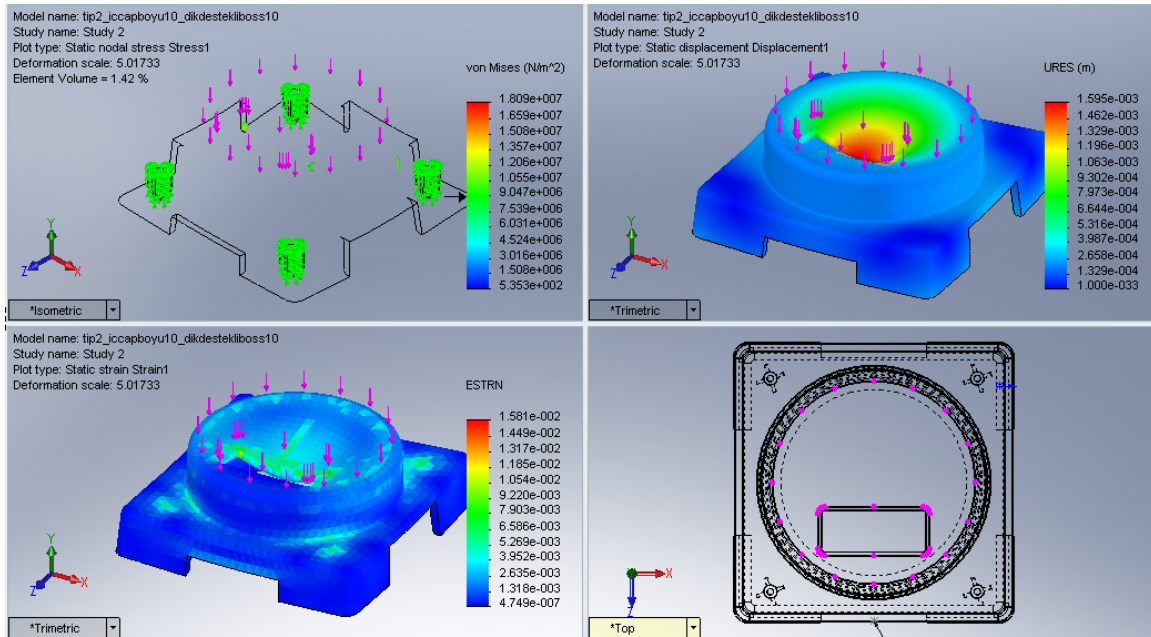
Yeterli deplasman değeri aralığına et kalınlığının girememesinden dolayı et kalınlığı 2 mm değerinden 2,5 mm değerine çıkarılarak ürün CAD programı kullanılarak revize edilmelidir. Ardından uygun deplasman değerine ulaşıp ulaşılmadığı sonucu tekrar gözlenmelidir.

Tekrar et kalınlığını revize etmek amacıyla CAD programında ürün çağrılarak “shell” komutuyla değer 2,5 mm 'ye yükseltilir ve değerler güncellenir.



Şekil 6.45. Et kalınlığı revizyonuna uğrayan parçanın(PP) CAD ortamındaki görüntüsü

Tekrar CAE statik analiz ortamına alınarak bölüm başlangıcında daha önce belirtildiği gibi statik analiz sonuçlandırılır.



Şekil 6.46. Tekrar et kalınlığı revizyonu yapılan parçanın(PP) statik analizi

	Analiz Çeşidi	Min	Lokasyon(x,y,z)	Max	Lokasyon(x,y,z)
Gerilme	VON: von Mises Gerilme	1482.36 N/m ²	(-5.45306 mm, 2.5 mm, 60.1354 mm)	1.37844e+007 N/m ²	(-50.421 mm, 29.3827 mm, 35.4845 mm)
Deplasman	URES: Deplasman	0 m	(-67.3354 mm, 2.5 mm, 57.2384 mm)	1.53582mm	(-36.0092 mm, 29 mm, 35.4787 mm)
Genleme	ESTRN: Genleme	1.43639e- 006	(-66.8491 mm, 2.84927 mm, -2.34645 mm)	0.0116432	(-9.67117 mm, 11.7968 mm, -1.04268 mm)

Çizelge 6.6. Revize edilen parçanın(PP) statik analiz sonuçları

Revize edilen parçanın CAE statik analiz programı analiz sonuçları yukarıda görüldüğü gibidir. Deplasman değerleri parça üretim koşullarında belirtilen değerler içerisinde. Deplasman değeri sonuçlara bakıldığında maksimum deplasman değeri olarak belirlenen 2mm 'nin altındadır ve parça için uygundur.

6.3.5.2. Revize Edilen Parçanın (PP) CAE Programı İle Dolum Güvenliği Analizi

Uygun bulunan et kalınlığı değeri olan 2,5 mm ile geliştirilen yeni parça CAE ortamına alınarak giriş noktası ilk yapılan analizde olduğu gibi belirlenerek sonuçlandırılır. Yapılan analiz sonuçları aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir. Aşağıdaki şekilde görülen kırmızı bölgeler parça soğumasından kaynaklanacak problemleri göstermektedir ve revize edilmesi gerekmektedir. Bu bölgede yapılacak değişiklik CAD ortamında yapılacaktır ki bu revizyon ihtiyacı en son dizayna göre daha fazla artmış olduğu açıkça şekilden görülmektedir. Et kalınlığının 2,5 mm ye yükselmesiyle değişen sayısal verilerin değerleri CAE Plastik enjeksiyon analiz programının sonuçlarına göre şöyledir;

Aktif enjeksiyon süresi= 1,04 s

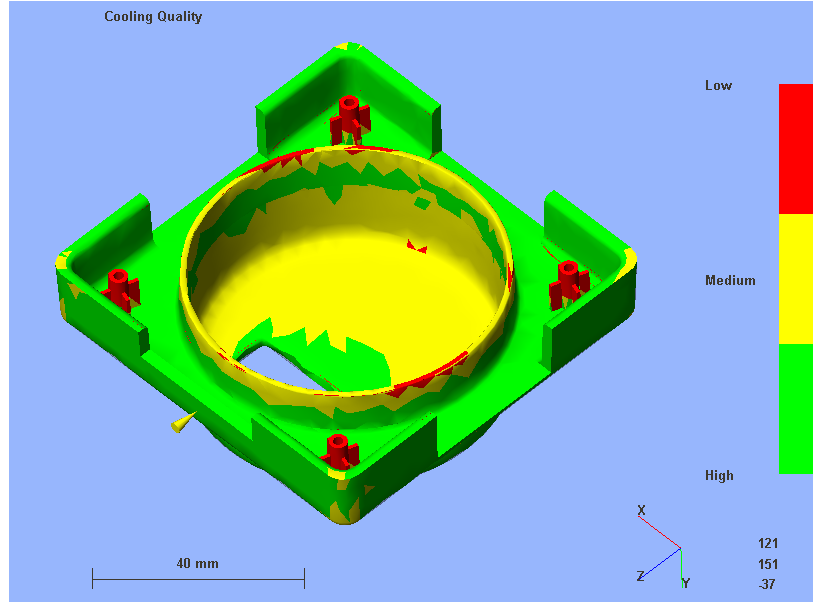
Aktif enjeksiyon basıncı = 8,03 MPa

Birleşim çizgisi = Evet

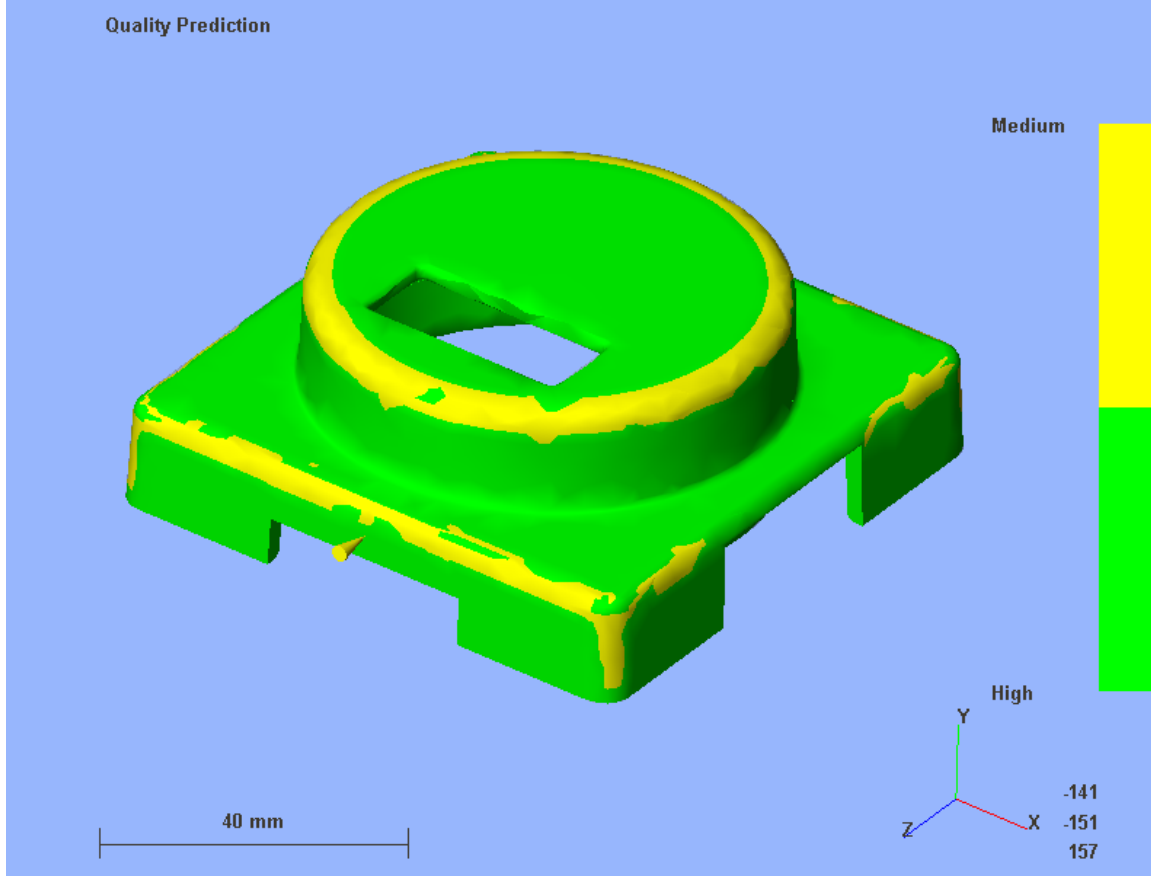
Tahmini çevrim süresi = 9,57 s

Kapama kuvveti = 2,05 ton

Bulunan sayısal verilere dayanılarak, sadece PP malzemesi ile modellenen ve analiz edilen modelin revizyona girmeden önceki durumu ile revize edildikten sonraki durumunu şu şekilde yorumlayabiliriz; enjeksiyon basıncı et kalınlığı arttığundan dolayı düşerek hemen hemen yarıya inmiştir., enjeksiyon basıncı düştüğü için daha düşük kalıp kapama kuvvetine ihtiyaç duyulur ve buda aynı oranda hemen hemen yarıya düşmüştür. Ayrıca doldurulan hacim arttığından dolayı eriyik halde bulunan plastiğin kalıbı doldurma süresi artmış ve çevrim süresi değeri de buna paralel olarak artış göstermiştir.



Şekil 6.47. Et kalınlığı 2,5mm olan PP parçanın soğuma kalitesi analizi sonucu



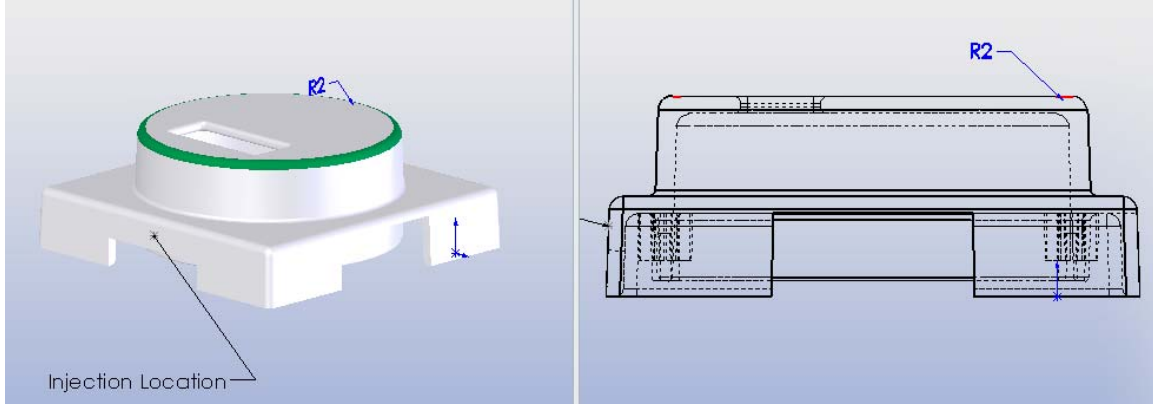
Şekil 6.48. Et kalınlığı 2,5mm olan PP parçanın soğuma kalitesi analizi sonucu

CAE plastik enjeksiyon analiz programı ile alınan sonuçlara göre sarı renkte kalitesizlik görülen bölgelerin CAD programına dönülerek revize edilmesi gerekmektedir.

6.3.6. PP Plastik Parçanın Radyüs Bölgesinin Revize Edilmesi

Özellikle radyüs kısımlarında bulunan kalitesizliği azaltmak için yapılması gereken revizyon radyüs değerlerinin değiştirilerek üst radyüs değerinin 3mm den 2mm ye indirilmesi ve alt kısımda bulunan dörtgeni belirleyen kısmın radyüs değerinin ise 2mm olarak değişikliğe uğratılmadan CAD programında üç boyutlu olarak düzenleme yapılmalıdır. Bu düzenlemeler analiz sonucuna göre tekrar değiştirilebilir ve genellikle tecrübeye bağlıdır.

Radyüs revizyonuna başlamak amacıyla CAD programında kullanılan dataya geri dönülerek gerekli değişiklikler ilgili komut olan “Fillet” ile 3mm değerinden 2,0mm değerine alındıktan sonra radyüs revizyonuna uğramış parça CAE analiz ortamına tekrar taşınır. Aşağıdaki şekilde gerekli revizyonun yapıldığı bölgeler ve yeni atanan değerler görülmektedir. PP den kalıplanacak ürünün revize edilen radyüs değerleri görsel olarak belirtilmiştir.



Şekil 6.49. Plastik parçada (PP) revize edilen radyüs bölgeleri

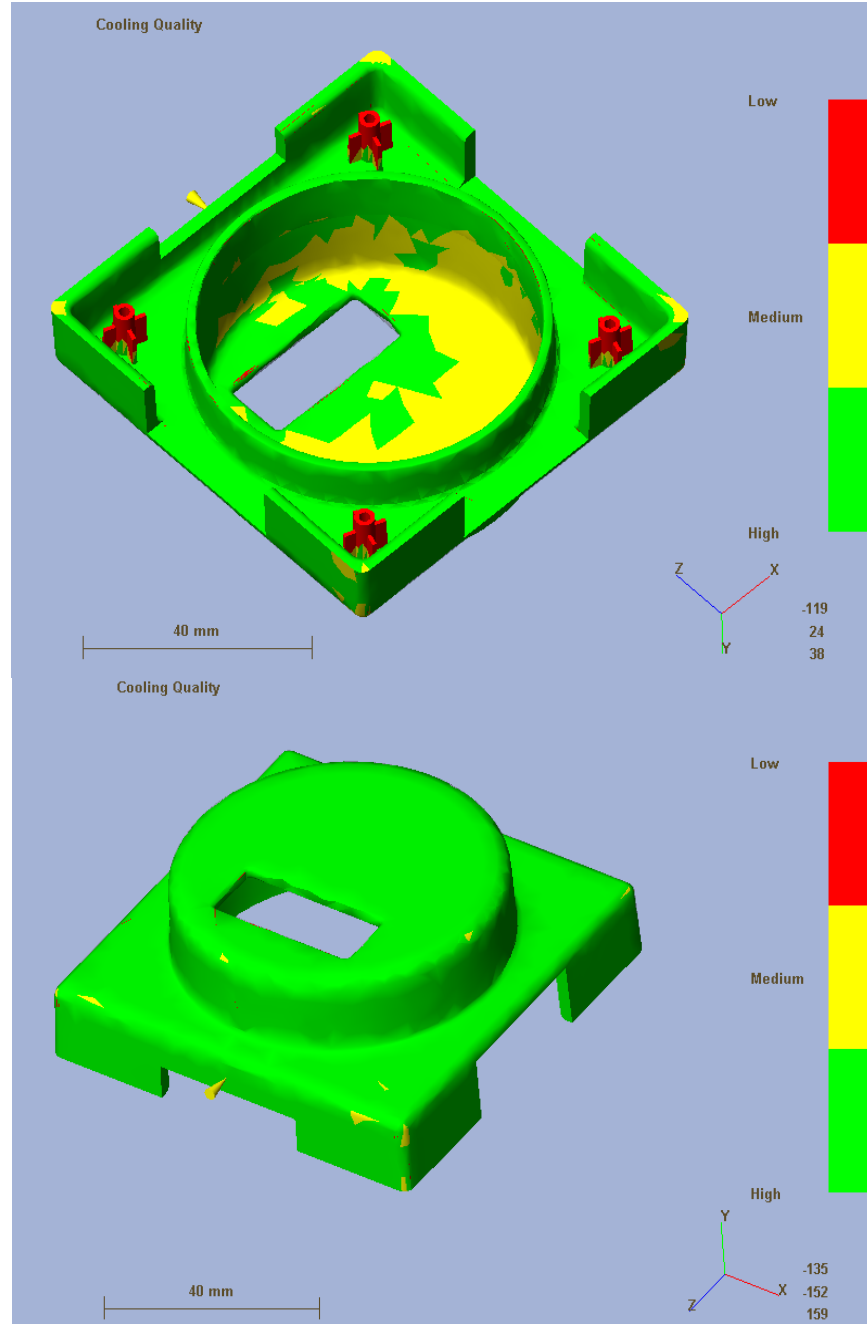
Aktif enjeksiyon süresi= 1,04 s

Aktif enjeksiyon basıncı = 8,03 MPa

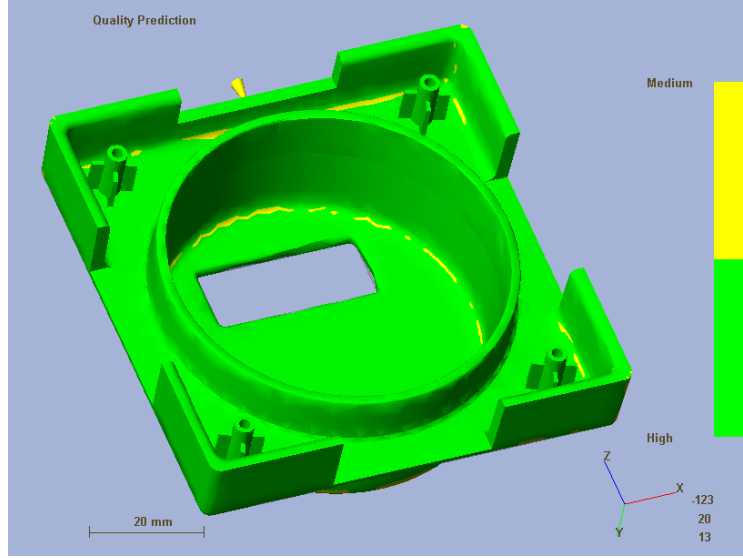
Birleşim çizgisi = Evet

Tahmini çevrim süresi = 10,05 s

Kapama kuvveti = 2,09 ton



Şekil 6.50. Plastik parçada (PP) radyüs değişikliğinden sonra soğuma kalitesi analiz sonuçları

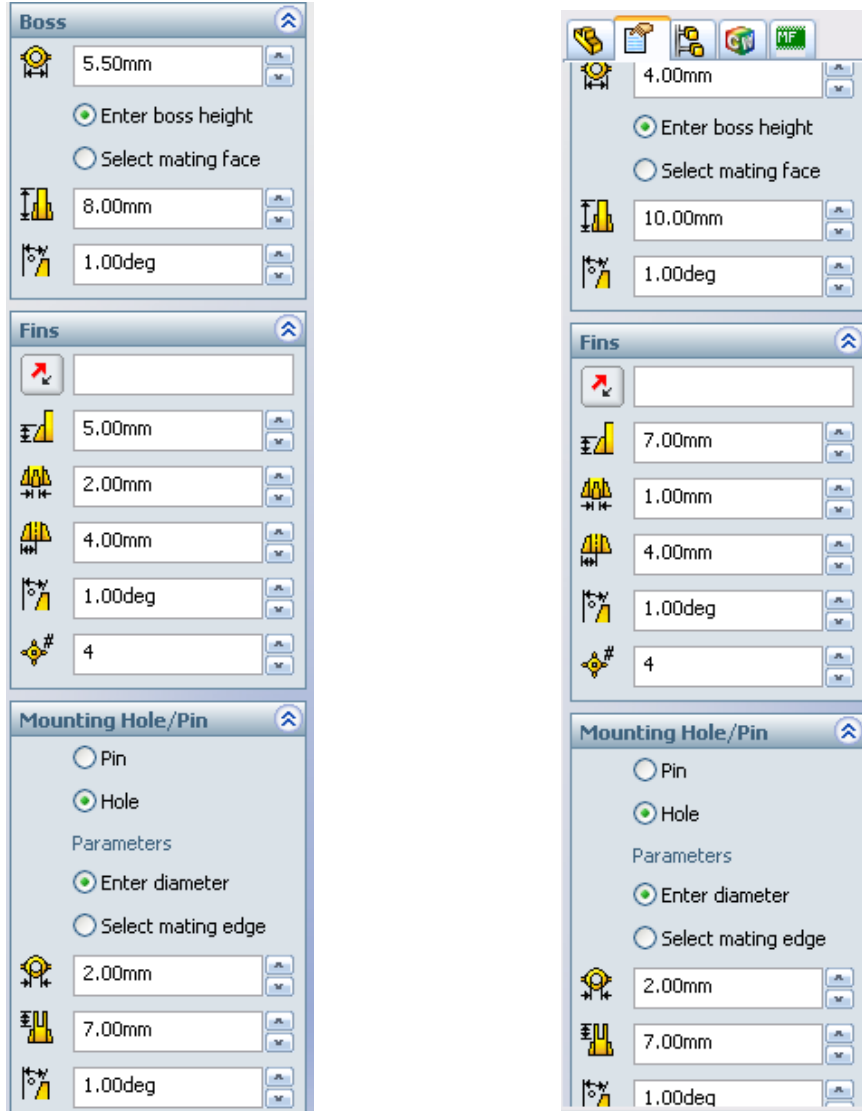


Şekil 6.51. Plastik parçada (PP) radyüs değişikliğinden sonra tahmini ürün kalitesi analiz sonuçları

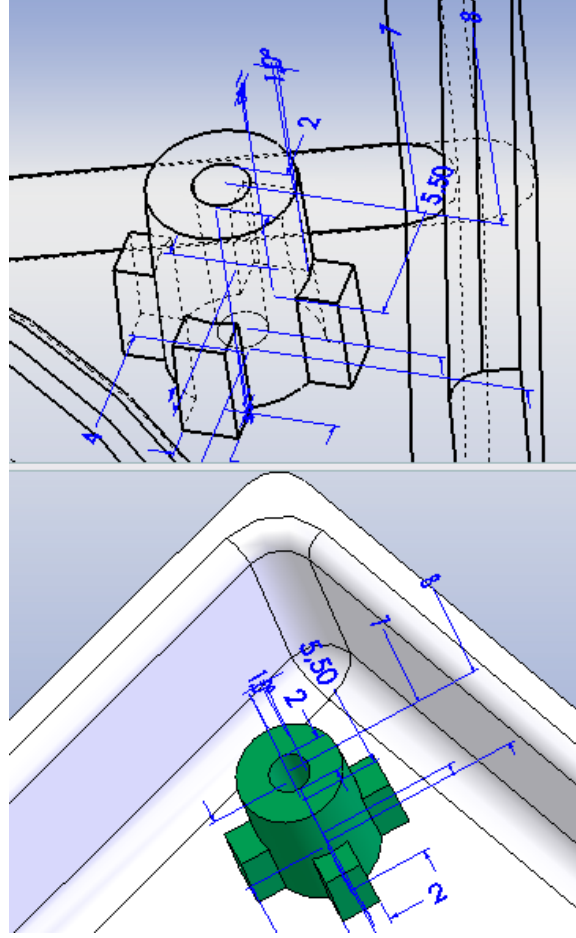
Yukarıda şekilden açık olarak anlaşılacağı gibi soğuma kalitesi analizinde kırmızı renkte kalitesizlik olarak sonuçlanan analiz ürünün boss bölgesinde CAD programı ile değişiklik yapılması gerektiğini belirtmektedir. Aksi taktirde ürünün boss bölgelerinde soğumadan kaynaklanan ciddi kalite problemleri yaşanacaktır.

6.3.7. Plastik Parçanın (PP) Boss Bölgesinin Revizyonu

Bulunan görsel sonuçlara göre oluşturulabilecek optimum parça tasarımı için üründe boss kısmının geliştirilmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Yukarıda görünen ürünün boss bölgesinin soğuma kalitesi sonuçlarına göre bosslarda çok kötü bir soğuma kalitesizliği tahmin edilmektedir. Bunu gidermek için CAD programında dizayn değişikliği yapılmalı ve öncelikle bossların da et kalınlığı parça üniformluğunu sağlamak amacıyla arttırılmalıdır. Ayrıca plastik akışın daha rahat olabilmesi ve dolum problemi yaşanmaması amacıyla bossun boyu kısaltılabilir. Bu değer değişiklikleri analizlerin sonucu deneme yanılma yöntemine bağlı olarak gözlemlenir. CAD yeni dizayn ve CAE analiz arasında sürekli yapılan boss değişiklikleri sonucunda belirlenen optimum boss dizayn değeri aşağıda karşılaştırmalı olarak görülmektedir.



Şekil 6.52. Güncellenen ve eski boss değerleri (PP)



Şekil 6.53. Revize edilen boss değerlerinin CAD programındaki yeni görünümü (PP)

6.3.8. PP Plastik Parçanın Son Modelinin CAE Programı İle Analizi

Bossları da revize edilerek son modellenmiş halini alan bu plastik parçanın CAE analiz programı ile analiz edilerek değerlendirilmesi gerekir. Yapılan analiz sonuçlarına göre parçanın doğru revize edilip edilmediği veya kabul edilebilir sınırlar içerisinde olup olmadığı tespit edilebilir. Parçayı CAE analiz ortamına almak amacıyla parça diğer seçenek ise CAD programında ekstra özelliklerden ve program lisansının uygunluğuna göre “Tools” seçeneğinden “Adds-Ins...” sekmesi tıklanarak “MoldFlow” özelliği aktive edilerek analiz ortamına alınır. CAD programında dosyasında açık olan parça bu sayede hemen analiz ortamına alınabilir. Analiz ortamına alınan parçaya giriş lokasyon noktası atanarak ve programın analize başlaması için gerekli değerler girilerek yapılması istenen analizler seçilir. Bütün analizler seçilerek start verilir. Bulunan sonuçlara göre;

Aktif enjeksiyon süresi= 1,15 s

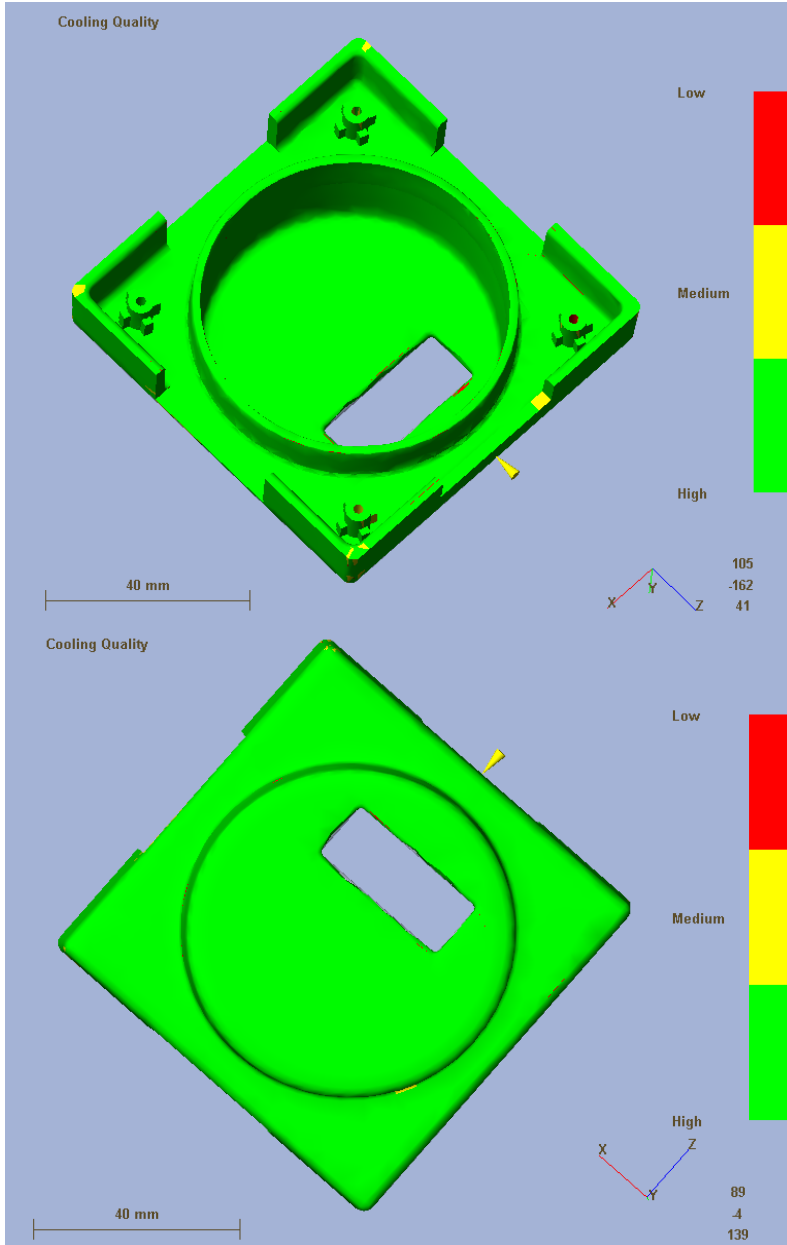
Aktif enjeksiyon basıncı = 7,87 MPa

Birleşim çizgisi = Evet

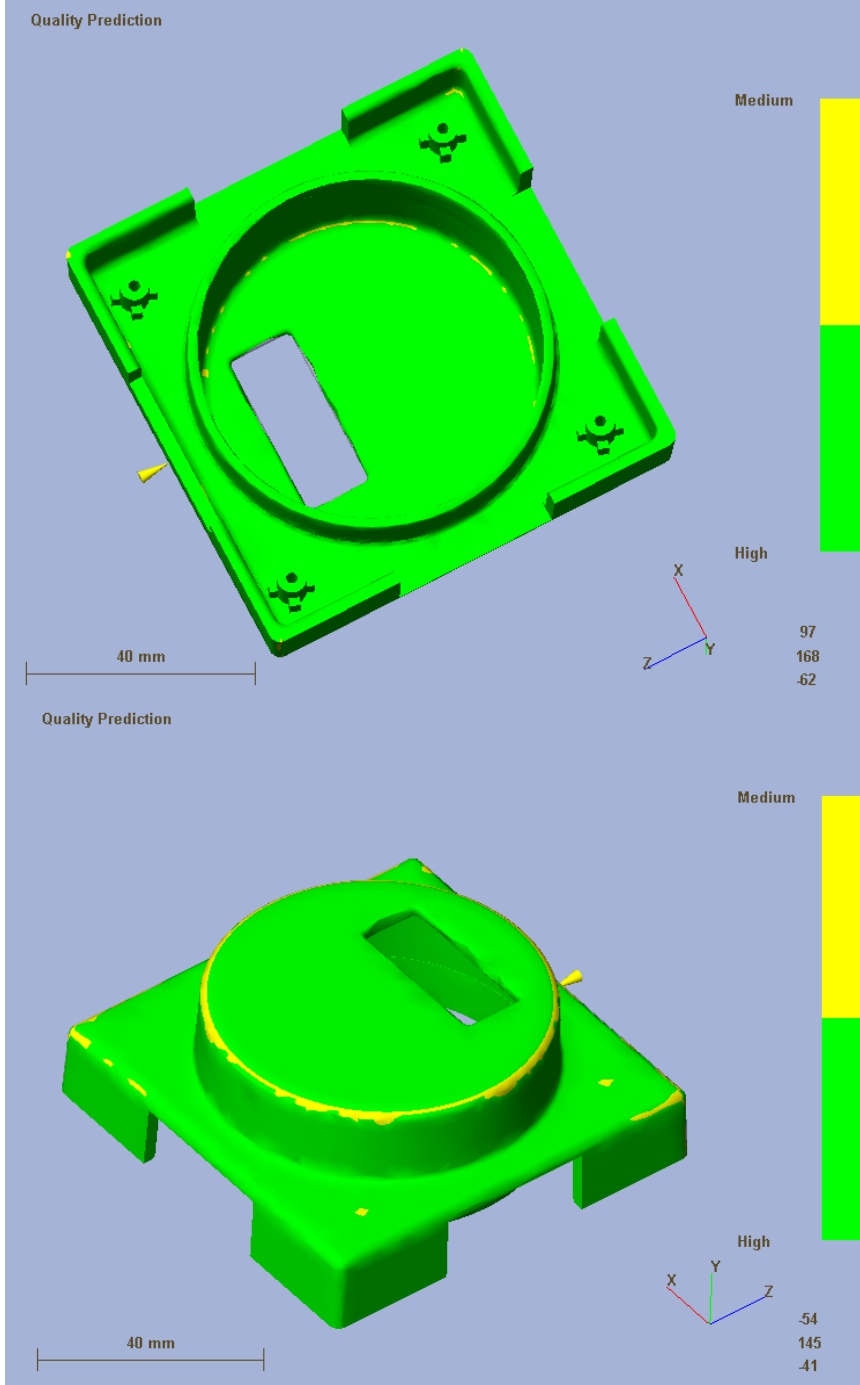
Tahmini çevrim süresi = 9,68 s

Kapama kuvveti = 2,03 ton

Ayrıca analizi sonlandırılan PP den kalıplanması tasarlanan parçanın ürün kalitesi ve soğuma kalitesi analiz sonuçları boss değişiminden sonra aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir.



Şekil 6.54. Boss bölgesi revize edilmiş parçanın(PP) soğuma kalitesi sonuçları



Şekil 6.55. Boss bölgesi revize edilmiş parçanın(PP) tahmini ürün kalitesi sonuçları

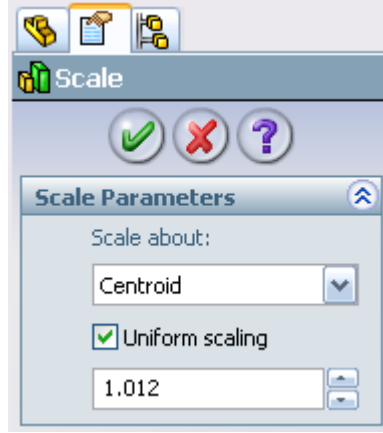
Kulakçık(fins) kısımlarında herhangi bir eğim bulunmayan bu boss tasarımı PP malzemenin enjeksiyon kalıbında en iyi kaliteyi ortaya çıkarabilecek şekilde tasarlandığı CAE programının sonuçlarında açıkça görülmektedir. Bu sonuçlara göre PP malzemesi ile kalıplanacak ürün optimum kalite standartlarında ve istenen teknik değerler içerisinde

kalıplanabilir. PP malzemesiyle kalıplanacak ürünün CAD programı ile modellenmesi ve analiz döngüsü en iyi kalite değerlerine ulaşılarak sonlandırılmıştır. Artık sonlandırılan CAD modeline uygun bir şekilde kalıp çekirdekleri modellenenebilir.

6.3.9. Analizi Sonlandırılan Ürünün (PP) Kalıp Çekirdeğinin Modellenmesi

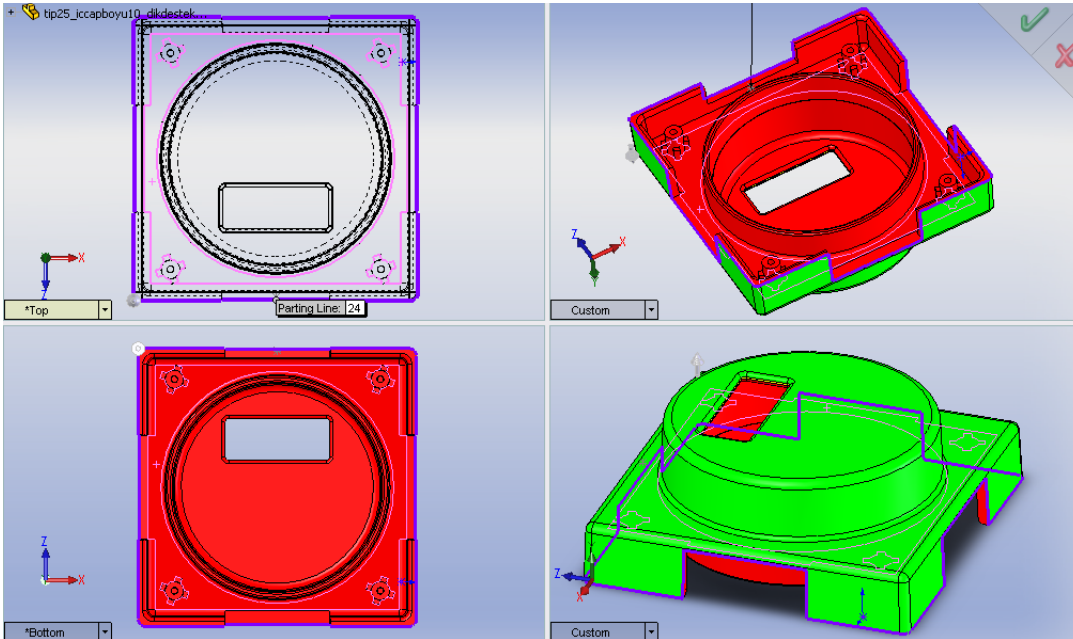
Yapılan sentez ve analizlerin sonuçlarında bize en verimli ve istenen üst seviye kalitedeki kalıp çekirdeğini oluşturmamıza olanak sağlayan kalıp çekirdek modelleri oluşturulacaktır. Kalıp çekirdeğinin kalıp setinin en önemli ve değişken elemanı olma özelliği taşıdığı bölüm 6.2.2 de daha önce belirtilmişti. Modellemesi analizler sonucunda sonlandırılan, değerlendirilen kalıplanması PP termoplastiğiyle üretilecek plastik parçanın dişi ve erkek çekirdeklerinin CAD programıyla beraber modellenmesi bu bölümde yapılacaktır. Eğer kalıp setinde iki gözlü veya aile kalıbı şeklinde olarak üretim yapılması isteniyorsa ki bu örnek çalışmada başlangıç aşamasında koşul olarak gösterildiği gibi iki gözlü kalıplama yapılacağı belirlenmişti. Kalıp çekirdekleri kalıplanacak göz sayısına göre lokmalara ayrılabilir. Bu şekilde modellemenin yapılması kalıp setinin montajlanması sırasında kolaylık sağlamakla beraber üretim koşullarında, üretimin enjeksiyon makinesinde gerçekleşmesi sırasında veya kalıbın bakım onarımının yapılması sırasında kalıp çekirdeklerine zarar gelmesi durumunda bütün çeliğin tekrar imal edilmesinden sadece zarar gören lokmanın imal edilmesi planlanır.

PP malzemesi için belirlenen çekme miktarı % 1,2 olarak hammadde üreticisinden alınmıştır. Bu doğrultuda sonlandırılan PP ile kalıplanmak istenen ürün CAD programı ortamında “mold tools” kısmından yada programın “insert” kısmından “molds” sekmesinde bulunan “scale” seçeneğine tıklanarak ekrana değeri vereceğimiz pencere seçilerek çekme miktarının çeşidi ve üniformluğu yani x,y,z eksenlerine göre ne derecede çekme verileceği kullanıcının isteğine bağlı olmakla birlikte çalışılan örnek parça için üniform çekme seviyesi seçeneği işaretlenerek 1,012 değeri girilir ve çekme işlemi sonlandırılır. Çekme işlemi parçanın her bir yönden üniform olarak % 1,2 oranında üniform olarak büyümesini sağlar. Plastik ürün üretimden sonra çektiğinde ilk modellenen değerlerine ulaşabilmesi için çekme değeri CAD programında verilmek zorundadır.



Şekil 6.56. PP ürün için çekme değerinin verilmesi

Çekme değerinin verilmesinin ardından örnek parçanın kalıp ayırım çizgisinin belirlenmesi gerekir. Bu işlemin nasıl yapıldığı bölüm 6.2.6 da anlatılmıştır. CAD programında kalıp ayırım çizgisinin belirlenmesi için “mold tools” kısmında bulunan “Parting Line” seçeneğine tıklanarak iticinin temas ettiği yüzey ve çıkma açısı değeri girilir. Çıkma açısı değerinin yönüne bağlı olarak CAD programı kalıp ayırım çizgisini çıkma açısı yönünden analiz ettikten sonra otomatik olarak kalıp ayırım çizgisini belirler. Çıkma açısı değeri PP malzeme için 1^0 olarak girilerek analiz başlangıcı verildikten sonra kalıp ayırım çizgisi CAD programı tarafından görüntüye koyu mavi renkte aktarılır.

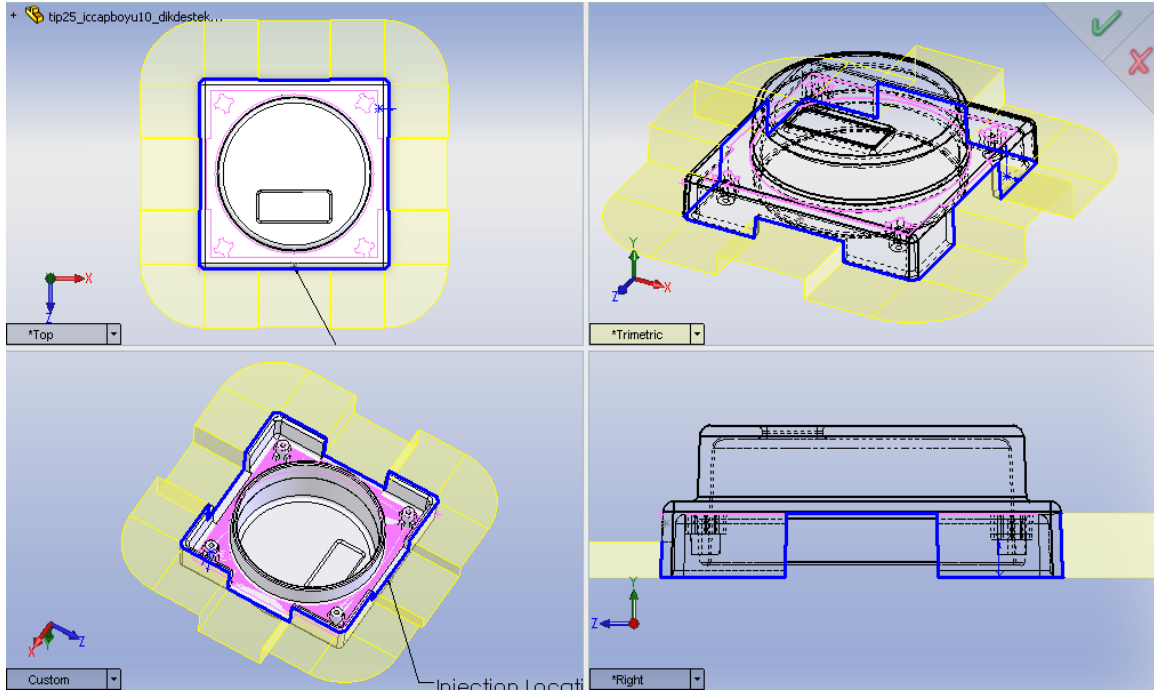


Şekil 6.57. PP ürün için kalıp ayırım çizgisi

PP' den kalıplanacak ürünün kırmızı renk ile görülen kısmı itici çeliğinin temas edeceği kısım olmakla beraber yeşil bölge kalıbın dışı kısmının temas ettiği yüzeyi belirtir. Ürün çıkma problemi yaşamayacağı açıkça görülür.

Bu aşamadan sonra kalıbın üründe bulunan boş kısımlarını kapatacak kapalı yüzeyli bölgelerin belirlenmesi işlemi aynen ABS malzemesindeki ürün gibi shut-off surface komutuyla gerçekleştirilir. İşlem sonunda “The mold is sparable into core and cavity.” mesajı CAD programı tarafından verilerek işlemin doğru yapıldığı ve kalıbın dışı erkek çekirdek kısmının oluşturulabileceği belirtilir.

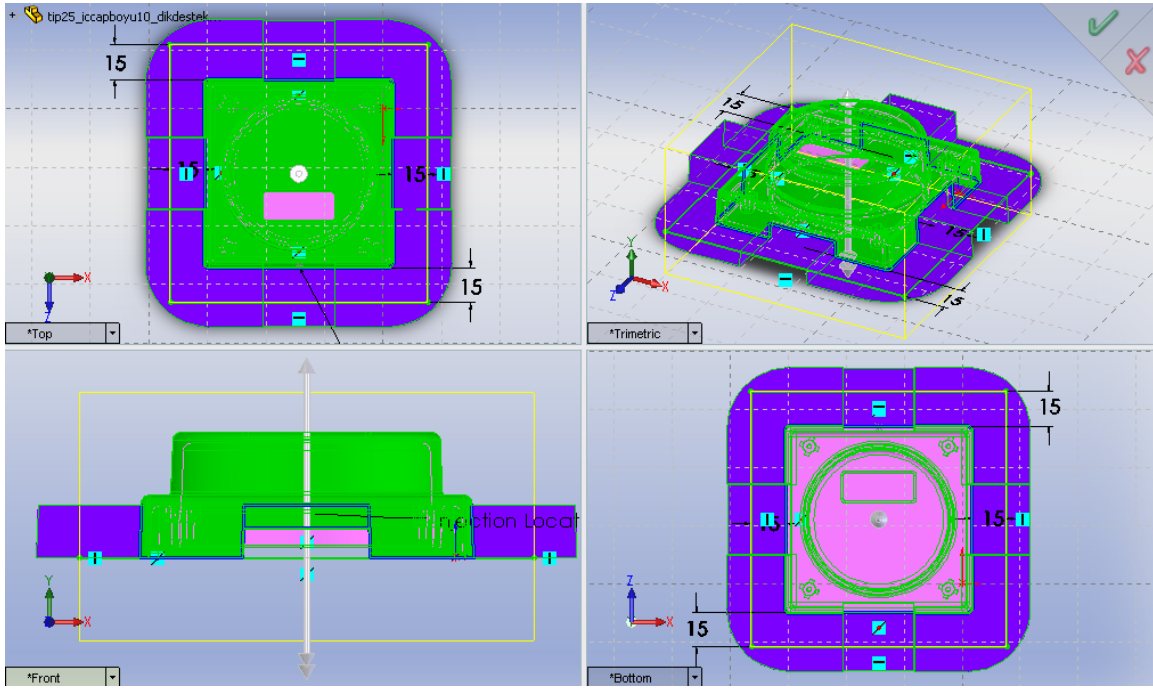
Bu aşamadan sonra “mold tools” toolbar kısmında bulunan “parting surface” seçeneğine tıklanarak ürünün kalıptan ayrılma yüzeyi belirtilmelidir. Bu işlem kalıbın ayrılma yüzeyini belirteceğinden kalıp ayırım çizgisinin CAD programına gösterilerek belirtilmesi ve oluşturulacak yüzeyin belirtilmesi istenir ki bu ürün için oluşturulacak parça yüzeyi 25mm değerindedir. Aşağıdaki şekilde CAD programında oluşturulan parça yüzeyinin sayısal değerleri ve parça yüzeyi görülmektedir.



Şekil 6.58. CAD programında parça(PP) yüzeyinin oluşturulması

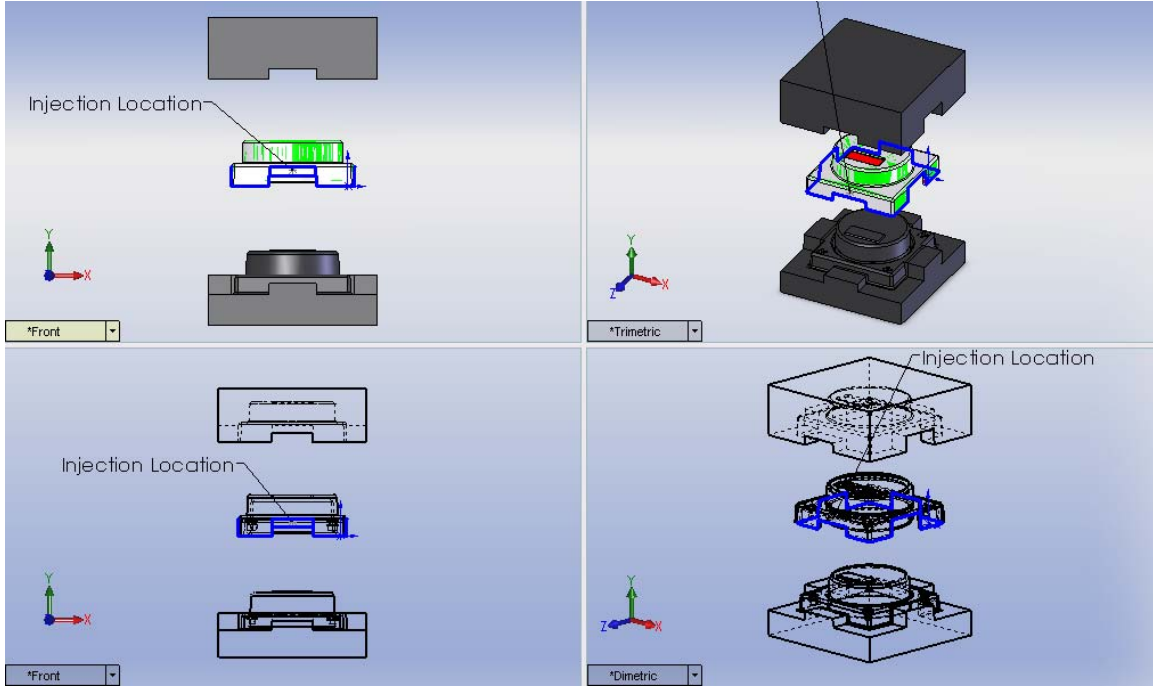
Bu işlemin ardından kalıp çekirdeklerinin oluşturulmasına geçmek için “toolng split” seçeneğine tıklanarak gerekli işlemlerin uygulanmasına başlanır. Burada oluşturulacak iki boyutlu çizimin anlamı kalıp çeliğinin boyutlarını kazandırmaktır.

Parçadan 15mm uzaklıkta olacak şekilde kalıp çelikleri ABS ürünün çeliklerinde olduğu gibi modellenecektir. Sketch' in oluşturulmasıyla karşımıza hemen gelen ekrandan dişi ve erkek çelik kısımlarının extrude değerleri istenmektedir. Diğer görünen değerler dişi, erkek çekirdek ve parça yüzeyi değerleri CAD programı tarafından otomatik olarak gösterilir. Burada atanacak değerler kalıp setine uygun olmakla beraber ABS ürün için olduğu gibi dişi çekirdek için 40mm, erkek çekirdek için 20mm kalınlık değeri kalıp setine uygun olacağından atanarak aşağıdaki şekildeki gibi bir görüntü elde edilir.



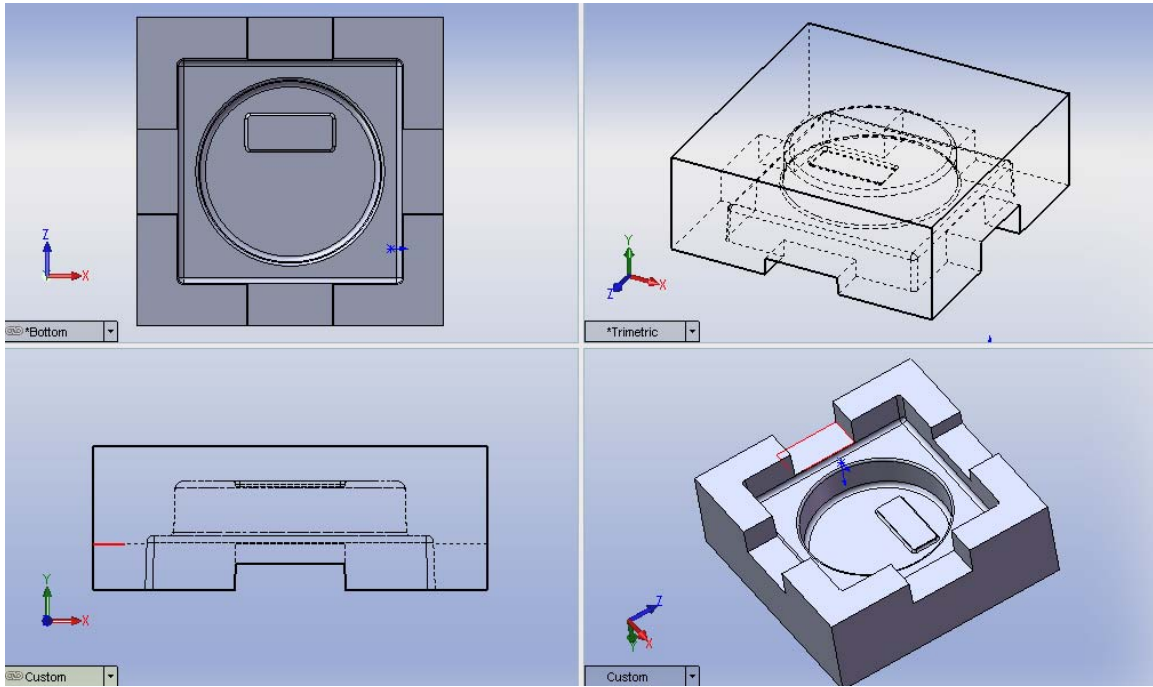
Şekil 6.59. Kalıp çekirdeklerinin oluşturulması (PP)

İşlemin onaylanarak bitirilmesinin ardından “feature manager” ürün ağaç kısmında kalıp çelikleri ile ilgili olan klasörler oluşarak daha rahat hareket edilebilme çeliklerin ayrı ayrı CAD ortamlarına taşınmaları ve CAM işlemine hazır hale getirilmeleri gerçekleşir.

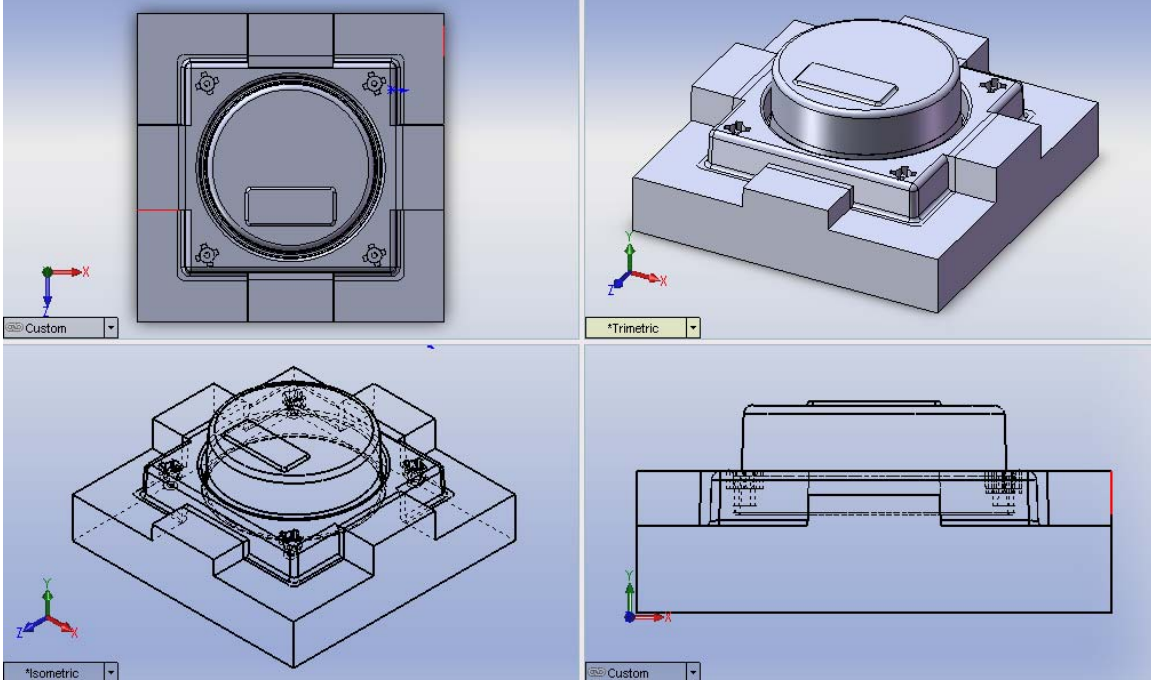


6.60. Modellenen kalıp çekirdeği (PP)

Aşağıda oluşturulan çekirdeklerin ayrı ayrı CAD ortamına aktarılmış modellenmiş halleri görülmektedir.



Şekil 6.61. Dişi kalıp çekirdek modeli (PP)



Şekil 6.61. Erkek kalıp çekirdek modeli (PP)

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Plastik parçanın tasarımını yaparken şu hususlara uyulması gerekir. Endüstriyel tasarımcının çizgilerini korumak, parçanın fonksiyonelliğini ve dayanımını sağlayacak yapıyı kurmak kalıbın doğru ve sağlıklı çalışabilmesi için temel kalıp tasarım kurallarını bilmek ve imalat şartlarını göz önünde bulundurmadır.

Parça tasarım aşamasında iken düşünülmesi gereken en önemli husus çıkma açısı değerleridir. Kalıp çıkış açılarının az olması ürünün kalıptan kolayca çıkmasını engellerken kalıp imalatı sırasında az çıkma açısına sahip olan bölgeler daha fazla parlatılarak pürüzsüz yüzey elde edilmeye ve parçanın çıkmasında problem yaşanmamasını sağlar. Karmaşık plastik parçalarda yetersiz çıkış açısından ziyade hiç açı verilmemiş veya ters açı verilmiş detayların olmasıdır. Bu durumda kalıp üretim aşamasına geçilmeden kalıp tasarım aşamasında fark edilip gerekli düzeltmelerin yapılması hem ekonomik hem de zaman açısından büyük önem taşır. Kalıp üretimi aşamasında üretime geçmeden önce yapılan bilgisayar destekli faaliyetlere sanal mühendislik denmekle beraber bütün tasarım işlemleri ve analiz işlemleri de birer sanal mühendislik çalışması olarak kabul edilmektedir.

Deng ve diğerkleri yaptıkları çalışmalarda CAD ve CAE programlarının integrasyonu için bir model geliştirdiler. Modelde CAD ve CAE programının bütün özelliklerini hiyerarşik olarak girdiler. Tanımlanan parçada elde edilen bilgiler hem dizayn hem de analiz için kullanıldı. CAE programından alınan sonuçlar istenildiği gibi olmadığında CAD programındaki dizaynı değiştirip tekrar CAE programında analiz yaptılar. Böylelikle CAD ve CAE programlarının entegre olup olamayacağını araştırdılar.

Zhai ve diğerkleri enjeksiyon kalıplama yöntemi için en iyi giriş noktası optimizasyonunu araştırdılar. Dolum sonundaki enjeksiyon basıncını minimize ederek optimum giriş noktasını tanımladılar. En verimli akış yolunu, en uygun basınç gradyanı gibi parametreleri nümerik olarak CAE programı yardımıyla araştırdılar.

Bu çalışmada literatüre bakılarak CAD ve CAE programı kullanılarak modellenen plastik parça optimize edildi. Yapılan revizyonların sonucunda parçanın ideal boyutlara CAE programı yardımı ile yorumlanarak güncellendiği görülmektedir. Parça bütün özellikler ve koşullara uygun biçimde CAD programıyla tasarlanmıştır. Bu noktaya nasıl geldiğini özetlemek gerekirse; parça imalatı sırasında oluşması gereken koşullar ve şartlara göre üretilmesi istenmektedir. Bu şartlarda yapılan her bir analiz sonuçlarına göre parça üzerinde yorumlar yapılarak gerekli değişiklikler CAD programıyla adım adım yapılmış ve parça ideal yani optimum hale getirilerek başlangıç koşullarına en uygun duruma ve en iyi kalite özelliklerine göre geliştirilmiştir. Sonuç olarak plastik parça kalıplanmaya hazır şekilde revizyonlarını tamamlanmış ve en nihayetinde de kalıplanma işlemi için çekirdek kısımları modellenmiştir. Bu işlemlerin tamamı hem ABS hem de PP termoplastik malzemeleri içinde uygulanmıştır.

ABS malzemesi için ürün üzerindeki revizyon sırası şu şekildedir:

- a) Parça et kalınlığının 1,5 mm'den 2 mm'ye çıkarılması
- b) Radyüs bölgesinin revizyonu ile üst radyüs bölgesinin 3mm den 2mm ye, alt radyüs bölgesi 2mm den 1,5 mm ye indirilmesi
- c) Boss bölgesinin revizyonu ile özellikle kulakçık kısımlarına 18⁰ verilmesi

Bu revizyonların CAE programıyla analizi sonucunda elde edilen enjeksiyon parametreleri ise şu şekildedir:

Aktif enjeksiyon süresi= 1,27 s

Aktif enjeksiyon basıncı = 21,20 MPa

Tahmini çevrim süresi = 10.35 s

Kapama kuvveti = 5,57 ton

Tek bir ürünün için ABS termoplastiği ile kalıplanacak malzemenin ağırlığı ve hacmi ise aşağıdaki şekildedir:

$M = 0.0282005 \text{ kg}$

$V = 3.16859\text{e-}005 \text{ m}^3$

PP termoplastik malzemesi için aynı üründe yapılan revizyon sırası şu şekildedir:

- a) Parça et kalınlığının 1,5 mm'den 2,5 mm' ye çıkarılması
- b) Radyüs bölgesinin revizyonu ile sadece üst radyüs bölgesinin 3mm den 2mm ye indirilmesi
- c) Boss bölgesinin revizyonu ile özellikle bossun kalınlığının arttırılması

Bu revizyonların CAD programı ile modellenmesi işleminin tamamlanmasından sonra CAE programı ile modelin analizinden çıkan sonuç aşağıdaki şekildedir:

Aktif enjeksiyon süresi= 1,15 s

Aktif enjeksiyon basıncı = 7,87 MPa

Tahmini çevrim süresi = 9,68 s

Kapama kuvveti = 2,03 ton

Tek bir ürünün için PP termoplastiği ile kalıplanacak malzemenin ağırlığı ve hacmi ise aşağıdaki şekildedir:

$M = 0.0291098 \text{ kg}$

$V = 3.27077\text{e-}005 \text{ m}^3$

Sayısal verilerden görüldüğü gibi ABS ile sonlandırılan parça ile PP ile sonlandırılan ürün arsında zaman olarak çok büyük bir fark yoktur ancak enjeksiyon basıncı ABS termoplastiğinin kullanıldığı revizyonlarını tamamlamış parçada et kalınlığının daha düşük seviyede olması nedeni ile daha yüksek bir enjeksiyon basıncına ihtiyaç vardır. PP termoplastiğinin kullanıldığı revizyonlarını tamamlamış parçada ise enjeksiyon basınç değeri ABS in kullanıldığı malzemeye oranla çok daha düşüktür. Bunun nedeni ise et kalınlığının PP parça için artmış olması ve akışkan haldeki plastiğin daha rahat dolması şeklinde yorumlanabilir. Kapama kuvveti değerlerine bakıldığında da PP malzemenin daha rahat akışından ve dolumundan kaynaklanan 2,03 ton değeri görülmektedir ki bu değer ABS malzeme için kullanılması gereken değer yarısından

daha azdır. Bu parametrelere göre de kullanılan enjeksiyon makinesi konfigürasyonları tercih edilmelidir.

Modelleme yapılacak ürün kullanım özellikleri ve şartları iyi bilinerek çalışmalara yön vermek gerekir. Bazı hallerde ürünün endüstriyel tasarımı, parça tasarımı ve kalıp tasarımı aynı çatı altında olabilmektedir. Hatta kalıp üretimi aynı firmanın veya fabrikanın kalıp atölyesinde yapılıp yine aynı yerde enjeksiyon makinelerinde seri üretim yapılabilir. Bu tür bir işletme tasarımcıya büyük kolaylık sağlamaktadır. Endüstriyel, plastik parça ve kalıp tasarımcıları aynı ortamda bulunduklarından sürekli diyalog ve fikir alış veriş şekline çalışabilirler yada eş zamanlı mühendislik uygulayıp parça tasarımı ve kalıp tasarımı son halini almadan atölyede kaba işleme geçilip talaş kaldırma işlemleri gerçekleştirilebilir. Genellikle firmalar yeni bir ürünün tasarımını özel ürün tasarım bürolarına yaptırırken, detaylı parça tasarımı isteyenler ise CAD/CAM/CAE programlarının yardımı ile mühendisler tarafından yapılabilir. Kalıp tasarımı veya imalatı ise firmaların tercihinine göre özel imalathanelerde veya kendi bünyelerinde yapılabilir.

KAYNAKLAR

Zhai M., Y.C.Lam , C.K. Au , D.S.Liu , Automated Selection of Gate Location for Plastic Injection Molding Processing, 2005 , Singapore

Deng Y.M., Britton G.A. , Lam Y.C. , F.B. Tor , Y.S. Ma , Feature-Based CAD-CAE Integration Model for Injection Moulded Product Design, 2002

Yaşar H., 1992, Plastikler Dünyası, TMMOB Yayınları

Uzun İ., Eriçken Y., 1984, Hacim Kalıpcılığı

Çapan L.,1999 Metallerde Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitabevi,Üçüncü Baskı

Moldflow White Paper: Solutions for Mold Designers, Moldflow Corporation

Society of Plastics Industry Notes, 2004, USA

Farel Plastik Eğitim Notları, 2003, Çerkezköy

Farel Plastik Eğitim Notları, 2004, Çerkezköy

Farel Plastik Eğitim Notları, 2005, Çerkezköy

Farel Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Temel Bilgiler Eğitim Notları, 2004, Çerkezköy

Ömer Karaarslan, RDG Bilgi ve Üretim Teknolojileri, Mart 2007, Termoplastik Malzemeler ve Özellikleri

Philips N. L., Design with Advance Composite Materials, 1989, Pittsburg, USA

<http://plastics.about.com/library/weekly/aa060297.htm> Composites / Plastics - What's a Composite?

E. A. Poppe, Karl Leidig, Karl Schirmer, R. Wilkinson, “The Top Ten Moulding Problems”, Temmuz.2004, Leverkusen, Germany

Can C., 2007, Analysis Of Cooling Time Due To Changing Of Gate Location For A Injection Moulding Part, Çerkezköy

YELBEY İbrahim, Barış YELBEY, 1999, Kalıp Konstrüksiyonu ve Kalıp Yapımı, İstanbul

Gıyasettin Erci, Kluz John, Çeviri, 1972, Plastik ve Metal Döküm Kalıpları, Ankara

Engel Material Data for Injection Moulders Scheme 2005, Schwertberg, Germany

O. Zöllner, Leverkusen and U. Sagenschneider, Gladenbach, 2005 Shrinkage and Deformation of Glass Fibre Reinforced Thermoplastics may be Calculated

O. Zöllner, 2004, Application Technology Information Calculating The Mould-Filling Process For Thin-Walled Injection Mouldings, Munich

Plastik Parça Tasarımı Farel Plastik Eğitim Notları, 2005, Çerkezköy

Schmidt H, Leidig K., 2004, Lab Testing for Observations of Part Quality, Hamburg, Germany

Çınar Y., 2006, Plastik Ürünlerde Vida Yuvası Tasarımı, Manisa

UMG ABS Notes., Web Site, http://www.umgabs.co.jp/en/solution/trouble/t_34.htm

Moldflow White Paper: Solutions for Mold Designers, 2003, Boston, USA

SolidWorks Student Workbook , 2004, Massachusetts,USA

SolidWorks 2004 Parçalar ve Montajlar , 2004, İstanbul

Liu Y., Lecture Notes: Introduction to The Finite Element Method , 2003 , Cincinnati , USA

DuPont™ Engineering Polymers General Design Principles – Module I, 2006 , İstanbul

SolidWorks for Designers Mold Design , 2003 , Massachusetts , USA

Kuldaşlı A. B., Enjeksiyon Yöntemi İçin Plastik Parça Tasarımı , 2006

Jürgen Hasenauer, Dieter Küper, Jost E. Laumeyer and Ian Welsh, Temmuz 2004, Top Ten Design Tip: A Series of 10 Articles, Leverkusen, Germany

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Adana’ da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Tekirdağ’ da tamamladı. 1999 yılında girdiği Trakya Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü 2004 yılında bitirdikten sonra bir yıl süreli askerlik görevini tamamladı. 2006 yılında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Aynı zamanda özel sektörde plastik enjeksiyon alanında 1,5 yıl süreyle çalıştı. CAD/CAM Mühendisi olarak YKK Metal ve Plastik AŞ. ‘de çalışmaya devam eden Cihan CAN İngilizce bilmektedir.

KAYNAKLAR

Zhai M., Y.C.Lam , C.K. Au , D.S.Liu , Automated Selection of Gate Location for Plastic Injection Molding Processing, 2005 , Singapore

Deng Y.M., Britton G.A. , Lam Y.C. , F.B. Tor , Y.S. Ma , Feature-Based CAD-CAE Integration Model for Injection Moulded Product Design, 2002

Yaşar H., 1992, Plastikler Dünyası, TMMOB Yayınları

Uzun İ., Eriçken Y., 1984, Hacim Kalıpcılığı

Çapan L.,1999 Metallere Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitabevi,Üçüncü Baskı

Moldflow White Paper: Solutions for Mold Designers, Moldflow Corporation

Society of Plastics Industry Notes, 2004, USA

Farel Plastik Eğitim Notları, 2003, Çerkezköy

Farel Plastik Eğitim Notları, 2004, Çerkezköy

Farel Plastik Eğitim Notları, 2005, Çerkezköy

Farel Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Temel Bilgiler Eğitim Notları, 2004, Çerkezköy

Ömer Karaarslan, RDG Bilgi ve Üretim Teknolojileri, Mart 2007, Termoplastik Malzemeler ve Özellikleri

Philips N. L., Design with Advance Composite Materials, ,1989 , Pittsburg , USA

<http://plastics.about.com/library/weekly/aa060297.htm> > Composites / Plastics - What's a Composite?

E. A. Poppe, Karl Leidig, Karl Schirmer, R. Wilkinson, “The Top Ten Moulding Problems” , Temmuz.2004 , Leverkusen, Germany

Can C.,2007, Analysis Of Cooling Time Due To Changing Of Gate Location For A Injection Moulding Part, Çerkezköy

YELBEY İbrahim, Barış YELBEY, 1999, Kalıp Konstrüksiyonu ve Kalıp Yapımı, İstanbul

Gıyasettin Erci, Kluz John, Çeviri , 1972, Plastik ve Metal Döküm Kalıpları, Ankara

Engel Material Data for Injection Moulders Scheme 2005 ,Schwertberg, Germany

O. Zöllner, Leverkusen and U. Sagenschneider, Gladenbach, 2005 Shrinkage and Deformation of Glass Fibre Reinforced Thermoplastics may be Calculated

O. Zöllner , 2004, Application Technology Information Calculating The Mould-Filling Process For Thin-Walled Injection Mouldings , Munich

Plastik Parça Tasarımı Farel Plastik Eğitim Notları, 2005 , Çerkezköy

Schmidt H, Leidig K., 2004 , Lab Testing for Observations of Part Quality , Hamburg, Germany

Çınar Y., 2006, Plastik Ürünlerde Vida Yuvası Tasarımı, Manisa

UMG ABS Notes., Web Site, http://www.umgabs.co.jp/en/solution/trouble/t_34.htm

Moldflow White Paper: Solutions for Mold Designers, 2003, Boston, USA

SolidWorks Student Workbook , 2004, Massachusetts,USA

SolidWorks 2004 Parçalar ve Montajlar , 2004, İstanbul

Liu Y., Lecture Notes: Introduction to The Finite Element Method , 2003 , Cincinnati , USA

DuPont™ Engineering Polymers General Design Principles – Module I, 2006 , İstanbul

SolidWorks for Designers Mold Design , 2003 , Massachusetts , USA

Kuldaşlı A. B., Enjeksiyon Yöntemi İçin Plastik Parça Tasarımı , 2006

Jürgen Hasenauer, Dieter Küper, Jost E. Laumeyer and Ian Welsh, Temmuz 2004, Top Ten Design Tip: A Series of 10 Articles, Leverkusen, Germany