

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE TEORİSİ VE DİNAMİĞİ BİLİM DALI**

**PLASTİK ENJEKSİYON PARAMETRELERİNİN ÜRÜN
KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

TIR b... bir... (T... Net... Rol...

Kutlucan TUNÇER

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi M. M. Fatih KARAHAN**



MANİSA-2019

**Kutlucan
TUNÇER**

**PLASTİK ENJEKSİYON PARAMETRELERİNİN ÜRÜN KALİTESİ
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

2019

TEZ ONAYI

Kutlucan TUNÇER tarafından hazırlanan " **Plastik Enjeksiyon Parametrelerinin Ürün Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi** " adlı tez çalışması **22/08/2019** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Dr. Öğr. Üyesi M. M. Fatih KARAHAN**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç Dr. B. Burak ÖZHAN**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi Levent AYDIN**
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Kutlucan TUNÇER



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	4
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	5
TABLO DİZİNİ	9
TEŞEKKÜR.....	10
ÖZET.....	11
1.GİRİŞ	13
2.MATERYAL VE YÖNTEM	18
2.1.Plastik Malzemeler	18
2.1.1 Plastik.....	18
2.1.2. Takviye Dolgu ve İlave Maddeler	21
2.1.3. Sık Kullanılan Termoplastikler.....	25
2.1.4. Plastiklerin Davranışları	28
2.2. Plastik Enjeksiyon	35
2.2.1. Plastik Enjeksiyon Çevrimi	36
2.3. Plastik Enjeksiyon Makinesi	38
2.4. Plastik Enjeksiyon Kalıbı	42
2.4.1. Erkek Kalıp	45
2.4.2. Dişi Kalıp.....	46
2.4.3. Soğutma Sistemi	48
2.4.4. Yolluk Sistemi	50
2.4.5. İtici Sistemi	53
2.4.6. Kapatma Ünitesi	56
2.4.7. Kontrol Ünitesi	56
2.5. Plastik Enjeksiyonda Kullanılan Parametreler	57
2.5.1. Basınç.....	58
2.5.2. Sıcaklık	67
2.5.3. Zaman	75
2.5.4. Hız.....	78
2.5.4.2. Vida Dönüş Hızı	84
2.5.5. Enjeksiyon Prosesine Sistemik Yaklaşım	86
2.6. Plastik Enjeksiyon Hataları Ve Çözüm Önerileri.....	88
2.6.1. Siyah Nokta.....	88

2.6.2. Hava Kabarcıkları	88
2.6.3. Akış İzi.....	89
2.6.4. Parça Üzerinde Yanıklar	90
2.6.5. Parçada Soyulma.....	91
2.6.6. Ebatlarda Farklılık	92
2.6.7. Çapak	93
2.6.8. Parçanın Kalıba Yapışması.....	94
2.6.9. Eksik Baskı	95
2.6.10. Yüzeyde Çöküntü	96
2.6.11. Parça İçinde Boşluklar	97
2.6.12. Çarpılma.....	98
2.6. 13. Birleşme İzleri	99
2.6.14. İtici İzi.....	100
2.6.15. Gümüş Renkte Dalgalanma	101
2.7. Taguchi Yöntemi	102
2.7.1. Taguchi Metodunda Parametre Tasarımı.....	103
2.8. Bulanık Mantık.....	105
2.8.1. Bulanık Mantığın Genel Yapısı	110
2.8.2. Bulanık Mantık Kontrolün Teorik Avantajları	114
2.8.3. Bulanık Mantık Kontrolün Pratik Avantajları	114
2.8.4. Bulanık Mantığın Uygulama Alanları	115
2.8.4. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları.....	117
3. UYGULAMA	121
3.1. Taguchi Yönteminin Uygulanması.....	124
3.2. Moldflow Analizinin Yapılması.....	128
3.2.1. Dolum Analizi.....	128
3.2.2. Basınç Değişimi Analizi	129
3.2.3. Ortalama Sıcaklık Analizi.....	129
3.2.4. Dolum Sonrasında Katılaşılan Bölge Analizi	129
3.3. Analizlerin Değerlendirilmesi	130
3.3.1. 1 No'lu Analiz	130
3.3.2. 2 No'lu Analiz	133
3.3.3. 3 No'lu Analiz	136
3.3.4. 4 No'lu Analiz	138
3.3.5. 5 No'lu Analiz	141
3.3.6. 6 No'lu Analiz	143

3.3.7. 7 Nolu Analiz.....	146
3.3.8. 8 No'lu Analiz.....	148
3.3.9. 9 No'lu Analiz.....	151
3.3.10. 10 No'lu Analiz.....	154
3.3.11. 11 No'lu Analiz.....	156
3.3.12. 12 No'lu Analiz.....	159
3.3.13. 13 No'lu Analiz.....	161
3.3.14. 14 No'lu Analiz.....	164
3.3.15. 15 No'lu Analiz.....	167
3.3.16. 16 Nolu Analiz.....	169
3.4. Bulanık Mantık Sisteminin Oluşturulması.....	173
4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	183
KAYNAKLAR.....	185
ÖZGEÇMİŞ.....	192

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
AYPE	Alçak Yoğunluklu Propipilen
CA	Selüloz Asetat
PA	Naylon Poliamid
PC	Polikarbonat
PEEK	Polietereterketon
PE	Polietilen
PET	Polietilen Tereftalat
PS	Polistiren
POM	Asetal
PMMA	Akrilik
PP	Polipropilen
PVC	Polivinik Klorür
SAN	Stiren Akrilonitril
YYPE	Yüksek Yoğunluklu Propipilen

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2. 1. Dünyada Plastik Mamul Üretimi (milyon ton)	18
Şekil 2. 2. Türkiye'de Üretilen Toplam Hammadde Oranları	20
Şekil 2. 3. Dünyada Termoplastik Talebi.....	25
Şekil 2. 4. Amorf ve Kristalin Malzemelerin Tg ve Tm Değerlerinin Değişim Grafiği	30
Şekil 2. 5. Amorf ve Yarı Kristal Hammaddeler İçin Basınç-Zaman Grafiği	33
Şekil 2. 6. Plastiğin Kalıp İçerisindeki Hareketleri ve Sonuçları.....	33
Şekil 2. 7. İtici Pimler ile Parça Çıkarılması	38
Şekil 2. 8. Plastik Enjeksiyon Makinesi.....	39
Şekil 2. 9. Enjeksiyon Ünitesi Birimleri	40
Şekil 2. 10. Üç Plakalı Plastik Enjeksiyon Kalıbı	43
Şekil 2. 11. İki Plakalı Plastik Enjeksiyon Kalıbı	43
Şekil 2. 12. Plastik Enjeksiyon Kalıbı.....	48
Şekil 2. 13. Baffle Sistem.....	49
Şekil 2. 14. Bubbler Sistem.....	49
Şekil 2. 15. Yolluk Sistemi	50
Şekil 2. 16. Sıcak Yolluk Sistemi	52
Şekil 2. 17. Enjeksiyon Hata Oranları.....	58
Şekil 2. 18. Enjeksiyon-Zaman Grafiği.....	59
Şekil 2. 19. Geri Basınç Şeması	62
Şekil 2. 20. Enjeksiyon Basınç Değişimi	65
Şekil 2. 21. Kalıp İç Basınç Değişimi	65
Şekil 2. 22. Enjeksiyon ve Kalıp İç Basıncının Zamana Göre Değişimi	66
Şekil 2. 23. Enjeksiyon İç Basıncının Parça ve Helezon Konumuna Göre Değişimi	66
Şekil 2. 24. Enjeksiyonda Üretilmiş Bir Parçada Basınç İzlenimi	67
Şekil 2. 25. Vida Kovan Sistemi	68
Şekil 2. 26. Plastiğin Bozulma Bölgesi	70
Şekil 2. 27. Kalıp Sıcaklığının Enjeksiyon Baskısına Göre Değişimi	73
Şekil 2. 28. Enjeksiyonda Üretilmiş Bir Parçada Sıcaklık İzlenimi	74
Şekil 2. 29. Çevrim Zamanı Sıralaması	75
Şekil 2. 30. Enjeksiyon Akışında Ergimiş Hammaddenin Kabuklaşması	79
Şekil 2. 31. MFI test cihazı	80
Şekil 2. 32. Ergiyikte Akış Karakteristiği	82
Şekil 2. 33. Ergiyiklerin Birleşmeleri ve Kaynak Çizgisi	83
Şekil 2. 34. Plastik Üretimi İş Akış Şeması	87
Şekil 2. 35. Ürün Üzerinde Görülen Siyah Noktalar	88
Şekil 2. 36. Yüzeyde Görülen Hava Kabarcıkları	89
Şekil 2. 37. Ürün Yüzeyinde Görülen Akış İzi	90
Şekil 2. 38. Parçada Görülen Yanık İzi	91
Şekil 2. 39. Parçada Görülen Soyulma	92
Şekil 2. 40. Üründe Görülen Çapak	93

Şekil 2. 41. Ürünün Sırasıyla Erkek ve Dişi Kalıba Yapışması	95
Şekil 2. 42. Merkez Dengelemeli Yolluk Sisteminde Tam Dolmamış Parçalar	96
Şekil 2. 43. Tam Dolmamış Parça	96
Şekil 2. 44. Parça Yüzeyde Görülen Çökme	97
Şekil 2. 45. Parça İçinde Boşluklar	98
Şekil 2. 46. Parçada Çarpılma	99
Şekil 2. 47. Birleşme İzi	100
Şekil 2. 48. Parçada Görülen İtici İzi	101
Şekil 2. 49. Yüzeyde Görülen Renk Dalgalanmaları	102
Şekil 2. 50. Sayıların Komşuluğu	107
Şekil 2. 51. Klasik küme ve Bulanık Mantık Kümesi	109
Şekil 2. 52. Bulanık Mantık Şeması.....	111
Şekil 2. 53. Üçgen Üyelik Fonksiyonu	118
Şekil 2. 54. Trapezoidal Üyelik Fonksiyonu	118
Şekil 2. 55. Sigmoid Üyelik Fonksiyonu	119
Şekil 2. 56. Gaussian Üyelik Fonksiyonu	120
Şekil 3. 1. Deney Tasarımı Çizelgesi Oluşturma Ekranı.....	125
Şekil 3. 2."Taguchi Design" Ekranı	126
Şekil 3. 3. Tasarım Belirleme Ekranı 1	126
Şekil 3. 4. Tasarım Belirleme Ekranı 2	127
Şekil 3. 5. Faktör Belirleme Ekranı.....	127
Şekil 3. 6. Analiz 1 Dolum Analizi Sonucu	131
Şekil 3. 7. Analiz 1 Basınç Değişimi Sonucu	132
Şekil 3. 8. Analiz 1 Ortalama Sıcaklık Sonucu.....	132
Şekil 3. 9. Analiz 1 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştıran Alan Sonucu.....	133
Şekil 3. 10. Analiz 2 Dolum Analizi Sonucu	133
Şekil 3. 11. Analiz 2 Basınç Değişimi Sonucu	134
Şekil 3. 12. Analiz 2 Ortalama Sıcaklık Sonucu.....	135
Şekil 3. 13. Analiz 2 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştıran Alan Sonucu.....	135
Şekil 3. 14. Analiz 3 Dolum Analizi Sonucu	136
Şekil 3. 15. Analiz 3 Basınç Değişimi Sonucu	137
Şekil 3. 16. Analiz 3 Ortalama Sıcaklık Sonucu.....	137
Şekil 3. 17. Analiz 3 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştıran Alan Sonucu.....	138
Şekil 3. 18. Analiz 4 Dolum Analizi Sonucu	139
Şekil 3. 19. Analiz 4 Basınç Değişimi Sonucu	139
Şekil 3. 20. Analiz 4 Ortalama Sıcaklık Sonucu.....	140
Şekil 3. 21. Analiz 4 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştıran Alan Sonucu.....	140
Şekil 3. 22. Analiz 5 Dolum Analizi Sonucu	141
Şekil 3. 23. Analiz 5 Basınç Değişimi Sonucu	142
Şekil 3. 24. Analiz 5 Ortalama Sıcaklık Sonucu.....	142
Şekil 3. 25. Analiz 5 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştıran Alan Sonucu.....	143
Şekil 3. 26. Analiz 6 Dolum Analizi Sonucu	144
Şekil 3. 27. Analiz 6 Basınç Değişimi Sonucu	144
Şekil 3. 28. Analiz 6 Ortalama Sıcaklık Sonucu.....	145

Şekil 3. 29. Analiz 6 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu.....	145
Şekil 3. 30. Analiz 7 Dolum Analizi Sonucu	146
Şekil 3. 31. Analiz 7 Basınç Değişimi Sonucu	147
Şekil 3. 32. Analiz 7 Ortalama Sıcaklık Sonucu	147
Şekil 3. 33. Analiz 7 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu.....	148
Şekil 3. 34. Analiz 8 Dolum Analizi Sonucu	149
Şekil 3. 35. Analiz 8 Basınç Değişimi Sonucu	149
Şekil 3. 36. Analiz 8 Ortalama Sıcaklık Sonucu	150
Şekil 3. 37. Analiz 8 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu.....	150
Şekil 3. 38. Analiz 9 Dolum Analizi Sonucu	152
Şekil 3. 39. Analiz 9 Basınç Değişimi Sonucu	152
Şekil 3. 40. Analiz 9 Ortalama Sıcaklık Sonucu	153
Şekil 3. 41. Analiz 9 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu.....	153
Şekil 3. 42. Analiz 10 Dolum Analizi Sonucu	154
Şekil 3. 43. Analiz 10 Basınç Değişimi Sonucu	155
Şekil 3. 44. Analiz 10 Ortalama Sıcaklık Sonucu	155
Şekil 3. 45. Analiz 10 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu.....	156
Şekil 3. 46. Analiz 11 Dolum Analizi Sonucu	157
Şekil 3. 47. Analiz 11 Basınç Değişimi Sonucu	157
Şekil 3. 48. Analiz 11 Ortalama Sıcaklık Sonucu	158
Şekil 3. 49. Analiz 11 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu.....	158
Şekil 3. 50. Analiz 12 Dolum Analizi Sonucu	159
Şekil 3. 51. Deney 12 Basınç Değişimi Sonucu	160
Şekil 3. 52. Analiz 12 Ortalama Sıcaklık Sonucu	160
Şekil 3. 53. Analiz 12 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu.....	161
Şekil 3. 54. Analiz 13 Dolum Analizi Sonucu	162
Şekil 3. 55. Analiz 13 Basınç Değişimi Sonucu	163
Şekil 3. 56. Analiz 13 Ortalama Sıcaklık Sonucu	163
Şekil 3. 57. Analiz 13 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu.....	164
Şekil 3. 58. Analiz 14 Dolum Analizi Sonucu	165
Şekil 3. 59. Analiz 14 Basınç Değişimi Sonucu	165
Şekil 3. 60. Analiz 14 Ortalama Sıcaklık Sonucu	166
Şekil 3. 61. Analiz 14 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu.....	166
Şekil 3. 62. Analiz 15 Dolum Analizi Sonucu	167
Şekil 3. 63. Analiz 15 Basınç Değişimi Sonucu	168
Şekil 3. 64. Analiz 15 Ortalama Sıcaklık Sonucu	168
Şekil 3. 65. Analiz 15 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu.....	169
Şekil 3. 66. Analiz 16 Dolum Analizi Sonucu	170
Şekil 3. 67. Analiz 16 Basınç Değişimi Sonucu	171
Şekil 3. 68. Analiz 16 Ortalama Sıcaklık Sonucu	171
Şekil 3. 69. Analiz 16 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu.....	172
Şekil 3. 70. Sistemin Giriş ve Çıkış Parametreleri	175
Şekil 3. 71. Bulanık Mantık Siteminin Oluşturulması	176
Şekil 3. 72. Kalıp Sıcaklığı Üyelik Fonksiyonlarının Tanımlanması	177

Şekil 3. 73. Enjeksiyon Sıcaklığı Fonksiyonlarının Tanımlanması	177
Şekil 3. 74. Enjeksiyon Basıncı Fonksiyonlarının Tanımlanması	178
Şekil 3. 75. Kalite Değerlerinin Girilmesi	178
Şekil 3. 76. Kuralların Sisteme Tanımlanması.....	179
Şekil 3. 77. "Surface viewer" Sonuç Ekranı	179
Şekil 3. 78. "Rule viewer" Sonuç Ekranı	180
Şekil 3. 79. Mevcut Yeni Ürün Devreye Alma Süreci.....	181
Şekil 3. 80. Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Yeni Ürün Devreye Alma Süreci	182



TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2. 1. Plastik Hammadde Yerli Üretimi	19
Tablo 2. 2. Bazı Plastikler İçin Elastiklik Modülü Değerleri	28
Tablo 2. 3. Bazı Plastikler İçin VST ve DTUL Değerleri	31
Tablo 2. 4. Bazı Plastikler İçin Bozulma Sıcaklıkları	31
Tablo 2. 5. Bazı Plastiklerin Termal Özellikleri	32
Tablo 2. 6. Plastiklerin Tavsiye Edilen Et Kalınlıkları	35
Tablo 2. 7. Bazı Plastiklerin Ergiyik Sıcaklıkları	69
Tablo 2. 8. Tam Faktöriyel ve Taguchi Metodunun Karşılaştırılması.....	105
Tablo 2. 9. Bazı Firmaların Bulanık Mantık Kullandığı Alanlar	116



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında tavsiye ve önerilerini benden esirgemeyen, gerek eğitim biçimi, gerek yaőam tavsiyeleri, bilgisi ve kiőiliđi ile bana ve birçok öğrenciye yol gösterici olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi M. M. Fatih KARAHAN 'a çok teşekkür ederim.

Bana her konuda her zaman destek olan, maddi ve manevi hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan annem Esmâ TUNÇER ve babam Hikmet TUNÇER'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Kutlucan TUNÇER
Manisa, 2019



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Plastik Enjeksiyon Parametrelerinin Ürün Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Kutlucan TUNÇER

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi M. M. Fatih KARAHAHAN

Plastik parçalar, yaşamımızda birçok yerde sıklıkla kullanılmaktadır ve plastik ürünlerin imalatında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılan enjeksiyonla kalıplama yöntemidir. Plastik enjeksiyon yöntemi seri üretime oldukça uygun olup genellikle termoplastiklere uygulanır. Bu çalışmanın konusu olan plastik enjeksiyon yöntemine bir seferde birden fazla çıkarılması istenen karmaşık ürünler için, malzeme tasarrufunu, çevrim süresinin azaltılmasını, kalıp ömrünün artırılmasını sağlamak amacıyla başvurulmaktadır. Ancak çevresel etkenler nedeniyle süreç değişkenleri zamana göre değişmektedir. Klasik süreç denetim yöntemleri bu tür sistemlerin denetiminde yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle bu tür süreçlerin optimizasyonunda bulanık mantıktan yararlanılmıştır.

Bu çalışma, önerilen yeni yaklaşımla plastik enjeksiyon yönteminde en önemli süreçlerden biri olan yeni ürün devreye alma sürecini kısaltabilmek amacıyla yapılmıştır. Yeni ürün devreye almak için bulanık mantık sistemi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Plastik Enjeksiyon, Optimizasyon, Yeni Ürün Devreye Alma, Bulanık Mantık, Taguchi Metodu

2019, 199 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Investigation of the Effects of Plastic Injection Parameters on Product Quality

Kutlucan TUNÇER

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. M. M. Fatih KARAHAN

Plastic parts are frequently used in many places in our lives and different methods are used in the manufacture of plastic products. It is the most commonly used injection molding method. Plastic injection method is very suitable for mass production and is usually applied to thermoplastics. For the complex products which are required to be removed more than once in the plastic injection method which is the subject of this study, it is applied in order to save material, reduce cycle time and increase the life of the mold. However, due to environmental factors process variables vary according to time. Classical process control methods are insufficient in the control of such systems. Therefore, fuzzy logic is used in optimization of such processes.

This study was carried out with the aim of shortening the new product commissioning process which is one of the most important processes in plastic injection method with the proposed new approach. A fuzzy logic system is used to commission the new product.

Keywords: Plastic Injection, Optimization, New Product Commissioning, Fuzzy Logic, Taguchi Method

2019, 199 pages

1.GİRİŞ

Günümüzde plastik malzemelerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Plastik diğer hammaddelerle karşılaştırıldığında daha ucuz ve plastik hammadde ile üretilen ürün imalatının hızlı ve kolay olması plastiğin sıklıkla tercih edilmesinin başlıca sebeplerindendir. Ayrıca rekabet koşullarının giderek sertleştiği bu dönemde, plastik parça üretiminin seri imalata yatkın olması, plastiğin endüstrideki en büyük avantajıdır.

Plastik bir ürünün meydana gelmesi, tasarım süreci ile başlar. Tasarım sürecinde hammadde ürünün çalışma koşullarına ve maliyetine göre belirlenir. Bu süreci kalıp tasarımı takip eder. Bu süreçte en önemli amaç, kalıbın tasarımı ve imalatı sırasında giderleri en uygun seviyede tutarak verimli bir imalat süreci geçirecek şekilde kalıbın tasarlanmasıdır. Süreci tamamlayacak son aşama ise; tasarımı yapılmış olan plastik enjeksiyon kalıbına uygun enjeksiyon makinesinin seçilmesidir. Tüm bu süreçlerdeki amaç, kaynakları optimum şekilde kullanıp, istenilen kaliteyi düşük maliyet ile birlikte verimliliği sağlamaktır.

Üretim sürecine geçildiğinde hammadde, kalıp ve enjeksiyon makinesi arasındaki ilişkiden dolayı birçok kalite problemi meydana gelmektedir. Eğer tasarım sürecinde kalıp tasarımı ve hammadde seçimi doğru yapılmış ise, kalite problemleri enjeksiyon prosesinde uygulanan parametrelerinden kaynaklanmaktadır.

Meydana gelen kalite problemini ortadan kaldırmak için öncelikle enjeksiyon prosesinde hangi parametrenin ürün kalitesini nasıl etkilediği belirlenmelidir. Ancak bu tespitin yapılması, tüm parametrelerin birbirleriyle bağlantılı olmasından dolayı kolay değildir. Bu problemlerin belirlenmesinde, üretilen plastik ürünün istenilen boyut hassasiyetinde ve yapılan tasarımı karşılayan mekanik ve fiziksel özellikleri karşılayan şekilde üretime alınmasında, tecrübe çok önemlidir. Tecrübeden yararlanılmadığı durumlarda ise istenilen kalitede plastik parçanın üretilebilmesi, makine başında ciddi zaman kayıplarına ve istenilen görsel ve fiziksel özellikleri karşılamayan parça üretiminde kaynaklanan ciddi hammadde ve enerji kayıplarına neden olur. Bu kayıpların, sertleşen endüstriyel koşulları göz önüne alındığında da giderilmesi ve verimsizliği oluşturan proseslerin iyileştirilmesi gerekir.

Pınar [1] yaptığı çalışmada, plastik parçaların enjeksiyon yöntemi ile imalatında ortaya çıkabilecek hataların analiz programı yardımıyla önceden tespiti ve bir uygulama ile proses şartlarının optimizasyonu yapılarak hataların giderilmesini amaçlamıştır. Plastik enjeksiyon analizini Moldflow programında gerçekleştirmiştir. Fakat analiz programının, parçaların veya kalıbın tasarım aşamasından değil de sadece plastik enjeksiyon sırasında kullanılması çalışmasında bazı kısıtlamaları beraberinde getirmiştir. . Bunlar parça et kalınlığından ve soğutma kanallarının yerleşiminden kaynaklanan sorunlara müdahale edilememesi şeklinde kendini göstermiştir. Enjeksiyon analiz programının sadece proses parametrelerini belirlemek amaçlı kullanımı fonksiyonel bir araç olarak hataları önleyerek kaliteyi ve verimliliği arttırsa da bu aşamada yetersiz kalabileceği de görülmüştür. Yapılan bu çalışma sonucunda plastik parçaların imalatında karşılaşılan hataların hammadde, parça tasarımı, kalıp, makine ve çalışma şartları kaynaklı olabileceği görülmüştür. Ancak hatanın hangi nedenden kaynaklandığını öngörmek oldukça zordur. Analizden en iyi verimin alınabilmesi ve plastik parça imalatında en iyi kalitenin yakalanabilmesi için mevcut plastik enjeksiyon analiz programlarının parça tasarımından ürün imaline kadar geçen süreçte efektif bir şekilde kullanılması gerektiğini çalışmasında tespit etmiştir.

Akyürek [2] çalışmasında , yeni bir yaklaşımla plastik enjeksiyon yöntemindeki en önemli süreçlerden biri olan yeni ürün devreye alma sürecini kısaltmak amacıyla yapay sinir ağı yöntemi kullanmıştır. Oluşturulan modeller ile en kısa zaman dilimi içerisinde kalite problemi bulunmayan uygun parçaların elde edilmesi istenmektedir. Çalışmasında , plastik enjeksiyon yönteminde yeni ürün devreye alma sürecinde elde edilen ürünlerin kalite problemine sahip olup olmadıklarının tespiti konusunda Matlab programında oluşturulan çok katmanlı yapay sinir ağı, elde edilen ürünün kalite problemine sahip olması durumunda bunun giderilmesi için yapılması gereken aksiyonları üretip ilgili operatör veya formene sunan ve C++ programında kodlanmış olan uzman sistem kullanılmıştır. Yapay sinir ağlarının öğrenme kabiliyeti sayesinde formlerin bilgi ve tecrübesinin ağ içinde depolanması sağlanabilmektedir. Bu çalışma ile yeni ürün devreye alma sürecini kısaltarak, makine kullanım süresini, işgücü kullanım süresini, fire ve hurda miktarlarını ve genel üretim maliyetlerini azaltacak; ayrıca birim zamanda üretilen parça sayısını arttırarak rekabette üstünlük sağlayacaktır.

Ceritbinmez [3] çalışmasında, enjeksiyon hatalarından biri olan çapaklanma üzerinde çalışmıştır. Çalışmasında termoplastik polimer malzeme kullanılarak plastik enjeksiyon makinesinde değişik enjeksiyon parametreleri ile plastik kapaklar üretilmiş ve özel tasarlanmış görüntü alma düzeneği ile görüntüleri alınıp Matlab programı kullanılarak yüzeylerinde bulunan çapak miktarları ölçülmüştür. Çapaklanmayı etkileyen parametreler incelenerek en iyi enjeksiyon parametreleri tespit edilmiştir.

Kamber [4] çalışmasında, kalıp ve makinedeki aşınma, ölçme cihazlarındaki hassasiyet ve kalibrasyon yetersizliği, hava şartları ve hammaddelerdeki değişiklikler ve voltajdaki dalgalanmaların elde edilen parça kalitesi üzerinde etkili oldukları belirlenmiştir. Basınç, sıcaklık ve enjeksiyon zamanı Taguchi Yöntemi ile elde edilen plana göre ölçmüştür. Üretim hatalarını minimize etmek üzere boyutlar, distorsiyon ve dairesellik hataları belirlemiştir. Kaliteli bir ürün ve minimize edilmiş üretim hataları için gerekli basınç, sıcaklık ve enjeksiyon zamanı değerleri optimizasyon teknikleriyle elde etmiştir.

Erzurumlu ve Özçelik [5], çalışmalarında enjeksiyon kalıplama ile şekil verilen farklı şekil ve büyüklüklerdeki plastik parçaların proses parametrelerinden olan eğrilik ve çökme endekslerinin Taguchi optimizasyon yöntemi ile minimizasyonunu amaçlamışlardır. Proses parametreleri olarak kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı ve paketleme basıncına ek olarak kesit tipi ve açı değerlerini kullanmışlar ve eğrilik ve çökme değerlerini gözlemlemişlerdir. PC/ABS, POM ve PA66 polimerik malzemelerini dikkate almışlar ve Taguchi optimizasyon yöntemini 3 seviyeli faktöriyel analiz kullanarak uygulamışlardır. Eğrilik ve çökme göstergelerine proses parametrelerinin etkisinin ve bu parametrelerin optimal seviyelerinin bulunması için Taguchi ortogonal düzeni, S/N oranı ve varyans analizi (ANOVA) kullanmışlardır. Proses parametrelerinin optimal seviyeleri ile yaptıkları doğrulama analizleri sonucu Taguchi yönteminin oldukça iyi olduğunu dile getirmişlerdir. Ayrıca, termoplastik parçaların enjeksiyon ile kalıplanması sürecinde ortaya çıkan kalite problemlerinin çözümünde Taguchi yönteminin oldukça uygun olduğunu kabul etmişlerdir.

Tiryaki ve Kazan [6] yaptığı çalışmada bulaşık makinesini bulanık mantık yöntemiyle modellemişlerdir. Bulaşık makinesine ait bulanık mantık model ile

bulaşık miktarı, bulaşığın kirlilik derecesi ve bulaşık cinsine göre en ekonomik yıkama şartlarının sağlanması amaçlamışlardır. Giriş olarak belirlenen bulaşık miktarı, bulaşığın kirlilik derecesi ve bulaşık cinsi ile çıkış olarak belirlenen yıkama zamanı, deterjan miktarı, su sıcaklığı, üst ve alt sepet pompa devri gibi parametreler gerekli görüldüğü takdirde artırılabilir veya azaltılabilir. Çıkış parametrelerinin kontrolüyle daha temiz bulaşıklar elde edilirken su, deterjan, elektrik ve zamandan tasarruf sağlanması amaçlanmıştır.

Ünsal ve Alışkan [7] yaptığı çalışmada Mamdani ve Takagi-Sugeno çıkarım yöntemlerine sahip bulanık mantık denetleyicilerin özgün yazılım ve araç kutusu performans analizi yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda, hazır araç kutuları ve özgün yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilen bulanık mantık denetleyicilerin farklı çalışma koşulları altında performans analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, tasarlanan denetleyicilerin birbiriyle uyumlu sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür.

Dubay [8], plastik enjeksiyon şekil verme prosesinde yer alan parametrelerin yüksek oranda non-lineer ve birbirleriyle etkileşimli olduğunu belirtmektedir. Çalışmasında, operatör hazırlık zamanlarının azaltılması, sürekli ve sabit ürün kalitesinin sağlanması ve termal bozulmaların önlenmesi için erime sıcaklığının kontrolü üzerinde durmuş ve bir endüstriyel enjeksiyon şekil verme makinesinde deneylerini gerçekleştirmiştir. Deneylerden elde ettiği sonuçlardan ise, çok girdi ve çok çıktıdan oluşan ve pratik olarak uygulanabilen bir kontrol stratejisi geliştirmiştir. Bununla birlikte daha fazla parametrenin kontrolünde oluşturduğu sistemin yeterli olamayabileceği üzerinde durmuştur.

Öktem ve ark. [9] çalışmalarında zayıf kabuklu plastik parçaların üretimi boyunca karşılaşılabilen, çekme kaynaklı eğrilik problemini azaltmada Taguchi optimizasyon tekniğini uygulamışlardır. Bu amaçla, 3 seviyeli L27 ve L9 Taguchi ortogonal tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Çekme ve eğrilik üzerine proses parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi ve bu parametrelerin optimum seviyelerinin bulunması amacıyla S/N oranı ve varyans analizinden (ANOVA) faydalanmışlardır. Elde ettikleri deneysel sonuçlardan, Taguchi optimizasyonunun zayıf kabuklu plastik parçalar için çekme kaynaklı eğrilik probleminin çözümünü başarılı bir şekilde gerçekleştirdiğini saptamışlardır.

Bu tez çalışmasında plastik parçaların, plastik enjeksiyon yöntemi ile üretiminde karşılaşılabilecek kalite problemlerinin ve bu problemlerin meydana çıkaracağı maliyetlerin önceden tespiti ve konuda uzman kişilerin deneyimleri bulanık mantık metodu ile bilgisayar ortamına aktarılması amaçlanmıştır. Bu nedenle bu tez çalışmasında plastik enjeksiyonda ürün kalitesini doğrudan etkileyen kalıp sıcaklığı, enjeksiyon sıcaklığı ve enjeksiyon basıncı parametrelerinin her biri, bulaşık makinesinin alt tabanı üretiminde 4 farklı seviyede incelenmiştir. Analiz sayısını en az sayıda tutup yüksek verim sağlamak için faktör seviyelerini teker teker değiştirmek yerine, eş zamanlı değiştiren ortogonal diziler yaklaşımını kullanan Taguchi metodu Minitab programı aracılığı ile kullanılmıştır. Belirlenen parametre ve seviyeleri Moldflow programında analizi yapılmıştır. Analiz sonrasında çıkan sonuçlar değerlendirilip Matlab aracılığıyla oluşturulan bulanık mantık sistemine aktarılmıştır.

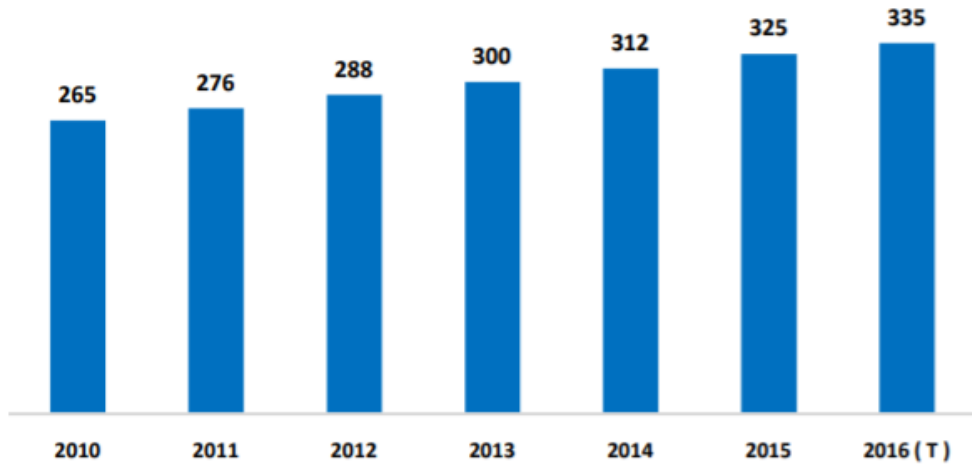
2.MATERYAL VE YÖNTEM

2.1.Plastik Malzemeler

2.1.1 Plastik

Sanayi devriminden sonra insanoğlu günlük hayatını kolaylaştırmak için birçok farklı endüstriyel ürüne ihtiyaç duymuştur. Bu ihtiyaçlar her gün kullandığımız akıllı telefonları, evlerin vazgeçilmezi haline gelmiş beyaz eşyaları , ulaşımımızı sağlayan araçları, ameliyat ekipmanları ve kullandığımız alışveriş poşetlerini dahi kapsar. Bu ürünleri tek bir kategori altında toplamak gerekirse eğer bahsi geçen bu ürünlerin hammaddelerinin hepsi plastiktir. Plastiğin tüm bu ürünlerde tercih edilmesinin nedeni, plastiğin birçok tasarım engelini aşabilmesi ve ucuz, hafif, dayanıklı olmasıdır.

Bir çok yapay malzemenin ortak adı olan "Plastik" sözcüğü fransızca olup, "biçimlendirme" anlamındaki eski yunanca bir kelime olan "Plastikos" sözcüğünden türemiştir. Plastik ilk defa 1860 yılında Aleksander PARKES tarafından bulunmuştur. Plastiği oluşturan maddeler ham petrol, gaz ve kömürün elde edilmesi sırasında geriye kalan maddelerdir. Plastiğin üretimi için dünyada üretilen toplam petrolün yalnızca %4 'ü plastik üretimi için kullanılmaktadır. şekil 2.1'de plastiğin yıllar içindeki üretim miktarı gösterilmiştir [10].



şekil 2. 1.Dünyada Plastik Mamul Üretimi (milyon ton) [11]

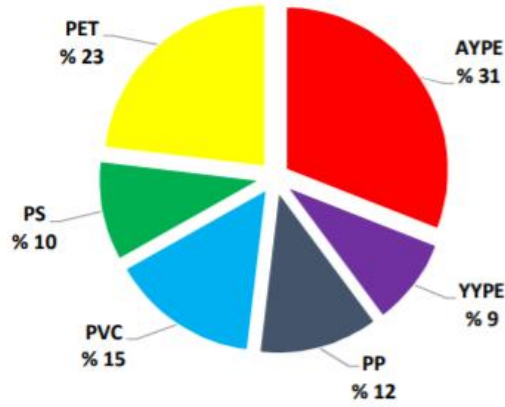
Avrupa'da 2015 yılında 58 milyon ton, 2016 yılında ise 60 milyon ton, dünyada ise 2015 yılında 322 milyon ton, 2016 yılında ise 335 milyon ton plastik hammadde üretilmiştir. Dünyadaki en büyük plastik üreticisi piyasanın % 29 'unu elinde bulunduran Çin'dir. Piyasanın % 50'sini ise Asya kıtasındaki üreticiler oluşturur. Avrupa'nın bu pazarda payı ise %19 oranındadır. Dünya'da 2016 yılında en çok plastik hammadde ihracatı yapan ülke %17,6 oranıyla Çin'dir. Çin'i %5.8 oranıyla Rusya, Amerika ve Hong Kong takip eder. En çok plastik hammadde ithalatı yapan ülke ise %18.1 oranıyla Suudi Arabistan'dır. İkinci ülke ise %15.8 oranıyla Güney Kore'dir. Plastik parça üretimi yapan ve %12.1 oranıyla en yüksek ihracat oranına sahip ülke İsviçre'dir. En çok ithalat ilk 5 ülke arasında %6.6 oranıyla Türkiye'de yer alır. Türkiye aynı zamanda %17.6 oranıyla en çok plastik ürün ithalatı yapan ülkedir [11].

Türkiye'de plastik sektörüne bakıldığı zaman 1.014.000 ton civarında plastik hammadde üretimi olduğu gözlenir. Tablo 2.1'de plastik hammaddelerin üretim miktarları gösterilmiştir.

Tablo 2. 1. Plastik Hammadde Yerli Üretimi [11]

ÜRÜN	1000 TON
AYPE	314
YYPE	90
PE	404
PP	122
PVC	152
PS	102
PET	234
TOPLAM	1014

Şekil 2.2 'de görüldüğü gibi, Türkiye'de 2017 yılında üretilen toplam plastik hammaddenin % 31'ini AYPE, % 9'unu YYPE, % 15'ini PVC, % 12'sini PP, % 10'unu PS, % 23'ünü de PET oluşturmuştur [11].



Şekil 2. 2. Türkiye'de Üretilen Toplam Hammadde Oranları [11].

Plastiğin bu kadar çok tercih edilmesinin nedenlerinden biri ekstra işleme maliyetine gerek kalmadan istenilen geometrilerde kalıplanabilmesidir. Diğer seramik ve metal gibi malzemelerle karşılaştırıldığında plastik düşük yoğunluklu olmasına rağmen dayanımı iyidir. Dayanım özelliğinin yanı sıra yüksek korozyon direncine, düşük ısıl ve elektrik iletkenliğine sahiptirler. Enerji tasarrufunun gittikçe önem kazandığı günümüzde plastiği üretmek için gereken sıcaklık miktarını, metallere göre daha düşüktür. Bu durum plastiği metale göre çevre dostu bir malzeme yapar. Bazı plastik türlerinin ışığı yansıtması ve saydam olması bazı tasarımlarda camın yerine kullanmasını sağlar. Plastik farklı katkılarla amacına uygun olarak çeşitli özellikler kazandırılabilir.

Plastiklerin kimyasal yapısına değinildiğinde monomer ve polimer terimleri üzerinde durmak gerekir. Monomerler, birbirleri arasında kovalent bağ kurup daha büyük moleküller oluşturabilme kabiliyetine sahip küçük yapıda moleküllerdir. Polimerler ise birden fazla monomerin yine birbirleri arasında kovalent bağ kurması sonucunda oluşan büyük moleküllerdir. Ayrıca monomer moleküller polimer yapıda moleküllere dönüşebilirler. Bu işleme de polimerizasyon denir.

Plastikleri genel çerçevede değerlendirecek olursak, plastikleri 3 gruba ayırmamız gerekir;

1. Termoplastikler
2. Termosetler
3. Elastomerler

Termoplastikler polimer yapıda olup, ısıtıldığı zaman eriyebilir ve yeniden şekillendirilebilir. Termoplastiklerin bu yapıda olması ve ısıtma-soğutma çevrimleri sırasında sadece fiziksel değişime uğraması, malzemeye geri dönüştürülebilir özelliği kazandırır. Isıtılan termoplastik istenilen her şekilde kalıplanabilir.

Termosetler, termoplastiklerin aksine ısıtma-soğutma çevrimlerinde kimyasal değişime uğrarlar ve sonra tekrar dönüştürülemezler. Polikondenzasyon yöntemi ile üretilirler.

Elastomerler ise termosetlerle kıyaslandıklarında sahip olduğu çapraz bağ sayısı daha azdır. Kendisini oluşturan çapraz bağlar elastomerlere gevrek, yüksek ısıya dayanıklı gibi özellikler kazandırırken, geri dönüşüme engel olurlar.

2.1.2. Takviye Dolgu ve İlave Maddeler

Endüstride rekabetin gittikçe artması, tasarımların giderek karmaşıklaşması, kullanılan hammaddeden beklentileri arttırmıştır. Buna bağlı olarak hammaddeye farklı özellikler kazandırmak için çeşitli katkılar kullanılmaya başlanmıştır. Bu katkıları aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar;

2.1.2.1. Plastikleştiriciler (Plastifiyanlar)

Bu kimyasal maddeler plastik hammadde karışımına son olarak eklenirler. Bu ilave maddeler hammaddenin fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirirler. Takviye dolgu maddesi olan plastikleştiriciler, ergimiş plastik hammaddenin proses sırasında kalıbın içinde daha kolay akmasını ve baskıdan sonra işlenebilme kabiliyetini ve esnekliğini arttırıp kırılmasını azaltırlar. Kullanılan plastik ile uyumlu olmalı, homojen şekilde karışabilmeli ve yapı içinde kalabilmelidir [12].

2.1.2.2. Pekiştirici ve Dayanım Artırıcılar

Bu katkı maddeleri plastiklerin mekanik, elektriksel ve ısıl özelliklerini etkiler, boyut kararlılığı sağlar ve bazı durumlarda ürünün maliyetini bile düşürebilirler. Bu katkıları aşağıdaki gibi kendi içinde sınıflandırabiliriz;

- **Asbest lifi, cam lifi, seramik lifi ve mika parçaları:** Kullanıldığı ürünün mekanik özelliklerini iyileştirip, boyut kararlılığı sağlarlar. Bu katkılar genellikle boyut hassasiyetinin kritik olduğu ve sürekli çalışan parçalarda

tercih edilirler. Sağlamış olduğu bu özelliklerin yanı sıra üründe ısıl iletkenliği düşürürler.

- **Kalsiyum ve baryum karbonatlar, talk kaolen vs:** Bu katkılar ürün maliyetini düşürmek için kullanırlar. Bu katkıların plastik hammadde de fazla oranda kullanılması ürünün mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Doğru oranda kullanıldıklarında ise üründe mekanik özellikleri iyileştirirler.
- **Metal ve grafit tozları:** Statik elektriğin istenmediği gibi özel durumlara kullanılan katkılardır.

2.1.2.3. Renklendiriciler

Ürün çeşitliliğini ve estetik etkiyi arttırmak için plastik ürünlerde renklendiriciler kullanılır. Plastik reçinenin yapısına ve kullanma yapısına göre farklı türde renklendiriciler bulunur. Bu katkılar saydam ve opak renklendiriciler olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Bu katkılar aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır;

1. Ürüne istenilen rengi verebilmeli ve ergitilmiş plastik hammadde içinde homojen şekilde dağılmalıdır.
2. Renklendirici katkı kullanılan hammaddenin kimyasal yapısını bozmamalıdır.
3. Biçimlendirme sürecinde katkının yapısı bozulmamalıdır.
4. Dış etkilere karşı kullanılan katkı dayanıklı olmalıdır. (UV ışığı vs.)
5. Katkılı ürünün su ile temasında rengi bozulmamalıdır.
6. Kullanılan katkılarda çevreyi ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen kimyasallar bulunmamalıdır [12].

2.1.2.4. Yağlayıcılar (Lubrikantlar)

Bu katkı ergimiş plastiğin, makinede yer alan sonsuz vida ve kalıp içinde daha kolay akışını sağlar, ayrıca bu katkı sayesinde ürün kalıptan daha kolay çıkar. Bu katkının iç ve dış yağlayıcı olmak üzere 2 farklı çeşiti vardır;

1. İç Yağlayıcılar : Plastik karışımının viskozitesini azaltırlar.
2. Dış Yağlayıcılar : Bu türdeki yağlayıcı plastik karışım ile sonsuz vida arasında oluşan sürtünmeyi azaltır.

Yağlayıcılar, karışıma genellikle %0.1 - 3.0 oranında ilave edilirler. Bu oranın aşılması durumunda karışım, ısı etkisiyle bozulabilir ve son ürünün mekanik özellikleri beklentileri karşılamaz [12].

2.1.2.5. Antistatikler

Plastiklerin kullanılması sırasında, üründe statik elektrik birikir. Biriken bu statik elektrik malzeme üründe toz, kir vb gibi istenmeyen yabancı maddelerin plastik ürün üzerinde birikmesine neden olur.

Bu katkı maddesi, plastik ürün üzerinde toplanan elektriksel yükün bırakılmasını sağlar. Karışıma ilave edilen her katkı gibi, antistatiklerinde plastik ile uygun, ısıya ve kalıplamaya uygun olması gerekir ve karışım içinde %0.1-2.0 oranında ilave edilirler [12].

2.1.2.6. Uv Stabilizatörleri

Plastik ürünlerin yapısı ve rengi UV etkisiyle zamanla bozulabilir. Bu durum ürünün estetik olarak bozulmasına ve çekme dayanımının azalmasına neden olur. Bu durumların yaşanmaması için bu katkıya ihtiyaç duyulur.

Uv stabilizatörleri, ürünün kimyasal değişimine neden olabilecek enerjiyi, ısıya dönüştürecek şekilde soğurur ve bu enerjinin dağılmasını sağlar. Bu katkının renksiz ve sağlığa zararsız olmasına dikkat edilmelidir. Bu katkı karışımda %0.5-2.0 oranında kullanılırlar [12].

2.1.2.7. Antioksidanlar

Antioksidanlar, karışımda oksitlenme önleyici görevini görür. Bu katkı, malzemede oksijenin yaratabileceği tahribatı engeller. Antioksidanlar ya direkt olarak oksijeni bağlar ya da plastik karışım ile kararlı bir ürün oluşturacak olan oksitlenmeyi önler. Plastik granülün üretimi sırasında katkıya etkilenebilir ya da parça basımı sırasında hammaddeye %0.1-2.5 oranında karıştırabilir [12].

2.1.2.8. Köpürtücüler

Organik veya inorganik yapıda olabilen bu katkılar, belirli bir sıcaklıkta parçalanarak gaz olarak hammaddenin içinde çözünmekte ve karışımı köpürterek gözenekli bir yapı oluşmasını sağlar. Bu katkı katı, sıvı ve gaz halinde

kimyasallardır. Eğer katkı katı ise erime, gaz ise genleşme, sıvı ise buharlaşarak sistemden ayrılma veya bozulma ile hücrel boşluklu yapı meydana gelir[12].

Üründen hafiflik, korozyon direnci gibi özellikler beklendiğinde bu katkıya başvurulur. Bu özelliklerin yanında ürüne ısı ve elektrik yalıtkanlığı özelliklerini kazandırır. Yalıtım, ambalajlama ve balıkçılık malzemesi ve mobilya benzeri işlemeli parçaların yapımında kullanılır. Ayrıca üründe maliyeti düşürür [12].

2.1.2.9. Isı Stablizatörleri

Bu katkı, malzemenin ısı karşısında mekanik özelliklerinin değişime uğramasını engeller. Karışımında bu katkının bulunması plastiğin farklı koşullar altındaki kullanım ve saklama süresini uzatır [12].

2.1.2.10. Yanma Dayanımı Arttırıcılar

Yanma dayanımını artırıcı adı verilen katkı maddeleri, plastiklerin düşük sıcaklıklarda tutuşmalarını ve alev oluşması durumunda bile alevin ilerlenmesini önler [12].

2.1.2.11. Floresant ve Beyazlatıcılar

Termoplastiklerin büyük bir bölümü sarımsı renkte görünürler. Bunun nedeni termoplastik görünür ışığı spektrumun mavi bölgesinde soğurur. Termoplastiğin bu özelliğinden dolayı karışımında bu katkıların kullanılması gerekir [12].

2.1.2.12. Biyo Stabilleştiriciler

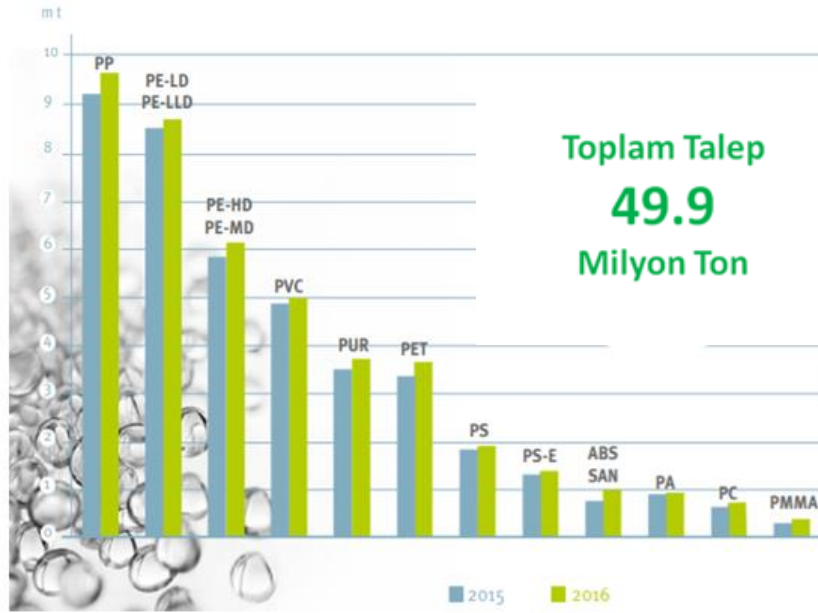
Bu katkı maddesi plastik malzeme üzerinde mikroorganizmaların yaşamasını engelleyerek, plastik ürünü mikroorganizmalara karşı korur [12].

2.1.2.13. Kristalliği Düzenleyiciler

Plastik proses sırasında soğuduğunda yapısında küçük ya da büyük kristaller oluşabilir. Eğer soğuma hızlı gerçekleşirse çok miktarda ama küçük boyutlarda, soğuma yavaş gerçekleştirildiğinde ise az miktarda ama büyük boyutlarda kristaller oluşur. Bu durum malzemedeki kristal olmayan amorf yapıyı meydana getirir. Kristalliği düzenleyiciler olarak adlandırılan katkılar malzemedeki amorf yapının oluşmasını engeller [12].

2.1.3. Sık Kullanılan Termoplastikler

Termoplastiklerin %39.9 'u ambalajlamada, %19.7 ise inşaat ve yapı malzemelerinde, % 10'u otomotiv sektöründe, %6.2 'si elektrik ve elektronik sektöründe, %4.2 ev ve spor aletlerinde, %3.3 'ü tarımda ve %16.7 'si ise çeşitli mühendislik uygulamalarında, tıp sektöründe ve bir çok farklı alanda kullanılırlar. Şekil 2.3 'de görüldüğü gibi dünyada en çok PP cinsi plastik hammadde kullanılır.



Şekil 2. 3. Dünyada Termoplastik Talebi [13]

Endüstride en sık kullanılan termoplastikler aşağıdaki gibidir;

2.1.3.1. ABS ve SAN

Yüksek darbelere dayanıklı olan ABS, sert rijit ve şeffaf bir plastiktir. Darbelere karşı sünek özellik gösterir. Yüksek ısıya ve alev dayanıklıdır. Uzun süre güneş ışığına maruz kalırsa rengini ve darbe mukavemeti ve sünek özelliğini kaybeder. Şeffaf, sert ve rijit olan SAN ise çok iyi kimyasal mukavemete sahiptir. Bu nedenle tıp alanında kullanılan şırıngalarda, buzdolabı bölmelerinde ve bulaşık makinelerinin yapımında kullanılır [14].

2.1.3.2. Asetal (POM)

Rijit ve iyi nem mukavemetine sahip olan POM, ısı ve çözücü mukavemetine sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda uzun sürede boyunca kararlı yapı sergilerler [14].

2.1.3.3. Akrilik (PMMA)

Camın ağırlığının yarısı ağırlıkta olan, cam kadar parlak gözüken ve dış ortam koşullarına dayanıklı olan PMMA yüksek darbe mukavemeti özelliği gösterir [14].

2.1.3.4. Selüloz Asetat (CA)

Selüloz asetatlar inci renginde olup saydam veya yarı saydam özellik gösterebilirler. Tokluğunu geniş sıcaklık aralığında koruyabilir. Dış ortam koşullarına karşı uygun olmayıp, ısıl iletkenliği ve nem tutma kabiliyeti düşüktür [14].

2.1.3.5. Naylon-Poliamid (PA):

Naylon'un Naylon 6, Naylon 66, Naylon 610, Naylon 612, Naylon 11 gibi çeşitleri vardır. Naylon'un en kötü tarafı su emme özelliğinin yüksek olmasıdır. Tüm naylon çeşitleri elyaf ile takviye edilirler. Naylon kristalin yapıya sahiptir. Naylon 6, döküme gelen bir yapıdadır. Diğerleri zor aktığından yüksek basınç gerektiren enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemlerini kullanırlar. İyi mekanik ve tribolojik özelliklere sahip olan naylon dişli çark, kam, kaymalı yatak malzemesi olarak kullanılır [14].

2.1.3.6. Polikarbonat (PC)

6.5 mm kadar kalınlıklarda bile mukavemetini koruyabilen PC'nin darbe mukavemeti parça kalınlığına bağlıdır. Besin maddeleri ve ilaçlarla direkt temasında sakıncası olmayan PC, aleve ve UV ışınlarına karşı dayanıklı bir malzemedir [14].

2.1.3.7. Polietereterketon (PEEK)

Mekanik ve kimyasal aşınmaya karşı oldukça dayanıklı olan PEEK, oda sıcaklığında tok özellik gösterir. Kompozit malzemeler ile uyumlu bir yapıda olup,

tel kaplama prosesinde genellikle bu malzeme kullanılır. Ayrıca uçak sanayinde ve askeri nükleer santral gibi alanlarda bu hammadde sıklıkla kullanılır [14].

2.1.3.8. Polietilen (PE)

Plastik enjeksiyon sektöründe en çok kullanılan hammaddelerden biri olup istenilen özelliklere göre farklı yoğunluk türleri vardır. Bu hammadde nem çekmez, ayrıca kimyasal ve mekanik aşınmalar karşı dirençli olup darbe çentik mukavemeti sıfırdır [14].

2.1.3.9. Polistiren (PS)

Daha çok gıda sektöründe (şişe, paketlenme, ambalajlama...vs) kullanılır. Ayrıca bu hammaddenin farklı bir türü enerji sönmleme özelliği ile farklı sektörlerde tercih edilir. PS, amorf yapıda olup, parlak ve berrak bir görüntüye sahiptir [14].

2.1.3.10. Polivinil Klorür (PVC)

PVC'nin kimyasal aşınmaya karşı direnci yüksek olmamasına rağmen sektörde en çok kullanılan hammaddelerden biridir. Rijit, yumuşak ve köpük olarak kullanılan hücreli PVC olmak üzere iki üç türü bulunur. Yüksek elektrik yalıtkanlığına sahip olan bu hammadde ateşe dayanıklıdır ve alevlenmez. Genellikle su şişesi yapımında kullanıldığı bilinen PVC, tel ve kablo izolasyonunda, su borusu ve cam çerçevesi yapımında kullanılır [14].

2.1.3.11. Polipropilen (PP)

Bir çok ürünün hammaddesi olarak tercih edilen PP, beyaz renkte olup, içerisine eklenen, renk veren katkılarla yüksek uyumluluk gösterir. Kimyasal ve elektriksel özellikleri çok iyi olmamasına karşın istenilen özellikleri karşıladığında ilaç, kozmetik ve besin endüstrisinde bile tercih edilir [14].

2.1.4. Plastiklerin Davranışları

2.1.4.1. Plastiklerin Mekanik Özellikleri

Plastik malzemenin yapısına ve fiziksel haline bağlı olan termoplastik malzemelerin mekanik davranışları, hem elastik katı maddelerin hem de viskoz sıvı maddelerin karakteristiklerini birlikte gösterirler. Viskoelastiklik özelliği sayesinde gerilme etkisi altındayken elastik olarak şekil değiştirirler hem de viskoz olarak akarlar. Bir akışta viskozite etkisi önemli ise bu akış ‘viskoz (sürtünmeli) akış’ adını alır. Akışkan viskozitesinden dolayı, yüzey ile akışkan arasında bir hız (hidrodinamik) sınır tabakası oluşur. Viskoz akışlarda, akışın karakterine bağlı olarak iki tür akış bölgesi/ türü söz konusudur. Malzemenin viskoelastikliği zamana, sıcaklığa ve şekil değiştirme hızına bağlı olarak değişir. Sıcaklık artışı malzemenin elastikiyetini artırır, bu durumda malzeme sıcaklık altında daha fazla değişime uğrar. Eğer termoplastik malzeme hızlı bir şekilde şekil değiştirirse normale göre daha gevrek yapıda olur. [17]

Rijitlik, bir malzemenin yük altındaki şekil değiştirme miktarıdır. Eğer malzeme yüksek rijit özelliği gösteriyorsa, malzeme yük altında az ya da hiç şekil değiştirmez. Plastiklerin rijitlik ölçüsü elastiklik modülüdür. Tablo 2.2'de bazı termoplastik malzemelerin elastik modülleri verilmiştir. [17]

Tablo 2. 2. Bazı Plastikler İçin Elastiklik Modülü Değerleri [17]

Malzeme	E, N/mm ²
PE-LD	200-500
PE-HD	700-1400
PP	1100-1300
PVC	1000-3500
PS	3200-3500
ABS	1900-2700
PC	2100-2500
POM	2800-3500
PA6	1200-1400
PA66	1500-2000
PMMA	2700-3200
PET	2600-3100
PBT	1600-2000

Plastiklere sabit bir gerilme belirli bir zaman aralığında uygulanırsa, plastikler deformasyon davranışı sergilerler. Bu davranışa sürünme adı verilir. Eğer plastikler çekme gerilmesi uygulanırsa, malzeme kopma noktasına şekil değiştirir, bu olaya ise sürünme kopması denir. Eğer kullanılacak plastik konstrüksiyon veya benzeri alanlarda kullanılacaksa uzun periyotlarda tamamlanmış deney verileri kullanmak gerekir. Plastik malzemeler kısa süreli olarak tok özellik gösterebilirler ancak zaman içinde gevrekleşme özelliği sergilerler

Plastik hammaddenin kullanıldığı üretim proseslerinde, maliyet ve kalite kontrol amaçlı plastiklerin yoğunluk ve özgül yoğunluk değerleri kullanılır. . Özgül yoğunluk belli bir hacimdeki plastik malzemenin kütlesinin aynı hacimdeki suyun kütlesine oranı olarak hesaplanır [17].

2.1.4.2. Plastiklerin Termal Özellikleri

Plastiklerin özellikleri, üretim tekniği ve parametrelerin seçimi aşağıdaki gibi termal özelliklerden etkilenir;

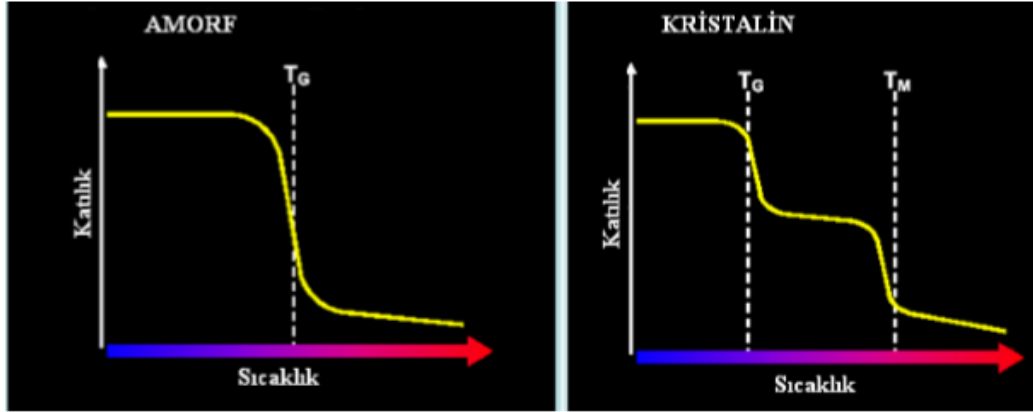
- Plastiğin erime sıcaklığı (T_m)
- Camsı hale geçiş sıcaklığı (T_g)
- Boyut stabilitesi
- Isıl iletkenliği
- Isıl geçirgenliği
- Özgül ısısı
- Isıl genleşme katsayısı
- Bozulma sıcaklığı

Bunların yanı sıra üretim yapılacağı işletmenin hava koşulları, hammaddenin depolama ve bitmiş ürünün muhafaza edileceği alanın sıcaklığı plastik özellikleri üzerinde etkilidir.

Erime sıcaklığı kısmi kristalin malzemelerde belirli bir değeri vardır. Ancak kristal yapıda olmayan amorf yapıdaki malzemelerde yani bu durum farklıdır. Belli bir erime sıcaklığı yoktur. Bunun yerine belirli bir erime sıcaklığı aralığı vardır [17].

Camsı hale geçiş sıcaklığı, plastik malzemenin bu değer altında bir cam gibi davrandığını ifade eden sıcaklıktır. Plastik malzeme bu sıcaklık değerini geçtiğinde

ne cam kadar sağlam ne de kırılığandır. Amorf yapıda olan termoplastiklerde ise bu değer daha belirgindir. Erime sıcaklığının altında ve küçük bir aralıkta meydana gelen camsı hale geçiş, malzemenin özgül hacme ve basıncına bağlı olarak değişir. Aynı zamanda bu sırada malzemenin genişleme katsayısı ve özgül ısı gibi termal özelliklerimde değişim gözlenir.Şekil 2.4 'de amorf ve kristalin malzemelerin Tg ve Tm değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 2. 4. Amorf ve Kristalin Malzemelerin Tg ve Tm Değerlerinin Değişim Grafiği [17]

Plastiğin yük altındaki deformasyon sıcaklığına DTUL (Deflection Temp. Under Load), türkçe adıyla "ısıl distorsiyon" adı verilir. Isıl distorsiyon, malzemenin yüksek sıcaklıkta yük taşıma kabiliyetinin bir göstergesidir. Amorf plastiklerde ise DTUL camsı geçiş sıcaklığı ile çatışmaktadır [17].

Isıl direncin bir başka göstergesi ise vicat yumuşama sıcaklığıdır. VST (Vicat Softening Temperature) olarak temsil edilen bu sıcaklık, plastik numunenin ısıtma banyosunda sabit bir yüke noktasal olarak bırakılıp, iğnenin malzemeyi 1mm deldiği noktadaki sıcaklık olarak tanımlanır. Tablo 2.3'de bazı plastikler için DTUL ve VST değerleri verilmiştir [17].

Tablo 2. 3. Bazı Plastikler İçin VST ve DTUL Değerleri [8]

Malzeme	VST (°C)	DTUL (°C)
PE-HD	65	50
PP	90	45
PVC	92	72
PS	90	84
ABS	102	100
POM	165	140
PA6	180	77
PA66	200	130
PMMA	85	103
PET	190	80
PBT	80	65

Bozulma sıcaklığı, plastikten yapılmış makine elemanları yapımında önem kazanmaktadır. Bozulma sıcaklığına ulaşıldığında molekül zincirlerini oluşturan üniteler arasındaki bağlar kopar ve malzeme yapısı tamamen bozulur. Bozulma sıcaklığını belirlenmesinde camsı geçiş sıcaklığı belirleyici olur. Camsı geçiş sıcaklığının üstüne çıkıldıkça, genleşme katsayısı da artar. Tablo 2.4'de bazı plastiklerin bozulma sıcaklığı verilmiştir.

Tablo 2. 4. Bazı Plastikler İçin Bozulma Sıcaklıkları [17]

Plastik Malzeme	Bozulma Sıcaklığı (°C)
PP	320-400
PC	340-440
PVC	200-300
PMMA	180-280
ABS	250-400
PA	300-400
PET	280-320

Boyut kararlılığı söz konusu olduğunda dikkate alınması gereken diğer bir konu büzüşmedir. Farklı soğuma hızları, polimer moleküllerinin yönlenmesi, farklı cidar kalınlıkları, akış yönü veya kuvvetlendirici liflerin varlığı büzüşmeye neden olur.

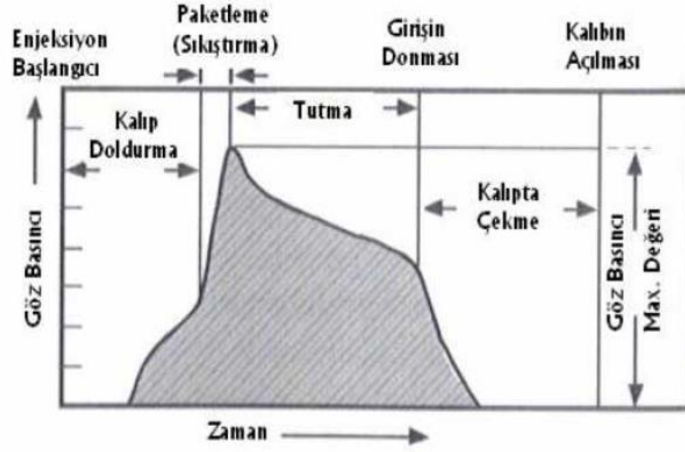
Özgül ısı bir malzemenin birim kütlesinin sıcaklığını 1°C arttırmak için gereken enerji miktarıdır. Amorf plastiklerin özgül ısısı camsı hale geçiş sıcaklığının altında ve üstünde sıcaklıkla lineer bir şekilde artar, ancak T_g sıcaklığı civarında eğride bir süreksizlik oluşur. Özgül ısı değerlerinin sıcaklığa duyarlı olması plastikleri diğer mühendislik malzemelerinden ayırır [17].

Isıl iletkenlik ise herhangi bir malzemenin ısı enerjisi iletme kabiliyetidir. Isıl iletkenlik malzemenin boyuna ve kalınlığına göre de değişiklik gösterir. Kısmi kristalin termoplastiklerin amorf yapıdaki plastiklere göre ısıl iletkenliği daha yüksektir. Belirli sıcaklık aralıklarında termoplastikler metallerle göre daha fazla boyut değişimine uğrar. Malzemenin son boyutunun ilk boyutuna oranı ise malzemenin ısıl genleşme katsayısını verir. Isıl genleşme katsayısı üretilen plastik parça herhangi bir yere montajı yapılacaksa önem kazanır. Tablo 2.5'de bazı plastiklerin termal özellikleri verilmiştir [17].

Tablo 2. 5. Bazı Plastiklerin Termal Özellikleri

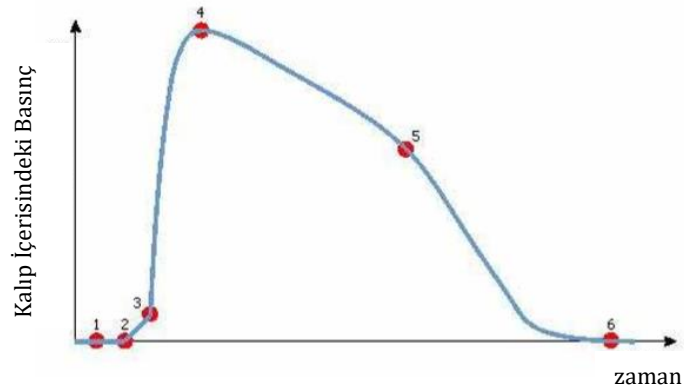
Malzeme	Yoğunluk (gr/cm ³)	Erime Sıcaklığı (T _m , °C)	Camsı Hale Geçiş Sıcaklığı (T _g , °C)	Isıl İletkenlik (10 ⁻⁴ cal/s.cm °C)	Özgül Isı (cal/gr °C)	Isıl Geçirgenlik (10 ⁻⁴ cal/s.cm °C)
PP	0,9	168	-10	2,8	0,9	3,5
PE-HD	0,96	134	-110	12	0,9	13,9
PTFE	2,2	330	-115	6	0,3	9,1
PA6	1,13	260	50	5,8	0,075	6,8
PET	1,35	250	70	3,6	0,45	5,9
ABS	1,05	105	115	3	0,5	3,8
PS	1,05	100	90	3	0,5	5,7
PMMA	1,20	95	105	6	0,56	8,9
PC	1,20	266	150	4,7	0,5	7,8
PVC	1,35	199	80	5	0,6	6,2

2.2.3. Plastiklerin Zaman, Basınç Ve Sıcaklık Etkilerine Göre Hareketi



Şekil 2. 5. Amorf ve Yarı Kristal Hammaddeler İçin Basınç-Zaman Grafiği

Şekil 2.5 'da ergimiş hammaddenin kalıp içersindeki hareketleri zamana göre verilmiştir. Grafiğe bakıldığında anlaşılacağı ergimiş hammaddenin kalıp içi hareketleri oldukça değişim göstermektedir.



Şekil 2. 6. Plastiğin Kalıp İçerisindeki Hareketleri ve Sonuçları

Şekil 2.6 incelendiğinde;

- 1.aşamada enjeksiyon işleminin başlangıcıdır. Hidrolik basınç artarak vidayı ileri doğru hareket ettirir.
- 2.aşamaya gelindiğinde eriyik sensöre ulaşır ve basınç artmaya başlar. Bu aşamadan sonra kalıp gözü dolmaya başlar. Eriyik lineer olarak enjekte edilirse dolum yavaş olur. Buna bağlı olarak ani basınç yükselmesi olmaz ve ürün düşük iç gerilmeye sahip olur. Eğer eriyik kademeli olarak enjekte edilirse hızlı bir dolum gerçekleşir. Bu nedenle ani basınç yükselmesi meydana gelerek ve yüksek iç gerilim meydana gelerek üründe çarpılma olur.
- 3.aşama da kalıp gözü hacimsel olarak dolar ve ideal hacim-basınç sıkıştırması meydana gelir. Bu aşamada dolum kontrollüdür ve aşırı basınç olmaz. Bu aşamanın ardından eriyik sıkıştırılarak, plastiğin hacimsel çekmesi dengelenir. Eriyik lineer olarak enjekte edildiğinde yavaş sıkışma meydana gelir ve bu sebeple ani basınç yükselmesi meydana gelmez. Aynı zamanda düzgün geçiş ve iç gerilme meydana gelir. Ancak vakum tehlikesi oluşabilir. Eriyik kademeli olarak enjekte edildiğinde ise hızlı sıkışma meydana gelir ve buna bağlı olarak ani basınç ve enjeksiyon basıncı meydana gelir. Bu yüzden üründe iç gerilme olur ve üründe çarpılma oluşur.
- 4. aşamada göz basıncı maksimumdadır. Enjeksiyon basıncının sabitliği, malzemenin karakteristik özelliklerini belirler. 4. aşamadan 6. aşamaya doğru basınç devamlı olarak azalır, plastik katılaştır ve malzemenin geriye doğru akışı söz konusudur.
- 5.aşama akışın bitiş noktasıdır.Yolluk ağzındaki eriyik katılaştır.
- 6.aşamada ise çekme prosesi başlar ve önemli kriterler denetlenir, böylece ölçü stabilitesi sağlanır.

Bu sonuçlara göre özet olarak iki ana düşünce açıkça kendini belli etmektedir: Bu duruma göre parça kalitesi için her şeyden önce en önemli olan et kalınlığı ince olan parçalarda max. göz basıncı ve et kalınlığı yüksek olan parçalarda ise uzun enjeksiyon zamanı ve enjeksiyon basıncıdır [15,16].

Kalıp tasarımı sırasında et kalınlıklarının doğru atanması parçada kozmetik özelliklerini, ağırlık ve mukavemet özelliklerini doğrudan etkiler. Parçanın çok kalın olması durumunda parça üzerindeki çökmeler gözle görünür hale gelir. Ayrıca

çarpılma ve parçada iç boşluklar oluşur. Tüm bu olumsuzlukları engellemek için aşağıdaki tablo 2.6 kullanılabilir [15,16].

Tablo 2. 6. Plastiklerin Tavsiye Edilen Et Kalınlıkları [16]

Hammadde	Tavsiye Edilen Et Kalınlıkları (mm)
ABS	1.143 - 3.556
PA	0.762 - 2.921
PC	1.016 - 3.180
PET	0.635 - 3.175
PE	0.762 - 5.080
PP	0.635 - 3.810
PS	0.889 - 3.810

2.2. Plastik Enjeksiyon

Gün geçtikçe günlük hayatta daha çok yer almaya başlayan plastik ürünlerin yapımında en çok enjeksiyon yöntemi kullanılır. Plastik ürünlerin hangi alanlarda kullanıldığını sınıflandırmak zordur. Çünkü günlük hayatın ayrılmaz parçası haline gelmiş akıllı telefonlardan, tıp sektöründe kullanılan bir çok ekipmanın plastik olduğunu göz önüne alındığında, ürün yelpazesinin ne kadar geniş olduğunu ortaya çıkar. Genel olarak plastik enjeksiyon, plastik hammaddenin, kalıbın ve enjeksiyon makinesinin birlikte gerçekleştirdiği bir prosestir.

Plastik enjeksiyonun avantajlarını aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

1. Düşük maliyet
2. Otomasyona uygunluk
3. Son işleme prosesine ihtiyaç duyulmaması
4. Yüksek hızlarda üretim
5. Farklı yüzey, renk ve şekillerde parça üretimine uygunluk
6. Malzeme kaybının çok az olması
7. Aynı kalıpta farklı ürünlerin üretilebilmesi
8. Düşük toleranslarda çalışabilme

Plastik enjeksiyon karmaşık olmayan bir yöntemdir. Plastik enjeksiyon yöntemi, kalıbın plastik enjeksiyon makinesine bağlanması ve granül veya toz halindeki hammaddenin huniye beslenmesi ile başlar. Ardından hammadde ısıtılarak ergitileceği kovanın içine aktarılır. Kovan içindeki ergimiş haldeki hammadde belli bir basınç altında nozülde geçirilir. Ardından kovana göre daha soğuk olan kalıba, kademeli olarak değişen basınç altında ergitilmiş hammadde kalıba iletilir. Bu esnada hammaddenin kalıp içerisinde belirli bir süre soğuması beklenir ve şekillenmiş ürün kalıptan robot veya el yordamıyla alınır. Ürün alındıktan sonra proses tekrar başlar [1].

2.2.1. Plastik Enjeksiyon Çevrimi

Plastik enjeksiyon çevrimi;

1. Plastikleştirme
2. Kalıbın kapanması
3. Kalıbın doldurulması
4. Ütüleme aşaması
5. Soğuma aşaması
6. Tutma aşaması
7. Parçanın kalıptan çıkarılması

adımlarında oluşur.

2.2.1.1. Plastikleştirme

Çevrimin ilk adımı olan plastikleştirme, granül ya da toz halindeki hammaddenin huniye konması ile başlar. Huniden sonsuz vidaya aktarılan hammadde, vidanın dönme sırasında sürtünme ile açığa çıkan sıcaklık ve vidada bulunan ısıtıcılar ile erimeye başlar. Eriyen hammadde vida boşluğuna ulaşır, hammadde kalıba iletilmek için hazır hale gelir. Plastikleştirme aşaması, vida boşluğunda biriken plastiğin vidayı geriye itmesi sonucunda geri itilme otomatik olarak durmasıyla ve böylece silindire alınan malzeme miktarıyla ayarlanmasıyla tamamlanır [1].

2.2.1.2. Kalıbın kapanması

Ergimiş hammadde kalıba aktarılması için kalıbın kapanması gerekir. Kalıbı kapatacak kuvvetin kalıbın iç basıncını karşılayabilmeli, aynı zamanda çapak oluşumuna izin vermemelidir.

Enjeksiyon makinesinde bulunan mengene ünitesi tarafından gerçekleştirilen bu aşamada kalıbın iki plakası birbiri üzerine kapanır. Böylece kalıp boşluğu oluşur ve uygulanan yüksek basınç ve hızlara karşı kalıbın açılmasına engel olur [1].

2.2.1.3. Kalıbın doldurulması

Kalıp boşluğuna ergimiş hammadde sonsuz vidanın piston tarafından ileri itilmesiyle dolmaya başlar. Kalıp boşluğunun doldurulması için gereken enjeksiyon basıncı bu aşamada yükselir. Kalıp boşluğuna iletilen hammadde bu basınç yardımıyla kalıpta sıkışır ve kalıbın sıcaklığına göre daha sıcak olan hammadde soğumaya başlar. Bu aşamada sürekli artmaya eder. En yüksek seviyedeki basınç ütüleme basıncı olarak adlandırılır. Basının sürekli artmasının nedeni kalıp içinde soğumaya başlayan plastiğin viskozitesinin artmasıdır. Viskozite, yolluk girişi dolduğunda en yüksek seviyesinde ulaşır. Parça katılaşıırken kullanılan hammaddeye göre küçülür yani çekilir. Bu yüzden tutma basıncı uygulanırken kalıp boşluğu beslenmeye devam eder. Tutma basıncı yolluk girişi katılaşıncaya kadar uygulanır. Ardından kalıp içinde donan ürün kalıp içinde soğumaya devam eder [1].

2.2.1.4. Ütüleme Aşaması

Basıncın en yüksek olduğu aşamadır. Bu aşamada basınç en yüksekte tutularak kalıbın tam olarak dolması ve kalıpta yer alan tüm detayların dolması sağlanır.

2.2.1.5. Tutma Aşaması

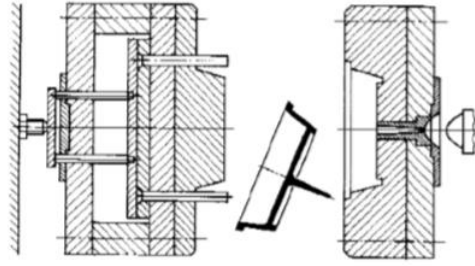
Kalıba göre daha soğuk olan eriyik soğumaya başlayınca büzüşmeye yani çekmeye başlar. Bunu önlemek için parçaya kalıbın dolumu sırasında tutma basıncı uygulanır. Parça soğudukça çeker ve bu yüzden içeriye yeni eriyik dolması sağlanır. Tutma aşaması yolluk girişinin donmasına kadar devam eder.

2.2.1.6. Soğutma Aşaması

Yolluk donduktan sonra parça kalıp içinde soğur ve çeker. Parçanın soğutulması Vicat Yumuşama Sıcaklığına (VST) ulaşınca kadar devam eder

2.2.1.7.Parçanın kalıptan çıkarılması

Soğuyan parça kalıp açıldığında kalıbın hareketli tarafında kalır ve buradaki iticiler sayesinde ürün kalıbın hareketli tarafından çıkarılır. Şekil 2.7 'de itici pimler yardımıyla kalıptan çıkan parça çıkarılmaktadır.



Şekil 2. 7. İtici Pimler ile Parça Çıkarılması [1]

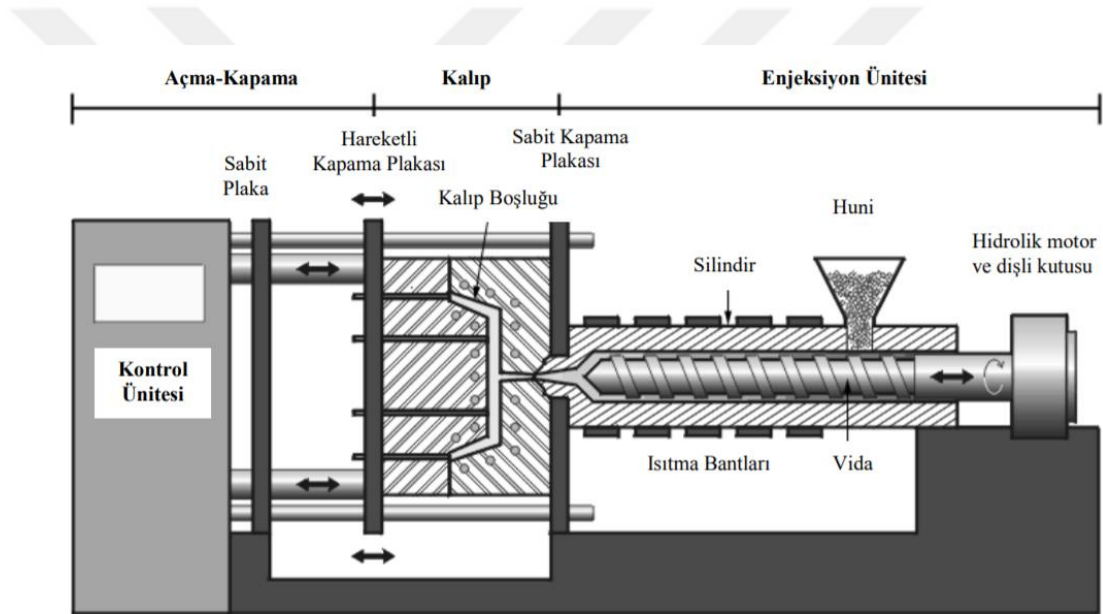
İtici sistemi mekanik, pnömatik ya da hidrolik olabilir. İtici tasarımı ya da metodu seçilirken parçanın tasarımı ve estetik görünüşü belirleyicidir ve aşağıdaki belirtilen durumlar göz önüne alınmalıdır;

1. İtici, parçanın görsel olarak kritik alanlarında iz bırakmamalıdır.
2. İtici parçaya zarar vermemelidir.
3. Parçada herhangi bir eğrilik ya da çarpılma yaratmaması için iticilerden gelen kuvvet dengeli olmalıdır.
4. Kalıpta bulunan soğutma sistemi, itici sistemi ile uyumlu çalışmalıdır.
5. İtici pimin istenilen konumda olması için konum ayarı olmalıdır [1,19] .

2.3. Plastik Enjeksiyon Makinesi

Parçanın üretimde kullanılacak enjeksiyon makinesi özellikleri kalıp tasarımı aşamasında belirlenir. Uygun olmayan enjeksiyon makinesine bağlanan kalıptan verim alınmaz ve kalıp üretildikten sonra kalıpta yapılan her tadilat ek maliyet oluşturur. Bu tür durumlarla karşılaşılması için makine hakkında aşağıdaki bilgilere sahip olmak gerekir;

1. Enjeksiyon kapasitesi
2. Maksimum kapama kuvveti
3. Kolon ağırlığı
4. Minimum ve maksimum kalıp yüksekliği
5. Makine stroğu
6. Vida dış çapı
7. Vida uzunluğunun dış çapına oranı
8. Maksimum enjeksiyon basıncı
9. Enjeksiyon hızı
10. Plastikleştirme kapasitesi



Şekil 2. 8. Plastik Enjeksiyon Makinesi [1]

2.3.1. Enjeksiyon Ünitesi

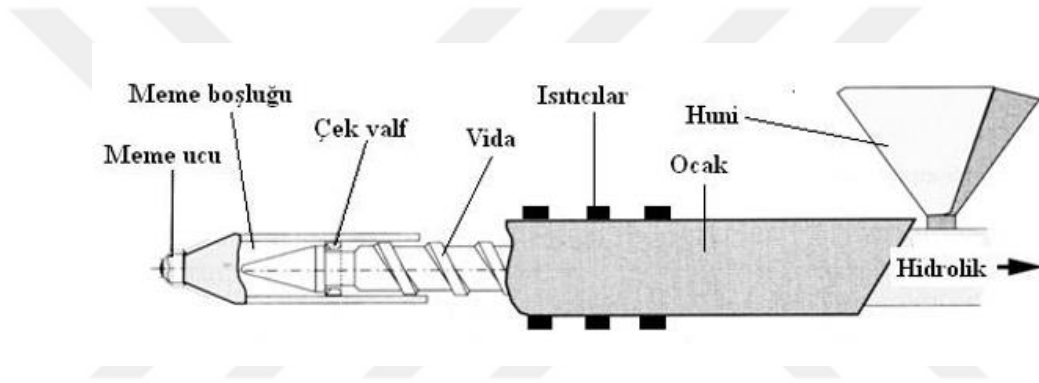
Plastik enjeksiyon makinesinin bu bölümde granül veya toz halindeki hammaddenin ergitilmesi sağlanır. Bu ünite huni, vida, ısıtıcılar, çek-valf, enjeksiyon memesi, hidrolik silindir ve hidromotordan oluşur. Hammaddenin düzenli bir akışta kovana aktarılması huni tarafından sağlanır.

Vida ise ölçme, sıkıştırma ve besleme işlemlerinin yapıldığı 3 farklı bölümden oluşur. Ölçme bölümünde kuleden vidaya aktarılan hammadde oranı

belirlenir, sıkıştırmada hammadde istenilen derecelerde ergitilir, beslemede ise ergimiş hammadde kalıba aktarılır. Bu mekanizmadan beklenen temel özellikler;

1. Yüksek eritme performansı
2. Hızlı hammadde aktarımı
3. Etkili eritme performansı
4. Homojen karıştırma

Çek-valfi ise sonsuz vida mekanizmasının ucuna takılan bir ayardır. Bu ayarat, ergimiş olan hammaddenin geri akmasına izin vermez. Ayrıca vidanın bir piston gibi hareket etmesini sağlar [19].



Şekil 2. 9. Enjeksiyon Ünitesi Birimleri

2.3.2. Kalıp

Eriyik plastik hammaddeye parçanın şeklini verdikten sonra katılaştıran bir "takım"dır. Genel hatlarıyla plastik enjeksiyon kalıbını oluşturan parçalar aşağıda gösterilmiştir. Bu parçalara ek olarak parça tasarımına ve isteğe bağlı olarak yolluk sistemini oluşturan manifold plakası, maçalar vs. bir kalıpta bulunabilen diğer parçalardır. Parça geometrisini oluşturan kalıp boşluğudur, bu boşluk da iki temel parçadan oluşur;

- Erkek (Core)
- Dişi (Cavity)

Enjeksiyon tezgahından kalıp boşluğuna eriyik plastiği getiren bir yolluk sistemi mevcuttur. Parçayı hızlı ve dengeli katılaştıran, sağlıklı bir ısı transferi gerçekleştiren bir soğutma sistemi gereklidir. Parçanın kalıptan ayrılmasını sağlayan

bir itici sistemi vardır. Plastik enjeksiyon kalıbı ilerleyen bölümlerde detaylandırılacaktır [24].

2.3.3. Kapatma Ünitesi

Makinenin bu ünitesi, makineye bağlanan kalıbın açılıp kapanmasını ve çapak oluşumunu engellemek için yüksek basınç yaratmakla görevlidir. Makinelerde 3 farklı mengene sistemi kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Mekanik sistem;

Bu sistemle mengene aralığı ayarlanabilir kollar ile kontrol edilir ve mekanik sistemin kinematiği

2. Hidrolik Sistem;

Hidrolik kapatma sistemlerinde kalıbı açıp kapatma işlemi ve enjeksiyon basıncına karşı gerekli kapatma kuvveti hidrolik silindir ile sağlanır.

3. Hidro-mekanik Sistem ;

Hidro-mekanik kapatma sisteminde kapama işlemi hidrolik silindirler, kilitleme ise özel mekanik elemanlarla sağlanır [1].

2.3.4. Kontrol Ünitesi

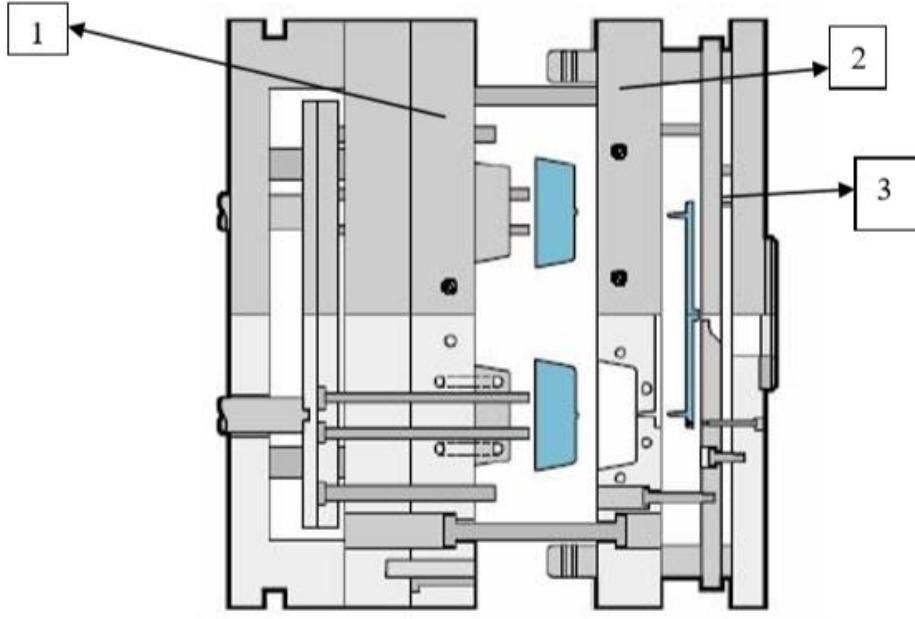
Plastik enjeksiyon prosesinde istenilen tüm değerleri ayarlayan sistemlerdir. Kullanılan enjeksiyon makinelerinde PLC kontrol üniteleri bulunmaktadır. PLC (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici), fabrikalardaki üretim bölümlerinde veya makinelerin kontrolü gibi işlemlerin denetiminde kullanılan otomasyon cihazıdır. Normal bilgisayarların aksine PLC'nin birçok giriş ve çıkışı (I/O) vardır. En büyük artıları ise elektriksel gürültülere, sıcaklık farklarına ve mekanik darbelerle karşı dayanıklı tasarlanırlar. Farklı markanın PLC'leri kendilerine göre bir işletim sistemi yüklerler. Bu denetleyici sistem, giriş bilgilerini gözle görülmeyecek hızlarla tarayarak buna uygun çıkış bilgilerini gerçek zamana yakın, cevap verecek şekilde çalışır. PLC, kısa sürede daha çok ve kaliteli ürün üretme, çok düşük hata oranlarına sahip üretim yapma gibi unsurların ön plana çıkmasında büyük rol oynar [25].

2.4. Plastik Enjeksiyon Kalıbı

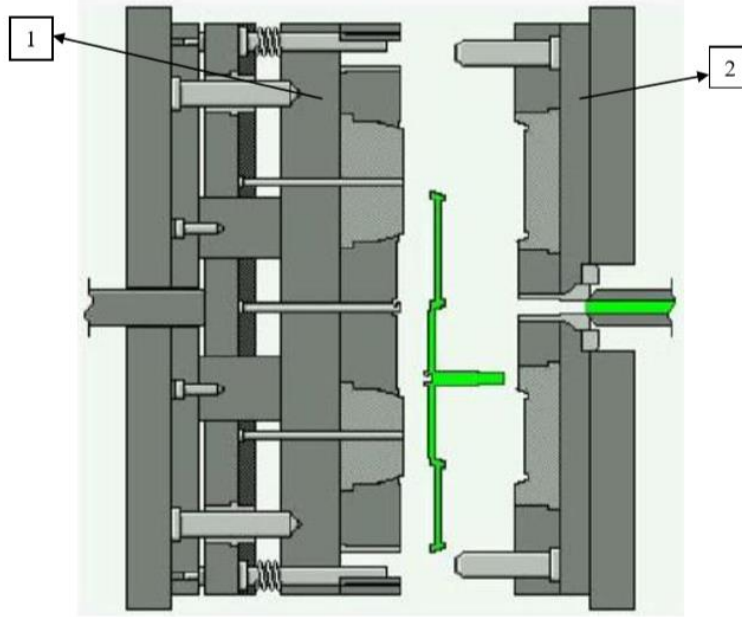
Plastik enjeksiyonunda kullanılan kalıplar, hacim kalıbı olarak adlandırılan kalıp türüdür. Hacim kalıplarının çalışma prensibi ürünün şekline, toleransına ve kullanılan hammaddenin çekme oranına uygun olarak tasarlanmış kalıp boşluğunu, ergitilerek sıvı hale getirilmiş hammadde ile belirli bir basınç altında doldurma veya sıkıştırma mantığına dayanır.

Kısacası kalıp boşluğu parça geometrisini oluşturan ve plastiğin gönderildiği ardından soğutulduğu kısımdır. Kalıp tek bir boşluktan oluşuyorsa kalıp tek gözlü kalıp, eğer birden fazla boşluktan oluşuyorsa buna çok gözlü kalıp denir. Kalıptaki göz sayısı tek bir çevrimde kaç tane ürün elde edeceğimiz bilgisini verir.

Kalıplar yapılarına göre farklılık gösterirler. Kalıpçılıkta en çok tercih edilen iki plakalı kalıplardır. Erkek ve dişi kalıp olarak iki parçadan oluşan bu kalıp çeşidi kolay montajı ve ucuz ve kolay imalatı nedeniyle sık tercih edilirler. İki plakalı kalıpların dışında üç plakalı ve maçalı kalıp türleri de vardır. Şekil 2.11' de iki plakalı plastik enjeksiyon kalıbı görülmektedir. Üç plakalı kalıplar, iki plakalı kalıptan farklı olarak ayrıca fazladan bir hareketli plaka daha bulunur. Kalıp adından da anlaşılabilirdiği gibi 3 parçadan oluşur. Kalıp üretim sırasında baskısı biten ürünün alınması için açıldığında, iki plakalı kalıptan farklı olarak yolluğunda atılması içinde plakalar açılır. Şekil 2.10' da üç plakalı plastik enjeksiyon kalıbı görülmektedir. Ancak iki plakalı kalıplara göre üç plakalı kalıplar daha maliyetli olurlar. Yolluksuz veya sıcak yolluklu kalıp teknolojisi üç plakalı kalıp kullanma eğilimini azaltmıştır.



Şekil 2. 10. Üç Plakalı Plastik Enjeksiyon Kalıbı



Şekil 2. 11. İki Plakalı Plastik Enjeksiyon Kalıbı

Karmaşık yapıdaki bazı parçaların kalıplarının bünyesinde maça sistemi bulunur. Maça sistemi, parçanın kalıptan çıkmasına engel olan yerlerin parça

üzerinde oluşturulup, parçanın kalıbın açılma yönünde bir engelle karşılaşmadan çıkması için kullanılır [20].

Enjeksiyon kalıpları çelik bloklardan veya ön işçiliği yapılmış olan standart parçalardan imal edilirler. Şekil 2.12'de plastik enjeksiyon kalıbı görülmektedir. Bu malzemeler plastik enjeksiyonu prosesi sırasında sürekli olarak baskı ve aşınmaya maruz kalır. Aynı zamanda kalıbın çalıştığı, çalışma koşullarına bağlı olarak kalıpta korozyonda meydana gelebilir. Kalıp imalatında genellikle aşağıdaki malzemeler kullanılır;

- **İmalat Çelikleri (Ç1040), (st 37):**

Sembolü (St) olan genel imalat çeliklerinin karbon oranı %1'den düşüktür. Bu nedenle sertleştirilemezler. Sertleştirilmek istendiği zaman ancak dışarıdan karbon verilerek uygun sertlik elde edilir. Kalıpların dişi çekirdek ve maça grubu malzemeleri haricindeki tüm kalıp malzemeleri için kullanılır. Üretim sayısının düşük olduğu tüm kalıplarda tüm malzemeler için kullanılabilir. Çeliğin dayanımı da sembolün sağına konulan rakamla ifade edilir. Örneğin St 37 çeliğin çekme dayanımı (1 mm² sinin taşıyabileceği yük) 37 ile ifade edilir (st: stahl, steel) [21].

- **Soğuk İş Takım Çelikleri:**

Genel olarak yüzey sıcaklığı 200 °C' yi geçmeyen takımların imalinde kullanılan çeliklerdir. Talaşlı veya talaşsız imalat için kullanılır. Dişi plaka ve zimba yapımında kullanılır. Dayanıklılık, sertlik, özlülük, aşınmaya karşı dayanım ve sıcaklığa karşı dayanımından ötürü dişi çekirdek ve maça grubunda plastik enjeksiyon kalıplarında kullanılır [21].

- **Sıcak İş Takım Çelikleri:**

Yüksek sıcaklığa dayanıklı olduğundan özellikle metal enjeksiyon ve dövme kalıplarında kullanılır. Isıl işlemleri üç kademeli olarak yapılarak ergimiş alüminyum gibi madenlerin yapışma özelliği ortadan kaldırılır [21].

- **Alüminyum alaşımları:**

Şişirme kalıplarında kullanılır. Alaşım plastik malzemelerin asit etkisini ortadan kaldırır. Alüminyum ise hafifliği sağlar.

Plastik enjeksiyon kalıpları hareketli ve hareketsiz olmak üzere dişi ve erkek kalıp olarak adlandırılan iki parçadan oluşur. Kalıplarda ayrıca hammaddenin kalıp boşluğuna aktarılması için yolluk sistemi, boşluğa dolan hammaddenin soğuması için soğutma sistemi ve kalıp açıldığında ürünün erkek kalıptan ayrılması için itici sistemi vardır [21].

2.4.1. Erkek Kalıp

Erkek kalıbın bir diğer adı hareketli plakadır. Erkek kalıp ürünün iç yüzeyini belirler. Üretimde kullanılan hammaddenin cinsine göre, ürün kalıp içerisinde soğurken erkek kalıbı üzerine çekilir ve kalıbın dişi kısmından ayrılır. Çekilme sonrasında ürünün erkek kalıptan çıkarılması için erkek kalıplarda itici sistemi yer alır. Erkek kalıp elemanları aşağıdaki gibidir;

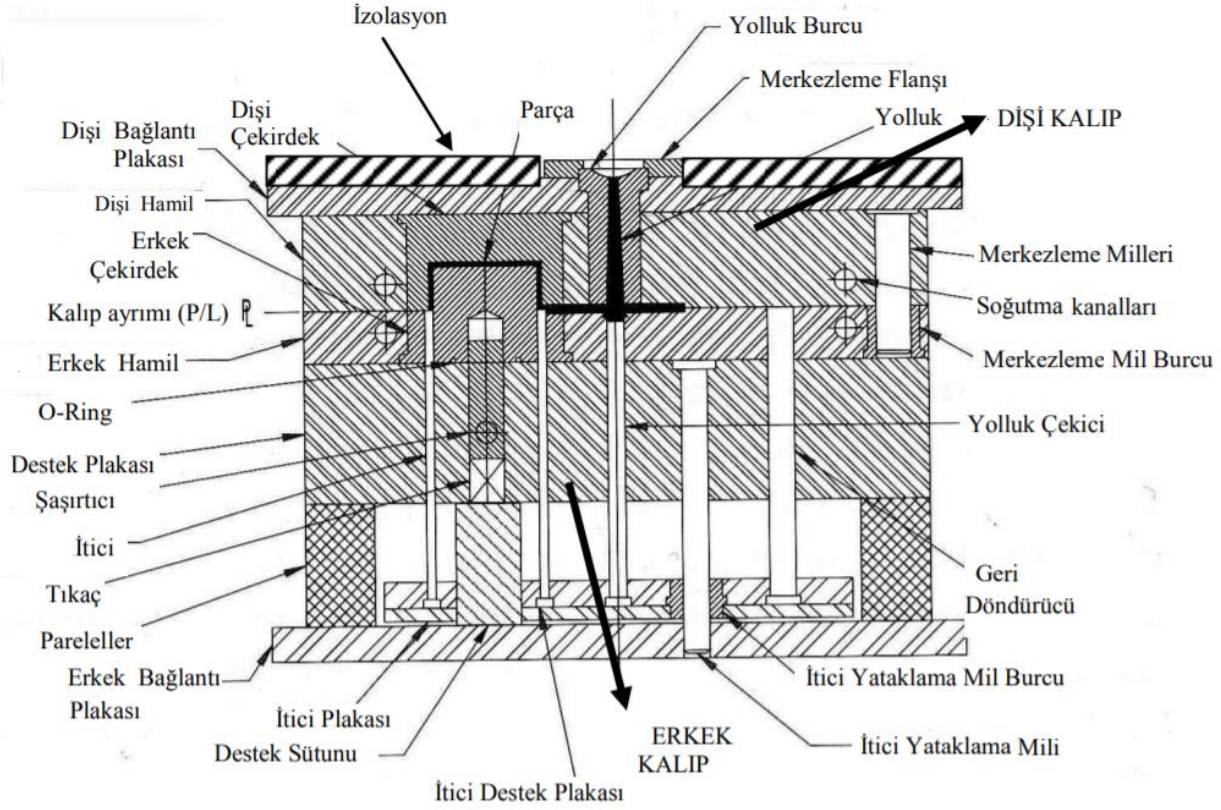
- **Erkek Çekirdek** : Parçanın iç yüzeyini oluşturan, kalıp boşluğunu oluşturan kalıbın en parlak çeliğidir.
- **Erkek Hamil** : Erkek çekirdeği taşıyan çeliktir.
- **Destek Plakası** : Erkek hamil plakasının yüksek basınçlara dayanabilmesi için destek görevi görür. Kalıplarda kullanılması zorunlu değildir. ve erkek hamil, çelik ile tek parça da yapılabilir.
- **İticiler** : Ürünün kalıptan çıkmasını sağlayan hareketli elemanlardır.
- **İtici Plakası** : Kalıp iticilerinin üzerinde bulunduğu plakadır.
- **İtici Destek Plakası** : İticilerin ileri geri hareketini sağlayan, iticilerin bağlandığı plakadır.
- **Paraleller** : İtici plakanın ileri geri hareketini yapabilmesi için yeterli boşluğu sağlayan bloklardır.
- **Destek Sütunu** : Erkek plakasının arkasında monte edilen bu sütun erkek hamilin yüksek basınçlar altında çalışmasını sağlar.
- **Yolluk Burcu** : Yolluğun dışıde kalmaması için yolluğu erkek tarafa çeker. Farklı yolluk çeşitleri ve farklı uygulamalar için çeşitli yolluk çekici ve burcu tasarımları vardır.

- **İtici Yataklama Milleri** : İtici yataklama milleri, itici plakasının aksel yönde hareketini sağlayarak, salınım yaparak kalıba ve parçaya zarar vermesini engeller.
- **İtici Yataklama Mil Burcu** : İtici hareketli parçalar olduklarından, sadece istenilen eksende hareket etmelerini sağlarlar.
- **Geri Döndürücü** : Kalıp kapanırken itici plakasını geri döndürür.
- **Merkezeleme Mil Burcu** : Kalıp üstündeki milleri aksel olarak yataklamasını sağlar.
- **Erkek Bağlantı Plakası** : Kalıbın enjeksiyon makinesine bağlanmasını sağlar.
- **O-Ring** : Kalıbın soğutulması için açılan kanallardan kalıp çekirdeğine ve/veya kalıp hamiline su kaçağını önlemek için kullanılır. Sentetik kauçuktan yapılmıştır, kalıpta açılmış uygun açıklığa yerleştirilerek soğutma sıvısının sızıntı yapması engellenir. Görevini etkin biçimde sağlaması için yeterli bir sıkıştırmaya tabi tutulması gereklidir.
- **Şaşırtıcı** : Soğutma kanallarında dolaşan sıvıya yön vermek için kullanılır. Soğutma kanalları parça geometrisine göre parçada eşit soğutma sağlayabilmek için belli uzaklıklarda dolaşmalıdır. Bunu saplayabilmek için de şaşırtıcılar yardımıyla sıvıya yön verilir.
- **Tıkaç** : Su devresi oluşturmak için belirli kanalların sonlarını tıkamak gereklidir. Bunlar için de tıkaç diye tanımlanan parçalar kullanılır. Enjeksiyon kalıp dizaynı, kullanılan plastiğe göre değişebilir. Enjeksiyon kalıpları termoset ve termoplastik malzemeler için kullanılabilir. Termoset malzeme için tasarlanan kalıplar, plastik malzemeden daha yüksek sıcaklıkta tutulmalıdır. Böylece termosetler için gerekli olan olgunlaşma süresi boyunca, gereken sıcaklık sağlanmış olur. Termoplastik malzemeler içinse kalıp sıcaklığı, eriyiğin kalıba giriş sıcaklığından daha düşük olmalıdır [19,22].

2.4.2. Dışı Kalıp

Dışı kalıp aynı zamanda hareketsiz plaka olarak adlandırılır. Çünkü kalıbın bu parçası makinenin sabit kısmına yani makinenin enjeksiyon ünitesi tarafına bağlanır ve üretim boyunca hareketsiz kalır. Bu yüzden kalıp besleme sistemi burada yer alır. Dışı kalıp ürünün dış yüzeyini belirler. Dışı kalıp elemanları aşağıdaki gibidir:

- **Dişi Çekirdek** : Parça geometrisinin belirli bir kısmının işlendiği, bünyesinde yolluk girişini barındıran kalıbın en parlak çeliğidir.
- **Dişi Hamil** : Dişi çekirdeği taşıyan çeliktir. Kalıbın hareketli yani dişi tarafının iki farklı parçadan yapılması, kalıbın imalatının daha hızlı olmasını ve farklı özelliklerde iki farklı çeliğin kullanılmasını sağlar. Kalıbın kritik olmayan bölgelerinde ucuz çelik kullanılabilir böylece kalıp maliyetini azalır, ürün başına maliyette azalmış olur.
- **Merkezleme Flanşı** : Kalıbı makineye bağlarken, kalıbın dişi tarafında bulunan yolluk burcunun çevresine, makinenin enjeksiyon tarafına kalıbın dişi tarafının tam olarak merkezlemesini ve oturmasını sağlayan halkalardır. Her makineye göre farklı ebatlarda olan bu halkalar gres yağı ile kalıba takılırlar.
- **Yolluk Burcu** : Sıvı halde enjeksiyondan gelen hammaddeyi kalıp boşluğuna taşıyan elemandır.
- **Dişi Bağlantı Plakası** : Kalıbın enjeksiyon makinesine, pabuçlar yardımıyla bağlanmasını sağlayan plakadır.
- **İzolasyon Plakası** : Kalıbın proses sırasında ısı kayıplarını önler.
- **Soğutma Kanalları** : Soğutma sistemini oluşturan kanallardır.
- **Merkezleme Milleri** : Kalıbın hareketli ve hareketsiz tarafını merkezleyen millerdir [23].

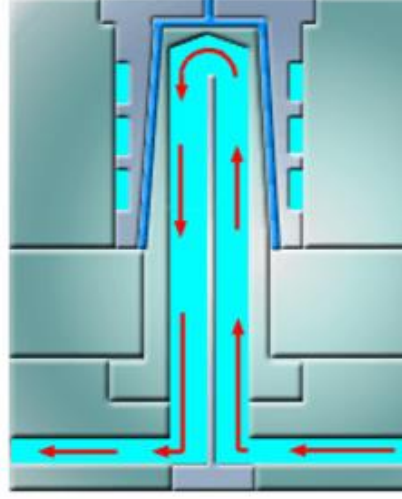


Şekil 2. 12. Plastik Enjeksiyon Kalıbı

2.4.3. Soğutma Sistemi

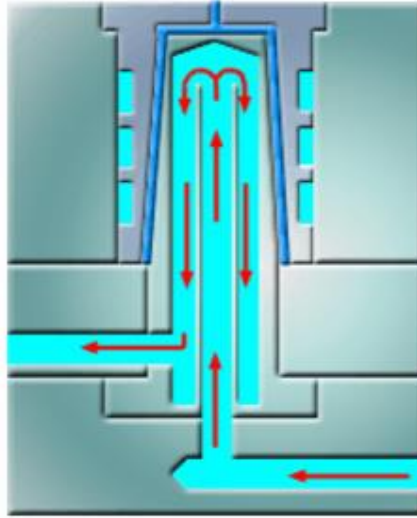
Kalıbın sıcaklığı üretim sırasında sürekli artar ve ürün kalitesini ciddi derecede etkiler. Bu yüzden oluşan bu sıcaklığı dağıtmak için kalıp bir soğutma sistemine ihtiyaç duyar. Soğutma sistemi kalıp çekirdeğine ve hamiline açılacak soğutma kanallarında meydana gelir. Soğutma sistemi denildiğinde en genel hatlarıyla kalıpta boydan boya kanal açılması akla gelir. Ancak en etkili sistem, dişi kalıbı, dalıcı zımbayı ve maça pimini kapsayan sistemlerdir. Soğutma kanallarının açılması sırasında dişi kalıbın çatlama meydana gelebilir. Bu yüzden soğutma kanalları kalıplama yüzeyinden uygun olan uzaklıkta ve çapta olmalıdır. Erkek kalıbın soğutulması bünyesinde bulunan itici pimler ve hareketli maçalar nedeniyle dişi kalıbın soğutulmasına göre daha zordur. Bu yüzden erkek tarafının soğutulmasında tıkaçlı delik sistemi (baffled) ya da kabarcıklı sistem (bubbler) kullanılır [24] ;

- **Baffle sistem:** Soğutma deliği plaka yardımıyla ikiye bölünür. Soğutucu akışkanın bu plakanın üzerinden aşarak diğer tarafa geçmesi sağlanır. Şekil 2.13 'de baffle sistemdeki akış görülebilir.



Şekil 2. 13. Baffle Sistem

- **Bubblers sistem:** Kanalına boru parça takılır, akışkan içerideki borudan geçerek soğutma kanalından iner yoluna devam eder. Şekil 2.14 'de bubblers sistemdeki akış görülebilir. [24].



Şekil 2. 14. Bubblers Sistem

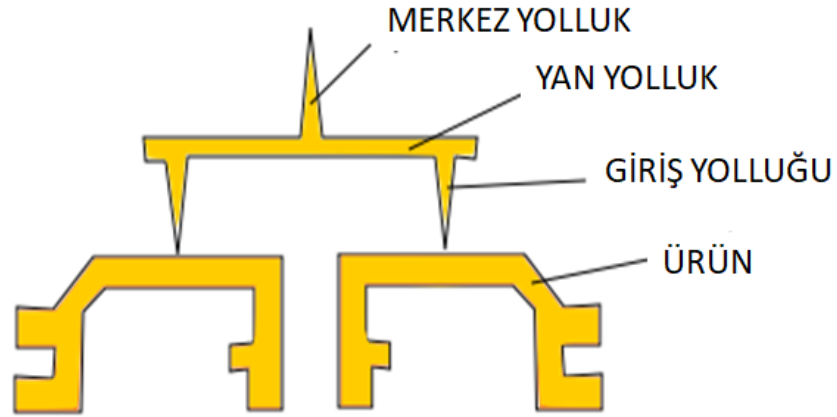
Parçanın kalıptan çıkarılabilmesi için parça kalıp içerisinde yeterince soğumalıdır. Soğumanın gerçekleştiği süreye soğuma zamanı denir. Parçanın soğuması sıvı haldeki hammaddenin sıcaklığına, parçanın kalıpta çıkma sıcaklığına

ve parçanın özgül sıcaklığına bağlıdır. Kalıbın sıcaklığı parça kalitesi ve prosesin verimliliği ile doğrudan ilişkilidir. Isı transferinin hızlı ve doğru olması üründe kaliteyi arttırdığı gibi aynı zamanda soğuma başına düşen zaman azaltır ve ürünün daha hızlı basılmasını sağlar. Böylece ürün başına düşen maliyet azalır ve üretimin verimliliği artar [24].

Kalıp boşluğu eriyik hammadde ile dolarken, en sıcak eriyik hammadde kalıp girişinde, en soğuk eriyik ise yolluk girişinden en uzak noktadadır. Soğutma suyunun sıcaklığı, bu kanallardan geçtikçe artar, bundan dolayı baskıda eşit soğuma sağlamak için, kalıbın sıcak bölgelerine soğuk sıvı, parçanın soğuk bölgelerine sıcak sıvı girişi sağlamak gerekir [24].

2.4.4. Yolluk Sistemi

Sıvı haldeki hammaddenin kalıp boşluğuna dolmasını sağlayan kanallara yolluk sistemi denir. Şekil 2.15' de görüldüğü gibi yolluk sistemi, merkez yolluk, yan yolluk ve giriş yolluğundan meydana gelir.



Şekil 2. 15. Yolluk Sistemi

Yolluk sistemi ürün kalitesi ve ürün başına düşen maliyet ile doğrudan bağlantılıdır. Aynı zamanda, kaynak çizgileri, basınç düşmesi, malzeme kaybı gibi kalite problemleri yolluğun uzunluğu ve kesit alanıyla ilişkilidir.

Yolluk sistemi, kalıp boşluğu içerisinde sıvı haldeki hammaddenin iki ya da daha fazla yer karşılaşması ya da karışması sırasında birleşim izi olmayacak şekilde tasarlanmalı ve yerleştirilmelidirler. Proseste kullanılan enjeksiyon basıncını düşük tutmak için yolluk sistemi akış direnci minimum olacak şekilde tasarlanmalıdır. Tasarımın bu şekilde olabilmesi için keksin köşeler yuvarlatılıp, açılı verilmesi gerekir. Birleşme izini önlemek için ayrıca ani kesit alanı değişikliklerinden kaçınmak gerekir. Yolluk kesitinin küçük olması ürün başına düşen maliyeti azaltır.

Yolluk sistemleri ikiye ayrılır;

- Soğuk Yolluk Sistemi
- Sıcak Yolluk Sistemi

2.4.4.1. Soğuk Yolluk Sistemi

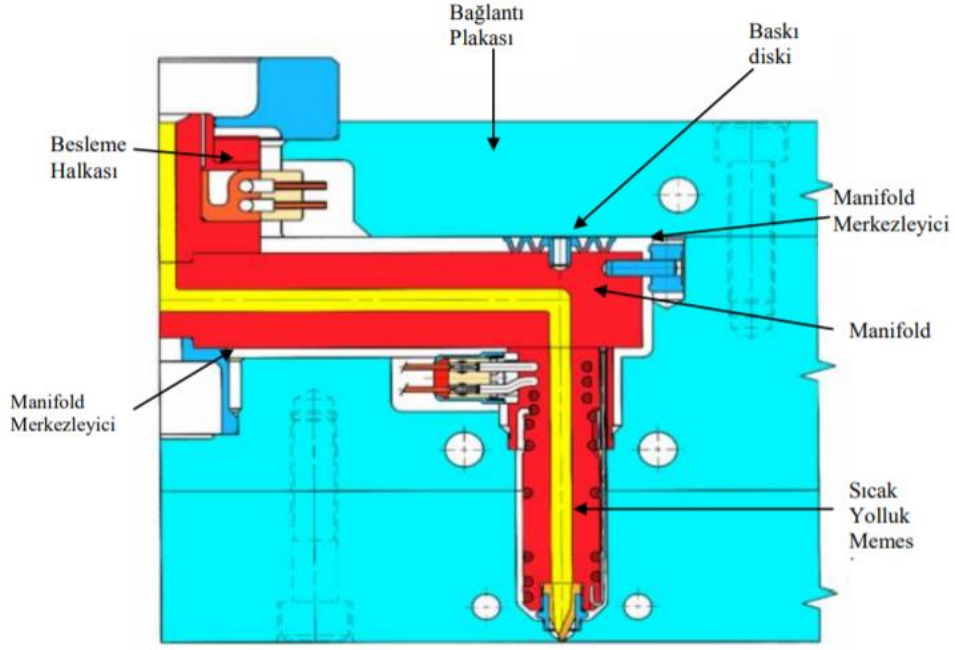
Soğuk yolluk sisteminde sıvı haldeki hammadde kendinden daha sıcak olan kalıp boşluğuna iletilir. Bu sisteme soğuk yolluk sistemi adı verilir. Soğuk yolluk sisteminde ürünü basmak için kullanılan hammaddenin dışında yolluk sistemi tarafından kullanılan hammadde kullanılır ve bu durum ürün sarfiyatı oluşur. Soğuk yolluk sistemleri giriş yolluğunun tipine göre adlandırılır. Sıvı haldeki hammadde kalıp boşluğuna yan yolluktan iletilir. Yan yolluğa ise sıvı hammadde beslemesi giriş yolluğu tarafından yapılır. Soğuk yolluk türleri [19] ;

- Tünel Yolluk
- Muz Yolluk
- Kenar Yolluk
- Fan Yolluk
- Diyafram Yolluk

2.4.4.2. Sıcak Yolluk Sistemi

Sıcak yolluk sistemi, plastik enjeksiyon sırasında makinenin enjeksiyon grubunun bir uzantısı gibi davranıp, sıvı haldeki hammaddeyi enjeksiyon memesinden kalıp boşluğuna kadar kontrollü, soğumaya izin vermeden minimum basınç kaybıyla doğrudan kalıp boşluğuna iletir. Şekil 2.16' da görülen sıcak yolluk sistemi; sıcak yolluk memesi, dağıtıcı ve meme ısıtıcıları, sıcaklık kontrol cihazı,

sıcaklık kontrol elemanları (termocouple) ve sıcak yolluk dağıtıcısından meydana gelir. (manifold) [19].



Şekil 2. 16. Sıcak Yolluk Sistemi

Sıcak yolluk sistemini kullandığımızda son üründe yolluk kırma işlemi ortadan kalkar. Bu işlem ortadan kalktığına zamandan, alandan ve malzemedan tasarruf edilir ve ürün başına işçilik maliyeti azalır. Aynı zamanda ürün başına ayrılan süre azalacağından üretimin hızı da artar. Verimlilik daha da artırılması için otomasyona geçilmek istendiğinde sıcak yolluk sistemi kalıbın tam otomatik çalışmasına olanak tanır.

Sıcak yolluk sisteminde ürünü basmak için soğuk yolluğa göre daha az basınca ihtiyaç duyulur. Böylece kullanılan hem makinenin ömrü uzamış olur hem de elektrik tasarrufu sağlanır. Sıcak yolluk sistemi, bir enjeksiyon makinesinin kapasitesini %20 arttırabilir. Bu durum gerçekleştiğinde, fabrikanın üretim kapasitesi artar. Ayrıca bu sistem tüm makinelerde kullanılabilir [19].

Sıcak yolluk sistemi kullanıldığında malzeme akış kanalının çapı, klasik yolluklara göre daha büyük seçilebildiğinden düşük basınçlarda üretim yapılır. Böylece parça içindeki iç gerilmeler azalır. Aynı zamanda ısı ve zaman kaybı

olmadığı için kalıp girişindeki sıvı hammadde sayesinde ince duvarlı parçalar hızla soğumaktadır. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında sıcak yolluk sistemi sayesinde yüksek kaliteli ürünler elde edilir.

Sıcak yolluk sistemini kullanmak, standart kalıplara göre yüksek maliyetli olabilir ancak sağladığı yararlar göz önünde tutulduğunda uzun vadede avantaj sağlar [19].

2.4.5. İtici Sistemi

Sıvı haldeki hammadde kalıp boşluğundan soğumaya başladığı zaman oluşan ürün soğumaya başlar ve erkek kalıba doğru çekilir. Ürün kalıp açıldığında kalıbın hareketli kısmından yani erkek kalıptan alabilmek için hemen hemen her kalıpta itici sistemi kullanılır. Aynı zamanda oldukça büyük ve hacimli, şekil olarak kompleks ürünlerde el ile veya robot yardımıyla kalıptan çıkartılır.

İtici mekanizmaları otomatik itme ve yarı otomatik itme sistemleri olarak ikiye ayrılır;

- Otomatik itme sistemlerinde, ürünün erkek kalıptan çıkma prosesi sırasında operatöre ihtiyaç duyulmaz.
- Yarı otomatik itme sistemlerinde ise ürünün erkek kalıptan çıkma prosesinden sonra operatör emniyet kapısını açmak ve kalıbın kapanması için kapatması gerekir.

İyi bir itici sisteminde aşağıdaki özellikleri olmalıdır;

- Ürüne zarar vermeden kalıptan ürünü çıkartabilmelidir.
- Parça üzerinde deformasyona neden olmamalıdır.
- Kuvvet dağılımı dengeli olmalıdır.
- İtici pimin istenen konuma ayarlanabilmesine imkan vermelidir.
- Soğutma sistemiyle koordineli şekilde çalışma sağlayabilmelidir.

4 çeşit itici sistemi vardır. Bunlar;

- **Pim ve Bıçak İticiler** : İnce kesitinden dolayı tüm kuvveti tek bir noktadan basılan ürüne ilettiği için itici pimler üründe ize veya bozulmalara neden olabilir. Ancak ucuz sistemlerdir.

- **Sıyırıcı Plakalı İtici** : Sıyırma halkası parçayı iterek veya çekerek erke kalıptan dışarı atar, parçanın daha dengeli kalıptan atılması sağlanır. Sıyırıcı plaka boyutları büyük olduğundan itici plakasına salınım yapmayacak dengeli şekilde bağlanması gerekmektedir
- **Blok İtici** : Basit bir şekilde blok iticiler, pim ve bıçak iticilerin kullanıldığı yere göre daha geniş yüzeylerin kalıptan çıkması zor olacak, derin duvarların olduğu bölgelerde kullanılır. Derin duvarların olduğu bölgelerde parça kalıba tutunmaya çalışacağından pim ve bıçak iticilerin temas ettikleri yüzeyler küçük olduğundan, parçayı çıkarırken zarar verebilirler. Blok itici yerine aralıkları az olan bıçak iticilerin kullanılması akla gelebilir, fakat bütün bıçak iticiler için kalıp hamilinde açılacak boşluklar hamili çok zayıflatacaktır, bu da kalıbın uzun ömürlü olmasını engelleyecektir.
- **Açılı Pim İtici** : Açılı pim itici sistemi parça geometrisine göre pim iticilerin uçlarına (parça ile temas eden bölgenin) şekil verilmesiyle oluşturulur ve parçaya zarar vermemek için kullanılır. Şekil 2.7' de görüleceği üzere parça üzerindeki bazı geometriler itici üzerine işlenebilir ve parçanın formunun oluşmasına fayda sağlarlar [24].

2.4.5.1. Enjeksiyon Kalıplamada Tasarım Esasları

Kalıp tasarımı sırasında bazı hususları dikkate almak gerekir. Öncelikle tasarımda olabildiğince gereksiz montaj elemanlarından uzak durmak gerekir. Kalıpta kullanılan her gereksiz montaj elemanı ek maliyet ve işleme prosesinden dolayı zaman kaybı oluşturur.

Ürün tasarımında ise malzeme seçimi, et kalınlığı, ürünün kalıptan çıkma açısı ve ürünün istenilen mekanik özellikleri sağlaması dikkat edilmesi gereken esaslardır.

Plastik ürünün malzeme seçimi üründen beklenen mekanik ve görsel özelliklere ayrıca ürünün çalışma koşullarına göre yapılır. Kullanılacak plastik hammaddenin normal ve aşırı işletme sıcaklıklarına karşı davranışlarını bilmek gerekir. Çünkü her malzemede olduğu gibi plastiklerinde mekanik ve elektriksel özellikleri sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterir. Bunun yanı sıra kullanılan hammaddenin temas edeceği katı, sıvı ve gaz halindeki ürünlerle kimyasal uygunluğu araştırılmalıdır. Bunun yanında kullanılacak hammaddenin ısınma işlemi

sırasında zehirli gaz salınımı yapıp yapmadığının üzerinde dikkatlice durulmalı ve gerekli iş güvenliği tedbirleri alınmalıdır.

Tüm bunlar belirlendikten eğer son üründe aranan standartlar varsa kullanılacak hammaddenin bu standartlara uygunluğu araştırılmalıdır.

Hammadde seçimi ve tasarım tamamlandıktan sonra bitmiş ürününde montaj işlemi varsa bu işlemin uygunluğu test edilmeli ve montaj edilecek parçaların tedarik edilebilirliğinden emin olunmalıdır. Ardından ürün kalıptan çıktıktan sonra üzerinde herhangi bir işçiliğe ihtiyacı olup olmadığı, eğer ihtiyaç varsa bu durumun kalıp tasarımıyla aşılp aşılamayacağı tartışması yapılmalıdır.

Seçilen hammaddenin ısı genleşme katsayısına göre plastik malzemeler soğuma aşamasında çekme davranışı sergilerler. Bu nedenle kalıp boşluğu bu katsayıya bağlı olarak daha büyük tasarlanır. Aynı zamanda çekme davranışını enjeksiyon parametreleri de etkiler. Örneğin; kalıp boşluğu sıvı hammadde ile dolarken hızlı bir basınç yükselmesi meydana gelir. Bu basınç sıvı hammaddenin tüm boşluklara yayılmasını sağlar ve plastiği sıkıştırır. Bu basınç değerinin uygun ayarlanması parçanın kendi boyutlarında baskından çıkması adına kritik rol oynar. Sıvı haldeki plastik sıcaklık arttıkça daha akışkan hale gelir ve bu sayede basıncı daha iyi aktarır. Bu durumda daha uç kısımlarda daha yüksek olacak olan basınç artan sıcaklığın etkisini çok azaltır. Genelde kısa yolluk sistemi ve büyük giriş yolluğu olan kalıplarda üretilen plastik parçalarda çekme azaltılır [22].

Parçanın et kalınlığı plastik parçada aranan mekanik özelliklere bağlıdır. Parça kalınlığı, üretim sırasında çevrim süresi üzerinde önemli rol oynar. Parça kalınlığının az olması ürünün gramajını düşürür, gramajı düşen ürün daha hızlı dolar ve bu şekilde üretim hızlanır. Bu durumda ürün başına düşen maliyet azalır. Ancak kalınlığın fazla azaltılması bazı kalite problemlerini ortaya çıkarır. Eğer ürün uygun kalınlıkta değilse baskından sonra çarpılabilir, iç gerilmelerden dolayı şekil değiştirebilir. Et kalınlığı fazla olduğu durumlarda ise ürün fazla sert olur, esnekliğini yitirir. Bu durum montaj sırasında problem çıkartabilir. Fazla et kalınlığı aynı zamanda üründe çekmeyi arttırır. Giriş yolluğu boyutu da üretimde kullanılacak malzemenin özelliklerine göre değişir. Giriş yolluğunun boyutu sıvı hammaddenin katılaşmadan kalıp boşluğuna iletecek şekilde olmalıdır. Aksi durumda sıvı hammadde kalıp boşluğuna ulaşmadan katılaşır, bu durum basıncın kalıp boşluğuna

doğru iletilmesini engeller. Bu yüzden tamamlanmış üründe bir çok kalite problemi ortaya çıkar.Tamamlanmış ürünün kalıptan çıkması için kalıp yüzeylerine eğim verilir [22].

2.4.6. Kapatma Ünitesi

Makinenin bu ünitesi, makineye bağlanan kalıbın açılıp kapanmasını ve çapak oluşumunu engellemek için yüksek basınç yaratmakla görevlidir. Makinelerde 3 farklı mengene sistemi kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Mekanik sistem;

Bu sistemle mengene aralığı ayarlanabilir kollar ile kontrol edilir ve mekanik sistemin kinematiği

2. Hidrolik Sistem;

Hidrolik kapatma sistemlerinde kalıbı açıp kapatma işlemi ve enjeksiyon basıncına karşı gerekli kapatma kuvveti hidrolik silindir ile sağlanır.

3. Hidro-mekanik Sistem ;

Hidro-mekanik kapatma sisteminde kapama işlemi hidrolik silindirler, kilitleme ise özel mekanik elemanlarla sağlanır [1].

2.4.7. Kontrol Ünitesi

Plastik enjeksiyon prosesinde istenilen tüm değerleri ayarlayan sistemlerdir. Kullanılan enjeksiyon makinelerinde PLC kontrol üniteleri bulunmaktadır. PLC (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici), fabrikalardaki üretim bölümlerinde veya makinelerin kontrolü gibi işlemlerin denetiminde kullanılan otomasyon cihazıdır. Normal bilgisayarların aksine PLC'nin birçok giriş ve çıkışı (I/O) vardır. En büyük artıları ise elektriksel gürültüye, sıcaklık farklarına ve mekanik darbelere karşı dayanıklı tasarlanırlar. Farklı markanın PLC'leri kendilerine göre bir işletim sistemi yüklerler. Bu denetleyici sistem, giriş bilgilerini gözle görülmeyecek hızlarla tarayarak buna uygun çıkış bilgilerini gerçek zamana yakın, cevap verecek şekilde çalışır. PLC, kısa sürede daha çok ve kaliteli ürün üretme, çok düşük hata oranlarına sahip üretim yapma gibi unsurların ön plana çıkmasında büyük rol oynar [25].

2.5. Plastik Enjeksiyonda Kullanılan Parametreler

Plastik enjeksiyonda kullanılan parametrelerden bahsedildiğinde genel olarak 4 parametre üzerinde durulur. Bu parametreler aşağıdaki gibidir;

1. Basınç
2. Sıcaklık
3. Zaman
4. Hız

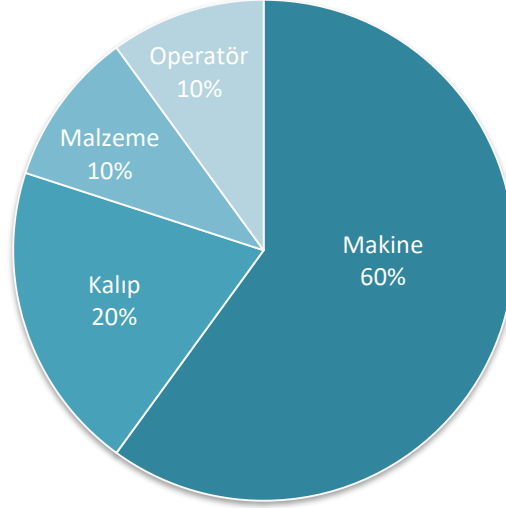
Bu parametrelerin alt parametreleri de bulunur. Sıcaklık için; eriyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, hidrolik sistem sıcaklığı, granül kurutma sıcaklığı ve dış ortam sıcaklığı şeklinde belirtilir. Aynı durum basınç parametresinde geçerlidir. Basınç denildiği zaman öncelikle enjeksiyon basıncı anlaşılır ancak proseste tutma basıncı, geri basınç ve kapama basıncı gibi basınç çeşitleri de vardır. Tüm prosesin zamanı hakkında yorum yapmak istendiğinde tek bir zamandan bahsetmek mümkün değildir. Proseste her aşamanın bir süresi olup, bunların toplamı çevrim süresini oluşturur. Hız denildiğinde enjeksiyon hızı akla gelen ilk parametredir ancak bununla birlikte vida dönüş hızı da dikkat edilmesi gereken parametrelerdendir [26,27].

Ürün kalitesini etkileyen üretim parametreleri: ; soğutma zamanı, ,enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon zamanı, doldurma zamanı, ergime sıcaklığı, itme basıncı, kalıp sıcaklığı, kalıp geometrik şekli, ergimiş hammadde özellikleri, ergimiş hammadde hızı ve akış esnasındaki ısı hareketleridir. Ayrıca, doldurma zamanı, ergimiş hammadde sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon basıncı malzemenin teknik özelliklerine, mukavemetine ve çarpılmasına etki eder [28].

Plastik parçaların kaliteli ve istenilen tüm mekanik özellikleri karşılayabilmesi için otomatik enjeksiyon kalıpları tercih edilir. Yukarıda belirtilmiş olan tüm parametreler parçanın özellikleri üzerinde belirleyici rol oynar. Örneğin; dişli kutularında ya da plastik montaj komponentleri üretiminde ölçü tamlığı kritiktir. Bu nedenle prosesin sürekli kontrol edilmesi gerekir [29].

Parametreler genelde deneme-yanılma yöntemi ile belirlenir. Ancak eğer kalıbı üretime alan kişi deneyim sahibi değilse, denemeler sırasında zaman kaybı ve boşa kullanılan kaynaklar nedeniyle verimsizlik ortaya çıkar.

Şekil 2.17 'de plastik üründe meydana gelen kalite problemlerin nedenleri yüzde oranları ile birlikte verilmiştir Grafik incelendiğinde üretilen parçalarındaki hataların büyük bir kısmının enjeksiyon makinesi kaynaklı olduğu görülür [30].



Şekil 2. 17. Enjeksiyon Hata Oranları [30]

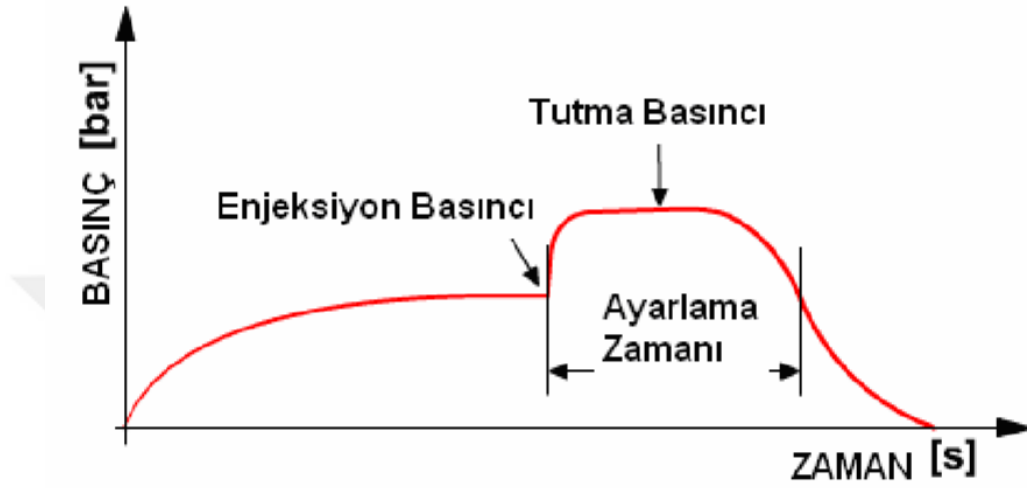
2.5.1. Basınç

Basıncı belirleyen en önemli unsur enjeksiyon makinesidir. Enjeksiyon makinesi plastik hammaddenin ergitilmesi, karıştırılması, kalıp boşluğuna iletilmesi gibi prosesleri yerine getirir. Enjeksiyon makinesinde oluşan basınçların ve enjeksiyon basıncını etkileyen faktörlerin bilinmesi gerekmektedir. Çünkü enjeksiyon basıncı, üretilen plastik parçanın kalitesini doğrudan etkiler ve aynı zamanda kalıbın kilitleme mekanizmasının stabil çalışmasında önemli rol oynar [32].

Enjeksiyon makinesi tarafından uygulanan basıncı, enjeksiyonda kullanılan ergimiş hammaddenin akışkanlığı ve sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, ürünün et kalınlığı ve ağırlığı, yolluk sistemi, enjeksiyon sistemi, ergimiş hammaddenin temas ettiği tüm yüzeylerin kalitesi etkiler.

Enjeksiyon bölgesindeki basınçlar ve mengene ünitesindeki basınçlar olmak üzere enjeksiyon makinelerinde iki kritik basınç tipi vardır. Bu iki basınç tipi üretim prosesi boyunca birbirlerine karşı olarak çalışırlar. [33]

Enjeksiyon bölgesindeki basıncın sıvı hale gelmiş olan hammaddeyi kalıp boşluğuna tam ve eksiksiz dolduracak şekilde olması gerekmektedir. Eğer basınç yetersiz olursa kalıp boşluğu dolmaz. Enjeksiyon bölgesinde enjeksiyon basıncı, tutma basıncı ve geri basınç olmak üzere 3 farklı türde basınç üretilir. Uygulanan basıncın aşamaları şekil 2.18' de görülmektedir.[33]



Şekil 2. 18. Enjeksiyon-Zaman Grafiği [33]

2.5.1.1. Enjeksiyon Basıncı

Enjeksiyon basıncı, ergimiş plastiğin enjeksiyon vidası önünden kalıp boşluğuna bir piston hareketi gibi iletilmesini sağlayan önemli parametrelerden biridir.

Ergimiş hammaddenin kalıp içine en hızlı şekilde doldurulması enjeksiyon basıncından beklenen en önemli olaydır. Bu yüzden enjeksiyon basıncı her zaman yüksek seçilmelidir. Bu değer yüksek seçildiğinde çalışma sıcaklıkları düşük seçilebilir. Çalışma sıcaklıklarının düşük seçilmesi durumunda kalıp ve ürün çok ısınmamış olur ve bu sayede prosesin soğuma sıcaklıkları düşer. Böylece üretim hızı artar. Ancak enjeksiyon basıncı optimum seviyede ayarlanamazsa fazla yüksek basınç kalıba ve makineye zarar verir [33].

Enjeksiyon basıncı düşük olduğunda ise kalıba yeterli hammadde gelmez ve eksik dolan kalıp boşluğundan dolayı ürün eksik dolar ya da üründe akış çizgileri oluşur. Kalıp doldurulması sırasında kollara ayrılan akış hatlarının tekrar birleşmesi

sırasında yeterli basınç olmamasından dolayı üründe kaynak çizgileri de oluşabilir. Bu durumda ürün yüzeyinde kalite düşer. Soğuma sırasında yeterli basınç olmadığında ise sonucu çöküntü izleri, çöküntülerin oluşumu, soğuma esnasında boyut ve şekilden sapmalar göstererek çarpılmalar oluşması gibi problemlerle karşılaşılır [26].

Enjeksiyon basıncı proses sırasında meme, yolluk sistemi ve kalıp boşluğundaki akış direncini yenmelidir. Akış direnci, ergimiş hammaddenin vida ucundan kalıp boşluğunu dolduruncaya kadar karşılaştığı dirençtir. Akış direnci kullanılan hammaddenin viskozitesiyle, kalıbın yapısıyla ve ergimiş hammaddenin temas ettiği yüzey kalitesiyle doğrudan ilişkilidir.

Kalıp içerisinde akış direncini yenmek ve kalıbı doldurmak için basınç bir miktar daha artırılır. Basıncın ulaştığı maksimum noktadan itibaren ütüleme zamanı dediğimiz zamanda basınç belli bir değere kadar düşer ve bu değerde kalıp içerisindeki malzemeye belirli bir basınç uygulanır. Belirli bir tutma sürecinden sonra basınç düşmeye başlar ve sistemdeki en düşük değerine ulaşır [32].

İnce et kalınlığına sahip olan parçaların kalıplarını düşük akışkanlığı olan hammadde ile doldurmak oldukça zordur. Bu tür durumlarda kalıp boşluğu uzun çevrim sürelerinde ve yüksek basınç kullanılarak doldurulur. Akış direnci düşükse de kalıbın dolum noktasına kadar uygulanan basınç daha düşük, fakat basınç süresi daha uzun olmaktadır [33].

Normal veya kalın et kalınlığına sahip parçaların kalıplarını doldurmak daha kolaydır ve yüksek basınçlara ihtiyaç duyulmaz. Basınç artışı, kalıp içerisindeki hammaddenin gittikçe katılaşması sırasında oluşan çekmeyi azaltmak ve kararlı yapıda ürün elde etmek için belirli bir seviyeye kadar devam eder [32].

2.5.1.2. Tutma Basıncı

Tutma basıncı, enjeksiyon basıncından sonra uygulanan ikinci basınçtır. Kalıp boşluğundaki ürün katılaşma sürecini tutma basıncı altında tamamlar. Böylece ürün eksiksiz ve kararlı bir biçimde kalıptan çıkar. Tutma basıncı kalıp içerisinde katılaşan ürünün çekmeden dolayı hacim küçülmesini önlemek için uygulanan basınç olarak da tanımlanabilir [26].

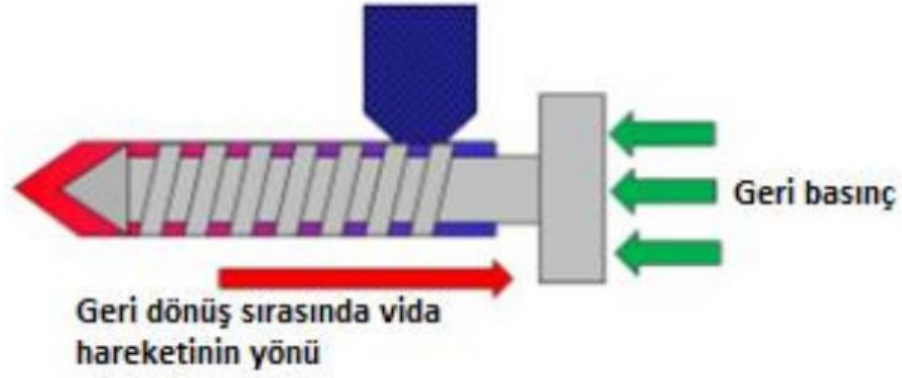
Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle elektronik ürünler daha küçük ve hafif olma eğilimi göstermişlerdir. Bu yüzden proseslerde tutma basıncı üstünde durulması gereken konu haline gelmiştir [27].

Parçanın estetiği ve boyutsal kararlılığı için uygulanan tutma basıncının büyüklüğü ve süresi çok önemlidir. Tutma basıncının düşük tutulduğunda üründe eksik baskı problemiyle karşılaşılır. Tutma basıncı süresi arttığında ise kalıp boşluğunda bulunan parçanın sıcaklığı enjeksiyon sıcaklığına ulaşır. Kalıp açıldığında bu basınç ani olarak düşer ve parçada kırılmalar meydana gelir [32].

Ergimiş malzemenin kalıp boşluğundaki en ince et kalınlığı olan bölgenin tamamen katılaşmasına kadar tutma basıncı uygulanır. Bu bölge genellikle yolluğun, kalıp boşluğuna giriş yaptığı yolluk adı verilen giriş bölgesidir. Dolayısıyla akış yolu üzerindeki kesitlerin katılaşmasından önce basınçtaki değişiklikler parçaya aktarılabilirken, katılaşma sonrasında gravür iç basıncı üzerinde tutma basıncının rol oynaması söz konusu olmamaktadır [33].

2.5.1.3. Geri Basınç

Geri basınç, enjeksiyon işlemi ardından uygulanmaya başlayan basınçtır. Geri basınç zaman fonksiyonu tam olarak anlaşılamayan veya önem verilmeyen ve bununla beraber proseste yaşanan bazı önemli sorunların kaynağı olan oldukça önemli bir plastik enjeksiyon parametresidir. Fakat önemli olmasının yanında tam anlamıyla anlaşılması ve doğru kullanılması da gereken geri basınç değeri mümkün olduğu kadar az kullanılmalı ve asla boyutsal problemleri düzeltmek için kullanılmamalıdır [36].



Şekil 2. 19. Geri Basınç Şeması [36]

Enjeksiyon makinesi vidası bir sonraki baskı için hammadde almak üzere döndüğünde vida önünde biriken eriyik polimer vidayı geriye itmeye başlar. Vidanın dönmesi yeterli baskı hacmine ulaştığında durur. Plastikte doldurulmuş ocak hacmi, yollukların hacmine ve kalıp boşluğuna eşit olmalıdır. Şekil 5.3 'de görüldüğü gibi geri basınç, eriyiği sabit bir hacme sıkıştırmak için vidanın arka tarafına uygulanan basınçtır ve baskıdan baskıya değişen eriyik yoğunluğunu sabit tutarak homojen eriyik elde edilmesinde etkin rol oynar [36].

Parça ağırlığı, eriyik yoğunluğu ve hacim değerlerinin çarpımına eşittir. Baskıdan baskıya tutarlılık, ancak eriyik yoğunluğu baskıdan baskıya tutarlı olduğunda mümkün olabilmektedir. Çünkü hacim, tutarlılık da belirli bir role sahip değildir. Geri basıncı gerekenden daha fazla artırmak sadece polimerde kayma gerilmesine (Kayma gerilmesi cismin yüzeyine uygulanan kuvvetlerden veya kuvvet vektörlerinden oluştuğu gibi ayrıca burulma(tork) işleminden dolayı da meydana gelen bir gerilmedir, normal kuvvete dik yani yüzeye paralel olarak uygulanan kuvvetlere ise bahsettiğimiz gibi kesme kuvveti; bu kuvvetlerin oluşturduğu gerilmeye ise kayma gerilmesi adı verilir.) neden olacak, kesme kuvveti artacak dolayısıyla eriyik sıcaklığı artacaktır. Geri basınç, aynı zamanda, eriyik içine sıkışan ve uçuculuğa neden olacak uçucu maddeleri çıkarmak için eriyiğin sıkıştırılmasını da sağlar. Ayrıca geri basıncın düşük bir miktarı parçadaki düzensizlikten kurtulmak için kullanılmalıdır [36,51].

Malzeme tedarikçileri tarafından sağlanan geri basınç değerleri yalnızca yönerge olarak kullanılmalıdır. Gerçekte kullanılan, uygulanan geri basınç, gerekli sonucu elde etmek için mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Mal alma süresindeki tutarlılık, uygulanan geri basıncın yeterli olduğunun iyi bir göstergesidir. Mal alma süresindeki değişim, küçük tonajlı makinelerde +/- 0,2 orta tonajlı makinelerde ise 0,5 saniyeyi geçmemelidir. Daha büyük tonajlı makinelerde gerekmedikçe çalışılmaması tavsiye edilir. Çünkü daha büyük geri basınca ihtiyaç duyulacağı için malzemede bozulmaya neden olabilecek aşırı kesme kuvvetine neden olabilir. Geri basıncı enjeksiyon basınçları ile kıyaslandığında oldukça düşük bir seviyededir. 4 bar ile 40 bar arasında değişim gösteren bir değerde kullanılan polimerin yapısına bağlı olarak ayarlanabilmektedir [36].

Geri basıncın ayarlanırken 4 barlık değerden başlanır. Ardından baskıdan çıkan ürüne bağlı olarak, istenilen kalitede karışım ve yoğunluk elde edilene kadar küçük artışlar yapılır. Geri basınç eğer 4 barlık değerinin altında ayarlanırsa parça kalitesinde problemler meydana gelebilir. Çünkü 4 barın altındaki basınç değerlerinde geri basıncın kontrolü zor olur. Üretim prosesi sırasında düşük seviyede geri basınca ihtiyaç duyan plastiklerin enjeksiyonunda, geri basıncın kontrol valfi ile kontrol edilmesinin dışında, enjeksiyon vidasının geri gidiş hızının kontrol altına alındığı sistemlerde geliştirilmiştir. Eğer geri basınç olması gerekenden fazla seçilirse enjeksiyon vidası hiç dönmeyerek kilitlenebilir. Bu durumda ön bölümde kalan hammadde fazla sürtünmeye ve sıkışmaya maruz kalır. Bu durumda ise malzemede bozulma gerçekleşir [33].

Sonuç olarak geri basıncı plastik parçaların uygun, yoğunlukta ve görünümde üretilmesinde ve bunun devamlılığının sağlanmasında çok önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte parçalardaki hava kabarcıklarını engelleyen veya en aza indiren faktörlerden birisidir [33].

2.5.1.4. Mengene Ünitesi Kilitleme Basıncı

Bu basınç adından da anlaşılacağı gibi kalıbı çalışma sırasında kilitleyen basınçtır. Kilitleme basıncının oluşturulmasındaki amaç, üretimde enjeksiyon ve tutma basınçları kalıba uygulandığı sırada, kalıbın açılmasını engellemektir. Bu basınç hidrolik ve mekanik olarak elde edilirler. Aynı zamanda hidrolik ve mekanik sistemlerin aynı anda çalıştığı hidro-mekanik sistemlerde vardır.

Mengene basıncı her zaman enjeksiyon basıncından büyük olmalıdır. Büyük olmadığı durumlarda kalıp tam kapanmaz ve ergimiş hammaddenin dışarı sızmasıyla üründe çapak meydana gelir. Bunun yanı sıra kalıp plakalarının tam olarak kapanmadığı durumlarda enjeksiyon basıncı kalıp boşluğuna tam olarak aktarılamaz ve yeterli sıkışma sağlanamaz. Bu durumların yaşandığı üretim proseslerinde üretilen parçanın iç yapısında zayıflıklar oluşur.

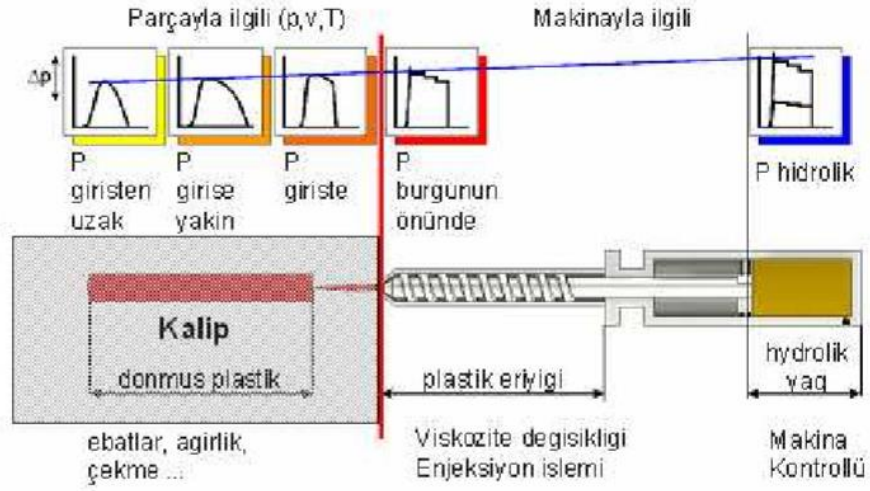
Kalıp ile birlikte kapalı kuvvetler sistemini oluşturan mengene ünitesi, kalıbın bağlandığı ve mengene plakasının kapanmasını, kilitlenmesini ve açılması sağlayan birimdir [26].

2.5.1.5. Kalıp İç Basıncı

Enjeksiyon basıncının tamamı kalıba aktarılamaz. Meme, yolluk ve çeşitli birimlerde basınç kayıpları oluşur. Enjeksiyon basıncının kalıp boşluğunda etkili olduğu kısma kalıp iç basıncı denir. Kalıp iç basıncı aşağıdaki etkenlere bağlıdır;

- Malzemenin kalitesine
- Malzemenin sıcaklığına
- Yolluk boyutları
- Meme boyutları

Enjeksiyon sıcaklığına bağlı olarak kalıp iç basıncı ve enjeksiyon basıncı arasındaki fark değişir. Şekil 2.20 ve şekil 2.21 'de enjeksiyon işlemi sırasındaki kalıp içi basınç değişimi görülmektedir. Eğer enjeksiyon basıncı yüksek ise bu fark azalır, düşükse artar. Bazı özel durumlarda kalıp iç basıncı, enjeksiyon basıncına eşit olabilir [33].

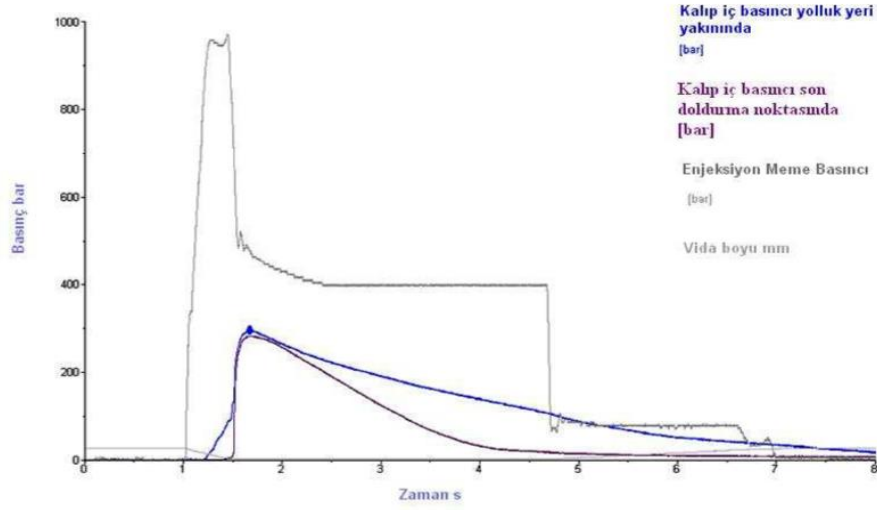


Şekil 2. 20. Enjeksiyon Basınç Değişimi

Kalıp sıcaklığı, kalıp iç basıncı üzerinde etkilidir. Kalıp sıcaklığı ve iç basınç arasında ters orantı vardır. Ürünün boyutsal kararlılığı malzemenin ısıl genişlemesine bağlı olduğu gibi kalıbın iç basıncına da önemli ölçüde bağlıdır [32].

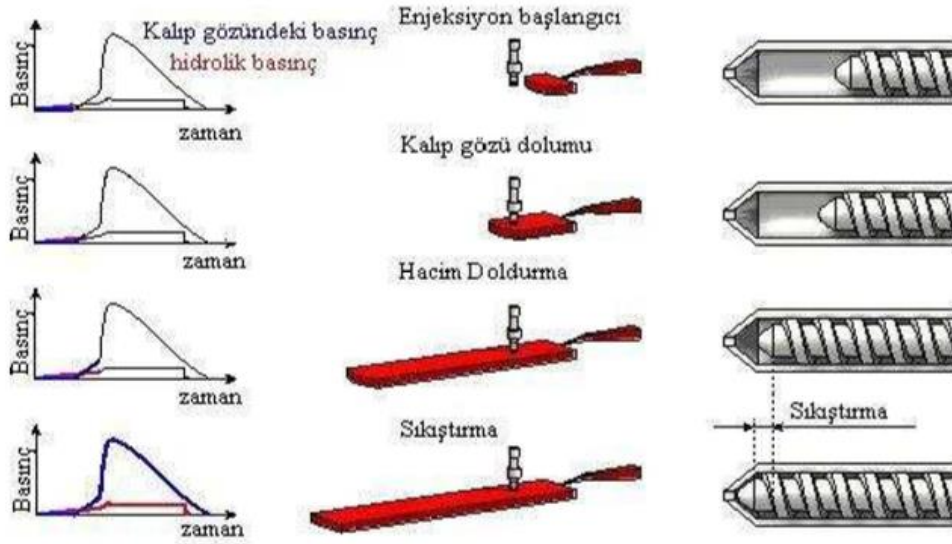


Şekil 2. 21. Kalıp İçi Basınç Değişimi [33]



Şekil 2. 22. Enjeksiyon ve Kalıp İç Basıncının Zamana Göre Değişimi [33]

Şekil 2.22' de kalıp içinde oluşan basıncın enjeksiyon basıncına bağlı değişimi gösterilmiştir. Grafikte basınç değişim noktasından sonra kalıp iç basıncının kısa bir süre daha artış gösterdiği özellikle ifade edilmiştir.

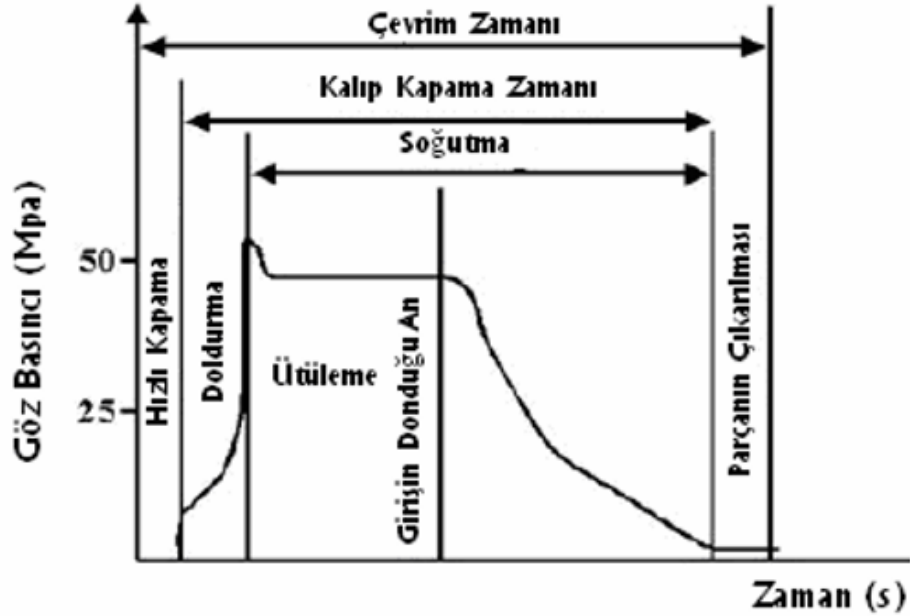


Şekil 2. 23. Enjeksiyon İç Basıncının Parça ve Helezon Konumuna Göre Değişimi

[25]

Kalıp iç basıncı, enjeksiyon basıncıyla kalıp boşluğunda yüksek sıcaklık ve basınçta sıkışan hammaddeye uygulanan basınç sona erdiğinde kullanılan türüne

göre bir miktar hammaddenin genişlemesinden kaynaklanır. Polimer malzemeler yüksek basınç altında gözlemlendiklerinde özgül basınçlarında ciddi azalmalar meydana geldiği gözlenir. Şekil 2.23' de parça dolarken oluşan basınç değişimlerini görebilirsiniz [33].



Şekil 2. 24. Enjeksiyonda Üretilmiş Bir Parçada Basınç İzlenimi [33]

Şekil 2.24 'de bir plastik parça üzerindeki basınç değerleri zamana bağlı olarak değişiklikleri zamana bağlı olarak gösterilmiştir. Bunlara ek olarak enjeksiyon basıncı arttıkça parçanın sertliği artar.

2.5.2. Sıcaklık

Sıcaklık, enjeksiyon prosesinde üretim kalitesini direkt olarak etkileyen parametrelerden biridir. Prosesi etkileyen 4 farklı sıcaklık çeşidi aşağıdaki gibidir [26];

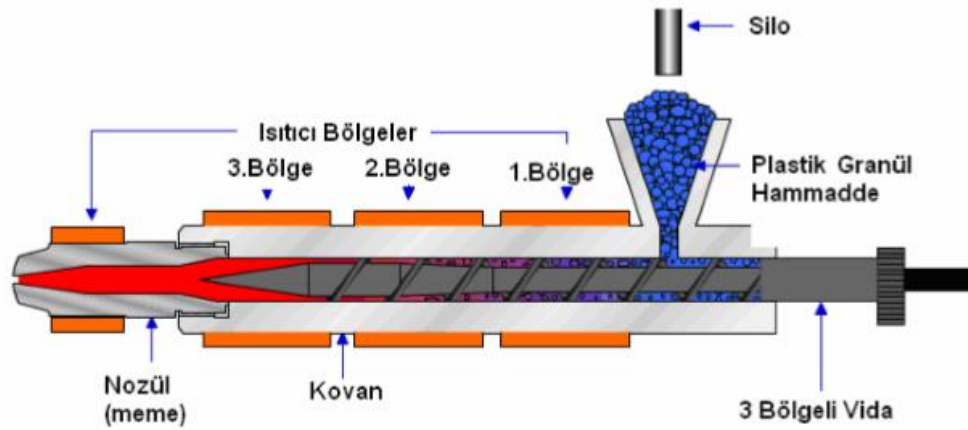
- Ergimiş hammadde sıcaklığı
- Kalıp sıcaklığı
- Hidrolik sistem sıcaklığı
- Kurutma sıcaklığı

Tüm bu parametrelerin doğru olarak ayarlandığı ve istenilen özelliklerde ürün elde edilen bir proseste yükleme-boşaltma kapılarının açılması ya da ortam havalandırmasının kontrolsüz yapılması prosesin bozulmasına yol açabilir. Bu durumlar yaşandığında makinenin bulunduğu ortam etkilediğinden, makine üzerinde bulunan sıcaklık kontrol ünitelerinin okuma sonuçlarında farklılıklar ortaya çıkabilir. Bu farklılıklardan dolayı bir süre proseste dengesizlikler meydana gelebilir [33].

Proseste tüm sıcaklık değerleri ayarlandıktan sonra prosesin devamlılığı için homojen ortam sıcaklığı olmalıdır. Bu nedenle enjeksiyon işlemine başlamadan önce makinenin en az yarım saat ısıtılması ve yine düzgün bir parça alınabilmesi için de ortamın en az 2 saat kadar ısıtılması gerekmektedir [33].

2.5.2.1. Ergiyik Sıcaklığı

Vida kovan sistemine hammadde besleme hunisinden giriş yapar. Besleme hunisinde hammadde granül ya da toz halinde bulunabilir. Sisteme giren hammadde, etrafı rezistans ısıtıcılarla sarılı olan vida kovan sistemi boyunca hem ısınır ve ergime başlar hem de sistem boyunca ilerleyerek, sistemi terk edip kalıba ulaşacağı memeye doğru hareket eder. Memeden ise hammadde son olarak kalıp boşluğuna ulaşır [33].



Şekil 2. 25. Vida Kovan Sistemi [33]

Şekil 2.25 'de görülen vida kovan sisteminin ısıtıcı bölgesinde üç ila altı adet arasında ısıtıcı bulunur. Bu ısıtıcıların dışında enjeksiyon memesinde de en az bir adet ısıtıcı bulunur.

Enjeksiyon prosesinde plastik hammaddenin enjeksiyon prosesi için uygun sıcaklarda olması kritik önem taşır. Besleme hunisinden vida kovan sistemine giriş yapan granüller sıcaklığın etkisiyle yumuşamaya başlarlar. Yumuşayan malzeme vidanın dönme hareketiyle orta bölüme doğru iletilir. Burada sıcaklık 5-10 °C artış gösterir. Hammadde, vida kovan sisteminin sonuna doğru ilerledikçe, sistemde sıcaklık artar ve hammadde kalıba aktarılmak için hazır hale gelir [37].

Vida kovan sisteminde hammaddenin ergitilmesi için gereken sıcaklık, ısıtıcıların yanı sıra vidanın prosesi sırasında yapmış olduğu dönme ve sıkıştırma hareketlerinde de elde edilir [33].

Polimerlerin ergimesi için gerekli ısının iki değişik kaynağından biri ocak rezistanslarından elde edilen ısı, diğeri ise sıkışma ve sürtünmeler nedeniyle açığa çıkan ısıdır. Bu ısının varlığı vida kovan sistemindeki bazı bölgelerde sıcaklığın ayarlanan değerin üzerine çıkması ile anlaşılmaktadır. Bu gibi durumlarda o bölgedeki rezistansı kapatılması söz konusu bile değildir. Bu nedenle ideal olan çalışma şekli tüm ısı bölgelerinin açık olması ve sürtünme ısının olduğu bölümlerde sıcaklığın biraz düşülerek çalışılmasıdır [33].

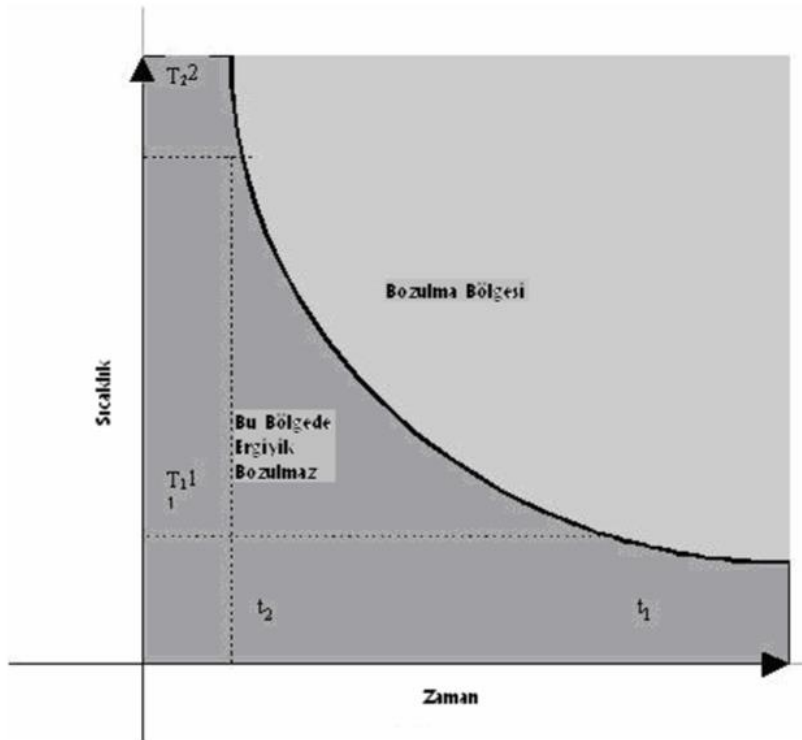
Vida kovan sisteminde dönme hareketinin yapılmasının nedeni yeni malzeme girişi yapılmak istenmesidir. Besleme hunisinden kovana gelen hammadde vida kovanı içerisinde ilerledikçe vida kanatları ve kovan arasında sıkışır. Sıkışma ve sürtünme sonucunda açığa çıkan sıcaklık plastik hammadde tarafından absorbe edilir. Buradaki önemli nokta kullanılan plastik hammaddeye uygun sıcaklık elde etmektir [38].

Tablo 2. 7. Bazı Plastiklerin Ergiyik Sıcaklıkları [33]

Plastik	Erime sıcaklık aralığı (° C)	Özgül ısı (kg/ kg ° C)	1 kg plastiği eritmek için gereken ısı (kj/kg)
Polistren	210-250	1.34	268
HIPS	210-250	1.40	280
ABS	210-260	1.40	308
Noryl	240-300	1.34	308
Polikarbonat	280-320	1.26	353

Tablo 2.7 'de bazı plastiklerin ergiyik sıcaklıkları gösterilmiştir. Plastik hammaddelerin erime sıcaklıkları türüne göre 150 - 400 °C arasında değişkenlik gösterir. Ergimiş plastik hammadde, kalıba basılırken erime sıcaklığının biraz altında basılır. Yukarıda tabloda sektörde sık kullanılan baz hammaddelerin erime sıcaklıkları verilmiştir. Plastik hammaddelerinin her biri kendine has işleme özelliklerine ve karakteristik sıcaklık aralığına sahiptir. Kullanılan kesin sıcaklıklar polimerin bağlı bulunduğu kendi sınıfındaki derecesine bağlıdır; polimer tipine, içindeki katkı maddesinin miktarına ve kalıp doldurma için gerekli özel şartlara bağlıdır [23].

Plastik hammaddenin besleme hunisinden vida kovan sistemine girmesi ve meme bölgesinde çıkana kadar vida kovan sisteminde kaldığı toplam süreye geçiş süresi denir. Bu işlem genellikle birkaç saniyelik bir süredir. Malzemenin yoğunluğu ve prosesinin çevrim zamanı bu süreyi etkiler [33].



Şekil 2. 26. Plastiğin Bozulma Bölgesi [33]

Şekil 2.26' da plastiklerin çalışma ve bozulma bölgesi belirtilmiştir. Plastik hammadde ile çalışma bölgesinde yer alan sıcaklık ve zaman değerlerinde çalışılırsa

ürün yüzeyinde herhangi bir problemle karşılaşılmaz. Ancak çalışma bölgesi değerlerinin dışına çıkıp plastik hammadde ile bozulma bölgesinde çalışırsanız üründe gümüş renkte çizgiler ve gaz kabarcıkları meydana gelecektir [40].

Üretim prosesi sırasında bekleme süreleri ergimiş plastik hammaddenin renginde değişime sebep olur. Hammaddenin içinde renklendirici katkı kullanılıyorsa bekleme sürelerini daha hassas belirlenmesi gerekir [33].

Üretim prosesinde eğer ergime sıcaklığı gereğinden fazla olursa hammadde fazla akışkan hale gelir ve bu da akışının çok türbülanslı olmasına sebep olur. Türbülans sırasında hammaddeye hava girişi olur ve hava burada sıkışır. Sıkışan hava parça içine baloncuk şeklinde kendini gösterir. Bu yüzden plastik hammaddenin fazla ısıtılması önlenmelidir [33].

Üretim prosesinde ergime sıcaklığı düşük tutulduğunda ise polimer malzeme tamamen eriyemez. Bu durumda kalıp boşluğu tam dolamaz ve bitmiş ürünlerde bulutlu bir görüntü meydana gelir. Bulutlu görüntü tam ergimemiş ürünün ergimiş ürünler karışması sonucunda meydana gelir. Bulutlanma daha çok seffaf parçalarda belli olur ve ürünün mekanik özelliklerini de olumsuz yönde etkiler [40].

Eriyik sıcaklığı arttıkça ürünlerde çekme miktarı artar. Çünkü ısınan plastik molekülleri genişler. Genleşme sonucu ürünün hacmi artar. Bu yüzden proses sırasında, yüksek sıcaklıkta hacmi daha fazla olan malzeme kalıp boşluğuna gönderilir ve parça soğuduğunda normalden daha fazla çeker. Bu durum parçanın boyutsal hassasiyetini olumsuz olarak etkiler. Sonuç olarak sıcaklık ve çekme miktarı arasında ters orantı olduğu söylenebilir [26].

Bünyesinde nem barındıran granüllerin vida kovan sistemine girmesi durumunda sistemde su buharı ortaya çıkar. Çıkan su buharı kararlılığı etkileyerek ürünün mekanik ve fiziksel özelliklerinin bozulmasına yol açabilir. Aynı zamanda yüzeyde kabarcıklar, harenme ya da gümüş çizgiler meydana gelebilir. Bu yüzeyde oluşan kalite problemleri üründe kırılma problemlerini beraberinde getirir [33].

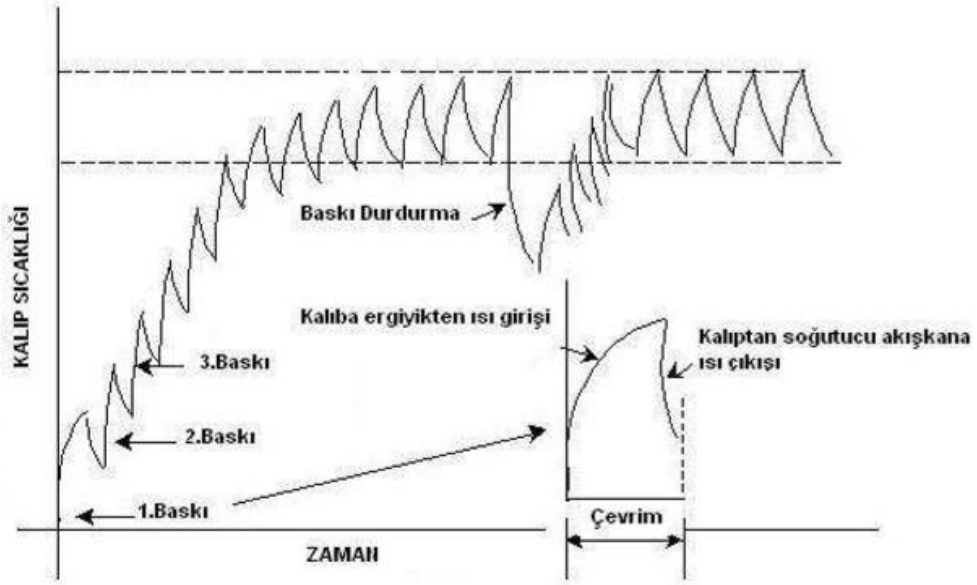
2.5.2.2. Kalıp Sıcaklığı

Ergimiş hammadde vida kovan sisteminde bulunan memeden kalıba doğru aktarılır. Bu aşamada ergimiş hammadde kalıba girdiği andan itibaren, hammaddeden kalıba ısı transferi gerçekleşir. Kalıp boşluğu hammadde ile tamamen dolduğunda kullanılan hammaddeye göre ürün bir soğuma hızına ihtiyaç duyar. Ürünün soğuma kalitesi, ürün kalitesini doğrudan etkiler. Bu nedenle kalıp sıcaklık ayarının kullanılan plastiğin soğuma hızına uygun olmalıdır.

Hammadde üreticileri kullanılması gereken yüzey sıcaklıklarını belirlerler. Yüzey sıcaklıkları kalıbın her yerinde aynı olmalıdır. Ancak bu pek mümkün değildir. Kalıp yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Bu sıcaklık farklı soğutma kanallarının kalıp konstrüksiyonu ve dayanımı da göz önünde bulunarak, birbirlerine yaklaştırılması ile en aza indirilmelidir [33].

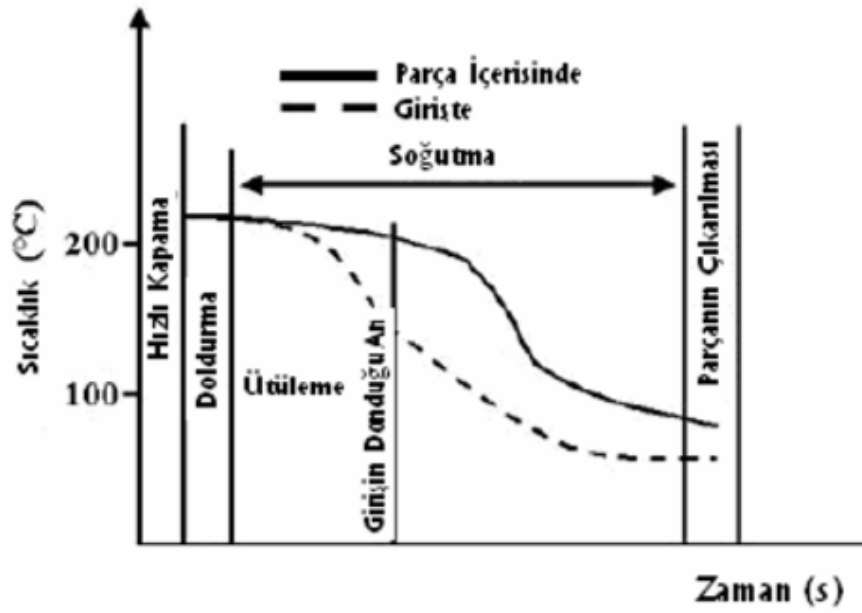
Bir plastik enjeksiyon kalıbında ergimiş plastikten kalıp metal yüzeyine ısı girişi ve kalıp yüzeyinden kalıbın içinde dolaşan soğutucu akışkana doğru ısı çıkışı olmak üzere iki adet ısı transferi oluşur.

Bir plastik enjeksiyon kalıbına ısı girişi, çıkışından fazla olursa kalıp her çevrimde giderek ısınmaya başlar. Bu da alınan baskının her çevrimde farklı olmasına neden olur. Bu yüzden kalıp sıcaklığı istenilen değere ulaştığı zaman ısı girişi ve çıkışı dengelenmesi gerekir. Ancak bu kuralı uygulamak pratikte kolay değildir. Bu yüzden hedeflenen sıcaklığın üst ve alt noktalarındaki bir aralıkta kalıp sıcaklığının dalgalanması en iyi yöntemdir. Şekil 2.27' de kalıp sıcaklığının enjeksiyon baskısına göre değişim verilmiştir [33].



Şekil 2. 27. Kalıp Sıcaklığının Enjeksiyon Baskısına Göre Değişimi [33]

Kalıp sıcaklığı üretim sırasında düzgün bir şekilde kontrol edilemez ise parçada gerilim farklılıkları, bozuk kesimler, çökme izleri, zayıf yüzey görüntüsü ve boyutsal farklılıklar meydana gelir. Düşük kalıp sıcaklıklarında yapılan baskılarda kalıba giren ergimiş hammadde hızla soğumaya başlar ve hammadde birbiriyle iyi bir şekilde birleşemez. Bu da parçanın birleşme yerinden ayrılmasına ya da kırılmasına neden olur. Aşağıdaki şekil 2.28 incelendiğinde yolluğun parçadan daha hızlı soğuduğunu anlaşılır. [32].



Şekil 2. 28. Enjeksiyonda Üretilmiş Bir Parçada Sıcaklık İzlenimi [33]

2.5.2.3. Hidrolik Sistem Sıcaklık Kontrolü

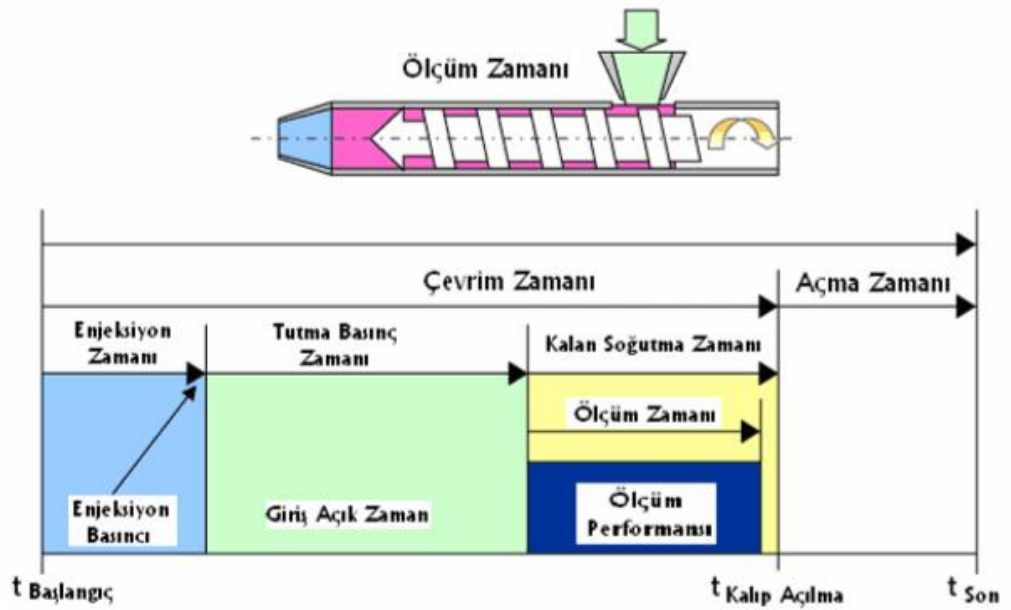
Enjeksiyon makinesinde, hidrolik sistem çalışma sırasında sıcaklık açığa çıkarır ve bu sıcaklık dikkate alınmalıdır. Hidrolik sistemde kullanılan sıvının sıcaklığı 30 °C ila 60 °C arasında değişir. Kullanılan sıvı olması gereken minimum sıcaklık değerinde daha soğuk şekilde kullanılırsa, hidrolik sistem elemanları daha yavaş çalışacaktır. Eğer sistemden kullanılan sıvı fazla sıcak olursa akışkanlığını yitirir. Bu durumda sistem komponentleri tam sıkıştıramaz ve valf ve silindirler görevlerini tam olarak yerine getiremez. Hidrolik sistem sıcaklığı, kalıp ve hammadde sıcaklığı gibi doğrudan ürün kalitesini etkilemez ancak enjeksiyon makinasının proseslerin gereği gibi yerine getirememesine neden olacağından, zamanla parça kalitesine az da olsa olumsuz etki etmeye başlayacaktır [33].

Akışkanın viskozitesi enerji kayıplarını ve pompa verimi etkiler. Yüksek kalite beklenen ürünler için yağ sıcaklığı kontrolü yapılması gerekir. Ayrıca istenilen operasyon sıcaklığına ulaşılmadan sistemin hareketini önleyen sistemlerinde kullanılması gerekir.

2.5.3. Zaman

Enjeksiyon prosesi sırasında paralel olarak meydana gelen ya da birbirini takip eden bir çok proses bulunur. Şekil 2.29 'da her prosesin süresi grafikte ifade edilmiştir. Enjeksiyon prosesinde bulunan süreler aşağıdaki gibi incelenebilir [26];

- Enjeksiyon zamanı
- Ütüleme zamanı
- Soğuma zamanı
- Toplam çevrim zamanı



Şekil 2. 29. Çevrim Zamanı Sıralaması [33]

2.5.3.1. Enjeksiyon Zamanı

Bir plastik enjeksiyon prosesinde, enjeksiyon prosesi ergimiş malzemenin kalıp boşluğunu doldurmaya başladığı an ile tutma basınçları uygulanmaya başlaması arasındaki işlemdir. Bu işlem sırasında hız kontrolü yapılır.

Vida kovan sisteminde bulunan helezon, malzemeyi 5 ila 10 basamak arasında değişen bir hız profili ile kalıba doğru iter. Hız da diğer parametreler gibi kalıba ve kullanılan malzemeye göre yapılır. İlk olarak kalıba yavaş hız uygulanır, ardından kalıp boşluğu tam olarak dolmadan hız azaltılır. Proses başlarken ve

biterken hızların düşük tutulması kalıpta tahribat yaratmamak içindir. Her ürün için optimum enjeksiyon zamanı vardır. Bu enjeksiyon zamanı özellikler ürünün maliyeti için kritiktir. Enjeksiyon zamanı çok kısa tutulursa kalıbı doldurmak için birim zamanda kalıp boşluğuna daha yüksek hacimde ergimiş malzeme aktarılması gerekir. Bu durum yüksek basınç kayıplarına neden olur. Eğer enjeksiyon zamanı olması gerekenden uzun sürerse, kalıp duvarlarına yakın bölgelerde eriyik daha hızlı katılaşmasından dolayı serbest kanal kesit alanını azalır ve yine yüksek basınç kayıpları meydana gelir. Tüm bu nedenlerden dolayı enjeksiyon zamanı minimum basınç seviyelerine göre ayarlanmalıdır [32].

Kalıp içi sıcaklığı da enjeksiyon zamanı ile ilgilidir. Enjeksiyon zamanı kısa tutulduğu takdirde, malzeme akışının sonundaki sıcaklık, malzemenin ilerlemesi sırasında meydana gelen sürtünmelerden dolayı enjeksiyon sıcaklığında artış meydana gelebilir. Eğer enjeksiyon zamanı kısa tutulursa akış yolunun uç noktasındaki sıcaklık enjeksiyon sıcaklığından düşük olabilir. Halbuki boyutsal kararlılık açısından akış yolunun başındaki ve sonundaki sıcaklık aynı olmalıdır. Akış boyunca malzemelerin mekanik özellikleri işlem sırasında oluşan şartlardan bozulabileceğinden, akış işlemi sırasında gerilmeler düşük ve sabit tutulmalıdır [32].

2.5.3.2. Ütüleme Zamanı

Ütüleme basıncı olarak da adlandırılan tutma basıncı, enjeksiyon işleminin hemen ardından, malzemenin kalıp duvarlarına değdiği andan itibaren katılışp soğumaya başlamasından dolayı uygulanır. Bu uygulama sayesinde üründe termal büzülme, hava boşluğu, kanal izleri, yamulma ve ya kasılmalar meydana gelmez.

Tutma basıncı, vida kovan sisteminde bulunan helezonun belirlenen bir konumdan başlar ve belirlenen süre aralıklarında devam eder. Tutma basıncı kontrollü bir şekilde uygulanır ve kullanılan malzemeye, kalıba ve diğer proses parametrelerine göre ayarlanır. Bu durum helezonun 5 ile 10 arası basamakta, farklı değerlere sahip basınçlarla yüklenmesi anlamına gelir. Tutma basıncına geçiş kalıba ani yükleme olmasını engellemek için ani olmamalıdır [42].

Bu geçiş olabildiğince pürüzsüz olarak ve kalıp boşluğu dolduktan sonra yapılmalıdır. Kalıp boşluğu dolduktan sonra tutma basıncı gecikirse ani bir basınç yükselmesi meydana gelir. Eğer tutma basıncı erken uygulanırsa da bu safhada

enjeksiyon işlemi devam eder, bu durum basınç eğrisinde gözle görülür bir düşüşe sebep olur. Bu durum meydana geldiğinde düşük miktarda ergimiş malzeme yolluğa geri akabilir. Tutma basıncına geçiş üç farklı şekilde olabilir;

- Zamana bağlı geçiş

Zamana bağlı geçişte makinenin tutma basınçlarını uygulamaya geçmesi, başka hiçbir koşula bağlı olmaksızın, enjeksiyon işleminden belli bir zaman geçtikten sonra olur. Bu yöntem artık günümüzde esnek olmaması ve kalıpta oluşan ürünü dikkate almaması sebebiyle pek kullanılmamaktadır.

- Helezonun konumuna bağlı geçiş

Helezona bağlı geçiş, helezonun belirli bir konuma gelmesiyle tutma basınçlarının uygulanmaya başlanması şeklinde olur. Bu geçiş şekli, düşük miktarlarda malzeme takviyesi gereken durumlarda üründe küçük dalgalanmalara neden olması, valflerin tepki süresine veya malzemenin basınç eğrisine olumsuz yönde etki etmesi gibi bazı problemlere sebep olabilir.

- Basınca bağlı geçiş

Basınca bağlı geçiş de ya sistemin hidrolik basıncının veya ayrı bir basınç dönüştürücüsü ile ölçülen kalıp boşluğu basıncının belli bir değere ulaşmasıyla tutma basınçlarının uygulanmaya geçilmesi şeklinde olur. Kalıp boşluğundaki ölçülen gerçek basınç değeri, işlemi optimize etmek için de kullanılabilen önemli bir parametredir.

Basınca bağlı geçiş hidrolik basınca ve kalıp boşluğunda eriyik malzemenin oluşturduğu basınca bağlı olarak iki türde gerçekleşir [19].

2.5.3.3. Soğuma Zamanı

Soğuma zamanı, tutma basıncından sonra kalıp boşluğunda şekillenmiş ürünün katılaşarak kalıptan çıkabileceği kararlılığa sahip olduğu ana kadar geçen süredir. Bu süre doğrudan ürün kalitesi üzerinde belirleyicidir. Burada aşamada önemli olan ürünün kalıptan itici yardımıyla çıkabilecek rijitliğe ulaşmasıdır. Çünkü bazı durumlarda ürünler katılaşmasına rağmen rijitliğe ulaşmazlar. Plastik parçasının soğumasının %90'ı kalıpta soğuma zamanı içinde, geri kalan %10'luk kısmı ise 24 saat içinde gerçekleşir. Bu aşamada önemli olan kalıptaki parçanın yeterli donmuş kabuk kalınlığına sahip olup olmadığıdır. Eğer kalınlık yeterli ise kalıp dışındaki

soğuma üründe herhangi bir problem yaratmaz. Kalınlık yeterli değilse soğuma esnasında çekme nedeniyle oluşan gerilmeler, üründe burkulma ve çatlaklara neden olabilir [33].

2.5.3.4. Toplam Çevrim Zamanı

Toplam çevrim zamanı, bir plastik enjeksiyon prosesindeki tüm süreleri toplamıdır. Bu süre "cycle" olarak da adlandırılır. Toplam çevrim zamanını, operatörün enjeksiyon makinesinin kapısını kapatması ile kapıyı açıp ürünü aldıktan sonra tekrar kapatması arasında geçen süre olarak da tanımlanabilir. Enjeksiyon prosesinde parça üzerinde en çok etkisi olan zamanlar toplam çevrim zamanı ve soğutma zamanıdır.

Proseste kullanılan hammaddenin ısı dayanımı toplam çevrim süresini üzerinde önemli ölçüde belirleyicidir. Toplam çevrim zamanını fazla olduğunda vida kovan sisteminde bekleyen hammadde yanmaya başlar ve ısı dayanımının bozulması söz konusu olabilir. Bunların yanı sıra kalıp çekirdeğinde oluşan ısı iletimi de toplam çevrim zamanını etkiler [26,43].

2.5.4. Hız

Bir plastik enjeksiyon prosesinde üç farklı temel hız vardır. Bunlar;

- Enjeksiyon hızı
- Vida dönüş hızı
- Vida geri dönüş hızıdır.

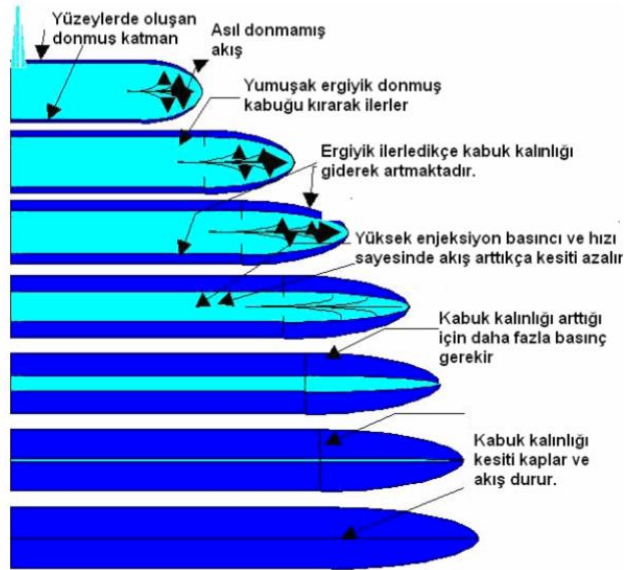
Plastik enjeksiyon prosesinde hız, ürünün görsel özelliklerini doğrudan etkiler. Aynı zamanda malzeme özellikleri ve üretim verimliliği üzerinde etkisi vardır.

2.5.4.1. Enjeksiyon Hızı

Enjeksiyon hızı: vida içindeki eriyik plastik malzemenin, vidanın doğrusal (piston gibi) hareketi ile kalıba aktarılma hızıdır. Bu hızın sistemdeki önemini anlayabilmek için ergimiş plastik hammaddenin akış durumundaki davranışlarını incelemek gerekir.

Plastik enjeksiyon işlemi sırasında ergimiş hammadde kalıp boşluğuna temas ettiği andan itibaren soğumaya başlar. Kendinden daha soğuk kalıba temas eden hammaddenin temas ettiği yüzeylerde kısmen donmuş ya da donmakta olan katmanlardan oluşan her iki kalıp yüzeyinde oluşan kabuk meydana gelir. Oluşan bu kabuk akış devam ettikçe kalınlaşmaya, kalınlaştıkça sertleşmeye başlar. Meydana gelen kalın ve sert kabuk enjeksiyon akışını engelleyecek boyutlara ulaşmadan önce kalıp boşluğu tamamen dolmuş olmalıdır. Bu yüzden enjeksiyon hızı optimum şekilde ayarlanmalıdır. Akma uzunluğunun et kalınlığına oranı arttıkça enjeksiyon hızı da artmalıdır. İnce et kalınlığına sahip parçalarda soğuma hızının yükselmesi, enjeksiyon hızının da artması gerektiğini ortaya koymuştur [26].

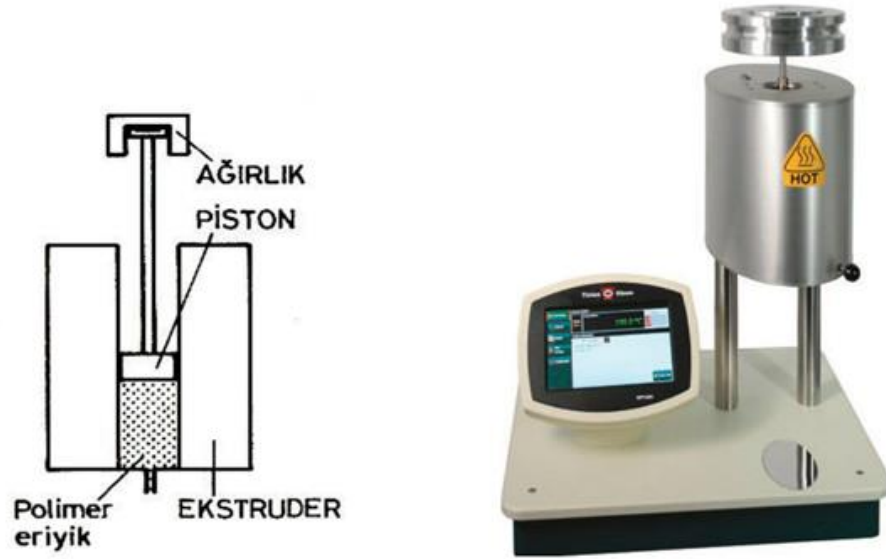
Proseste enjeksiyon hızı düşük tutulduğunda kabuk kalınlığı hızla artar. Şekil 2.30 'da ergimiş hammaddenin soğuma aşamaları verilmiştir. Akışkan kalıp yüzeyine temas ettiği andan itibaren yüzeyden merkeze doğru katılaşmaya başlar. Buna bağlı olarak ergimiş malzemenin akış yolu daralacak ve güçlü bir direnç oluşacaktır. Bu direnci yenmek için proseste yüksek enjeksiyon basınçları kullanılacaktır. Bu dirençleri kırmak için kullanılan yüksek basınç malzemede gerilme ve kasılmalara sebep olup,ürünün mekanik dayanımını olumsuz etkileyecektir.



Şekil 2. 30. Enjeksiyon Akışında Ergimiş Hammaddenin Kabuklaşması [33]

Üretim sırasında kalıp boşluğuna dolan malzemenin, bitmiş ürün yüzeyinde sorun çıkmaması için düzenli bir şekilde donması gerekir. Bu da ancak sabit hız altındaki dolum ile mümkün olur. Akış sırasında yollukta ya da tasarıma bağlı olarak kalıp boşluğunda engeller varsa, yolluktan gelen ergiyik malzeme akışı bölünebilir ve bölünen akışın her biri farklı hızda olur. Akış dengesizliği, akış yüzey hatalarına neden olur. Kalıbın yüzey sıcaklıklarındaki ve ürünün duvar kalınlıklarındaki farklılıklar, kalıp boşluğundan kaynaklanan kesit alanları farklılıkları akış hızını bozarak, akış dengesizliği yaratırlar [44].

Üretimde hammadde olarak kullanılan polimerlerin eriyik akış indeksleri yüksek tercih edilip, 6 ile 15 değerleri arasında değişir. Eriyik akış indeksi (MFI), akıcılığı tanımlayan bir indekstir ve viskoziteden bu anlamda ayrılır. Akış indeksi, ram ekstrüdere benzeyen, belli standartlarda hazırlanmış özel test cihazlarında tayin edilir. Aşağıdaki şekilde olarak böyle bir cihaz görülmektedir [21].



Şekil 2. 31. MFI test cihazı

Ekstrüder silindirine yerleştirilen eriyik hâldeki polimerin sabit sıcaklıkta ağırlık yolu ile akması sağlanır. Belirli bir sürede akan polimerin ağırlığı ise akış indeksini verir [21].

Eğer bu değer düşük olursa malzeme kalıbı iyi dolduramaz ve enjeksiyon sistemi zorlanır. Sistem zorlandığında tüketilen enerji artması ve çevrim süresinin artmasıyla üretim verimsiz hale gelir [45].

Ergimiş plastiğin gerçek akış davranışının bilinmesi, kaliteli bir üretimin sağlanması için önemlidir. Enjeksiyon parametrelerinin ergimiş plastiğin kalıp boşluğundaki akış biçimine etkisi araştırılmalıdır [46].

MFV (Melt Front Velocity) ergiyiğin akış hızı, MFI'ya bağlıdır ve enjeksiyon hızını makine üzerinde ayarlanır. MFV; ergimiş plastiklerin akışındaki ölçüm kolaylığı olup, termoplastiklerin kalite kontrolü için tipik bir indeksi temsil etmektedir. Aslında "Erime Akış İndeksi" ya da "Erime İndeksi" (genel anlamda polietilen için olan ancak çok çeşitli malzemelere de uygulanan) olarak adlandırılmakta olan bu kavramın günümüzdeki standart gösterimi; g/10 dakika birimiyle (SI birimleri) ifade edilen, "Kütlesel Erime Akış Hızı" ya da MFR şeklindedir. Alternatif miktar da; cm³/10 dakika birimiyle (SI birimleri) ifade edilen, Hacimsel Erime Akış Hızı ya da MVR olarak adlandırılan hacimsel akıştır. Eriyik yoğunluğunun (eriyik durumdaki malzeme yoğunluğu) MVR değeri ile çarpılması sonucu olarak MFR değeri elde edilmektedir [33].

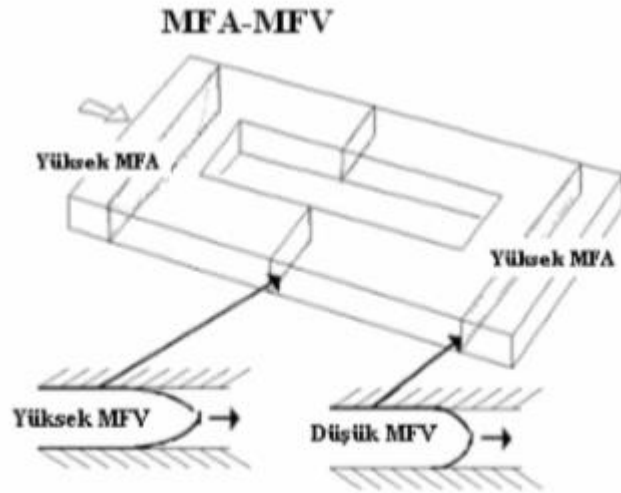
Tipik "Erime Akış" ekipmanları hem kompakt ve hem de kullanımı kolaydır. Temel prensip; termoplastik örneklerin (esas olarak granül, toz ve pul şeklinde) ısıtılarak akışkan hale getirilmesi ve kapiler kalıp boyunca silindir içinden akmaya zorlanmasıdır [47,48].

Ekstrüzyon pistonu; genelde 21,6 kg değerine kadar olan yüksük ağırlıklarla yüklenmiştir. MFR (ve MVR) değerleri; sıcaklık, her bir malzeme çeşidi için tanımlanmış olan uygulanan yükün standart olduğu koşullar altında ve ayrıca sabit kalıp çeşidinin (2,095 mm iç çap, 8 mm uzunluk) kullanımıyla elde edilmiştir. Sonuç; her zaman fazlasıyla bağlı olduğu, test koşullarını belirtmek zorundadır [47,48].

MFR ve MVR tipik olarak kalite kontrol laboratuvarlarında ve üretim kontrol laboratuvarlarında kullanılmaktadır. Temel prosedür; MFR değerini direk olarak veren, kalıptan çıkarılmış malzemenin manüel zamanlama, kesme ve ağırlık tartımını öngörmektedir. Modern cihazlar tarafından imkan verilen yarı-otomatik prosedürler;

piston yer değiştirmesinin direk ölçümlerini temel almakta olup, doğrudan MVR değerini vermektedir. Eriyik yoğunluğu; yazılabilmekte ya da ölçülebilmekte ve bu yüzden MFR sonuçları da elde edilmektedir. Yarı-otomatik prosedürler; daha yüksek hassasiyeti sağlayabilmekte ve ölçülebilir akış hızlarında daha geniş aralığı garanti etmektedir. Daha ileri düzey yöntemler; aynı test sırasında, her birinin MFR (MVR) sonucunu verdiği bir çok yük uygulamasını öngörmektedir. Bu durum; çoklu ağırlık testi olarak adlandırılmakta ve viskozitenin yırtılma bağımlılığının iç yüzünün kavranmasına yönelik ek bilgi vermektedir. Tek-ağırlık MFR testinin; ortalama moleköl ağırlığı ile ilişkilendirilebilmesinin yanı sıra yırtılma bağımlılığı, moleköl kütle dağılımına bağlıdır [47,48].

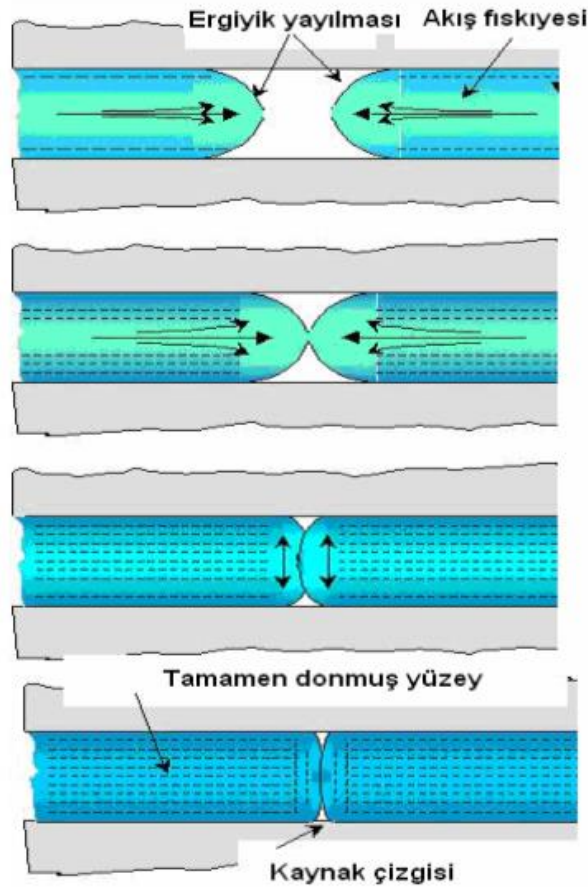
Erime akış hızı; malzeme özelliklerinin derinden anlaşılmasına gerek olmadığı durumda, bir dizi malzemenin karşılaştırılması ya da farklı malzemelerin akış özelliklerinin değerlendirilmesi (genellikle ekstrüzyon prosesleri için) için kullanılabilir hızlı bir araçtır. Gerçek reolojik karakterizasyon; reometrelerin kullanımıyla gerçekleştirilebilmektedir. Erime akış hızı; viskozite (yırtılma) ile ters orantılıdır ancak viskozitenin belirlenmesi için kullanılmamaktadır (sadece yaklaşık bir tahmin verebilmektedir) [47,48].



Şekil 2. 32. Ergiyikte Akış Karakteristiği [33]

Yukarıdaki şekilde yüksek MFA'ya sahip bölgelerde MFV azalırken, düşük MFA'ya sahip bölgelerde MFV yükselmiştir. MFV yükseldiğinde yüzey gerilmeleri

ve çarpılmalar meydana gelir. Bunların oluşmaması için enjeksiyon hızı düşürülmelidir. Kalıptaki sabit ergiyik akışını iyileştirmek için, değişen kesit alanlarının doldurma aşamasında ergiyik akışını hesaplamak gerekir. Manuel olarak, enjeksiyon vida hızının lineer hareketinde gereken hesapları yapmak çok zordur. Bu tür bir hesabı en iyi Moldflow analiziyle yapılır. Bu program bize enjeksiyon hızının optimizasyonunu yapmaktadır. Çok fazla akma durumunda, ergiyik geometrik olarak merkezi pozisyonda yerleştirilmiş yolluktan dengelenmiş tarzda hareket eder [33].



Şekil 2.33. Ergiyiklerin Birleşmeleri ve Kaynak Çizgisi [33]

Şekil 2.33' de görüldüğü gibi iki ergiyik kolu kalıp içerisinde ilerlerken basınç ve sıcaklık değerleri düştüğünden dolayı tam olarak kaynamamaları söz konusu olabilir. Bu durumda birleşme esnasında "V" şeklinde boşluklar meydana gelebilir. İki kolun birbirleri arasında kaynama oranı parçanın dayanımını doğrudan etkiler.

Enjeksiyon hızının yüksek olması durumunda iki kaynak kolu karşılaşması hızlanır. Ergiyik sıcaklık ve basınç kaybına uğramadığından kaliteli bir kaynak

olacaktır. Enjeksiyon hızının düşük olduğu durumlarda ise ergiyik kolları geç karşılaşacak, ergiyik basınç ve sıcaklık kaybına uğrayacak, böylece kaynak çizgileri oluşacaktır [26,40].

Yapılan araştırmalarda hammaddesi PP ve PE olan ve üzerinde kaynak çizgisi olan ürünlerde, olmayanlara göre darbe dayanımının %20 oranında azalma , çekme dayanımının ise %50 oranında daha fazla kırılma meydana gelmiştir. Çekme deneyi hammaddesi PS ve PC olan ürünlerde yapıldığında kaynak çizgisi olmayan ürünlerin, olanlara göre 4-5 kat daha fazla dayanım sergiledikleri görülmüştür [49].

Enjeksiyon hızının yüksek olması, yüksek kayma gerilmelerine neden olur ve kayma gerilmesi açığa çıkar. Kayma gerilmesi moleküler oryantasyon oluşturur. Yani hız arttıkça enjeksiyon doğrultusundaki oryantasyon artar.

Moleküler oryantasyon, yönlenme olarak da tanımlanabilir. Yönlenme polimerik fiber, film ve köpüklerde gözlenir. Eğer erimiş bir polimer soğutulursa, gelişi güzel yönlenmede amorf veya kristalin katı yapısı oluşur. Katılma sırasında polimerik malzeme çekilirse, çekme yönünde polimer zincirleri yönlenir. Yönlenmenin oluşabilmesi için yapı içinde zincirlerin belli bir hareketliliğe sahip olmaları gerekir. Bu nedenle yönlenme amorf bölgeler üzerinden olur. Kristalin yapısı içerisinde yeteri kadar amorf bölge yoksa yönlenme gerçekleşmez. Yönlendirme ile genellikle çekme yönünde ısıl ve mekanik dayanıklılık ve buna bağlı özellikler artış gösterirken, buna dik yönde bu özellikler azalır.

Enjeksiyon hızı arttığında moleküler uyum artar. Bu durumun mekanik dayanımı etkisi belli bir değere kadar olumlu yönde olur. Eğer hız gereğinden fazla artarsa ürünün mekanik dayanımı düşer [26,50].

2.5.4.2. Vida Dönüş Hızı

Vida dönüş hızı, enjeksiyon makinesine bağlı bir parametredir. Enjeksiyon işlemi bittiğinde parçanın soğuma aşamasına geldiğinde, üretimin sürekliliği için besleme hunisinden yeni granül ya da toz halindeki hammaddeyi alarak vida kovan sistemi boyunca ileriye göndermesini için dönme hareketi yapar.

Vida dönüş hızı olması gerekenden fazla olursa polimer yapıdaki hammadde ısıl dayanım sınırını aşarak bozulur ya da yanabilir. Bu durumda makinede bulunan

soğutucu sistemler devreye girer. Düşük hızda çalıştırıldığında ise kovan sıcaklığı artış meydana geldiğinden, ergime oranı artar.

Üretimde içersinde renklendirici katkı bulunan hammadde kullanılıyorsa vida hızı kalite problemleri üzerinde önemli rol oynar. Hammaddenin renklendirilmesinde kullanılan granül masterbatch yapısındaki renklendirici elemanlar karışımda homojen bir şekilde karışmalıdır. Vida dönüş hızı yüksek olursa karışım homojen yapıda oluşamaz. Çünkü renklendirici katkıların hammadde içinde homojen karışması için süre gereklidir [33].

2.5.4.3. Vida Geri Dönüş Hızı (Mal Alma)

Vida geri dönüş hızı, üretimde mal alma işlemi sırasında vida kovan sistemindeki enjeksiyon vidasının aksenal doğrultuda sahip olduğu hızdır. Sistem mal almak için vida dönüş hareketi yaparak sistemin meme kısmına ergitilmiş yeni hammadde taşır ve sıkıştırır. Sıkışmakta olan ergimiş plastiğin basınca belli olan geri basıncı değerini aştığında vida geriye doğru itilmeye başlar. Bu itme sonucunda vida geriye doğru belli bir hızda hareket etmeye başlar. Bu hız daha önceden ayarlanmış olan geri basınca bağlıdır. Vida geri dönüş hızı ve geri basınç ortak olarak çalışırlar ve enjeksiyon makinelerinde en az biri ayarlanabilir olur.

Geri basınç arttığında vida geri dönüş hızı azalır. Çünkü bu iki sistem mengene kilitleme sistemi ve enjeksiyon sistemi gibi birbirine karşı olarak çalışır. Hız azaldığında mal alma süresi artmaktadır. Geri basınç değeri basılan ürünün homojen yapıda olmasını, kararlı olmasını, istenilen ağırlıkta ve yoğunlukta olmasını etkiler. Aynı zamanda fazla ısınan polimer yanabilir [26].

Vida geri dönüş hızı arttığında mal alma süresinin azalmasına neden olur. Ayrıca süre yetersizliğinden dolayı hammadde enjeksiyona hazır hale gelemez. Buna bağlı olarak basılan üründe kalite problemleri meydana gelir.

Mal alma işlemi daha önce de bahsedildiği gibi enjeksiyon işleminden hemen sonra, kalıp soğumaya bırakıldığında geçen sürede yapılır. Bu yüzden mal alma işlemi toplam çevrim süresini ciddi derecede etkilemez [26].

Kalıp plakalarının kapalı ve parçanın ayarlanan bekleme süresi kadar bekleme konumunda olması nedeniyle mal alma hızının yükseltilerek zamandan tasarruf

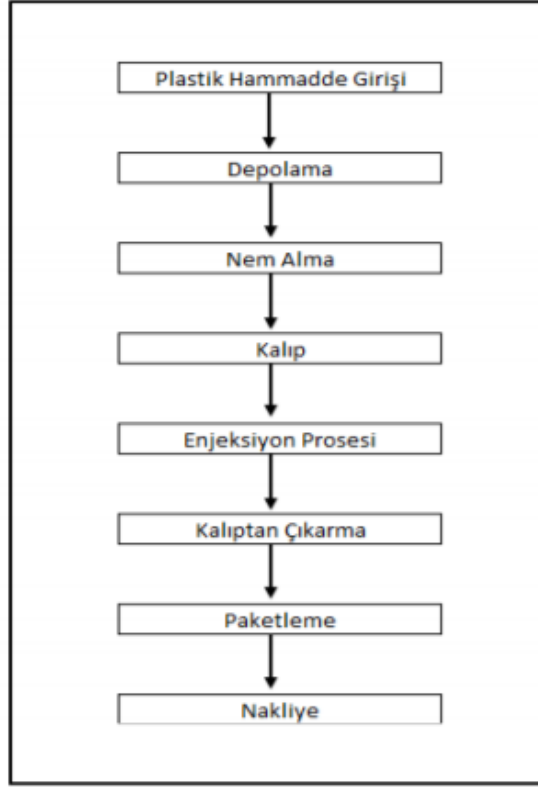
edilmesi pek mümkün değildir. Ancak soğuma süresinden yararlanılarak pratikte mal alma süresinin tespiti ile ilgili bazı uygulamalar vardır [26].

2.5.5. Enjeksiyon Prosesine Sistemik Yaklaşım

Bilimsel prensipler doğrultusunda plastik enjeksiyon prosesinde kullanılan parametreler iyi anlaşılmalı ve doğru seçilmelidir. Seçimin bu şekilde yapılması verimli bir üretim sağlanması ve ortaya çıkabilecek olayları öngörülmesini sağlar.

Geleneksel olarak bilinen enjeksiyon hızı, basınç, sıcaklık ve zaman parametrelerinin yanı sıra plastik hammaddenin işletmeye girişinden nihai ürün olarak çıkmasına kadar gerçekleşen tüm operasyonlar üretim prosesini etkiler. Bu nedenle tüm operasyonlar doğru bir şekilde anlaşılmalı ve gerekli tedbirler alınmalıdır.

Şekil 2.34 'de plastik hammaddenin işletmeye girişinden nihai ürünün nakliyesine kadar geçen süre özetlenmiştir. Nihai plastik ürün kalitesini kontrol altında tutabilmek adına bu sürecin her bir aşaması ardındaki bilimsel mekanizma tam olarak anlaşılmalıdır. Çünkü temel sorun bir parçayı sadece kalite beklentilerine göre üretmek değil her çevrimde, her üretim lotunda ve her bir kalıp gözünde sürekli olarak aynı tutarlılığı elde etmektir [51].



Şekil 2. 34. Plastik Üretimi İş Akış Şeması [51]

Enjeksiyon prosesinin güvenilir olması için üç temel tutarlılık aranır;

- **Baskıdan Baskıya Tutarlılık;**
Her bir ardışık baskının ve/ya ilk ve son baskının birbiri ile aynı sonucu vermesi
- **Kalıp Gözleri Arasındaki Tutarlılık;**
Özellikle çok gözlü kalıplarda her bir kalıp gözünden aynı kalitede parça çıkması
- **Lottan Lota Tutarlılık;**
Aynı parametreler ile yapılmış farklı üretimlerden aynı ürün kalitesini elde etmek

Güvenilir bir proses elde etmek için bilimsel prensipler çerçevesinde proses parametrelerinin kontrol edilmesinden geçmektedir [51].

2.6. Plastik Enjeksiyon Hataları Ve Çözüm Önerileri

2.6.1. Siyah Nokta

Ürün kalıptan çıktığında, ürün üzerinde siyah noktalar halinde lekeler rastlanılabilir. Bu durum enjeksiyon makinesi çok uzun süre kullanılmamışsa yaşanabilir. Eğer bu durum söz konusu değilse vida kovanın iyi temizlenmediği yada doğru meme kullanılmadığı durumlarda da yine aynı problem ile karşılaşılabilir. Eğer problem makine kaynaklı değilse kullanılan hammaddenin içerisinde başka bir hammadde karışıp proses sırasında hammadde yanmış olabilir. Bu yüzden kovana yapılmış yanık malzemeler geliyor olabilir. Bu yüzden makine aynı sıcaklıkta doğru mal ile temizlenmeli, başka mal karışıp karışmadığı göz ile kontrol edilmeli, yolluk girişleri ve tipi kontrol edilmeli, filtrenin delik olup olmadığı kontrol edilmelidir [3].



Şekil 2. 35. Ürün Üzerinde Görülen Siyah Noktalar [53]

2.6.2. Hava Kabarcıkları

Nihai ürün üzerinde kalıp içerisinde kalan havanın dışarı çıkamamasından kaynaklanan hava kabarcıkları meydana gelebilir. Proseste kullanılan enjeksiyon basıncının düşük olması, enjeksiyon hızlarının çok yüksek olması ya da geri basıncın çok düşük olması buna neden olabilir. Makine kaynaklı bir probleme rastlanmadığında ise kalıp kaynaklı neden aranmalıdır. Kalıp sıcaklığının çok düşük olması durumunda ya da kalıbın yapısından kaynaklanan akış problemleri yaşandığında üründe hava kabarcıkları gözlenebilir. Bunların dışında duvar kalınlığının çok ince olması veya yolluk giriş kesitinin çok dar olması eriyik akışını

yavaşlatacağından dışarı atılması gereken gaz dışarı atılamaz. Dışarı atılamayan gaz üründe hava kabarcığı şeklinde kendini gösterebilir [3].



Şekil 2. 36. Yüzeyde Görülen Hava Kabarcıkları [54]

2.6.3. Akış İzi

Eriyik haldeki hammadde kalıba enjekte edildiğinde, her akışkanda olduğu gibi kalın ve geniş bölgelerde daha hızlı yayılır. Bu bölgeler dolduktan sonra akış dar ve ince kesitlere doğru olur. Ancak akış sırasında eriyik, delik oluşturan pim, oyuk vs. gibi bir bölgeye rastlandığında türbülans oluşur ve akış bölünür. Türbülansın olduğu bölgede donması yüzeyde dalgalı görüntüye sebep olur. Türbülansın oluşmasının nedeni enjeksiyon hızının çok yüksek olması olabilir. Bu durumda enjeksiyon hızı düşürülmelidir [52,56,19].

Türbülans oluşumunun farklı bir nedeni ise yolluğun yanlış konumlandırılmasından ve yetersiz yolluk çapı boyutundan olabilir. Yolluğun pimin bulunduğu bölgeye yakın olması türbülans ihtimalini artırır. Aynı zamanda yolluk çapı olması gerekenden küçük olduğunda kakıp çekirdeğindeki akışın hızı artar ve yine bu durum türbülans ihtimalini artırır. Bu durumda yolluk girişi değiştirilmeli ve yolluk çapı büyütülmelidir. Ancak tüm bu problemlerin proses ayarları ile giderilmesi zordur. Kullanılan hammaddenin homojen olmasına ve karışımında nem olamamasına önem verilmelidir. Bu nedenle hammadde kurutma fırınlarında nemi

alınmalı ve karışımın tam olarak erimiş şekilde homojen olmasına özen gösterilmelidir [52,56,19].

Kalıbın proses sırasında çok soğuk olması, gelen eriyik hammaddenin akış sırasında düzensiz soğumasına neden olur. Bu da akış izine neden olabilir. Bu durumun yaşanmaması için kalıp sıcaklığı arttırılmalıdır [52,56,19].



Şekil 2. 37. Ürün Yüzeyinde Görülen Akış İzi [55]

2.6.4. Parça Üzerinde Yanıklar

Kalıptan çıkan son ürün üzerinde üretim prosesi esnasında yanıklar oluşabilir. Vida kovan sisteminde bulunan ve malzemenin vida sistemine geri dönmesini engelleyen geri akış valfi arızası meydana gelmesinden dolayı ergimiş ürün tekrar ergitme prosesine maruz kalmış ve bu yüzden yanmış olabilir. Enjeksiyon hızının ve geri basıncın çok yüksek olduğu durumlarda ergimiş malzeme çok fazla ısınıp yanabilir. Bu nedenle enjeksiyon hızı ve vida düşürülüp, meme sıcaklığı optimum seviyeye çekilmelidir.

Kalıpta yeterli havalandırma olmaması ve kalıbın keskin köşelere sahip olması üründe yanık izine yol açabilir. Bu yüzden düzenli havalandırmanın sağlanıp, kalıp sıcaklığının sabit tutulması için hava kanalları tıkanmaya karşı kontrol edilmelidir [52,56].

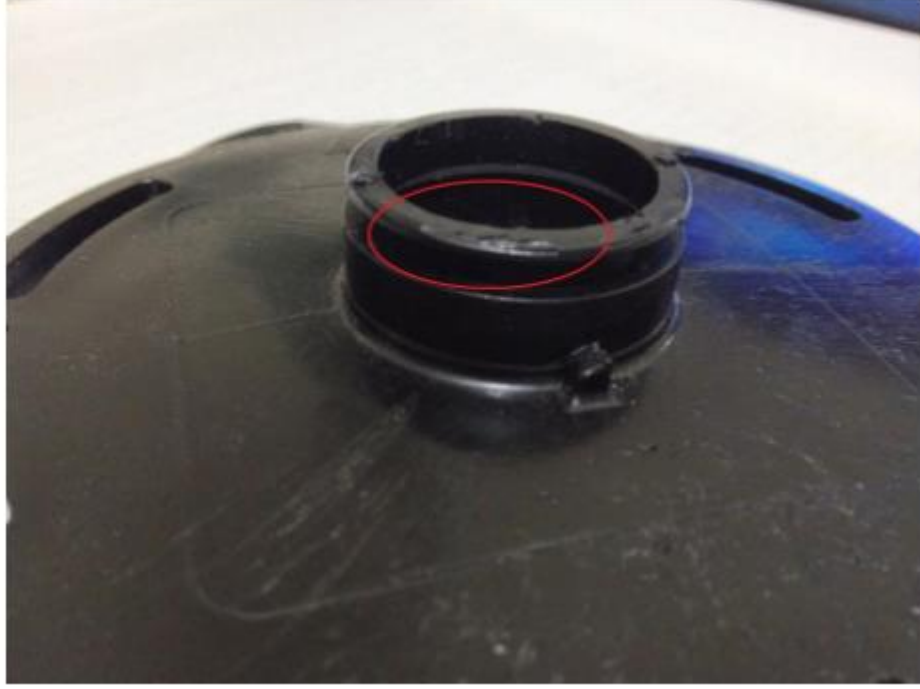


Şekil 2. 38. Parçada Görülen Yanık İzi [56]

2.6.5. Parçada Soyulma

Plastik parçanın yüzeyinde soyulma ya da ince tabakaların yüzeyden kalktığını görebiliriz. Enjeksiyon hızının ve ergimiş hammadde sıcaklığının çok yüksek olduğu durumlarda enjeksiyon soğuk kalıp yüzeyine yapıldığında katılaşma yüzeyde çok hızlı olup gelen akışı devam eden hammadde ile bütünleşemeyecektir. Aynı zamanda hammadde tam ergimeyip homojen bir ergiyik meydana gelmediğinde de parçada soyulma olabilir. Bu nedenle eriyik sıcaklığı optimum seviyede ayarlanmalıdır, enjeksiyon hızı düşürülmeli ve kalıp sıcaklığı artırılmalıdır.

Bir plastik malzemeye başka bir plastik malzeme karıştığında da üründe, özellikle ürün besleme ağzında soyulmalar olur. Fazla miktarda kullanılan kalıp ayırıcı yağları daha sonradan yüzey soyulmalarına neden olabilir. Hammaddeye konulan masterbatch veya kırma hammadde gibi katkıların oranlarının iyi ayarlanması bu problemin ortadan kalkmasına yardımcı olacaktır [52,56].



Şekil 2. 39. Parçada Görülen Soyulma [3]

2.6.6. Ebatlarda Farklılık

Bir plastik enjeksiyon kalıbında birden fazla göz olduğunda her gözden çıkan ürünün boyutlar farklı olabilir.

Enjeksiyon basıncının düşük olursa kalıp gözleri eşit miktarda dolmamasına neden olabilir. Eşit dolmayan gözlerde boyutsal farklılık meydana gelir. Ütöleme basıncı düşük olursa basınç gözler arasında eşit dağılmamasından ya da yetersiz kalmasından dolayı yine boyutsal farklılığı meydana gelir. Bu nedenle bu problem ile karşılaşıldığında enjeksiyon ve ütöleme basıncı arttırılmalıdır.

Geri akış valfinin düzenli çalışmaması durumunda vida sistemine eriyik hammaddenin geri çekmesinden dolayı yine bu sorun meydana gelebilir.

Plastik enjeksiyon prosesinde temel olarak sıcak eriyik malzeme soğuk kalıba enjekte edilmektedir. Kalıp sıcaklık kontrolü olmazsa eriyikten gelen sabit ısı kaynağı nedeniyle kalıp gözü düzensiz ve kontrolsüz bir şekilde ısınır ve bu durum eriyik akışında ve dolayısı ile kalıp gözünün düzenli bir şekilde dolmasında problemler oluşturur. Bu durum çok gözlü kalıplarda çıkan ürünlerin ebatları arasında fark olmasına neden olur. Bu nedenle soğutma süresi arttırılmalıdır [52,56].

2.6.7. apak

Üründe apak oluşunu, ergiyik hammaddenin kalıp boşluğu dışına çıkması sonucu meydana gelir. Kilitleme basıncı düşük olursa kalıp tam kapanamaz ve hammadde kalıp boşluğunun dışına sızar ya da enjeksiyon hızı ve basıncı çok yüksek olursa kilitleme basıncı bu basınçları karşılayamaz ve yine kalıp boşluğundan dışarı hammadde sızarak apak oluşur. Bu nedenle enjeksiyon hızı ve basıncı düşürülmeli, kapama kuvveti arttırılmalıdır [52,18,19].

Plastik enjeksiyon kalıbını oluşturan dişi ve erkek kalıbın tam olarak hizalı bağlanamadığı durumlarda hammadde dışarı sızar. Kalıp yüzeylerinde aşınma ya da bozulma mevcut ise yine hammadde dışarı sızıp apak oluşturur. Bu yüzde kalıp bakımları düzenli yapılıp, kalıp doğru bağlanmalıdır.

Malzeme sıcaklığı yüksek olursa, malzeme çok akışkan hale gelmesi apak oluşumunu tetikler. Bu yüzden eriyik sıcaklıkları düşürülmelidir [52,18,19].



şekil 2. 40. Üründe Görülen apak [56]

2.6.8. Parçanın Kalıba Yapışması

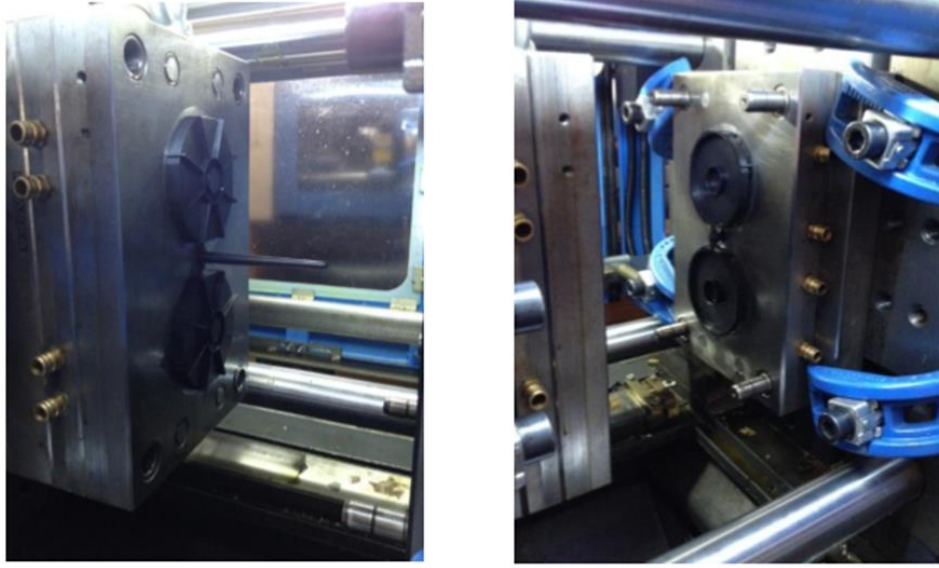
Kalıp parçanın alınması için açıldığında ürün, kalıbın hareketli tarafından çıkmamış, kalıbın hareketsiz tarafında yani dişi kalıpta kalmış olabilir. Karşılaşılması muhtemel bir diğer durumda, kalıp parçanın alınması için açıldığında, parça kalıbın hareketli tarafından çıkmamasıdır.

Enjeksiyon basıncı ve hızının çok yüksek olduğu durumlarda meydana gelen bu olay, ütüleme basıncının çok yüksek olmasından da kaynaklanır. Bu yüzden çevrim süresi kontrol edilmeli (özellikle soğutma süresi), enjeksiyon hızı ve basıncı, ütüleme süresi, , sabit yastıklama için düşürülmelidir.

Dişi ve erkek kalıp arasındaki sıcaklık farkı da ürünün kalıba yapışmasına neden olur. Problemin ortadan kalkması için kalıp yüzeyi kontrol edilmeli, kalıp açma süresi arttırılmalı, malzeme sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı düşürülmeli ve doğru kalıp ayırıcı kullanılmalıdır.

Ancak parçanın kalıpta kalması kalıp dizaynı ile de alakalı olabilir. Kalıpta kullanılan iticiler yetersiz ve düzensiz konumlandırılmış olabilir. Ayrıca kalıba verilen koniklik yanlış hesaplanmış olup ürünün kalıptan ayrılmasını ve iticilerin görevini yapmasını engeller. Kalıp içinde havalandırma kanallarının doğru konumlandırılmamış olması parçanın çıkarken vakum oluşturmaya neden olabilir [18,19].

Tüm bunların yanında doğru kalıp ayırıcı kullanılmalı ya da kullanılan miktar attırılmalıdır [18,19].



Şekil 2. 41. Ürünün Sırasıyla Erkek ve Dişi Kalıba Yapışması [3]

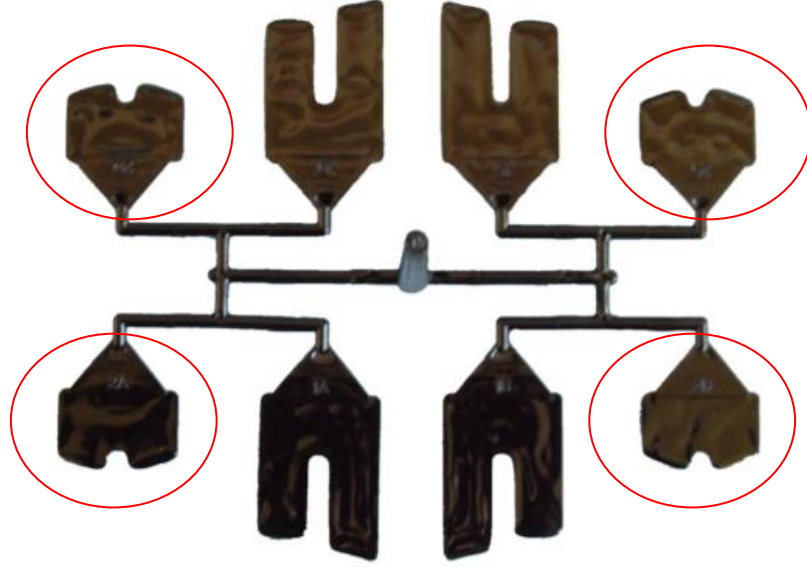
2.6.9. Eksik Baskı

Eksik baskı, kalıp boşluğunun tam dolmaması sonucunda ürünün tam şeklini alamamasından kaynaklanır. Yetersiz gramaj ve enjeksiyon kapasitesi buna neden olabilir. Bu nedenle bu problem ile karşılaşıldığında gramaj, enjeksiyon basıncı ve çevrim süresi arttırılmalıdır.

Kalıpta, hava çıkış kanalları kapalı ya da yetersiz olduğunda kalıp boşluğundaki hava dışarı çıkamaz. Bu durumda kalıp boşluğu tam dolamaz. Ayrıca kalıbın fazla soğuk olması, kalıp çekirdeğini dolduracak olan sıcak eriyik hammaddenin hızlı soğumasına neden olur. Normalden hızlı soğuyan eriyik, kalıp boşluğunda sağlıklı ilerleyemez ve kalıp boşluğu tam olarak dolmaz. Bu tür durumlarda eksik baskı oluşmaması için kalıp sıcaklıkları ve eriyik sıcaklığı arttırılmalı, hava çıkış kanalları kontrol edilmelidir [18,19].

Eriyik hammadde sıcaklığının ya da akışkanlığının az olduğu durumlarda da eksik baskı problemiyle karşılaşılabılır. Bu durumda eriyik sıcaklığı arttırılmalıdır.

Yolluk tasarımının yanlış olması da eksik baskıya neden olabilir [18,19].



Şekil 2. 42. Merkez Dengelemeli Yolluk Sisteminde Tam Dolmamış Parçalar [57]



Şekil 2. 43. Tam Dolmamış Parça [19]

2.6.10. Yüzeyde Çöküntü

Ürün yüzeyinde çöküntü, ürünün et kalınlığına uygun hammadde kullanılmadığı durumlarda karşılaşılan bir problemdir. ABS ve PC türündeki hammaddelerde enjeksiyon hızı yüksek, POM,PP ve PBT gibi türlerde ise enjeksiyon hızı düşürülmelidir.

Üründe kalınlığı fazla olan bölgelerde soğuma esnasında çekme meydana geldiğinde eğer ütleme basıncı yetersiz ve çeken malzeme yerine yenisi gelmez ise yüzeyde çöküntü oluşur. Bu nedenle ütleme süresi ve basıncı ,enjeksiyon basıncı ve gramaj arttırılmalıdır. Fakat yüksek tutma basınçlarının yolluk girişi donduktan sonra uygulanmasının parçada yüksek iç gerilmelere neden olacağı unutulmamalıdır.

Yolluk çapının küçük olması ve akış yolunun uzun tasarlanması, akış boyunca basınç kaybına yola açacağı için yüzeyde çöküntüye neden olabilir. Bu nedenle yolluk çapı arttırılmalıdır. Aynı zamanda akışın sağlıklı olabilmesi için yolluk girişi en kalın bölgeden yapılmalıdır [18,19].



Şekil 2. 44. Parça Yüzeyde Görülen Çökme [19]

2.6.11. Parça İçinde Boşluklar

Parça içinde boşluklar yolluk girişinin en uç noktasında olur. Eriyik sıcaklığının çok yüksek olup, ütleme basıncının yetersiz olması durumunda parça içinde boşluk oluşabilir. Bu tür durumlarda eriyik sıcaklığı azaltılmalı ve ütleme basıncı ya da süresi arttırılmalıdır.

Parçanın et kalınlığının fazla olması durumunda parça içinde boşluk oluşmaması için yolluk çapı büyük ve akış yolu kısa olmalıdır. Bu durumda kalıp boşluğunun daha sağlıklı dolması sağlanır ve boşluk oluşumunun önüne geçilmiş olur.

Enjeksiyon basıncının ve enjeksiyon süresinin düşük olması çevrim süresi içerisinde kalıp boşluğu içerisine yetersiz akışın olmasına neden olabilir. Bu durumda nihai ürün içerisinde boşluk olmasına neden olabilir. Bu yüzden bu tür problem ile karşılaşıldığında enjeksiyon basıncı ve süresi arttırılmalıdır [18,19].



Şekil 2. 45. Parça İçinde Boşluklar [3]

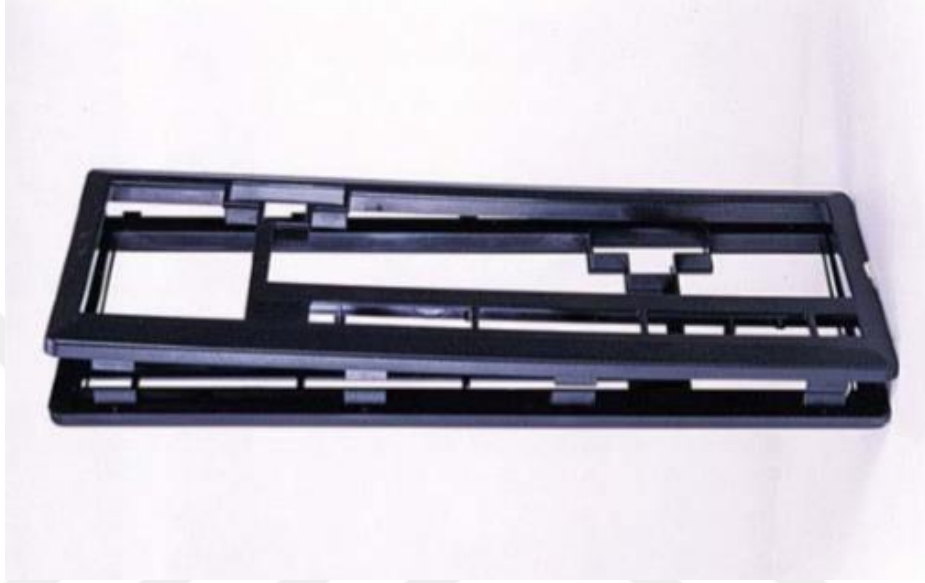
2.6.12. Çarpılma

Bir ürün kalıptan çarpılmış olarak çıkıyorsa bunun nedeni yetersiz ve dengesiz, homojen olmayan soğutmadır. Eğer ürün kalıptan çıktıktan sonra çarpılıyorsa bunun nedeni üründeki iç gerilmeler ve farklı kısımların farklı oranlarda kendini çekmesinden dolayıdır.

İticilerin homojen ve düzgün çalışmaması da ürünün çarpılmasına neden olabilir. Hammadde içerisine koyulan dolgu maddelerinin homojen olarak hammadde içerisinde karışmaması ya da yanlış dolgu maddesi kullanımı çarpılmaya neden olabilir.

Üretim prosesi boyunca enjeksiyon hızının ve ütleme basıncının düşük olması kalıp boşluğunda oluşan gerilimin homojen olarak dağılmasına engel olur ve çarpılma meydana gelir. Parçada oluşan iç gerilmeler parçanın yolluğu ile de yakından alakalıdır [52,18,19].

Bu problemin yaşanmaması için dişi ve erkek kalıbın sıcaklıkları arasındaki fark çok yüksek olmamalıdır. Erkek kalıpta yer alan iticilerin düzgün şekilde çalıştığından emin olunmalıdır. Enjeksiyon basıncı ve soğuma süresi arttırılmalı, enjeksiyon basıncıda optimum seviyede tutulmalıdır. Yolluğun konumu ise dengelenmeli eğer yolluk sayısı ve çapı az ise arttırılmalıdır. Tüm bunların yanında parçanın doğru stoklandığından ve dizildiğinden emin olunmalıdır [52,18,19].



Şekil 2. 46. Parçada Çarpılma [19]

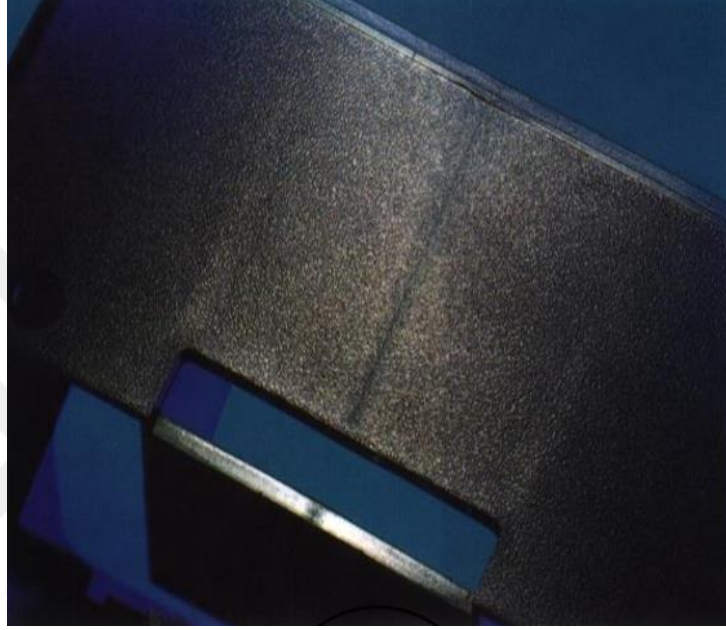
2.6. 13. Birleşme İzleri

İki veya daha fazla akış hattının birleştiği ve kaynaştığı yerlerde oluşan çizgilere birleşme izi adı verilir. Birleşme izleri yolluğa en uzak noktada meydana gelir. Ürün üzerinde derin ve uzun çizgiler halinde izler bırakır. Bu kalite problemi ürünün görselliği dışında, ürünün yüklere karşı dayanımını azaltır.

Enjeksiyon hızının çok yavaş olması durumunda iki veya daha fazla hattın kalıp boşluğunda birleşmesi, belirlenen çevrim süresinde gerçekleşemez ve bu durumda birleşme izleri oluşabilir. Kalıbın akışkana göre çok soğuk olması, ergimiş hammaddenin birden fazla akış hattının birleşmesine fırsat vermeden soğumasına ve birleşme izi oluşmasına neden olur. Birleşme izine, ütüleme basıncının yetersiz olduğu ve vida kovan sisteminde bulunan geri akış valfinin bozuk olmasından dolayı meydana gelen basınç, hız ve gramaj yetersizliği yaşanan proseslerde rastlanabilir.

Proses sırasında kullanılan hammadde sıcaklığının düşük akışkanlığı az olduğu durumlarda yine birleşme izi problemiyle karşılaşılır [52,19].

Bu problemin giderilmesi için enjeksiyon basıncı ve hızı, ütleme süresi, eriyik sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı arttırılmalıdır. Aynı zamanda ergimiş hammaddenin kalıp boşluğundaki daha düzenli akışı için yolluk yeri değiştirilip, yolluk çapı arttırılabilir [52,19].



Şekil 2. 47. Birleşme İzi [58]

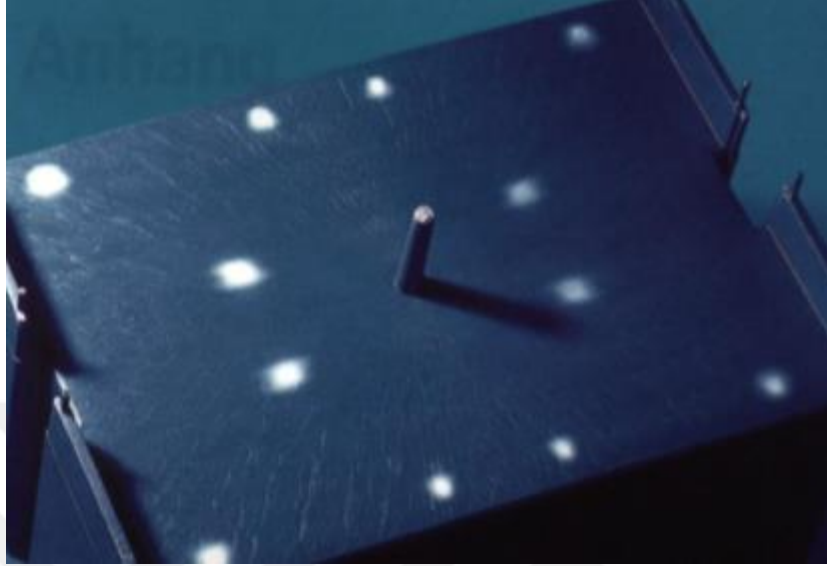
2.6.14. İtici İzi

İtici parçaya yüksek hızla temas ettiğinde kalıptan çıkan parçayı deforme eder. Bu durumda itici hızı azaltılmalıdır. Proseste kullanılan ütleme basıncı yüksek olduğunda parça kalıba sıkışacağından parçanın kalıptan çıkması zor olur. Bu durumda parça yüzeyinde itici izleri gözlenir.

Proses nedenli bir problem söz konusu değilse, kalıp yüzeylerinin yeterince parlatılmaması ya da parçaya yetersiz koniklik (çıkma açısı) verildiyse parçanın kalıptan çıkması zorlaşır. Bu durum itici izi oluşumuna neden olabilir.

İticilerin yanlış ya da yetersiz konumlandırılması da iz oluşumuna neden olabilir. Bunların dışında yanlış yolluk girişi sebebiyle parçada aşırı sıkışma, yetersiz

bölgesel soğutma ve dengesiz doldurma da parçada itici izlerinin olmasına neden olur [52,19].



Şekil 2. 48. Parçada Görülen İtici İzi [19]

2.6.15. Gümüş Renkte Dalgalanma

Bu hata genellikle ürünün yapımında kullanılan hammaddenin nemli olmasından kaynaklanır. Bu nedenle öncelikle hammaddenin saklama koşulları kontrol edilmelidir. Eğer hammadde kurutuluyorsa, kurutucu kontrol edilmeli, kurutma işleminden sonra hammaddenin nem oranı kontrol edilmelidir.

Makinenin kovanında eğer yanmış hammadde varsa bu da baskı sırasında iz yapıyor olabilir. Bu nedenle kovan temizliği iyi yapılmalıdır. Malzeme proses sırasında yandığı için de iz yapma olasılığına karşı çevrim süreleri kontrol edilip, gerekirse kısaltılmalıdır. Bunların dışında enjeksiyon basıncı çok yüksek ya da düşük olabilir. Geri basınçta çok düşük ise yükseltilmelidir [52,19].



Şekil 2. 49. Yüzeyde Görülen Renk Dalgalanmaları [58]

2.7. Taguchi Yöntemi

Piyasa koşullarının giderek sertleşmesi, işletmelerin bünyesinde bulundukları kaynakları daha iyi kullanması ve piyasadaki paylarını koruyup, büyütmeleri için kalite çalışmalarına önem vermeleri gerekmektedir. Kalite iyileştirme ve geliştirme çalışmaları, pek çok işletme için en önemli faaliyet haline gelmiştir.

Üretim yönetim araçları, kalite ve iyileştirme çalışmalarına ilginin artmasıyla birlikte gelişme göstermiş ve yeni tekniklerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu tekniklerden bir tanesi, Deney tasarım teknikleridir. Tasarım için uygulanması düşünülen istatistiksel deneyler , ürün parametrelerinin ve parametre sayılarının artması sonucu, ürün maliyetinin yükselmesine ve hızlı bir şekilde neticeye ulaşamadığından dolayı uygulanabilirliğini tamamen yitirmiştir. Ancak Taguchi uzun yıllar yaptığı çalışmalar sonucunda, çok az deneme ile çok iyi neticeler veren ortogonal dizileri geliştirmiştir.

Ortogonal diziler, faktör seviyelerini, teker teker değiştirmek yerine, eş zamanlı değiştirmeyi önermektedir. Bu sayede, deney tasarımında Taguchi yaklaşımı kimya ve elektronik sektöründe olduğu gibi üretim sektöründe kabul görmüştür [59].

Taguchi, deneysel tasarıma yöntem açısından önemli bir yenilik getirmemesine rağmen, sanayi uygulamalarına yönelik yeni fikirler ortaya atarak ve başarılı uygulamalar sergileyerek, deney tasarımı yönteminin imalat sektöründe kabul görmesinde büyük katkılarda bulunmuştur. Taguchi metodunun esas amacı; kontrol edilebilen değişkenlerin belirli seviyelerde zaman ve maliyet açısından etkin, aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin tüm kombinasyonlarına karşı duyarsız ürünler/prosesler tasarlamaktır. Taguchi Deney Tasarım tekniği; ürünlerin kalitesinin olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkânını vermektedir [59].

Taguchi üç tür tasarım üzerinde durmuştur:

1. Sistem tasarımı. Teknoloji ve mimarlık şeklindeki fonksiyonel tasarım.
 2. Parametre tasarımı. Ürün ve süreç parametrelerinin saptamalara duyarlılığını azaltacak şekilde ayarlanması.
 3. Tolerans tasarımı. Hedef etrafındaki kabul edilebilir toleransların belirlenmesi.
- [59]

2.7.1. Taguchi Metodunda Parametre Tasarımı

Genichi Taguchi tasarımları uygun bir şekilde kullanıldığı zaman, çeşitli çalışma koşullarında kullanılabilen, varyasyon ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı olan duyarlılığı azaltan bir mühendislik metodudur.

Taguchi metodunda amaç, proses hedef değerini korurken varyasyonu minimize edecek faktör seviyesini belirlemektir. Varyasyona etki eden faktörleri belirledikten sonra, kontrol edilebilir faktörler üzerinde ayarlamalar yapılabilir. Kontrol edilemeyen faktörler ise değişiklikler karşı duyarsız hale getirilmeye çalışılır. Proses tasarımında temel amaç, sürekli aynı çıktıyı üretmektir. Üretim tasarımının da ise temel amaç, çevre faktörlerine rağmen sürekli bir performans ölçüsü yakalamaktır [4].

Taguchi Metodu, çok sayıda faktörün bağlı olduğu ürün ve prosesin kalitesini artırmak için geliştirilmiştir. Her bir faktörün izin verilen aralıklar içerisinde tüm olabilecek kombinasyonları etkili bir biçimde bu test ve geliştirme stratejisi içerisinde kurulabilmektedir. Mühendislik projeleri çok sayıda faktör içerdiği için, bir grup olabilecek kombinasyon denenemeyecek kadar geniştir. Üstelik özel projeler için etkili faktörler arasında etkileşimlerin olması deneme sayısını artırmaktadır. Taguchi faktöriyel deneyler için özel bir tasarım geliştirmiştir. Bu tasarım ortogonal dizilerden oluşmaktadır. Bu tasarımların kullanılması verilen faktörlerin en az sayıda deneyle incelenmesine olanak tanımaktadır.

Tüm faktörlerin sabit seviyeli olduğu ve etkileşimlerin önemsiz olduğu durumlarda standart Ortogonal Diziler (OD) kullanılmaktadır. Faktörlerin karışık seviyeli olduğu ve etkileşimlerin incelendiği durumlarda OD'lerin modifiye edilmesi gerekmektedir.

İçerisinde çok sayıda faktörün olduğu ilk deney tasarımı planının geliştirilmesi İngiliz Sir R. A. Fisher tarafından 1920 yılında yapılmıştır. Bu metot genelde faktöriyel tasarım olarak bilinir. Tam faktöriyel tasarım verilen deney seti için tüm olanaklı kombinasyonları denemektedir. Çoğu endüstriyel deney genellikle çok sayıda faktör içerir. Tam faktöriyel tasarımda çok geniş bir deney seti incelenir. Örneğin tam faktöriyel tasarımda 7 faktörlü ve her bir faktörün 2 seviyeli olduğu bir deney için tam 128 deneye ihtiyaç vardır.

Kısmi faktöriyel tasarımda deney sayısını azaltmak için tüm kombinasyonlar arasından belirli grup seçilerek o grup üzerinde inceleme yapılır. Kısmi faktöriyel tasarım iyi bir kestirme yol olarak bilinse de uygulamalar ve analiz için belirli kuralı yoktur. Taguchi metodu bu konuda iki önemli boşluğu tamamlamaktadır [4].

Bunlar;

- I. Deney koşullarına uygun olarak seçilebilecek OD'ler net bir şekilde tanımlanmıştır.
- II. Sonuçların analizinde standart metotlar belirlenmiştir.

Taguchi yaklaşımı standart deney tasarımı tekniklerinin ve analiz metotlarının bir kombinasyonudur. Bu kombinasyon diğer istatistiksel metotlarda nadiren bulunan tutarlılık ve yeniden üretilebilirlik özelliklerini taşımaktadır.

Taguchi'de bütün kombinasyonların denendiği tam faktöriyel tasarımda, faktör seviyesi arttıkça, deney sayısı 2 seviyeli deneylerde ikinin kuvvetleri şeklinde artmaktadır [4].

Farklı faktör ve seviyeli deneyler için tam faktöriyel tasarım ve Taguchi metodu için gerekli deneme sayıları tablo 2.8'de verilmiştir. Burada deney sayılarındaki farklılık bariz bir şekilde görülmektedir [4].

Tablo 2. 8. Tam Faktöriyel ve Taguchi Metodunun Karşılaştırılması

FAKTÖR	SEVİYE	DENEY SAYILARI		
		Tam Faktöriyel Tasarım		Taguchi Metodu
2	3	4	2^2	4
3	2	8	2^3	4
4	2	16	2^4	8
7	2	128	2^7	8
15	2	32768	2^{15}	16
4	3	81	3^4	9

2.8. Bulanık Mantık

Yapay zeka, bilgisayarın ya da bilgisayar ile kontrol edilen bir makinenin, akıl yürütme, anlam çıkartma, genelleme, algı lama, geçmiş deneyimlerden öğrenme gibi genellikle insan zekasına özgü olan görevleri yerine getirme özelliğidir. Yapay zeka (Artificial Intelligence) teknikleri 4 başlık altında toplanabilir.

- Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)
- Uzman Sistemler (Expert Systems)
- Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
- Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

Yapay zeka tekniklerinden biri olan Bulanık Mantık (BM) ilk olarak 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya çıkarılmıştır. Zadeh'e göre bulanık mantık klasik mantığın 0-1 önermelerine karşılık 0-1 arasında daha fazla önerme oluşturur. Zadeh tarafından önerilen bulanık mantık tanımlaması klasik küme kavramındaki kümenin üyesi veya üyesi değil kavramından farklıdır. Zadeh, bulanık mantık ve bulanık küme kuramını : " Kesinlik diye bir şey yoktur. Mutlak kesin olan hiçbir şey yoktur. Her şey matematiksel olarak ifade edilirse 0 ile 1 arasındaki sınırdadır." şeklinde açıklamaktadır. Bulanık küme kavramında kümedeki her eleman bir dereceye kadar üye olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre "bulanık küme" değişik üyelik derecesinde elemanları olan bir kümedir. Bulanık kümeler, küme elemanlarının üyelik derecelerine göre sıralanması ve matematiksel olarak üyelik fonksiyonu tanımlanarak ifade edilebilirler [61].

Bir eleman klasik küme teorisi üzerinden değerlendirildiğinde, eleman ya ilgili kümeye aittir ya da değildir. Yani kısmi üyelik söz konusu değildir. Ancak bulanık mantık temelli bir kümede her eleman ilgili kümede bir üyelik derecesine sahiptir. Eğer değer aralığı $[0,1]$ aralığında ise bu küme bulanık mantık kümesidir. Eğer küme bulanık mantık kümesi ise bu tür kümelerde kısmen üyelik kavramından bahsedilir. X evrensel kümeyi, x ise bu kümeye ait genel bir elemanı göstermektedir. Bu tür kümelerde, söz konusu evrenin elemanlarının bir A bulanık kümesine ait olma derecesini temsil etmek için üyelik fonksiyonları belirlenir. X evrensel kümesi içerisinde A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu ile gösterilir ve denklem 2.1.'deki gibi ifade edilir [52].

$$\mu_A(x) \rightarrow [0,1] \quad (2.1.)$$

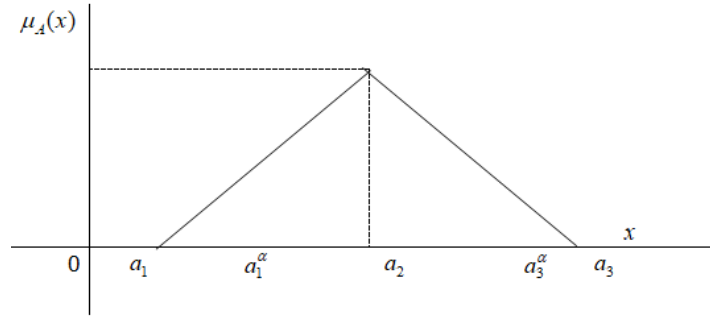
Eğer $A \in R \in (-\infty, +\infty)$ 'da, söz konusu kümenin bir elemanı ise $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu $R \rightarrow [0,1]$ aralığında oluşur. Diğer bir deyişle A kümesi $A = [a_1, a_3]$ aralığında ise genel olarak $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu (2.2.) formülüyle gösterilebilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ 1, & a_1 \leq x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (2.2.)$$

Üyelik fonksiyonları genellikle, üçgensel üyelik fonksiyonları ve yamuk üyelik fonksiyonları olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir. $\mu_A(x)$ üçgensel üyelik fonksiyonu, (2.3.) formülünde tanımlanmıştır (Triantaphyllou, 2000).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (2.3.)$$

2.3. formülüne göre küme, $A = (a_1, a_2, a_3)$ olmalıdır. Burada a_2 normal değerli üyelik olarak tanımlanabilir. Bulanık Mantık bu noktada bir α katsayısına bağlı olarak a_2 'ye yakın değerlerin, bu değere yüklenen anlam ile temsil edileceğini varsaymaktadır. Diğer bir deyişle a_2 'deki belirsizlik, varsayılacak ya da dağılıma göre bulunabilecek bir α katsayısı ile tolere edilebilir. Söz konusu komşuluk Şekil 2.50.'de gösterilmiştir. [52]



Şekil 2. 50. Sayıların Komşuluğu

α değeri bulanık mantık terminolojisinde kesim katsayısı olarak adlandırılır. a_1^α ve a_3^α sayıları ise a_2 normal değerinin komşuluğunu oluşturan aralığın alt ve üst sınır değerleridir. Diğer bir deyişle a_1^α ve a_3^α aralığındaki tüm sayılar a_2 normal

değeri ile aynı anlama sahiptir. a_1^α ve a_3^α değerleri 2.4.ve 2.5. formülleri yardımıyla bulunabilir. [52]

$$\frac{a_1^\alpha - a_1}{a_2 - a_1} = \alpha \quad (2.4.)$$

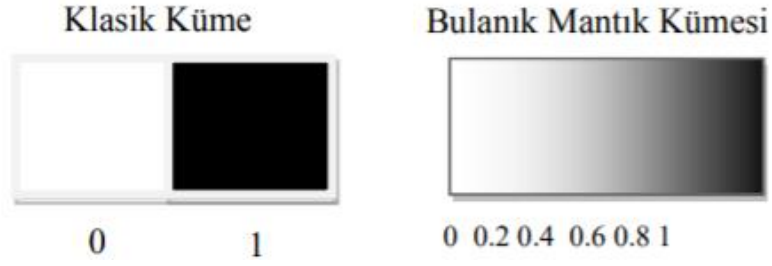
$$\frac{a_3 - a_3^\alpha}{a_3 - a_2} = \alpha \quad (2.5.)$$

8.4. ve 8.5. formüllerinden $\forall \alpha \in [0,1]$ için $A_\alpha = [a_1^\alpha, a_3^\alpha]$ aralığı oluşturulabilir. a_1^α ve a_3^α değerleri 2.6. ve 2.7. formüllerinde gösterilmiştir.

$$a_1^\alpha = \alpha(a_2 - a_1) + a_1 \quad (2.6.)$$

$$a_3^\alpha = a_3 - (a_3 - a_2)\alpha \quad (2.7.)$$

Herhangi bir durum eğer sayı ile kabul edilebiliyorsa, söz konusu durumun kabul edilebilirliği o sayının gerçekleşmesinde sağlanacaktır. Belirlenen sayıya yakın değerler karar sürecinin bir parçası olarak algılanmayacaktır. Oysa belirli bir güven katsayısında bu sayıların farklı popülasyonların üyeleri olduğunu öne sürmek de istatistiksel açıdan yanlış olacaktır. Örneğin bir tezgahta işlenen bir parçanın sıcaklığının 39 C^0 ye ulaşması, tezgahın bakım sürecini başlatan bir durumsa belki de sıcaklığın 36 C^0 ye ulaşması da aynı bakım sürecinin başlaması için bir ön şart olarak kabul edilebilir. Bu durumda aynı temel amaca hizmet eden sayıların komşuluğundan söz etmek mümkündür. Şekil 2.51 'de klasik ve bulanık mantık kümeleri görülmektedir. Klasik kümede 0 veya 1 şeklinde kesin bir yaklaşım söz konusu iken, bulanık mantık kümesinde 0 ve 1 arasında süreklilik olup kısmi bir yaklaşım söz konusudur [18].



Şekil 2. 51. Klasik küme ve Bulanık Mantık Kümesi [18]

Bulanık mantık sisteminde üyelik fonksiyonlarından ortaya çıkarılan dilsel değişken değerleri karar verme sürecinde kullanılır. Bu değerler, dilsel “eğer öyle ise o halde” kurallarının ön şartları tarafından birbirleriyle eşleşirler. Her bir kuralın sonucu, girişlerin üyelik derecelerinden, durulaştırma metodu ile sayısal bir değer elde edilmesiyle belirlenir.

Bir mühendislik sistemi oluşturulurken iki farklı bilgi kaynağından yararlanır. Bunlar değişkenler için nümerik ölçümler sağlayan "sensörler" ve sistem hakkında dilsel bilgiler ve tanımlamalar veren deneyim sahibi olan "uzman kişiler"dir. Sensörler aracılığıyla elde edilen veri "nümerik bilgi" olarak, uzman kişilerden sağlanan bilgi ise "dilsel bilgi olarak tanımlanır. Nümerik bilgi sayılar ile ifade edilir. Dilsel bilgi ise sıcaklık için örnek verilirse, soğuk ılık, çok sıcak, çok soğuk gibi sözcüklerle ifade edilir. Geleneksel mühendislik yaklaşımında, sadece nümerik bilgi kullanılır ve dilsel bilgi kullanılmasında zorluklarla karşılaşılır. Aynı zamanda bulanık mantık deneyimleri sistemlere aktarıp, kullanabilmek için en etkili yaklaşımdır [61].

Bulanık mantık, geleneksel yaklaşımlara göre insan düşünce yapısına ve günlük konuşma diline daha yakındır. Bu yüzden yaklaşıklığı ve tam kesin olmayan gerçek dünya doğasını elde etmeyi sağlar. Dilsel kontrol kuralları seti, bulanık mantık kontrolörün temel parçasıdır.

Bir mühendislik sisteminde modeller kesin matematik modelleri üzerinden modellenirler. Güçlü analizler ve iyi çözümler bu modeller yarımıyla üretilirler. Ancak kesin matematik modelin bilinmediği durumla karşılaşıldığında klasik mantık istenilen performansı verememekte ya da çözüm sağlayamamaktadır [62].

Bulanık mantığın temel amacı, insanların tam ve kesin olmayan bilgiler ışığında, tutarlı ve doğru kararlar vermelerini sağlayan, düşünme ve karar verme

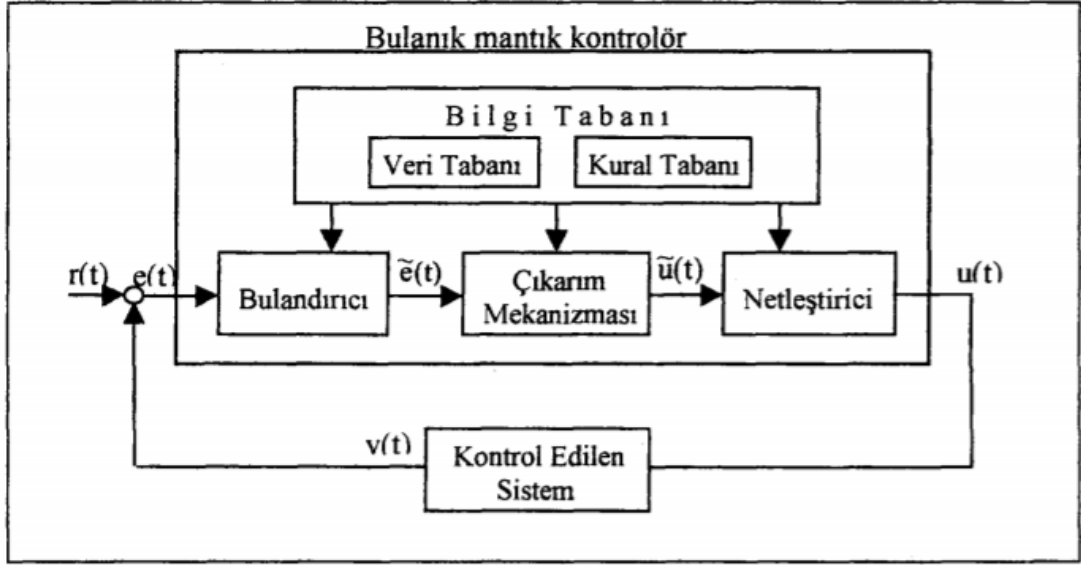
mekanizmalarının modellenmesidir. Temel olarak çok değerli mantık, olasılık, yapay zeka, yapay sinir ağı alanları ile ilişkilidir [63].

2.8.1. Bulanık Mantığın Genel Yapısı

Bulanık kontrol sistemi matematiksel modeli tam olarak elde edilemeyen, çok parametrelili ve nonlineer süreçlerde uygulanmaktadır. Bulanık kontrol sisteminde, uzman bilgisine dayanan dilsel kontrol stratejisini, otomatik kontrol stratejisine dönüştüren bir algoritma, geleneksel kontrol algoritmalarına göre daha iyi sonuç vermektedir. Son yıllardaki mikroişlemci teknolojisindeki gelişmeler bulanık kontrol sistemlerinin artan bir ilgi ile birçok alanda kullanılmasına neden olmuştur. Bu sistem uzman bir sistem olduğundan sürecin kontrolünde uzman bilgisine başvurulmaktadır. Uzman bilgisi dilsel olarak EĞER - O HALDE kuralları haline getirilir ve bulanık mantık algoritmasında kullanılır. Eğer uzman bilgisine ulaşılamıyorsa bulanık mantık tabanını oluşturmak için; varsa matematiksel model, simülasyonlar, sürecin bulanık modeli ve çeşitli öğrenme algoritmaları kullanılır. Şekil 2.52'de bulanık mantık sisteminin çalışma şekli verilmiştir.

Bir bulanık mantık sistemi dört temel bileşenden oluşur;

1. Bulandırıcı
2. Bilgi Tabanı
3. Çıkarım Mekanizması
4. Netleştirici [63]



Şekil 2. 52. Bulanık Mantık Şeması

2.8.1.1. Bulandırıcı

Bulanıklaştırma birimi gerçek fiziksel değerleri sözcüklere dönüştürür. Bu dönüştürme için küme tanımları verilir. Kural esasına dayanan sözcükler ‘Pek Çok, Çok, Hiç, Az, Pek Az’ gibi örnek bir küme biçiminde olabilir. Daha sonra bu sözcüklerin 0 ile 1 arasındaki değerlerden ara değerleri atanır.

Bulanık kümeler kullanılarak ‘yüksek hız, düşük sıcaklık’ gibi nitel bilgiler temsil edilebilir. Kurallar kümesi kullanılan sözcükler arasındaki neden-sonuç ilişkisini vermektedir [67].

2.8.1.2. Bilgi Tabanı

Bulanık kontrol sisteminde bilgi tabanı, kural tabanı (bulanık kontrol kuralları) ve veri tabanı olarak isimlendirilen iki kısımdan oluşur. Veri tabanındaki fikirler bulanık mantıktaki bulanık kontrol kuralları ve bulanık bilgi değerlendirilmesini karakterize etmek için kullanılır. Bu fikirler öznel olarak tanımlanır, deneyime ve mühendislik yargısına dayanır. Konuyla ilgili olarak doğru üyelik fonksiyonunun seçimi uygulamanın başarılı olmasında önemli rol oynar [67].

2.8.1.3. Çıkarım Mekanizması

Çıkarım bölümü, bulanıklaştırılmış verileri alıp verilen kural kümesini kullanarak bu verileri hesaplar. Burada ‘ve’ işlemi her sözcük için bulanık üyeliğin çarpımı ya da en küçük değerini alma yöntemi ile bulunabilir.

Çoğu pratik sistemde bulanık kontrol kural tabanı birçok kuraldan oluşur. Bu kurallarla bir bulanık çıkarım yapmak için iki yöntem vardır. Bu yöntemler birleşik tabanlı çıkarım ve tek kural tabanlı çıkarım yöntemleridir [63].

2.8.1.4 .Netleştirici

Netleştirici, verilen bulanık verileri ve sözcük tanımlarını birleştirip gerçek veriyi oluşturur. Bu işlem, en yüksek değer seçimi, alan ortası yöntemi ve ağırlık ortalaması yöntemi olmak üzere üç temel yöntem ile yerine getirilir. En yüksek değer seçilmesinde, verilen küme içerisinde en büyük üyelik değerine sahip olan gerçek değer seçilir. Alan ortası yönteminde, verilen küme içinde üyelikleri alan olarak ikiye ayıran değer alınır. Ağırlık ortalaması yönteminde ise, verilen küme içinde ikiye böldüğü alanı o noktanın uzaklığı ile üyeliğinin çarpımına bakıldığında ikiye ayıran nokta seçilir [63].

Bulanık kontrol kurallarının türetilmesinin 4 değişik biçimi vardır. Etkin bir yöntem oluşturmak için bunların birleştirilmesi uygun olur.

1. Uzman Deneyimi ve Kontrol Mühendisliği Bilgisi:

Bulanık kontrol kuralları bulanık durum ifadeleri şeklindedir. Kuralların neden bir kısmı, proses durum değişkenlerinden; sonuç kısmı ise bulanık kontrol sisteminin kontrol çıkışından (proses girişi) oluşur. Bulanık kontrol kuralları, insan davranış ve karar analizinin karakterize edilmesi için doğal bir çalışma çerçevesi sağlar. Dolayısıyla bir prosesdeki uzmanın veya operatörün bilgilerinden ve deneyimlerinden yararlanma açısından bulanık kontrol sistemi çok uygundur. Bu yüzden bir çok uzman, uygulama alanındaki bilgileri aktarmanın en uygun yolunun, bulanık kontrol kuralları olduğu konusunda birleşmişlerdir [63].

2. Operatörün Kontrol İşlemlerine Dayalı Olarak:

Operatör olarak çalışan yetenekli kişiler kafalarında herhangi bir matematiksel model olmaksızın başarılı bir şekilde karmaşık sistemleri kontrol edebilirler ve bunu yaparken bilinçsiz olarak bir çok bulanık kontrol kuralından yararlanırlar. Bu açıdan bakıldığında operatörün uyguladığı kuralları, bulanık kontrol kuralları olarak oluşturmak faydalı olacaktır [63].

3. Prosesin Bulanık Modeline Dayalı Olarak:

Kontrol edilen sistemin dinamik özelliklerinin dilsel olarak tasvir edilmesine dayanır. Böyle bir tanımlamaya prosesin bulanık modeli gözüyle bakılır. Elde edilen bulanık modele göre kontrol kuralları üretilir. Bu yöntem daha karmaşık olmasına rağmen iyi performans sağlamaktadır ama geliştirmeye ihtiyacı vardır [63].

4. Öğrenmeye Dayalı Olarak:

Birçok bulanık kontrol sistemi, insan karar verme davranışlarını taklit etmek için oluşturulmuştur. Fakat birkaçı insan öğrenmesi üzerine yoğunlaştı. Şöyle ki, bulanık kontrol kurallarını oluşturma yeteneği ve deneyime bağlı olanları değiştirme yeteneği gibi kendi kendini organize eden kontrolör tanımlandı. Bu konudaki ilginç örneklerden birisi Sugeno'nun bulanık mantık kontrollü otomobilidir ki kendi kendine park etmeyi öğrenebilmektedir [63].

Matematiksel modellemesi yapılan sistemin titreşimlerinin kontrolünde bulanık mantık kontrolün tercih edilmesinin nedeni özetlenecek olursa;

1. Bulanık mantığın anlaşılması kolaydır. Dayandığı matematiksel teori basittir, karmaşıklıktan uzaktır.
2. Bulanık mantık esnektir.
3. Eksik ya da yetersiz verilerle işlemler yapılabilir.
4. Bulanık mantıkta uzman kişilerin görüş ve tecrübelerinden faydalanılır.

5. Bulanık mantık sıradan insanların günlük işlerinde kullandığı dili kullanır. Bu da bulanık mantığın en büyük avantajıdır.
6. Diğer sistemlere göre yazılımları basit olduğundan, uygulamalar ucuza mal olmakta ve yapılan işler basitleşmektedir. Bu yüzden, bulanık kontrol yüksek performans/maliyet oranına sahip bir yöntemdir [68,69].

2.8.2. Bulanık Mantık Kontrolün Teorik Avantajları

1. Bir sistemin oluşturulması sırasında eğer matematiksel model yoksa gerekli bilgiler iki farklı kaynaktan elde edilir. Bu kaynaklardan biri sensörlerdir. Sensörler, durum değişkenlerinin sayısal değerlerini ifade ederler. Diğer kaynak ise deneyimdir. Deneyim, iş üzerinde uzun süreden beri çalışan kişilerden ya da operatörlerden elde edilen bilgileri kapsar. Bu bilgiler dilsel tanımlamaları ve kontrol talimatlarını içerirler. Bu bilgilerden bulanık mantık sayesinde yararlanılabilir. Klasik mantık bu bilgilerden faydalanamaz. Bir mühendislik yaklaşımında eldeki tüm bilgilerin kullanılması gerekir. Bu yüzden bulanık mantık kontrolü en iyi seçim olacaktır.
2. Bulanık kontrol, kontrol edilecek sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duyulmayan serbest model yaklaşımına dayanır. Günümüzde çok karmaşık sistemlerle karşılaşıldığı düşünülürse, serbest model yaklaşımı da oldukça artan bir öneme sahiptir.
3. Bulanık mantık ile elde edilen kontrolör nonlineer kontrolördür. Bu yüzden bulanık kontrolörün parametreleri dikkatlice seçilerek nonlineer sistemlerin kontrolü de yapılabilir.

2.8.3. Bulanık Mantık Kontrolün Pratik Avantajları

1. Anlaşılması kolaydır. Çünkü bulanık kontrol insanın kontrol stratejisini taklit eder.
2. Gerçeklenmesi basittir. Bir çok sayıda paralel işleme olanak verir.
3. Diğer sistemlere göre yazılımları basit olduğundan, uygulamaların maliyetleri düşük olmakta ve yapılan işler basitleşmektedir. Bu yüzden bulanık kontrol yüksek performans/maliyet oranına sahiptir [64,65].

2.8.4. Bulanık Mantığın Uygulama Alanları

Bulanık mantık ilk olarak 1980 yılında Danimarka'da çimento sanayisinde kullanılmıştır. Çimento kalitesi etkileyen önemli parametreler üzerinde çalışma yapılmıştır. İyi kalitede çimento elde edebilmek için değirmen içindeki sıcaklık ve oksijen oranı ayrıca ısı ve karbonmonoksit oranlarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu yüzden üretimde standart bir kontrolör kullanmak yerine, bulanık mantık sisteminin entegre edildiği kontrolör kullanılmış ve eskiye göre çok daha başarılı sonuçlar veren sistem geliştirilmiştir.

1987 yılında diğer önemli bulanık mantık uygulaması taşımacılık sektöründe Japonya' da gerçekleştirilmiştir. Sendai'de bulunan metrolarda bulunan fren kontrollerinde standart olarak kullanılan otomatik kontrolörden, bulanık mantık sistemine geçilmiştir. Bu gelişmeden sonra yeni sistem hem insan hem de geleneksel kontrol sisteminden daha iyi sonuçlar vermiştir. Taşımacılık sektöründe olan bu gelişme, diğer sektörlerin bulanık mantığa olan ilgisini arttırmış ve öncü olmuştur. Özellikle Japonya'da bulanık denetimli ev aletleri ve elektronik ürünler güncel yaşamın bir parçası haline gelmiştir [66,67].

Bu örnekler altında, bulanık mantığın önemli uygulama alanlarını özetleyecek olursak; çimento sanayi, su artıma sistemleri, buhar türbini, nükleer reaktör, asansör ve vinç denetimleri, otomobillerin hız ve seyahat kontrolü, uçakların uçuş denetimi, otomatik fren çalışmaları, gemiler için optimal rota seçimi ve çok çeşitli ev aletleri vb. gibi uygulama alanlarından bahsedebiliriz. Ayrıca günümüzde bulanık mantık ve uygulamalarına yönelik yazılım ve donanımlar piyasada hazır şekilde bulunmakta olup, bulanık mikroişlemciler de pazarlanmaktadır. Tablo 2.9' da bulanık mantık metodunun kullanıldığı sektörler verilmiştir [66,67].

Tablo 2. 9. Bazı Firmaların Bulanık Mantık Kullandığı Alanlar [65]

ÜRÜN	FİRMA	BULANIK MANTIĞIN ROLÜ
Klima	Hitachi, Mitsubishi, Sharp, Matsushita	Belirlenen derece doğrultusunda dengeyi sağlayarak az güç harcaması
Fotokopi Makinesi	Canon	Voltajı çekilen resmin yoğunluğuna sıcaklığına ve neme göre ayarlaması
Asansör Kontrolü	Fujitec, Mitsubishi, Toshiba	Yolcu trafiğini ayarlayarak bekleme zamanını azaltmayı sağlaması
Tost Makinesi	Sony	Ekmeğin çeşidine göre pişirme zamanını ve pişirme opsiyonunu ayarlamayı sağlaması
Mikrodalga Fırın	Hitachi, Sanyo, Sharp, Toshiba	Gücü dengede kullanarak pişirme stratejisini iyi ayarlamayı sağlaması
Fotoğraf Makinesi	Canon, Minolta	Otomatik olarak görüş alanına giren objelere odaklanmayı sağlaması
Buzdolabı	Sharp	Yiyeceklerin soğutma zamanını ayarlayarak bozulmayı engellemesi
Kamera	Canon, Sanyo	Otomatik olarak odaklanmayı ve ışığı ayarlamayı sağlaması
Çamaşır Makinesi	Hitachi	Çamaşırın kirliliğine göre motorun dönüş hızını ve suyun emilimini ayarlamayı sağlaması
Oda Nemlendiricisi	Casio	Odadaki nemlilik durumuna göre odaya buhar vermeyi ayarlamayı sağlaması
Araba Motoru	Nissan	Oksijen, sıcaklık, motor basıncına göre yakıt enjeksiyonunun ayarlamayı sağlaması
Otomatik Sürüş	Honda, Nissan, Subaru	Motor hacmi, sürüş stili ve yol durumuna göre vites ayarlarını otomatik seçmeyi sağlaması
Elektronik Sözlük	Epson	Otomatik olarak kelimeyi algılamayı sağlaması
Sağlık Yönetimi Sistemi	Omron	500'den fazla bulanık mantık komutu ile çalışanların sağlık ve kondisyon seviyesini ayarlamayı sağlaması

2.8.4. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları

Giriş ve çıkış değerlerinin dilsel olarak tanımlanmasında üyelik fonksiyonları kullanılır. Geometrik olarak ifade edilmek istenirse 0 ile 1 arasındaki giriş ve çıkış değerleri olarak tanımlanabilir. X evrensel kümesindeki A bulanık kümesi sıralı çiftler kümesi şeklinde gösterilir. Bu durum Denklem 2.1.'de gösterilmiştir. Buradaki üyelik fonksiyonunu ifade etmektedir [18].

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x\} \in X \quad (2.1.)$$

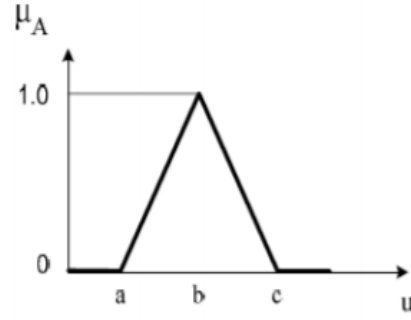
En çok kullanılan dört üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir;

1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu
2. Trapezoidal Üyelik Fonksiyonu
3. Sigmoid Üyelik Fonksiyonu
4. Gaussian Üyelik Fonksiyonu

2.8.4.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Üç farklı noktanın üçgen oluşturacak şekilde birleşmesi sonucunda üçgen üyelik fonksiyonu ulaşır. Bu üç noktanın x eksenindeki değerleri a , b ve c değişkenleri ile ifade edilir. Üçgen üyelik fonksiyonu denklem 2.8' deki gibi tanımlanmıştır ve şekil 2.53' de gösterilmiştir [18].

$$\text{Üçgen}(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u \leq a \\ \frac{(u-a)}{(b-a)} & a \leq u \leq b \\ \frac{(c-u)}{(c-b)} & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \quad (2.8.)$$

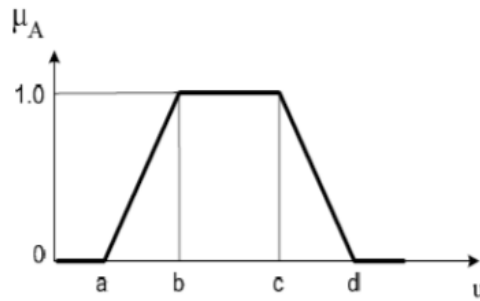


Şekil 2. 53. Üçgen Üyelik Fonksiyonu [18]

2.8.4.2. Trapezoidal Üyelik Fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonu olarak da adlandırılan trapezoidal üyelik fonksiyonu, dört noktadan oluşur. Bu dört noktanın eksen üzerindeki değerleri a, b, c ve d değişkenleri ile ifade edilir. Trapezoidal üyelik fonksiyonu denklem 2.9.'daki gibi tanımlanır ve şekil 2.54' de gösterilmiştir [18].

$$Trapezoidal(u; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{(u-a)}{(b-a)} & a \leq u < b \\ 1 & b \leq u \leq c \\ \frac{(d-u)}{(d-c)} & c < u \leq d \\ 0 & u > d \end{cases} \quad (2.9)$$

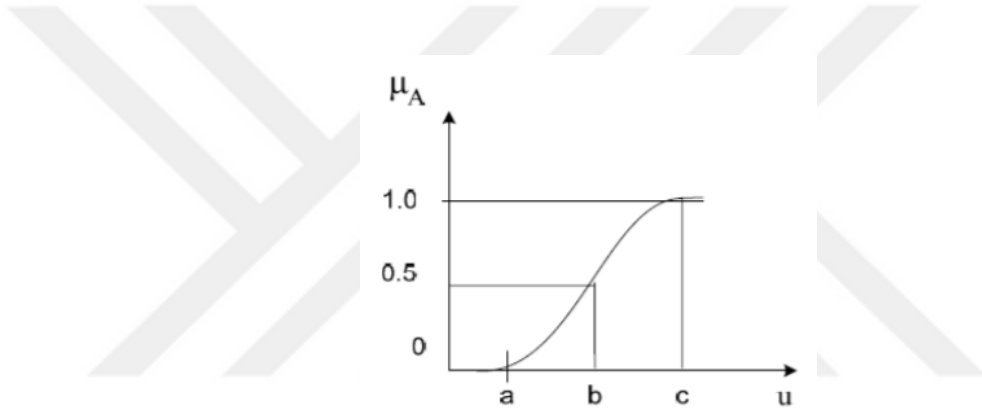


Şekil 2. 54. Trapezoidal Üyelik Fonksiyonu [18]

2.8.4.3. Sigmoid Üyelik Fonksiyonu

Sigmoid üyelik fonksiyonu, üç noktadan oluşur. Bu üç noktanın x eksenindeki değerleri a, b ve c değişkenleri ile ifade edilir. Sigmoid üyelik fonksiyonu denklem 2.10' daki gibi tanımlanır ve şekil 2.55.' de gösterilmiştir [18].

$$\text{Sigmoid}(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ 2 \left[\frac{(u-a)}{(c-a)} \right]^2 & a \leq u \leq b \\ 1 - 2 \left[\frac{(c-u)}{(c-b)} \right]^2 & b \leq u \leq c \\ 1 & u > c \end{cases} \quad (2.10)$$

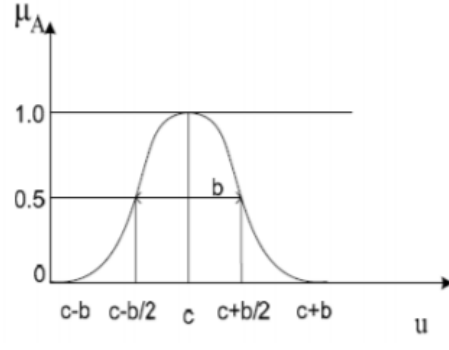


Şekil 2. 55. Sigmoid Üyelik Fonksiyonu [18]

2.8.4.4. Gaussian Üyelik Fonksiyonu

İki noktadan oluşan Gaussian üyelik fonksiyonu, iki noktanın x eksenindeki değerleri b ve c değişkenleri ile ifade edilir. Gaussian üyelik fonksiyonu denklem 2.11' deki gibi tanımlanır ve şekil 2.56' da gösterilmiştir [18].

$$\text{Gaussian}(u; b, c) = \begin{cases} \text{Sigmoid} \left(u; c - b, \frac{(c-b)}{2}, c \right) & u \leq c \\ 1 - \text{Sigmoid} \left(u; c, \frac{(c+b)}{2}, c + b \right) & u \geq c \end{cases} \quad (2.11)$$



Şekil 2. 56. Gaussian Üyelik Fonksiyonu [18]



3. UYGULAMA

Plastik parça üretiminde üretim prosesi şu sıralamayla gerçekleşir; Parça tasarımı yapılır, tasarlanan parçaya ve istenilen üretim adedine bağlı olarak kalıp tasarımı ve üretimi yapılır, plastik enjeksiyon makinesinde üretimi gerçekleşir. İstenilen özellikleri karşılayan parça üretimi için tüm bu aşamalardaki tasarımların doğru şekilde yapılması gerekir. Kalıp tasarımı sırasında parçadan beklenen fiziksel ve görsel özelliklerini etkilemeyecek değişiklikler yapılır. Bu yüzden bu değişiklikler yapılırken bir çok etken göz önünde tutulmalıdır. Bunlar; enjeksiyon prosesi sırasında nasıl bir problem ile karşılaşılacağı, kalıbın boyutları, kalıbın kaç gözden oluşacağı , yolluğun ve dağıtıcı kanalların yerleşimi, itici sistem, soğutma kanalları ve kalıp ayırma çizgisi gibi unsurlardır. Parça üretimi sırasında, enjeksiyon basıncı, sıcaklığı ve hızı, geri basınç, tutma ve ütüleme basınçları gibi birçok parametre enjeksiyon makinesinde üretim sırasında ayarlanmaktadır.

Bu kadar çok sayıda karmaşık ve birbirini etkileyen parametrelerin, kalıbın henüz tasarım aşamasında belirlenmesi için, çok çeşitli yöntemlerle hesaplamalar ve simülasyon yapılmaktadır. Simülasyonlar genellikle, sayısal analiz yöntemleri ile kütle ve ısı transferi hesaplamaları yapılarak gerçekleştirilir. Enjeksiyon kalıbı tasarımı ve enjeksiyon parametrelerinin tespiti için, sayısal hesaplamaların yanında - yapay zeka yöntemleri de kullanılmaktadır.

Enjeksiyon parametrelerinin tespiti yapılırken; Deneysel tasarım yaklaşımı (Design of Experiment, DOE), İşlem penceresi Yaklaşımı, Uzman Sistem, Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantığın birlikte kullanıldığı Karma Sistemler ve Genetik Algoritma gibi bir çok yapay zeka yöntemleri ile tespit edilebilir.

Bu tez çalışmasında yeni ürün devreye alınması sırasında zaman, hammadde ve enerji kaybını önlemek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, enjeksiyondan elde edilen parçaların gerek hammaddeleri ile ilgili özellikleri, gerek makine özellikleri değerlendirilerek uygun olup olmadıklarının tespit edilmesi amacıyla tasarlanan bulanık mantık, uygun parça elde etme süresini kısaltmak ve operatör veya usta bağımlı durumdan kurtarmak isteyen işletmeler için bir çözüm sunmaktadır. Bu tez çalışmasında bir beyaz eşya firmasına ait bulaşık makinesinin

"PP" hammaddesi ile basılan 530 x 320 mm boyutundaki ürünü üzerinde çalışılmıştır. "PP" ham hammaddesinin özellikleri tablo 3.1'deki gibidir. Ürün kalıbı sıcak yolluklu olup, üründe 6 adet giriş bulunmaktadır. Ürün kalitesini etkileyen 3 önemli faktör üzerinde durulmuştur. Bu faktörler kalıp sıcaklığı, enjeksiyon sıcaklığı, ve enjeksiyon basıncıdır. Her faktörün 4 seviyesi için taguchi yöntemi kullanılarak 64 olması gereken analiz sayısı 16 'ya düşürülmüştür ve Moldflow programı ile analizi yapılmıştır. Ardından analiz sonuçları değerlendirilmiş olup kurallar tablosu oluşturulmuştur. Oluşturulan kurallar tablosu ile bulanık mantık sistemi oluşturulmuştur.

Tablo 3. 1. PP hammaddesinin Özellikleri [60]

Polipropilen Teknik Değerler			
	Birim	Test Metodu ISO	Değer
Genel Özellikler			
Özgül Ağırlık	gr/cm ³	1183	0.92
Su Emme	%	62	0.1
Mekanik Özellikler			
Çekme Dayanımı	kg/cm ²	527	300
Elastik Modül	Mpa	527	1250
Kopma Uzaması	%	527	>50
Darbe Dayanımı	kJ/m ²	180	7
Sertlik	Shore D	868	70
Termal Özellikler			
Isı Genleşme Katsayısı	°C ⁻¹	11359	1,6x10 ⁻⁴
Elektriksel Özellikler			
Dielektriksel Dayanımı	kw/mm	60243	55

Çalışmada kullanılan faktörler aşağıdaki gibidir;

1. Kalıp sıcaklığı (°C)
2. Enjeksiyon sıcaklığı (°C)
3. Enjeksiyon basıncı (MPa)

Her faktörün ise 4 farklı seviyesi bulunur. Seviyeler kullanılan PP hammaddesinin çalışabileceği sıcaklıklar göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Bu faktör ve seviyeler aşağıdaki gibidir;

1. Kalıp sıcaklığı (°C)
 - 1.1. 50 °C
 - 1.2. 60 °C
 - 1.3. 70 °C
 - 1.4. 80 °C
2. Enjeksiyon sıcaklığı (°C)
 - 2.1. 200 °C
 - 2.2. 220 °C
 - 2.3. 260 °C
 - 2.4. 280 °C
3. Enjeksiyon basıncı (MPa)
 - 3.1. 400 MPa
 - 3.2. 600 MPa
 - 3.3. 800 MPa
 - 3.4. 1200 MPa

Bu üretim sırasında kaliteyi önemli ölçüde etkileyen faktörler için ortogonal dizi kullanılarak deneme yapılmak istenildiğinde, deneyde yer alan tüm kombinasyonların denenmesi gerekir. Bu deney için tüm kombinasyonlar tam faktöriyel prensibi kullanılarak denenmek istendiğinde 64 farklı deneme yapmak gerekir. Çünkü 3 farklı faktör ve her faktörün 4 farklı seviyesi olduğu için 4^3 ifadesi 64 olarak hesaplanır. Tam faktöriyel tasarım verilen deney seti için tüm olanaklı kombinasyonları denemektedir. Endüstriyel deneyler genellikle çok sayıda faktör içerir. Faktör sayısının artması yapılması gereken deney sayısını arttıracaktır. Bu durum zaman, enerji, hammadde ve iş gücü bakımından verimsizlik oluşturur. Bu yüzden analizler yapılırken, analiz sayısını en az sayıda tutup yüksek verim sağlamak için faktör seviyelerini teker teker değiştirmek yerine, eş zamanlı değiştiren ortogonal diziler yaklaşımını kullanan Taguchi metodu Minitab programı aracılığı ile kullanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak 64 farklı deneme yapılmak yerine 16 deneme yapılmıştır.

Yapılan 16 farklı deneme Moldflow programı kullanılarak analiz edilmiştir. Hammadde olarak PP kullanılmıştır. Kullanılan kalıpta 6 adet sıcak yolluk bulunmaktadır. Analiz sonuçları çıkan ürün kalitesine göre tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar aşağıdaki gibidir;

- Çok Kötü
- Kötü
- Normal
- İyi
- Çok İyi

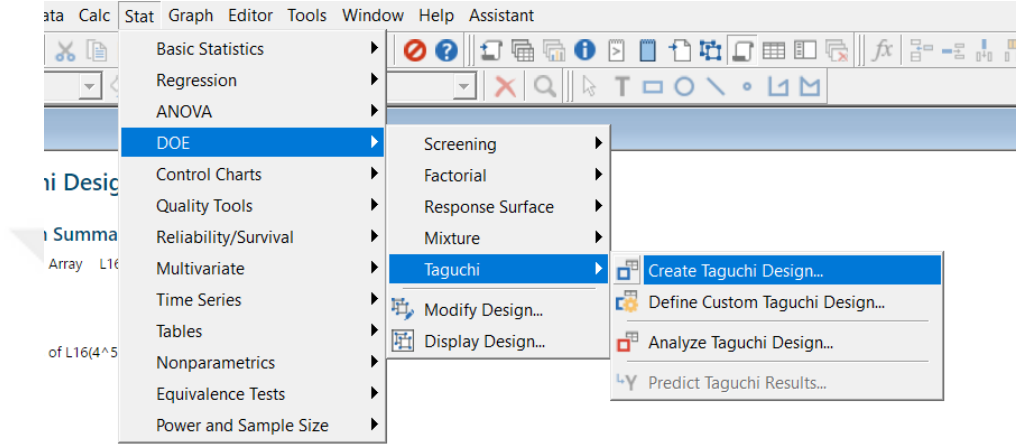
Yapılan çalışmada daha önce belirtildiği gibi operatörün kalıp ve proses bilgisi önemli rol oynamaktadır. Uygun olmayan parçaların tespiti çalışmasında literatürde tanımlanmış pek çok girdi faktörü bulunmaktadır. Bu girdilerden hangisinin kaliteye etki ettiğini bulmak kolay değildir. Bu kalite ve üretimin stabil devam etmesi için gerekli kritik bilgiler yapılan analizlerin değerlendirilmesi ile birlikte kural tablosu oluşturularak bulanık mantık sistemine aktarılmıştır. Faktör ve seviyelerin ürünü nasıl etkilediğine dair oluşturulan kurallar tablosunun bulanık mantık sistemine aktarılması aynı zamanda operatöre ait olan deneyim ve bilginin bilgisayar ortamına aktarılması anlamına gelir. Böylece bulanık mantık girilen parametrelerle doğru orantılı olarak ürün kalitesi için sonuç verir. Bulanık mantığın bu şekilde çalışması üretim prosesi boyunca operatöre duyulan bağımlılığın ortadan kalmasına yardımcı olur. Aynı zamanda yeni operatörlerin yetiştirilmesi için veri tabanı oluşturur. Bu veri tabanı yeni ürün alma ekibine danışmadan, hangi parametrenin (faktör) ve hangi parametre seviyesinin (level) değiştirilmesi hakkında gereken aksiyonu sağlar.

3.1. Taguchi Yönteminin Uygulanması

Taguchi yöntemi 64 olan analiz sayısını 16'ya indirmek için kullanır. Taguchi bu yöntemle ortogonal dizileri kullanır. Ortogonal diziler, faktör seviyelerini, teker teker değiştirmek yerine, eş zamanlı değiştirmeyi önermektedir. Bu yöntemde amaç ; kontrol edilebilen değişkenlerin belirli seviyelerde zaman ve maliyet açısından etkin, aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin tüm

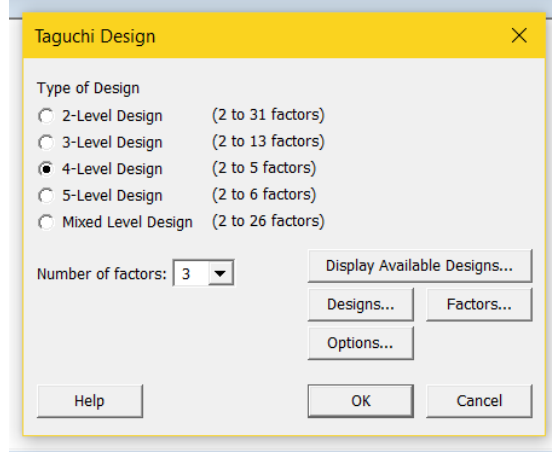
kombinasyonlarına karşı duyarsız ürünler/prosesler tasarlamaktır. Taguchi Deney Tasarım tekniği; ürünlerin kalitesinin olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkânını vermektedir.

Taguchi deney tasarımı çizelgesi oluşturmak için Şekil 3.1' de görülen Minitab programının menüsünden Stat > DOE > Taguchi > Create Taguchi Design seçenekleri takip edilir.



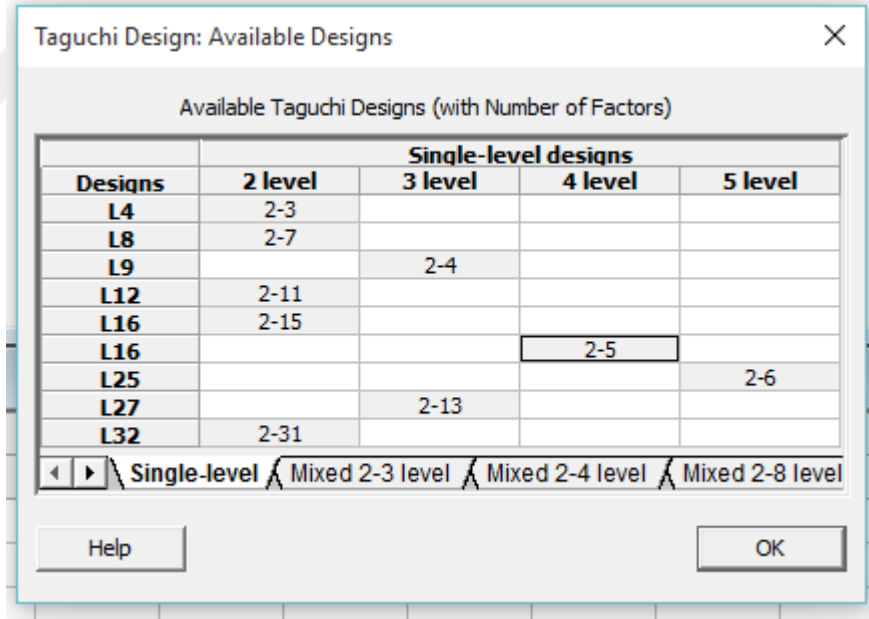
Şekil 3. 1. Deney Tasarımı Çizelgesi Oluşturma Ekranı

Yapılan deneyde 3 parametre (faktör) bulunur. Bu faktörler , kalıp sıcaklığı, enjeksiyon sıcaklığı ve enjeksiyon basıncıdır. Her parametrenin ise 4 farklı değeri (seviye) vardır. Buna uygun olarak şekil 3.2' deki tabloda "Type of Design" seçeneğinde "4-Level Design" , "Number of factors" ise 3 seçilir. Ardından belirlediğimiz parametre ve değer sayısına uygun olan tasarımı seçmek için "Display Available Designs" seçilir.



Şekil 3. 2. "Taguchi Design" Ekranı

Uygun bir tasarım seçmenize yardımcı olması için tablodaki bilgiler kullanılır. Örneğin, bir L4 tasarımında 4 çalışma (run) vardır. Bu çalışmada parametrelerde 4 farklı seviyede (level) çalışıldığı için "4 level" sütunda yer alan "2-5" seçeneği seçilir. (şekil 3.3.). Ardından tekrar şekil 9.2 'deki pencereye tekrar dönülür ve "Designs" seçilir.



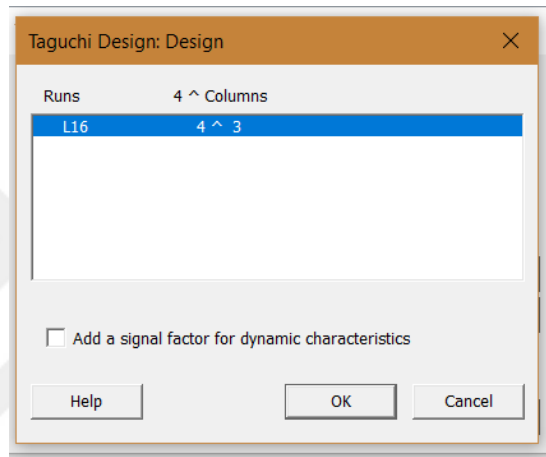
Şekil 3. 3. Tasarım Belirleme Ekranı 1

Şekil 3.4' de görülen pencerede uygulayacağımız tasarım seçilir ve OK tuşuna basılarak yine Şekil 3.2'deki pencereye dönülür ve bu ekrandan "Factors" seçilir. Şekil 3.5' de görülen pencerede "Name" kısmına faktörlerin adları;

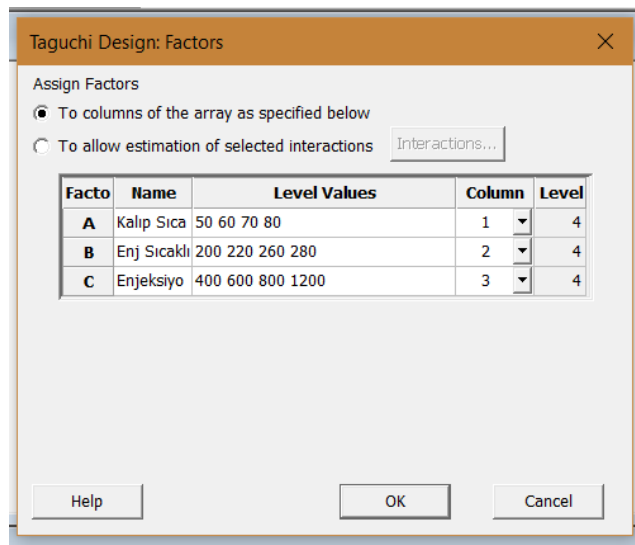
- Kalıp sıcaklığı (°C)
- Enjeksiyon sıcaklığı (°C)
- Enjeksiyon basıncı (MPa)

"Level Values" kısmına aralarında boşluk bırakarak 4 seviye girilir;

- Kalıp sıcaklığı (°C) : 50-60-70-80
- Enjeksiyon sıcaklığı (°C) : 200-220-260-280
- Enjeksiyon basıncı (MPa) : 400-600-800-1200



Şekil 3. 4. Tasarım Belirleme Ekranı 2



Şekil 3. 5. Faktör Belirleme Ekranı

Ardından karşımıza çıkan şekil 3.2'deki pencerede OK tuşuna bastığımızda analizleri yapılacak parametreler çıkar. Tablo 3.2' de analizi yapılacak olan değerler görülmektedir.

Tablo 3. 2. Analiz Yapılacak Değerler

Analiz No	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Basıncı (Mpa)
1	50	200	400
2	50	220	600
3	50	260	800
4	50	280	1200
5	60	200	600
6	60	220	400
7	60	260	1200
8	60	280	800
9	70	200	800
10	70	220	1200
11	70	260	400
12	70	280	600
13	80	200	1200
14	80	220	800
15	80	260	600
16	80	280	400

3.2. Moldflow Analizinin Yapılması

Minitab ile oluşturulan tablodaki değerleri için Moldflow programında analiz yapılır. Moldflow programında yapılan analiz sonucunda hammaddenin kalıp içindeki akış davranışları dahil, ürünün soğuma süresi, soğuma kalitesi, yüzeydeki basınç değişimleri gibi birçok sonuç elde edilebilir. Bu çalışmada ürünün dolmuş analizi, basınç değişim analizi, ortalama sıcaklık analizi, dolmuş sonrasında hemen katılan alan analizi değerlendirilmiş ve değerlendirme yapılırken dolmuş süresi ve enerji kullanımı da göz önünde tutulmuştur.

3.2.1. Dolmuş Analizi

Doldurma analizi sonucu, boşluk dolduğunda akışın konumunu düzenli aralıklarla gösterir.

3.2.2. Basınç Değişimi Analizi

Basınç değişim analizi, en düşük basınç ve en yüksek basınç bölgelerini belirtmek için renk aralığını kullanır. Model üzerindeki her bir renk, modelin dolduğu yerdeki basınç değişimini yanı malzemeyi akmaya zorlamak için gereken basıncı gösterir. Bu analiz sonucu doldurma kalitesinin belirlenmesinde kullanılan bir faktördür.

3.2.3. Ortalama Sıcaklık Analizi

Bu analiz sonucu, dolum sonrasında parçanın kalınlığı boyunca ortalama döküm sıcaklığını gösterir. Polimer eriyiğinin sıcaklığı sadece zaman ve konumla değil, aynı zamanda tüm enjeksiyon kalıplama döngüsü sırasında kalınlıkla da değişir. Tüm bu değişiklikleri tek bir ekranda göstermek zordur. Bunun yerine, ortalama sıcaklık, kalınlıktaki ağırlığını belirtmek için kullanılır. Ortalama sıcaklık, belirli bir zamanda belirli bir konumdan taşınan enerjiyi temsil eder. Doldurma aşamasında aşırı viskoz ısıtmadan kaynaklanan sıcak noktalar, ortalama sıcaklık dağılımı üzerinde belirtilmiştir.

Ortalama sıcaklık sonucunu, akış dağılımını incelemenin alternatif bir yolu olarak kullanılabilir. Sürekli akışlı (ısı taşınımı) olan alanlar, genellikle o bölgedeki akış durduğunda hızla düşen daha yüksek bir ortalama sıcaklığa sahiptir. Parçanın ince bir bölgesinde ortalama sıcaklık çok düşükse, tereddüt veya kısa çekimler oluşabilir. Kaynak çizgilerinin bulunduğu bir alanda ortalama sıcaklık çok düşükse, kaynak hatları daha kötü olabilir.

Ortalama sıcaklığın çok yüksek olduğu bölgelerde, malzeme bozulması ve yüzey kusurları oluşabilir. Bunu hafifletmek için, kullandığınız polimer için ortalama sıcaklığın daima önerilen sıcaklık aralığında olduğundan emin olunmalıdır. Ayrıca, sıcak noktanın yakınındaki parça geometrisini yeniden tasarlamayı veya işlem koşullarını değiştirmeyi de düşünebilirsiniz. Diferansiyel sıcaklık da üniform olmayan büzülme ve çarpıklığa neden olabilir.

3.2.4. Dolum Sonrasında Katlaşan Bölge Analizi

Doldurma sonucundaki donmuş tabaka fraksiyonu, donmuş tabakanın dolum sonunda kalınlık oranını temsil eder. 0.0 ile 1.0 arasında değişmektedir. Daha yüksek bir değer daha kalın donmuş bir katmanı (veya daha ince akış katmanı) ve daha

yüksek akış direncini gösterir. Sıcaklık geçiş sıcaklığının altına düştüğünde bir polimer donmuş olarak kabul edilir.

Doldurma sırasında, dondurulmuş katman, sürekli akışa sahip alanlar için sabit bir kalınlık sağlamalıdır, çünkü kalıp duvarına gelen ısı kaybı, yukarı akıştan gelen sıcak eriyik ile dengelenir. Akış durduktan sonra, kalınlıktan kaynaklanan ısı kaybı bu alanda tamamen baskındır. Dondurulmuş tabakanın kalınlığında hızlı bir artış meydana gelir.

Dondurulmuş tabaka fraksiyonunun akış direnci üzerinde çok önemli etkileri vardır. Viskozite, düşük sıcaklıkla birlikte özel olarak artar. Akış tabakasının kalınlığı ayrıca donmuş tabakanın kalınlığı arttıkça azalır.

3.3. Analizlerin Değerlendirilmesi

Bu bölümde Taguchi yaklaşımı ile belirlenmiş parametre değerlerinin moldflow programı aracılığı ile analizi yapılacaktır.

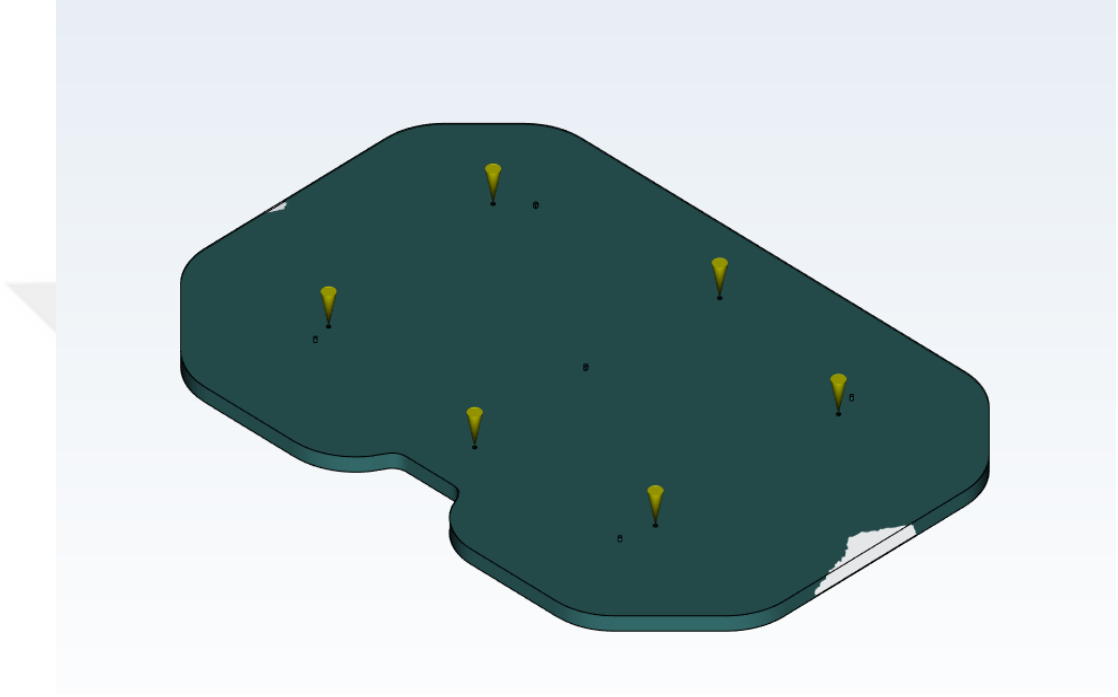
3.3.1. 1 No'lu Analiz

Kalıp sıcaklığı 50 °C, enjeksiyon sıcaklığı 200 °C ve enjeksiyon basıncı 400 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır.

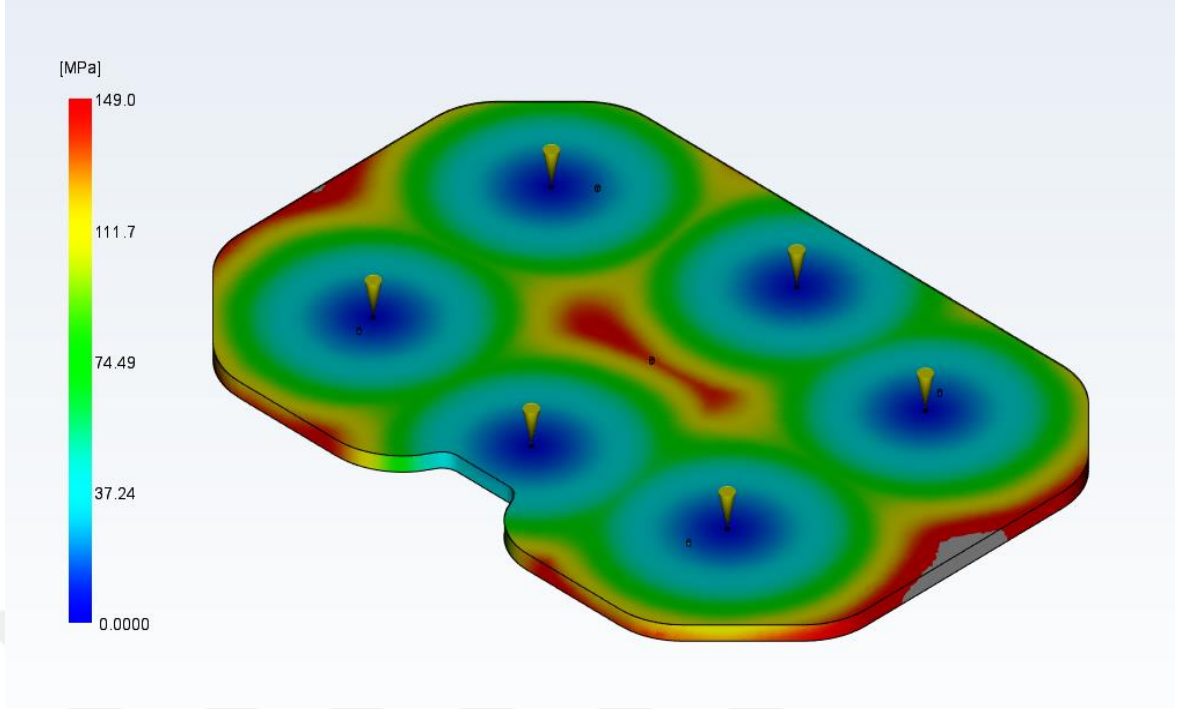
Şekil 3.7. 'de 1 nolu analizin basınç değişim sonucu verilmiştir. Grafikte basınç değişimlerini ifade etmek için renk aralığı kullanılmıştır. Grafikteki renk dağılımı incelendiğinde kırmızı ile renklendirilmiş bölgenin basıncı 149 MPa'dır. Bu basınç değeri üründe meydana gelen en yüksek basınç değeri olup, o bölgede bulunan hammaddenin katılaşp, ergimiş hammadde akışını engellediği için meydana gelmiştir. Bu nedenle kalıp boşluğu şekil 3.6.'da yer alan dolum analizi sonucunda görüldüğü gibi tam dolmamıştır. Yolluk bölgesi çevresinde akışı engelleyen bir unsur bulunmadığından basınç 0 Mpa 'dır. Dengesiz akış sonucu söz konusu ise kritik bölgelerde kaynak izleri ve hava boşlukları oluşabilir, parçada çarpımalara sebebiyet verebilir. Şekil 3.8.'de yer alan ortalama sıcaklık sonucu incelendiğinde ürünün hızlı soğuduğu gözlemlenir. Ürünün kalıp boşluğunun dolumu sırasında hızlı soğuması kalıp boşluğunun tam dolmasını engellediği gibi, üründe kaynak çizgisi oluşumuna neden olur. Şekil 3.9.'da yer alan grafikte dolum sonrasında hemen katılaşan alan verilmiştir. Grafik incelendiğinde ergimiş hammadde yolluktan çıktıktan hemen

sonra belirtilen alanların katılaşmaya başladığı gözlemlenmiştir. Bu durum geri akış meydana gelebileceğinin bir göstergesidir ayrıca parçada tutarsız parça ağırlık bölgeleri oluşabilir.

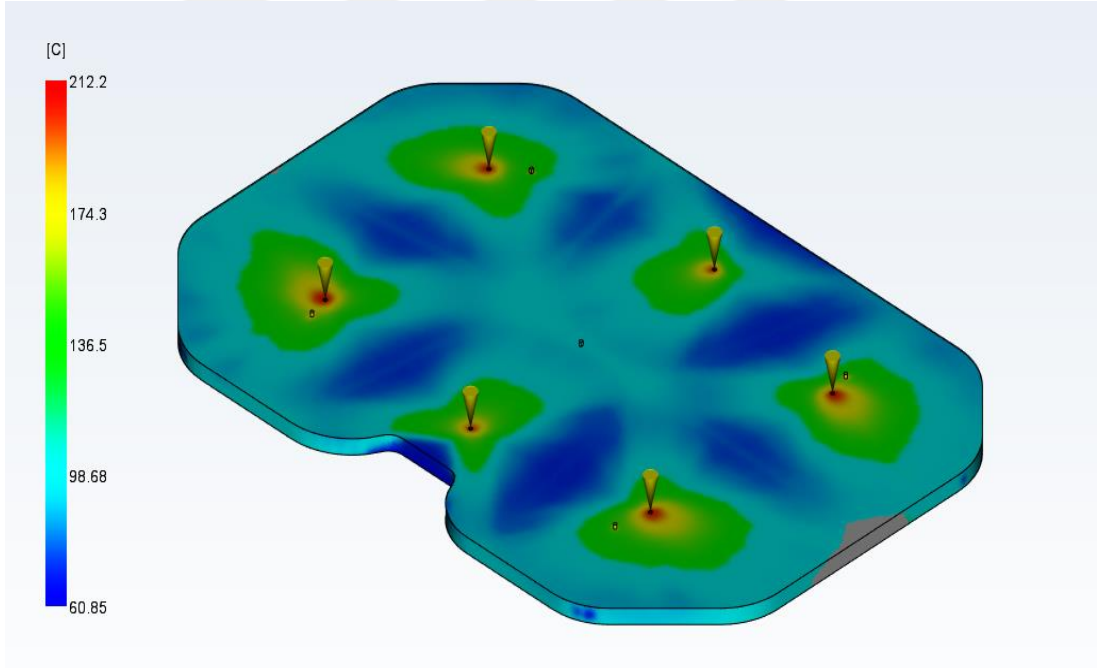
Kalite, kalıp boşluğu tam olarak dolmadığından "Çok Kötü" olarak tanımlanmıştır.



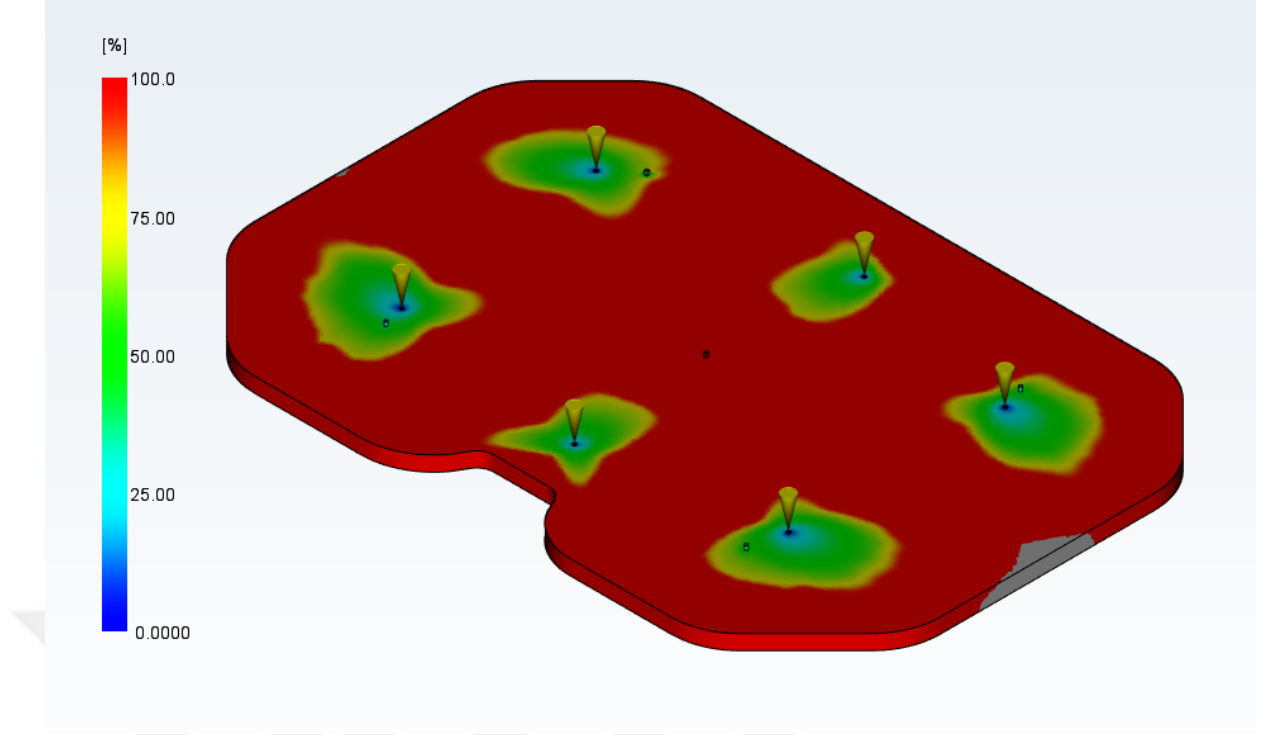
şekil 3. 6. Analiz 1 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 7. Analiz 1 Basınç Değişimi Sonucu

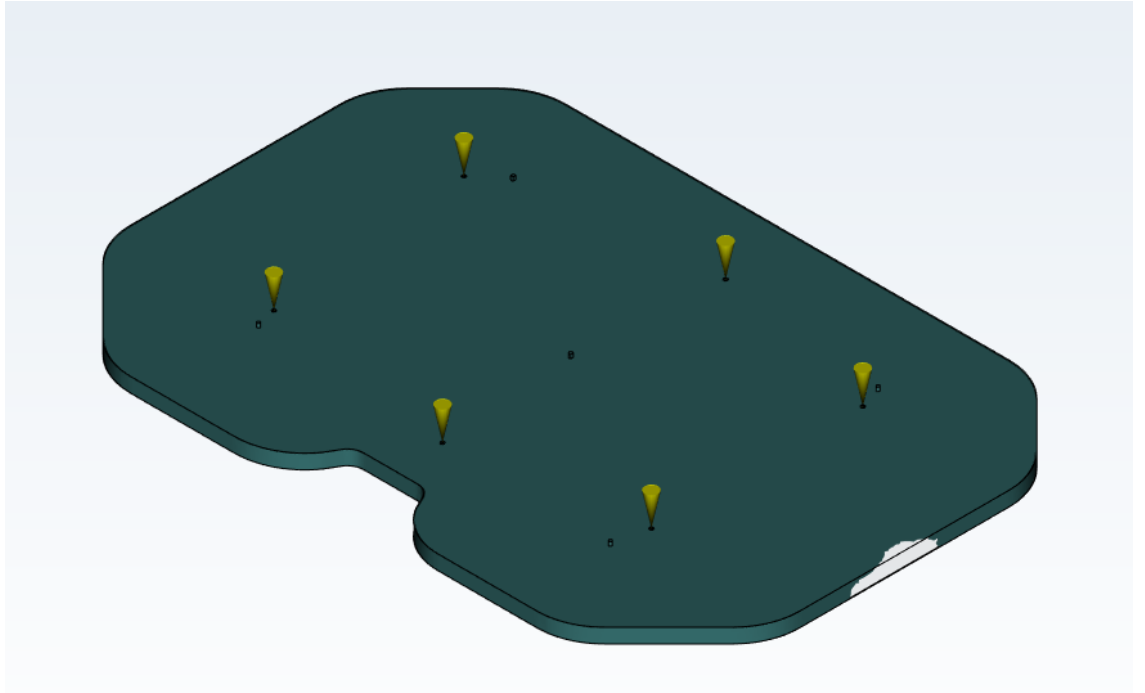


Şekil 3. 8. Analiz 1 Ortalama Sıcaklık Sonucu



Şekil 3. 9. Analiz 1 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu

3.3.2. 2 No'lu Analiz

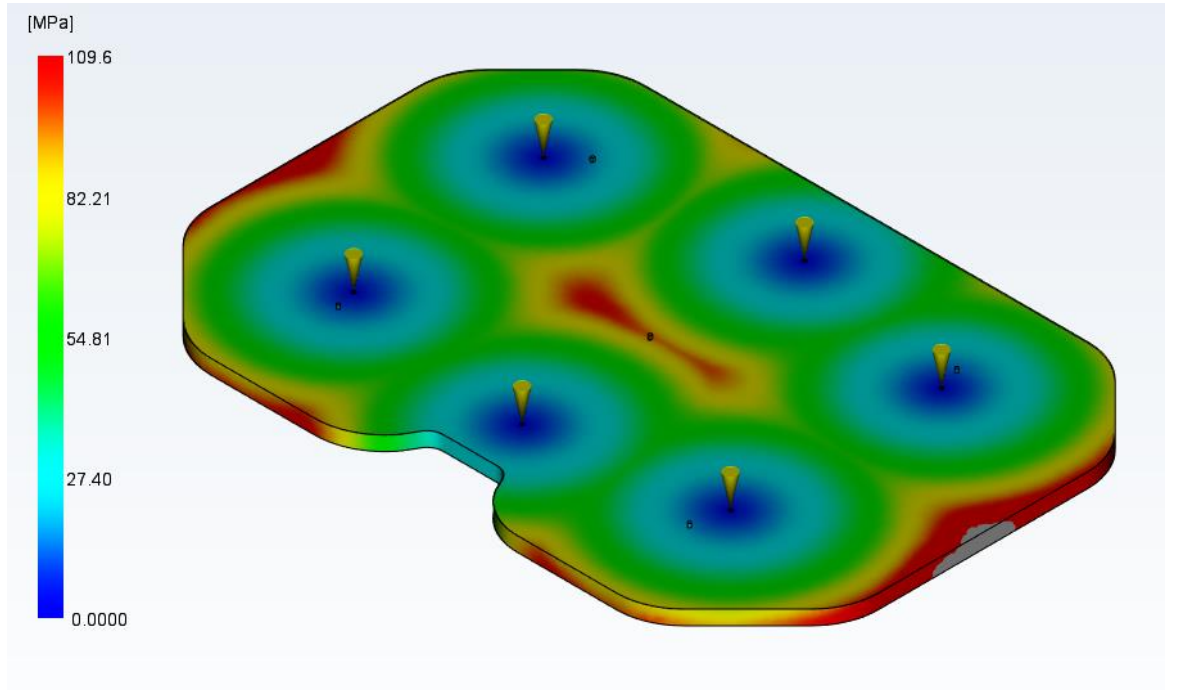


Şekil 3. 10. Analiz 2 Dolum Analizi Sonucu

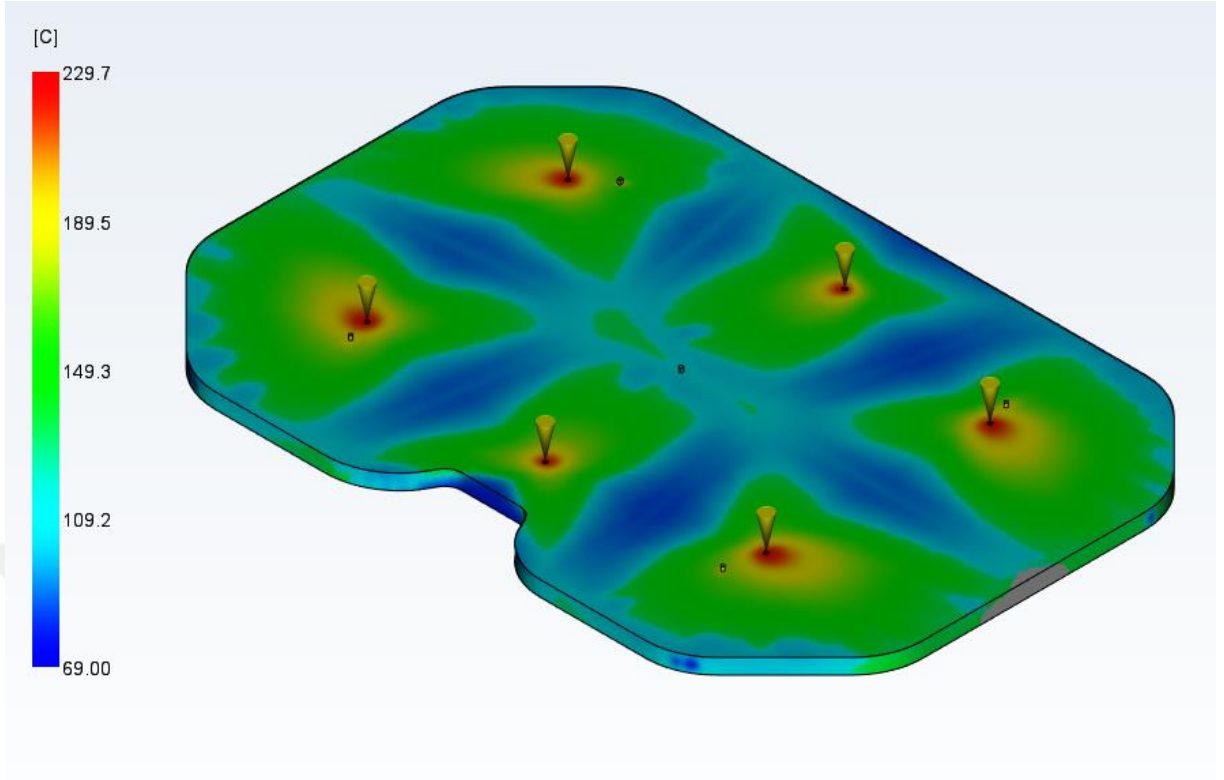
Kalıp sıcaklığı 50 °C, enjeksiyon sıcaklığı 220 °C ve enjeksiyon basıncı 600 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır.

Şekil 3.11' deki basınç değişimi sonucu incelendiğinde üründe oluşan en yüksek değerin kırmızı renkle ifade edilen 109.6 MPa olduğu görülür. En yüksek basınç değerine kalıp boşluğunu tam doldurmadan meydana gelmesi kalıp boşluğunun tam dolmadığı anlamına gelir. Bu durum şekil 3.10' da görülebilir. Şekil 3.10 incelendiğinde kalıp boşluğunun tam dolmadığı gözlenir. Şekil 3.12. 'de yer alan ürünün ortalama sıcaklığı incelendiğinde ürünün kaynak bölgelerinde soğumanın hızlı olduğu gözlemlenir. Bu tür durumlarda üründe kaynak çizgisi meydana gelebilir. Şekil 3.13 'de yer alan dolum sonrasında katılaştığı bölgelerin ifade edildiği grafik incelendiğinde ise kırmızı ile belirtilmiş alanların %100 oranında katılaştığı gözlemlenmiştir. Bu durum kalıp boşluğunun tam olarak dolmasını engelleyebilir. Enjeksiyon basıncı arttırmak, eriyik sıcaklığını arttırarak akışkanın viskozitesini düşürmek veya enjeksiyon zamanını arttırmak doğabilecek problemleri çözebilir.

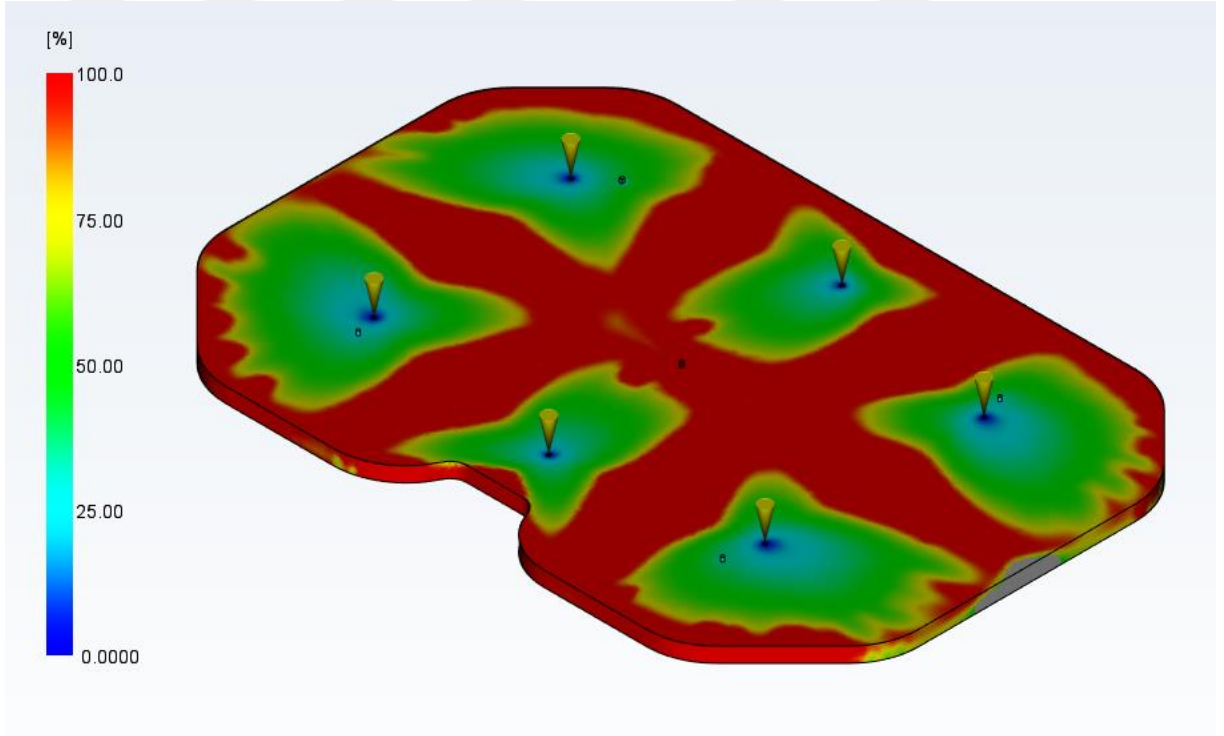
Kalıp boşluğu 1 numaralı analize göre daha fazla dolduğu için ancak yine de tam dolum sağlanamadığı için kalite "Kötü" olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3. 11. Analiz 2 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 12. Analiz 2 Ortalama Sıcaklık Sonucu



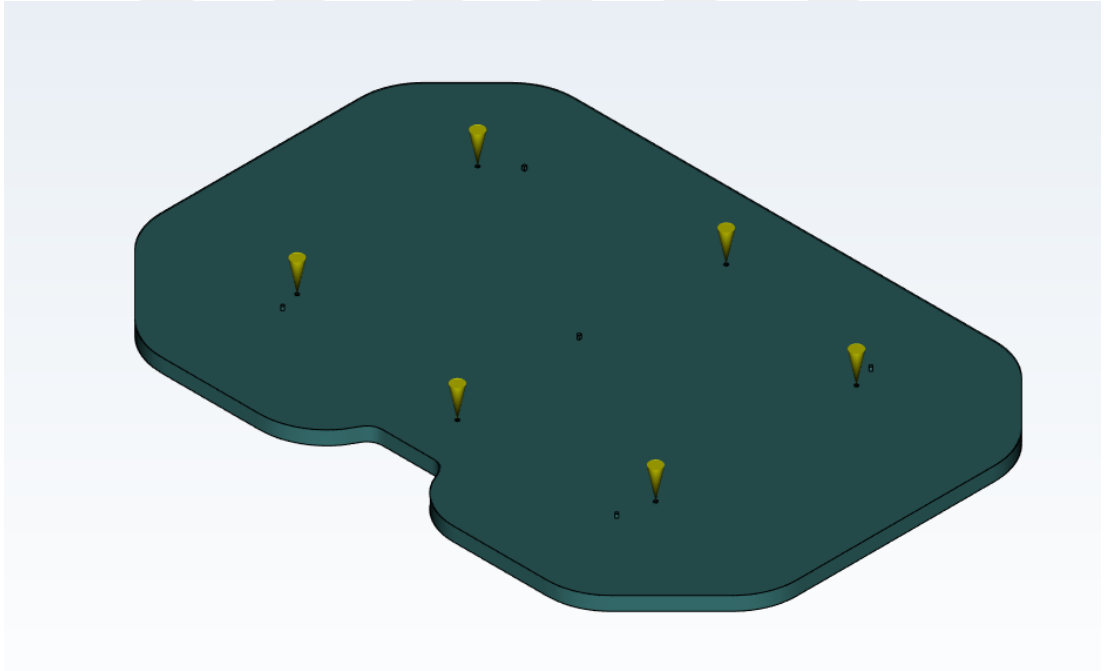
Şekil 3. 13. Analiz 2 Dolum Sonrasında Hemen Katılaşılan Alan Sonucu

3.3.3. 3 No'lu Analiz

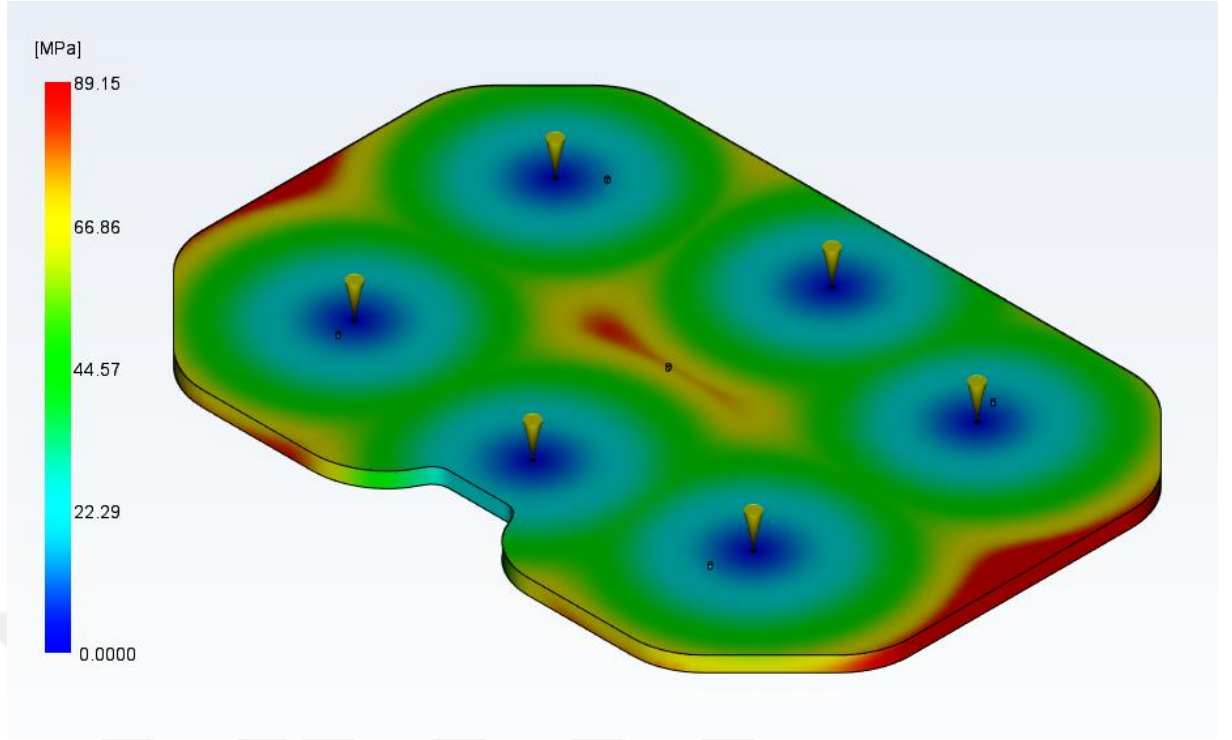
Kalıp sıcaklığı 50 °C, enjeksiyon sıcaklığı 260 °C ve enjeksiyon basıncı 800 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır.

Şekil 3.14' de yer alan dolum analizi incelendiğinde polimer akışkanın kalıp boşluğunun tam olarak 7.51 sn'de dolduğu gözlemlenmiştir. Şekil 9.15' de yer alan basınç değişimi grafiği incelendiğinde üründe basınç en yüksek değer olan 89.18Mpa değerine kaynak noktalarında ve diğer analizlerde dolmayan bölgelerde olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.16' da yer alan ürünün ortalama sıcaklık grafiği incelendiğinde yeşil ile belirlenmiş ortalama sıcaklık değeri olan 182.6 °C 'nin üründe hakim olduğu görülmüştür. Şekil 3.17' de yer alan dolum sonrası katılaştıran bölgeleri ifade eden grafikte katılma gözlemlenmemiştir. Bu durum dolumun sağlıklı bir şekilde meydana geldiğini ifade eder.

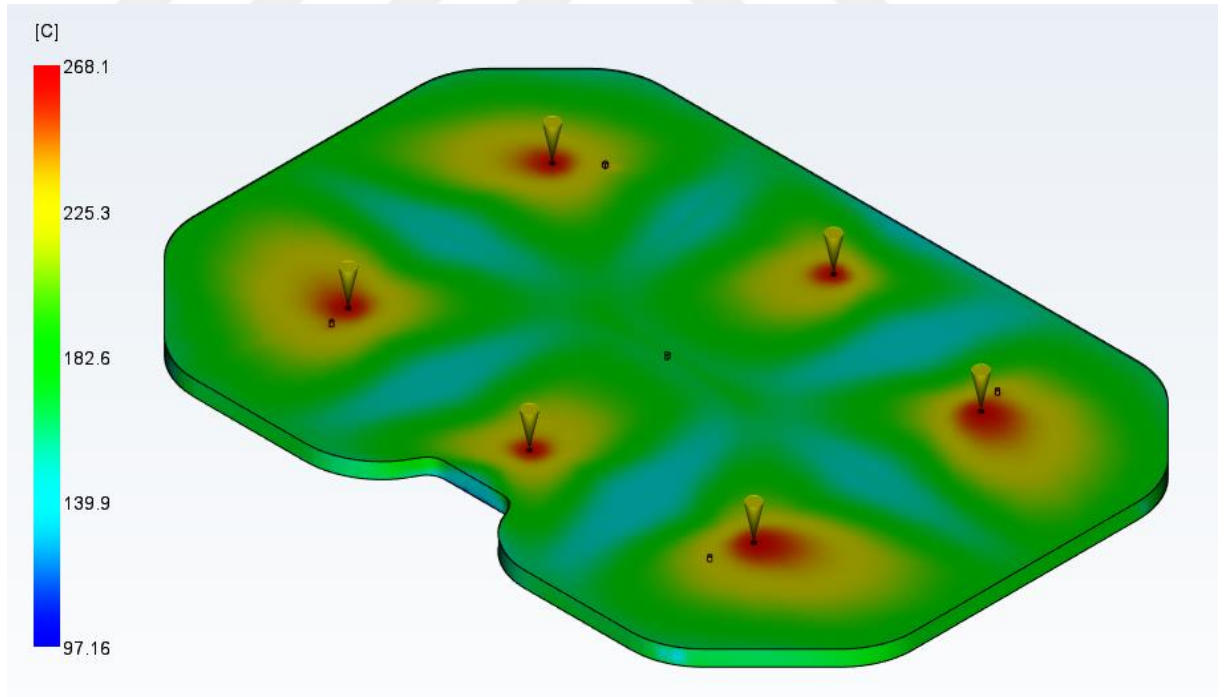
Dolum sağlıklı bir şekilde tamamlandığı için kalite "Normal" olarak tanımlanır.



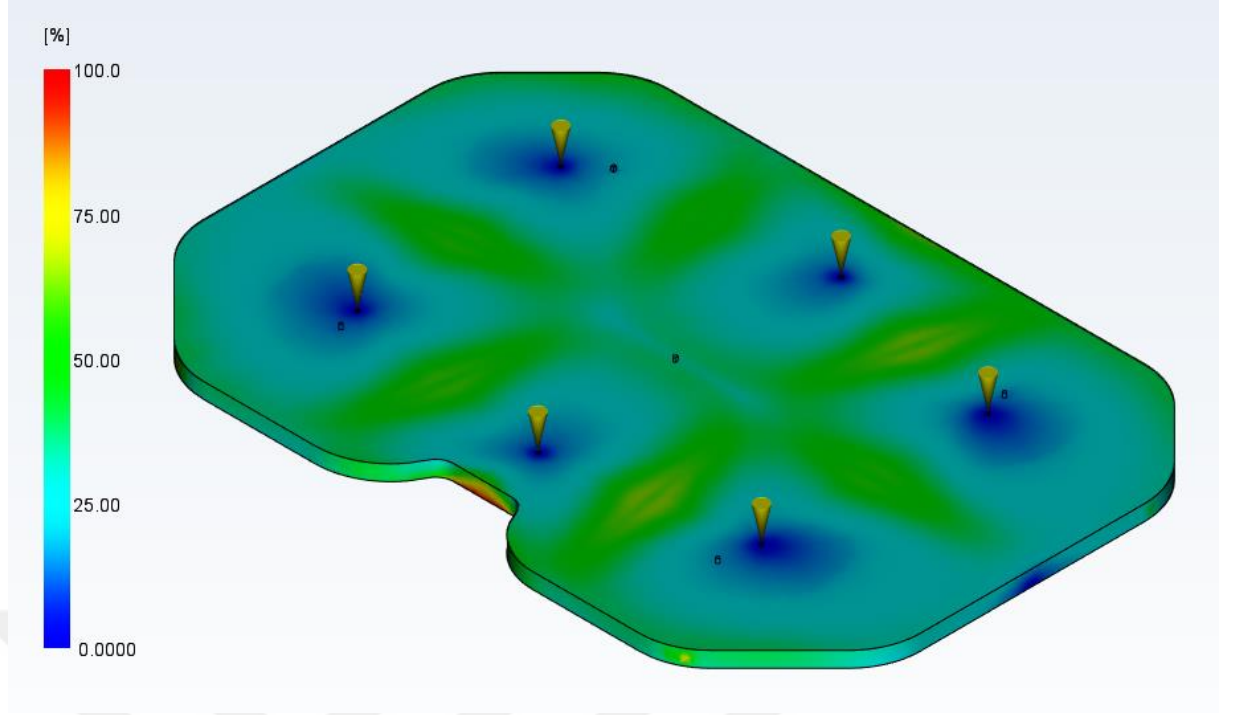
Şekil 3. 14. Analiz 3 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 15. Analiz 3 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 16. Analiz 3 Ortalama Sıcaklık Sonucu



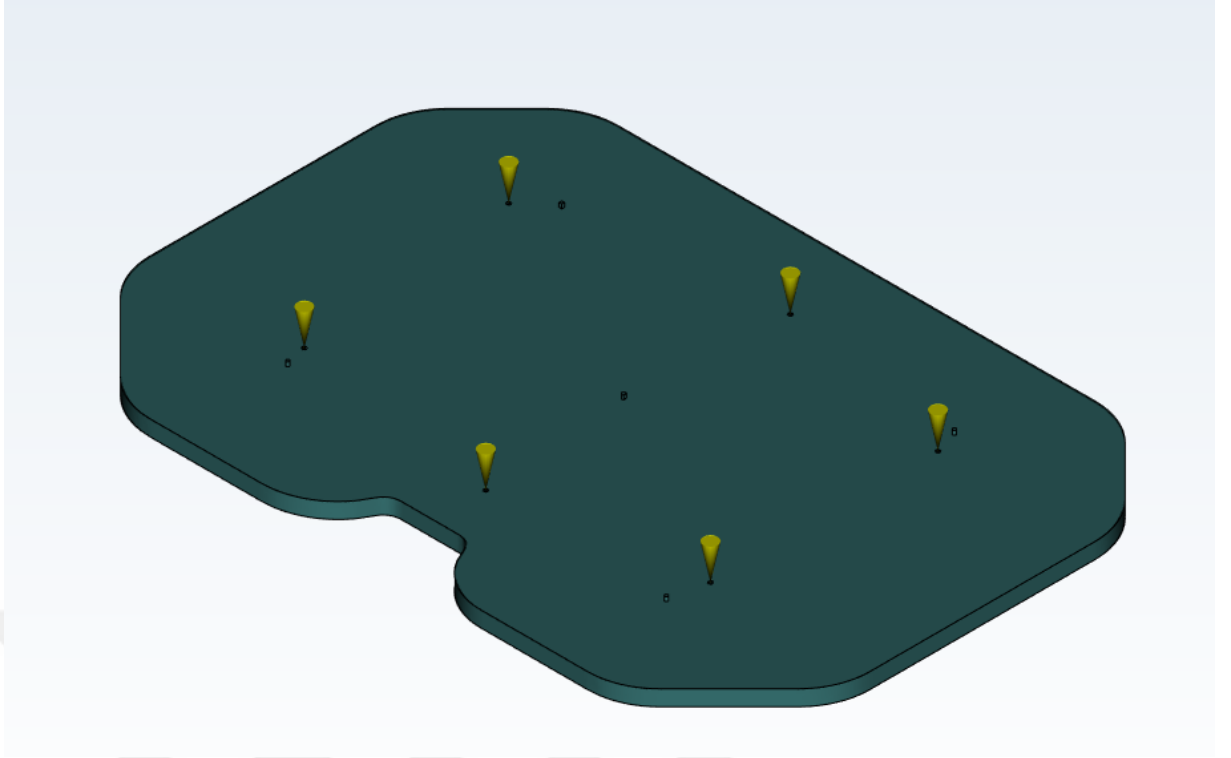
Şekil 3. 17. Analiz 3 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu

3.3.4. 4 No'lu Analiz

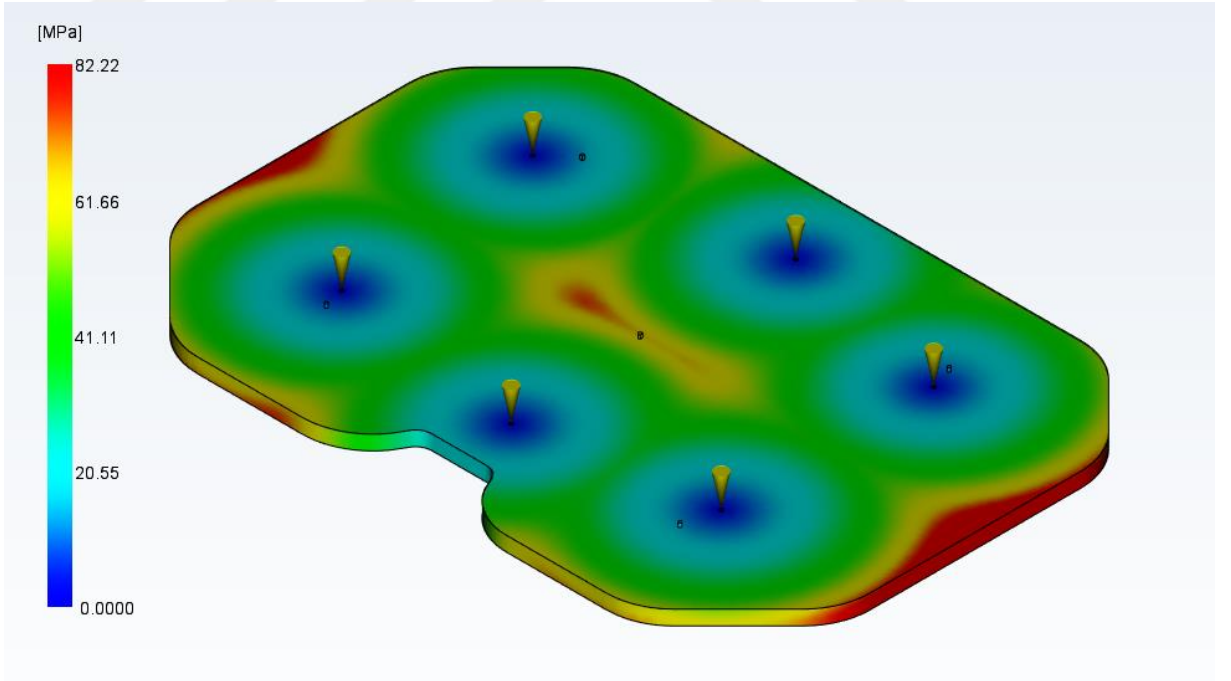
Kalıp sıcaklığı 50 °C, enjeksiyon sıcaklığı 280 °C ve enjeksiyon basıncı 1200 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır.

Şekil 3.18 de dolum analizi incelendiğinde polimer akışkanın kalıp boşluğunu tam olarak 7.23 sn'de dolmuştur. Şekil 3.19 'da yer alan basınç değişimi incelendiğinde en yüksek basınç kalıp boşluğunun bitimine yakın yerde meydana gelmiş ve 82.22 MPa değerindedir. Şekil 3.20' de yer alan ortalama sıcaklık sonucu incelendiğinde ortalama sıcaklık değerinin 216.6 °C olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.21'de yer alan dolum sonrasında katılaştan alan incelendiğinde tam katılaştmanın kalıp boşluğunun tam bittiği yerde meydana geldiği görülmüştür. Ancak bu durum ergimiş polimer akışını engellemediği için kalıp boşluğunun dolmasını engellememiştir.

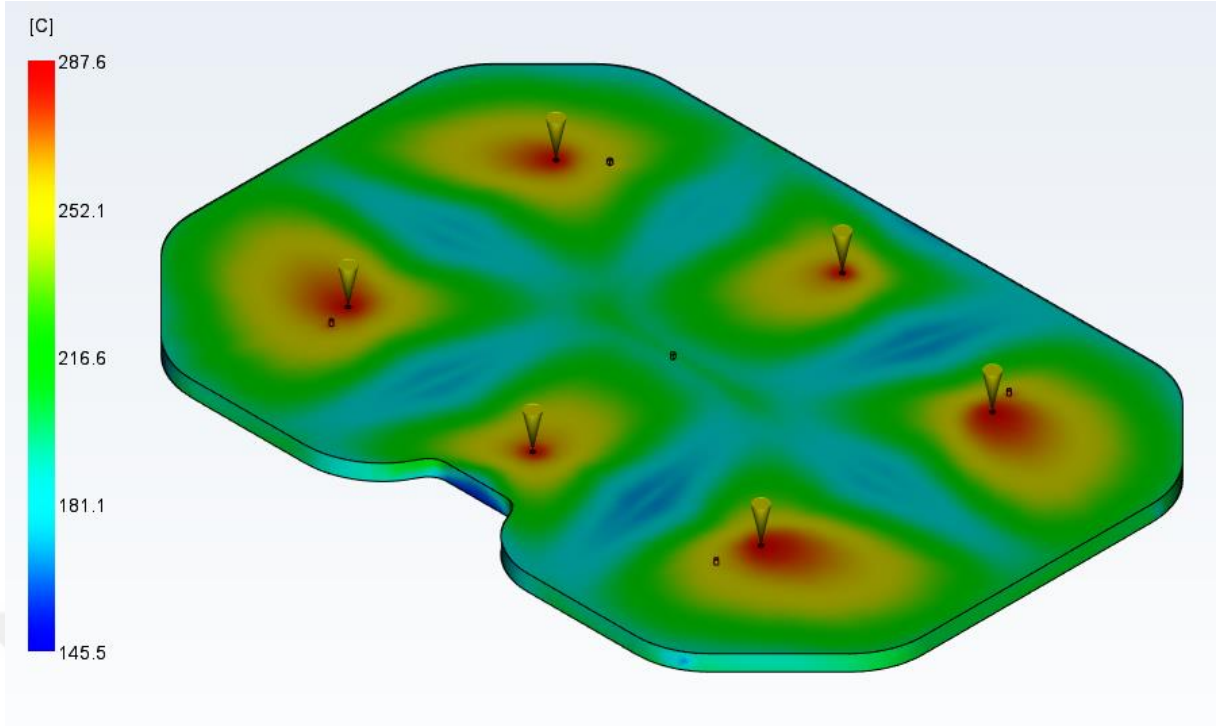
Dolum sağlıklı bir şekilde tamamlandığı için kalite "Normal" olarak tanımlanır.



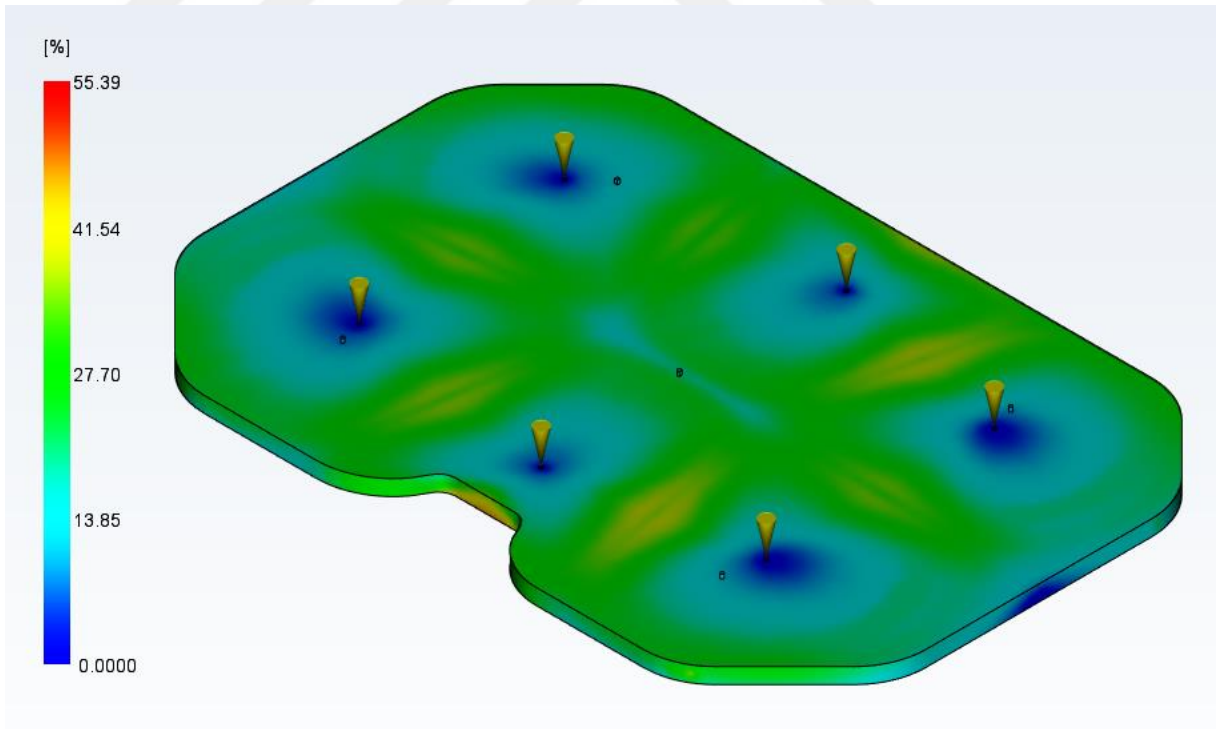
Şekil 3. 18. Analiz 4 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 19. Analiz 4 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 20. Analiz 4 Ortalama Sıcaklık Sonucu



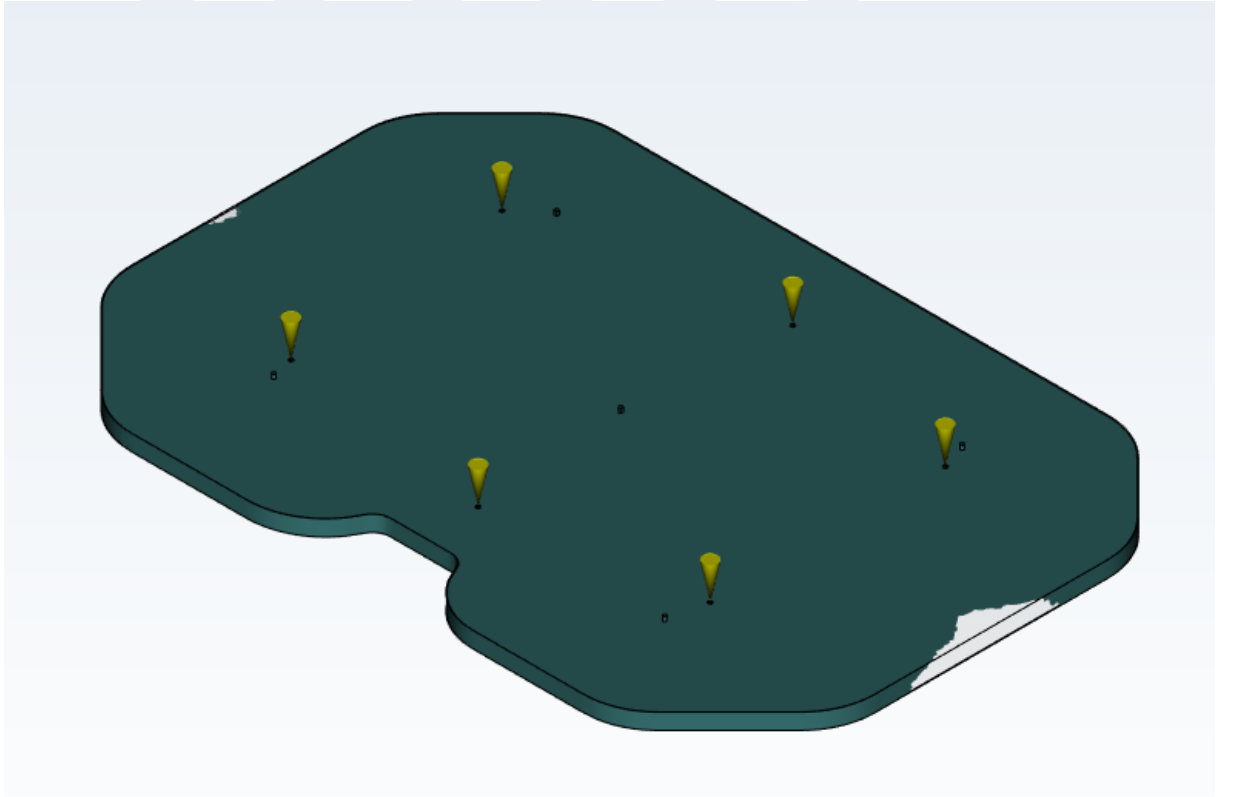
Şekil 3. 21. Analiz 4 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu

3.3.5. 5 No'lu Analiz

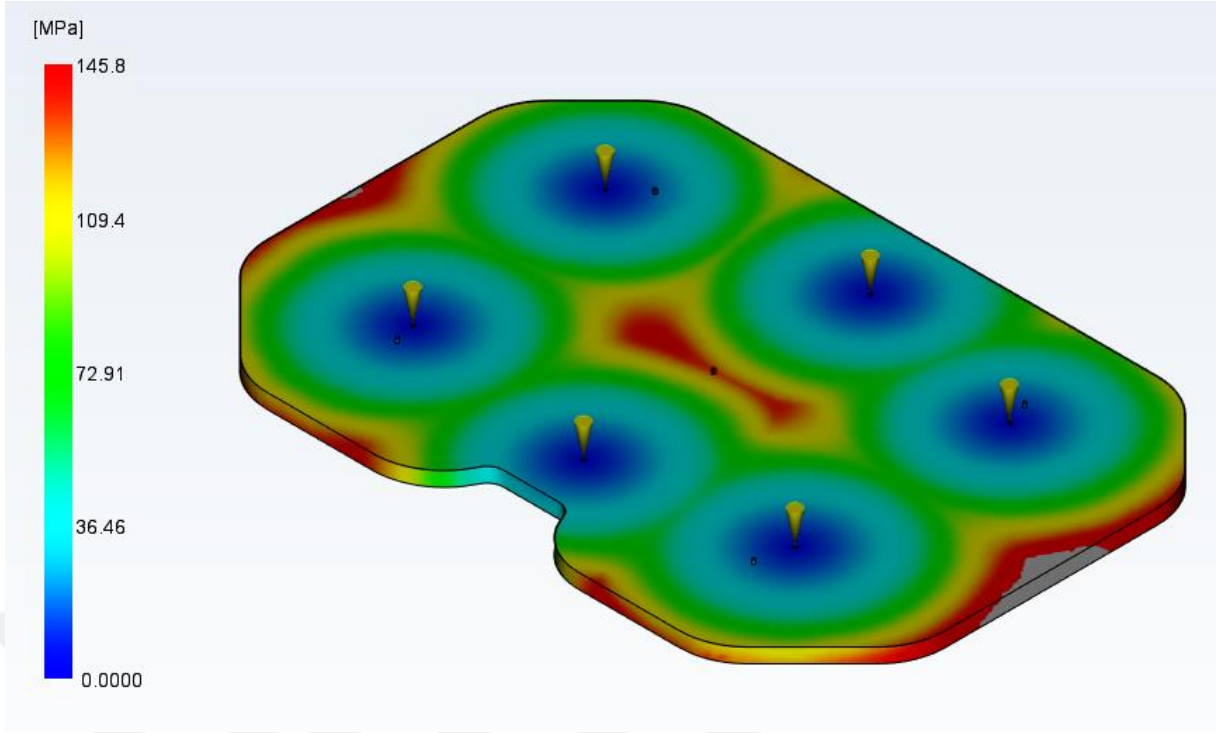
Kalıp sıcaklığı 60 °C, enjeksiyon sıcaklığı 200 °C ve enjeksiyon basıncı 600 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır

Şekil 3.23'de yer alan grafik incelendiğinde kalıpta en yüksek basınç olan 145.8 MPa değerine kalıp boşluğu tam dolmadan ulaşılmıştır. Bu durum hammaddenin kalıp içinde dolaşırken erken soğumasından kaynaklanır. Bu durumda şekil 9.22 'de görüldüğü gibi tam dolmaz. Şekil 3.24'de ortalama sıcaklığı gösteren tablo incelendiğinde üründe soğumanın hızlı meydana geldiği görülmüştür. Ürünün ortalama sıcaklığı 141.2 °C 'dir. Yolluktan en yüksek değerde çıkan akışkan, yolluk çevresinde en düşük değere ulaşmıştır. Bu durum şekil 3.25' de görüldüğü gibi kalıp boşluğu tam dolmadan akışkanın katılaşmasına neden olmuştur.

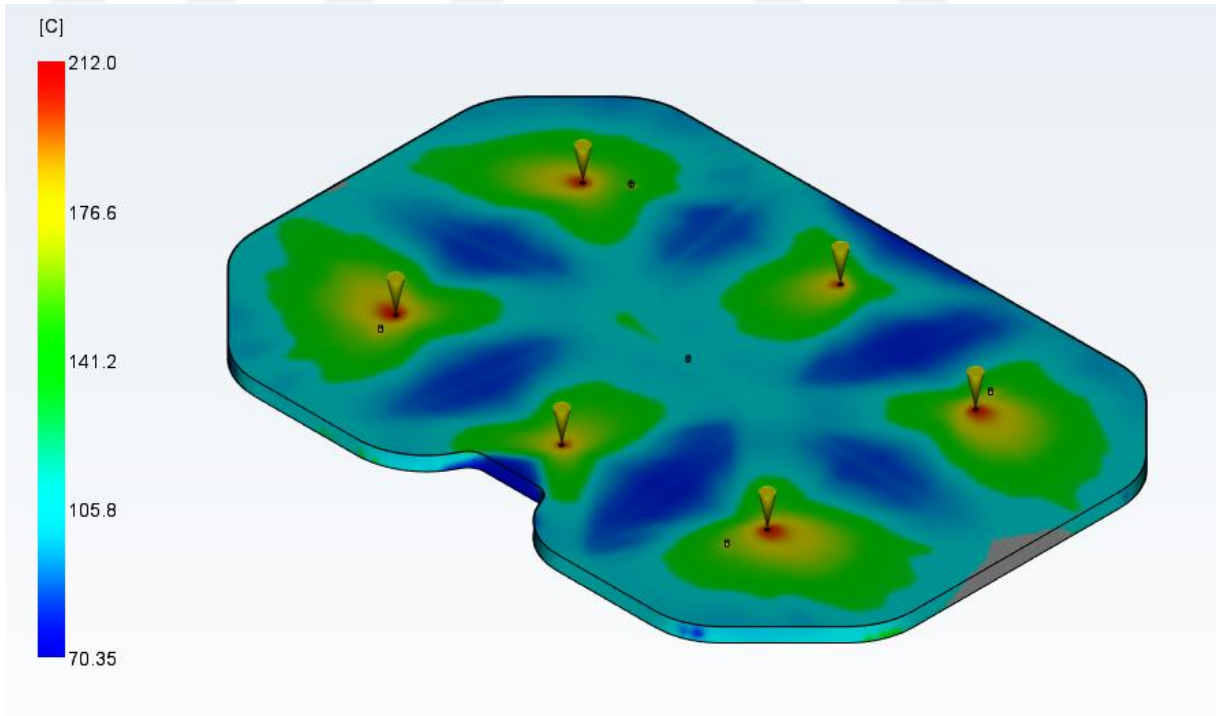
Kalite, kalıp boşluğu tam olarak dolmadığından "Çok Kötü" olarak tanımlanmıştır.



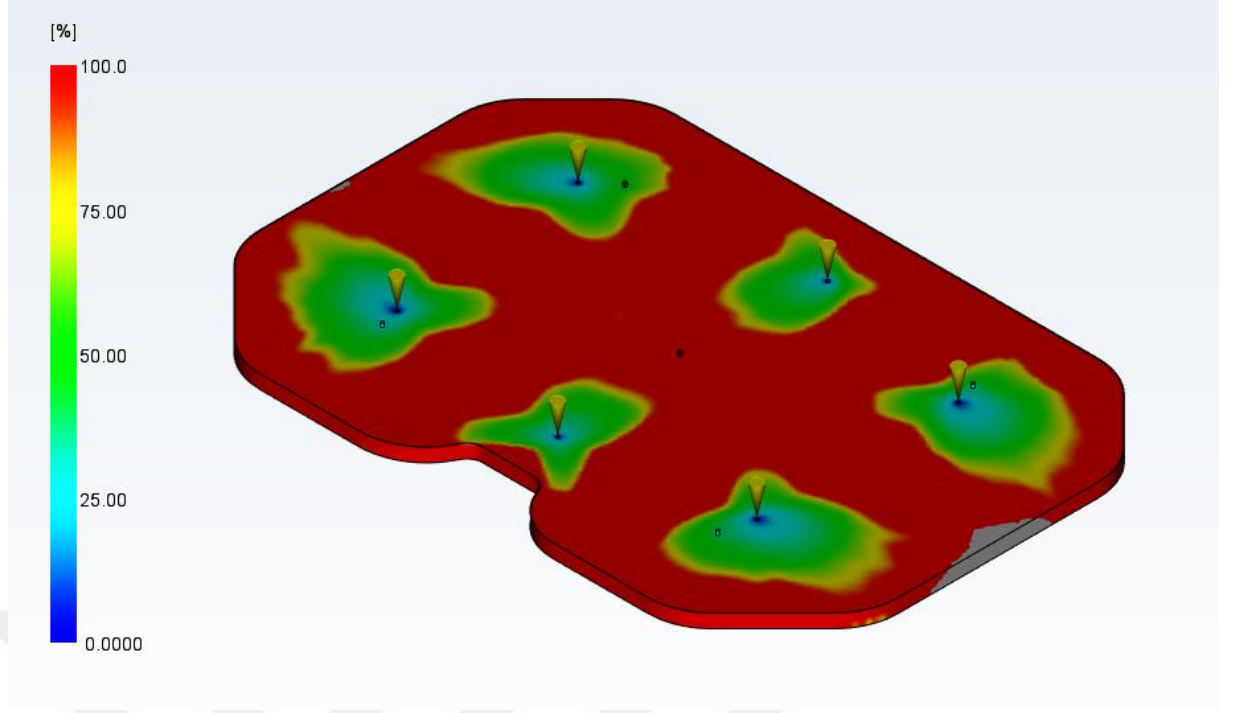
Şekil 3. 22. Analiz 5 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 23. Analiz 5 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 24. Analiz 5 Ortalama Sıcaklık Sonucu



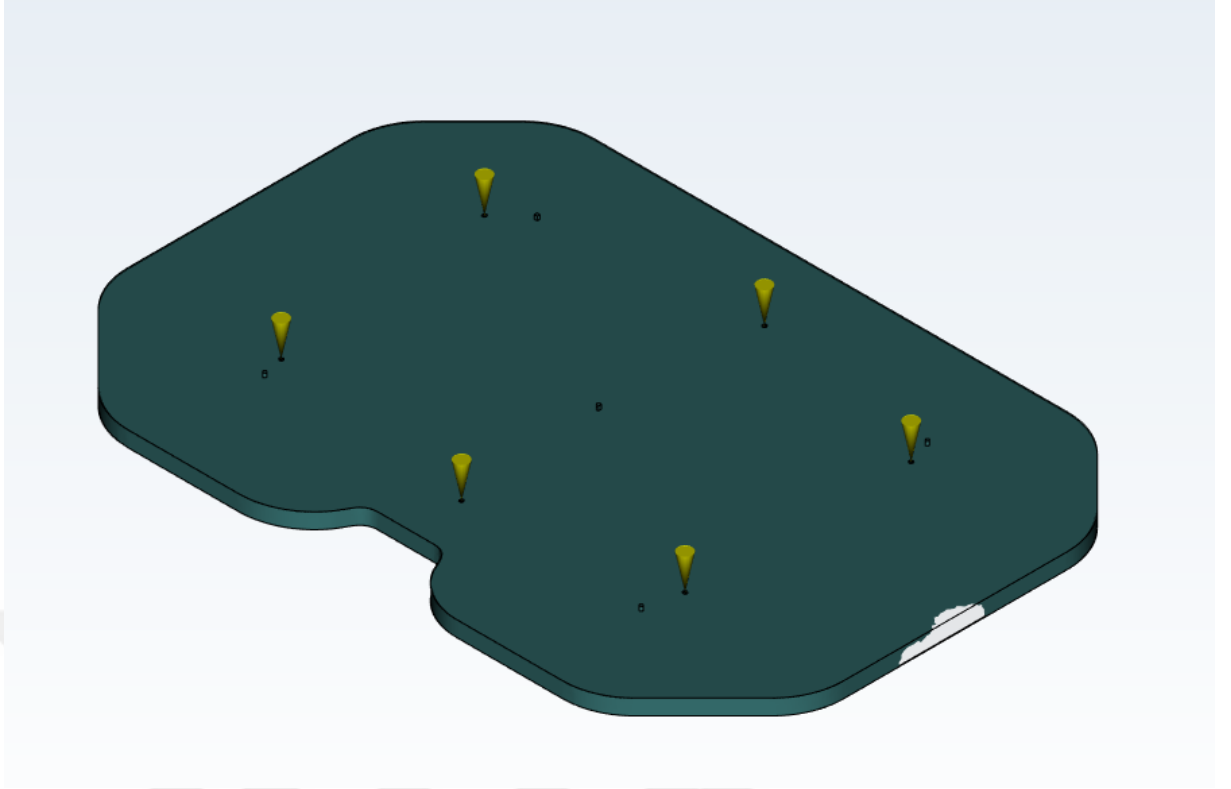
Şekil 3. 25. Analiz 5 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştıran Alan Sonucu

3.3.6. 6 No'lu Analiz

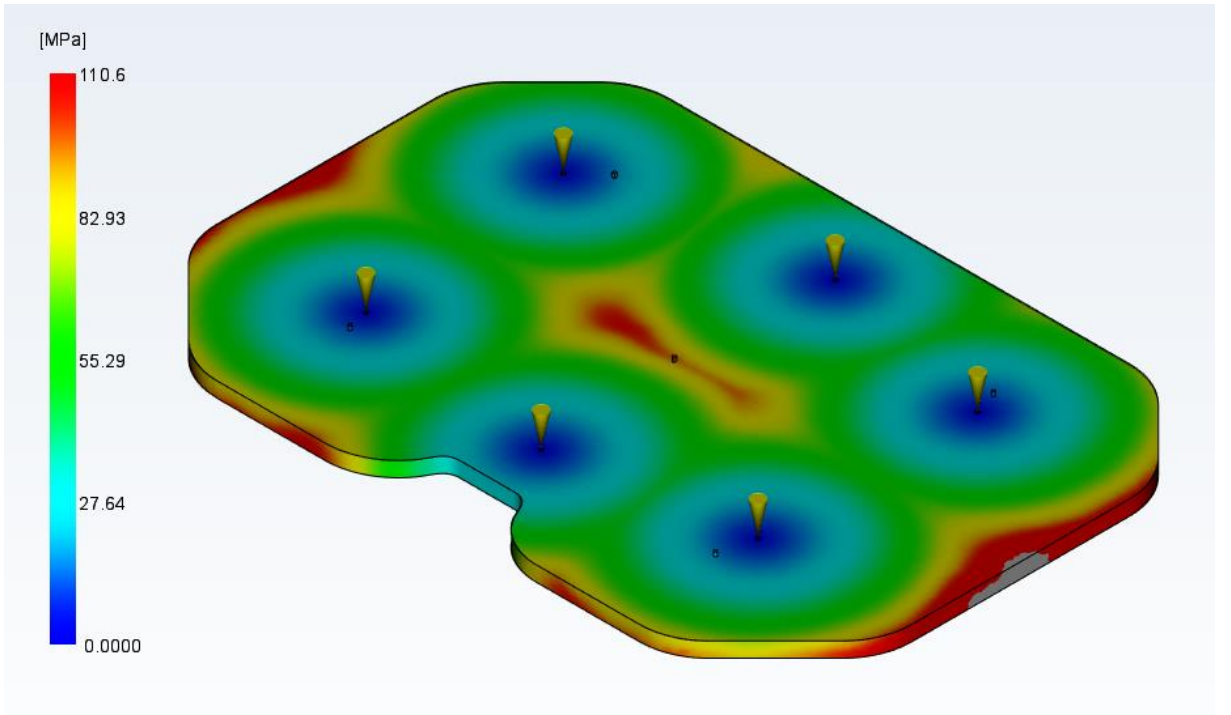
Kalıp sıcaklığı 60 °C, enjeksiyon sıcaklığı 220 °C ve enjeksiyon basıncı 400 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır

Şekil 3.27' de ki basınç değişimi sonucu incelendiğinde üründe oluşan en yüksek değerin kırmızı renkle ifade edilen 110.6 MPa olduğu görülmüştür. En yüksek basınç değerine kalıp boşluğunu tam doldurmadan meydana gelmesi kalıp boşluğunun tam dolmadığı anlamına gelir. Bu durum şekil 3.26' da görülebilir. Şekil 3.28.'de yer alan ürünün ortalama sıcaklığı incelendiğinde ürünün kaynak bölgelerinde soğumanın hızlı olduğu gözlemlenir. Bu tür durumlarda üründe kaynak çizgisi meydana gelebilir. Şekil 3.29 'da yer alan dolum sonrasında katılaştıran bölgelerin ifade edildiği grafik incelendiğinde ise kırmızı ile belirtilmiş alanların %100 oranında katılaştığı gözlemlenmiştir. Bu durum kalıp boşluğunun tam olarak dolmasını engelleyebilir.

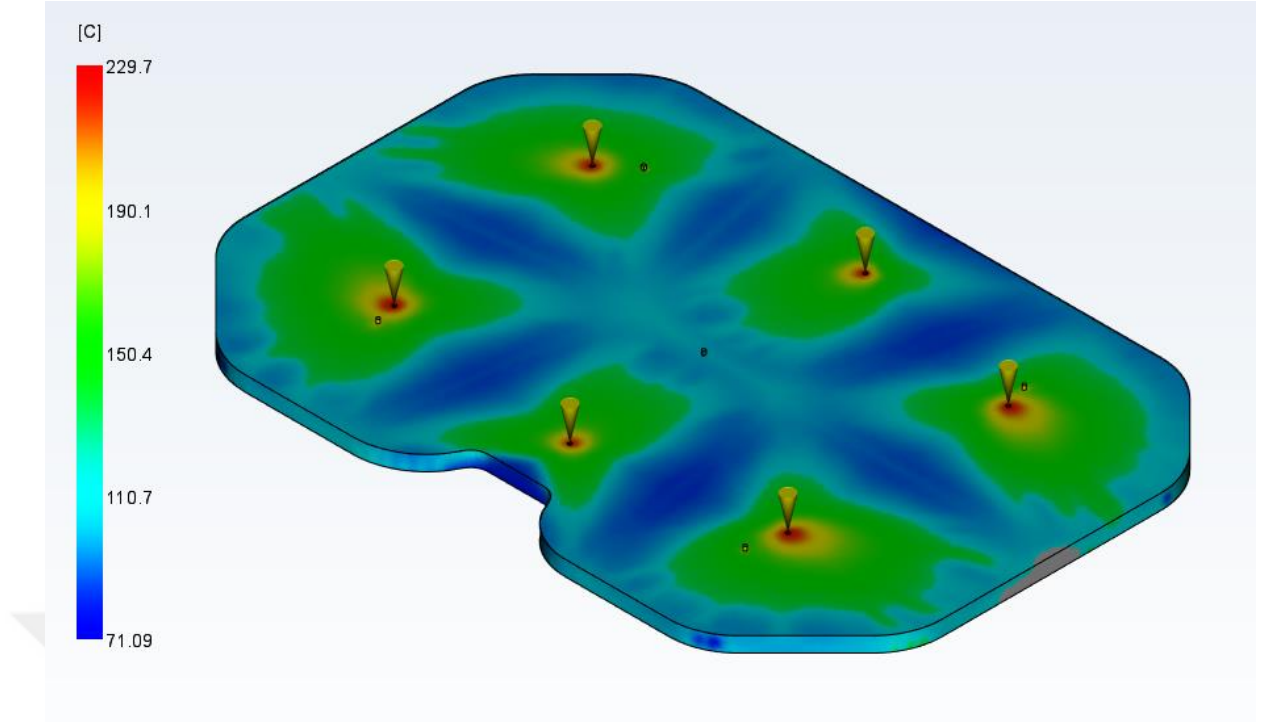
Kalıp boşluğu 1, 5 ve 13 numaralı analizlere göre daha fazla dolduğu için ancak yine de tam dolum sağlanamadığı için kalite "Kötü" olarak tanımlanmıştır.



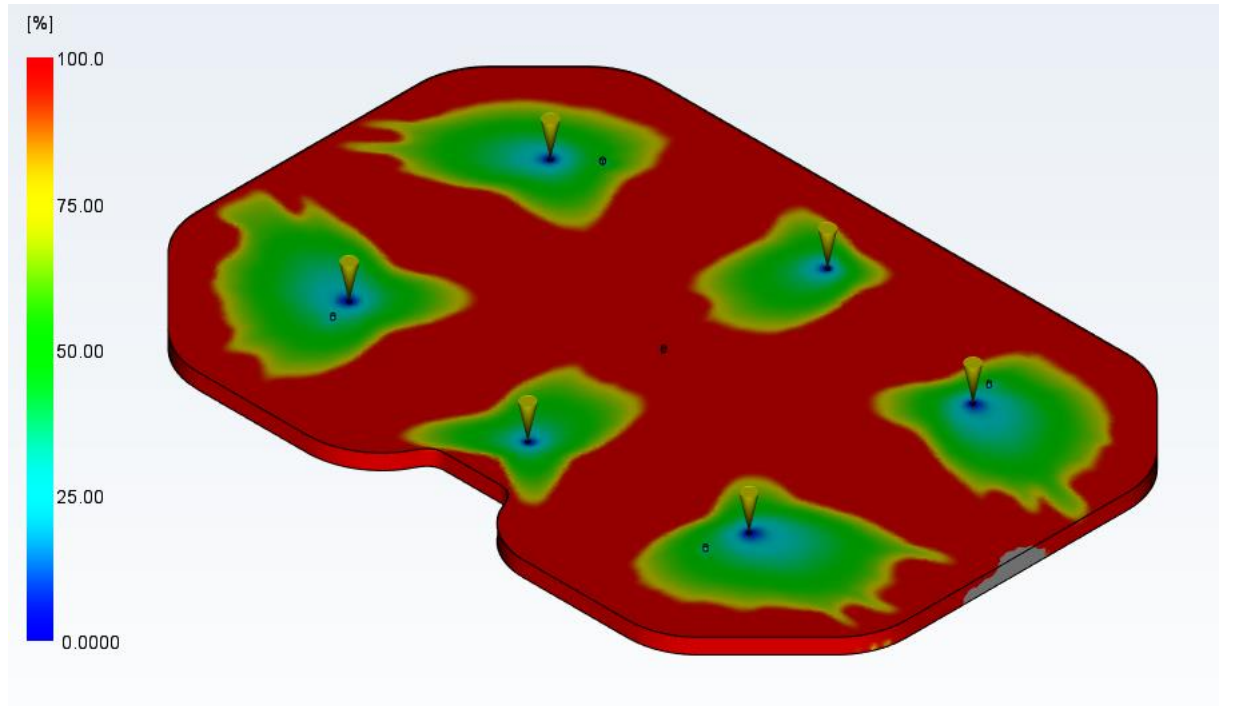
Şekil 3. 26. Analiz 6 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 27. Analiz 6 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 28. Analiz 6 Ortalama Sıcaklık Sonucu



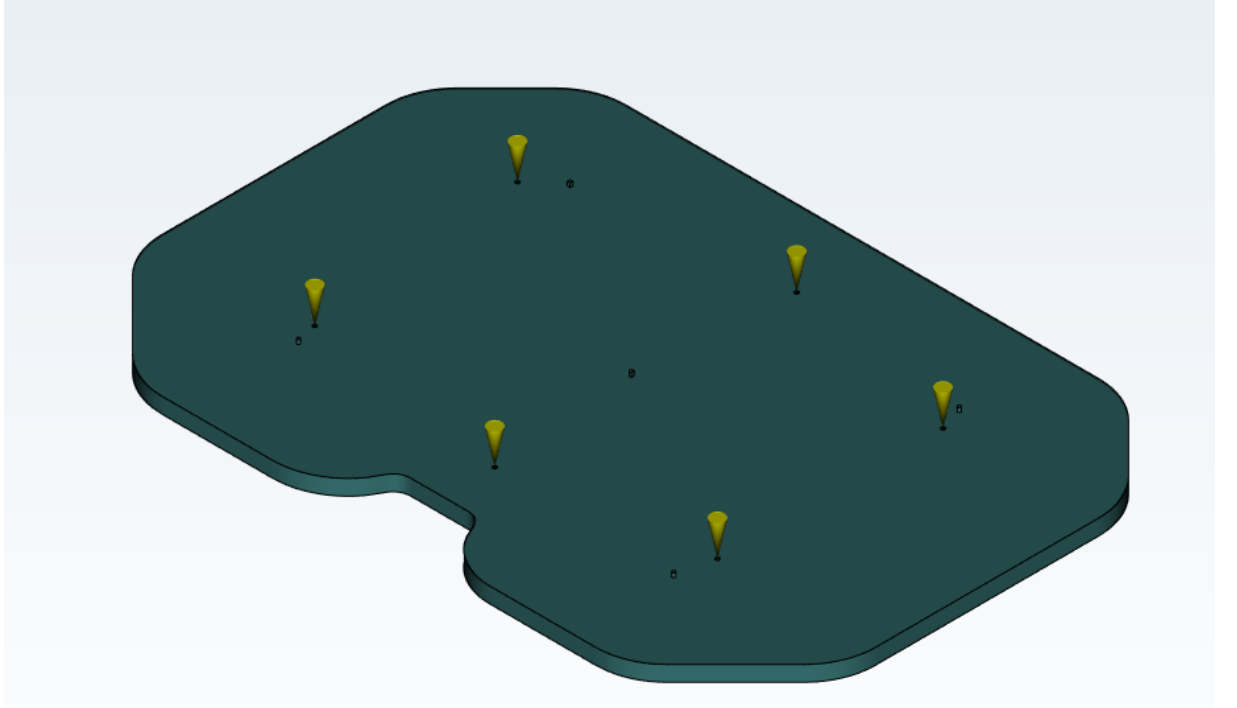
Şekil 3. 29. Analiz 6 Dolum Sonrasında Hemen Katılan Alan Sonucu

3.3.7. 7 Nolu Analiz

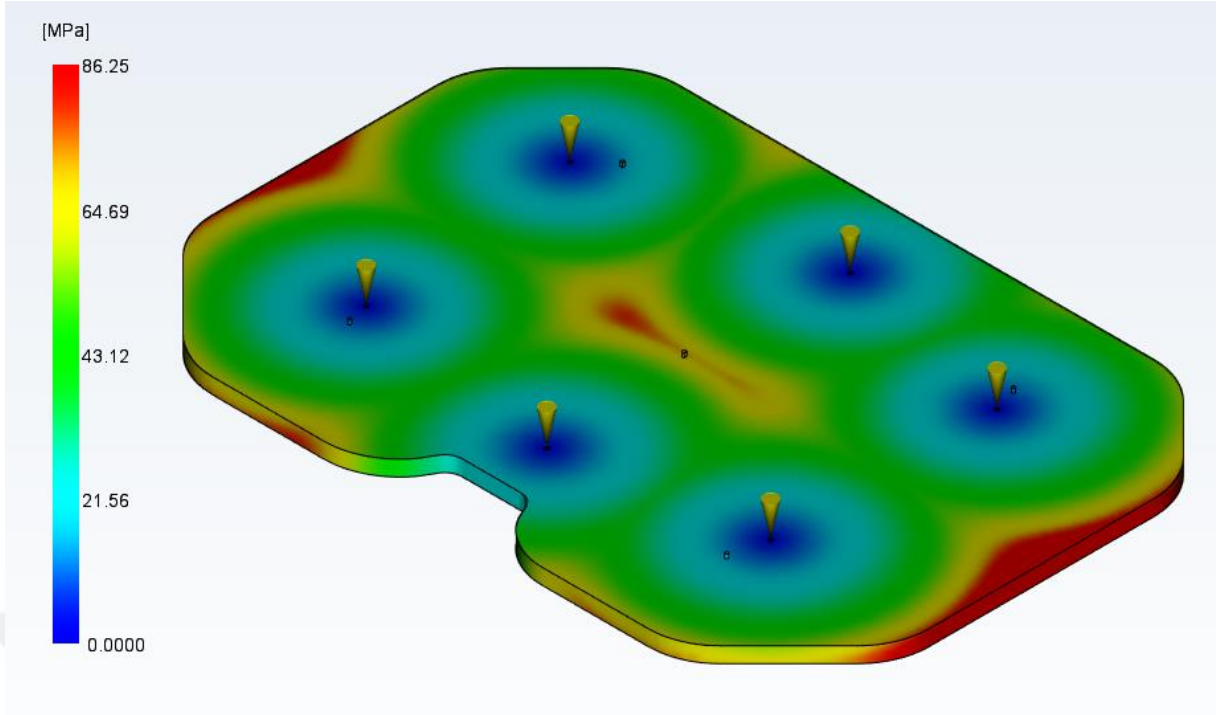
Kalıp sıcaklığı 60 °C, enjeksiyon sıcaklığı 260 °C ve enjeksiyon basıncı 1200 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır

Şekil 3.30 'da dolum analizi incelendiğinde polimer akışkanın kalıp boşluğunu tam olarak 7.49 sn'de doldurduğu görülmüştür. Şekil 9.31' de yer alan basınç değişimi incelendiğinde en yüksek basınç kalıp boşluğunun bitimine yakın yerde meydana gelmiş ve 110.6 MPa değerindedir. Şekil 39.32' de yer alan ortalama sıcaklık sonucu incelendiğinde ortalama sıcaklık değerinin 150.4 °C olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.33' de yer alan dolum sonrasında katılaştıran alan incelendiğinde tam katılaştıranın kalıp boşluğunun tam bittiği yerde meydana geldiği görülmüştür. Ancak bu durum ergimiş polimer akışını engellemediği için kalıp boşluğunun dolmasını engellememiştir.

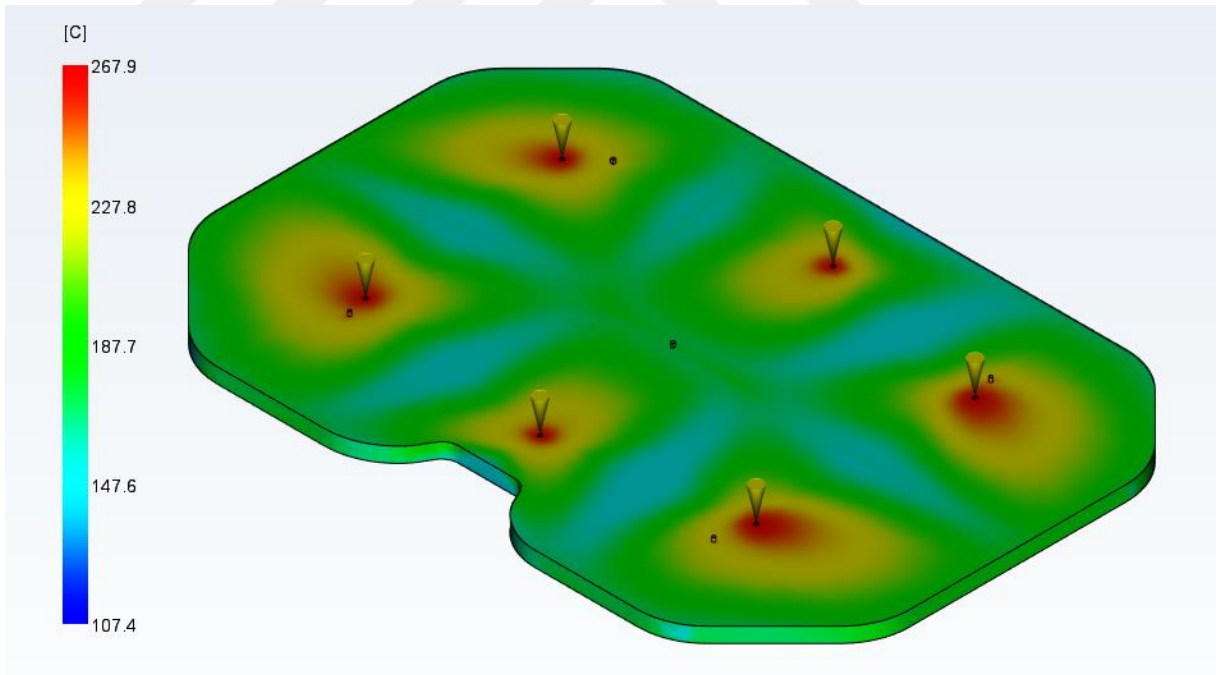
Dolum sağlıklı bir şekilde tamamlandığı için kalite "Normal" olarak tanımlanır.



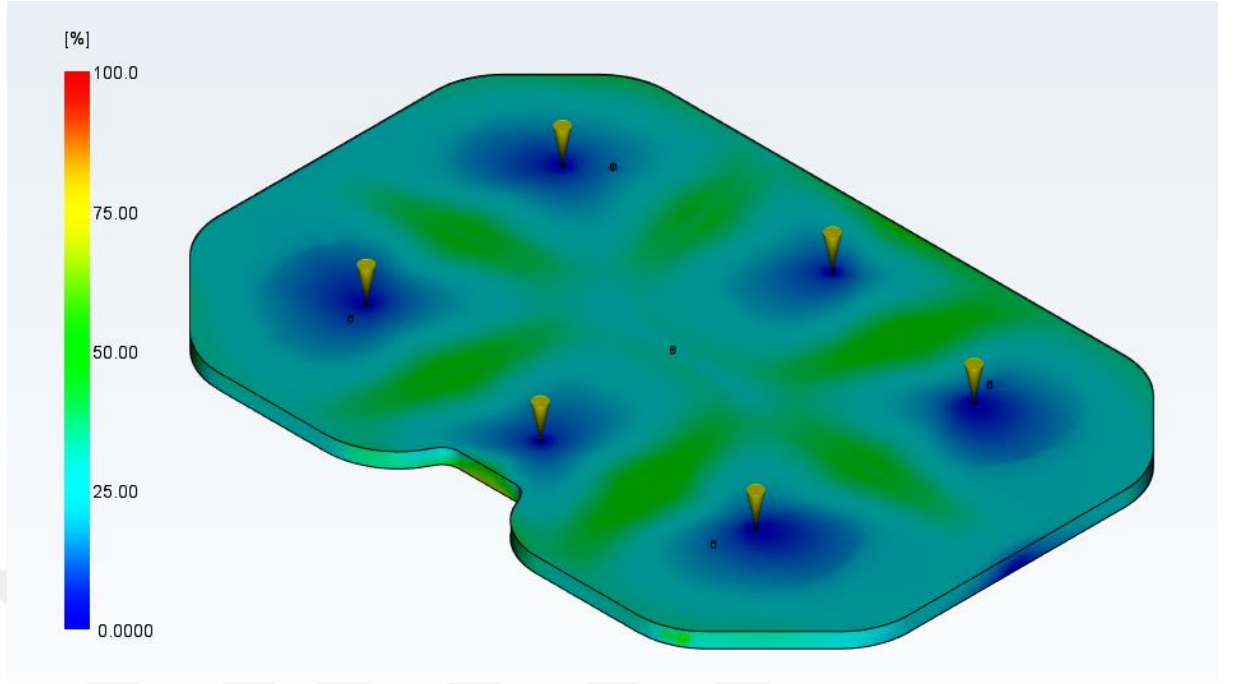
Şekil 3. 30. Analiz 7 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 31. Analiz 7 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 32. Analiz 7 Ortalama Sıcaklık Sonucu



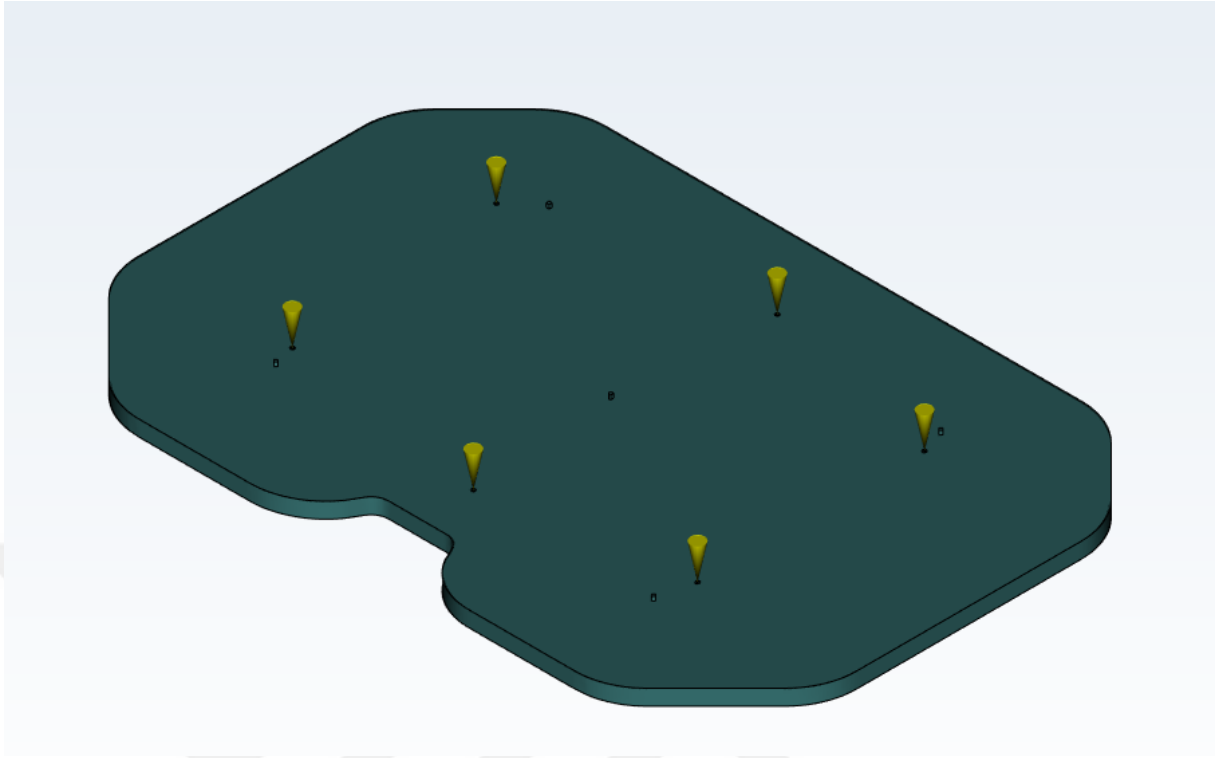
Şekil 3. 33. Analiz 7 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu

3.3.8. 8 No'lu Analiz

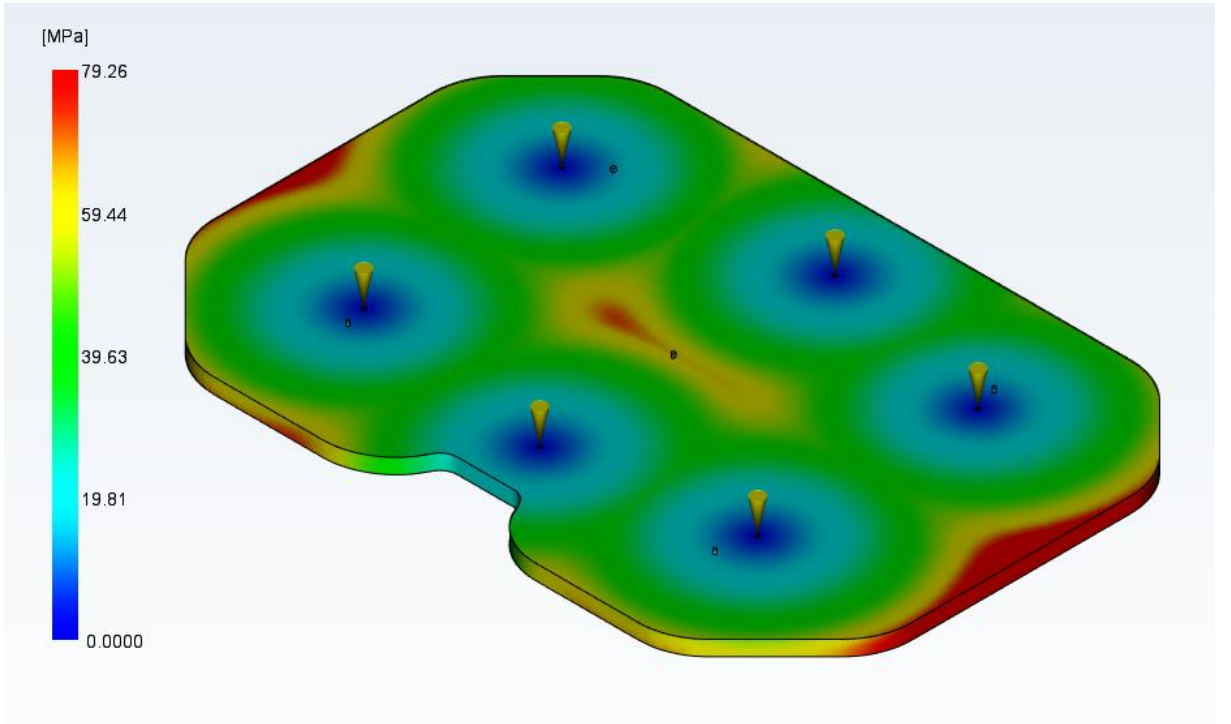
Kalıp sıcaklığı 60 °C, enjeksiyon sıcaklığı 280 °C ve enjeksiyon basıncı 800 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır

Şekil 3.34' de yer alan dolum analizi incelendiğinde polimer akışkanın kalıp boşluğunun tam olarak 7.49 sn'de dolduğu gözlemlenmiştir.Şekil 3.35' de yer alan basınç değişimi grafiği incelendiğinde üründe basınç en yüksek değer olan 79.26 MPa değerine kaynak noktalarında ve diğer analizlerde dolmayan bölgelerde olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.36' da yer alan ürünün ortalama sıcaklık grafiği incelendiğinde yeşil ile belirlenmiş ortalama sıcaklık değeri olan 219.4 °C 'nin üründe hakim olduğu görülmüştür. Şekil 3.37' de yer alan dolum sonrası katılaştan bölgeleri ifade eden grafikte katılma gözlemlenmemiştir. Bu durum dolumun sağlıklı bir şekilde meydana geldiğini ifade eder.

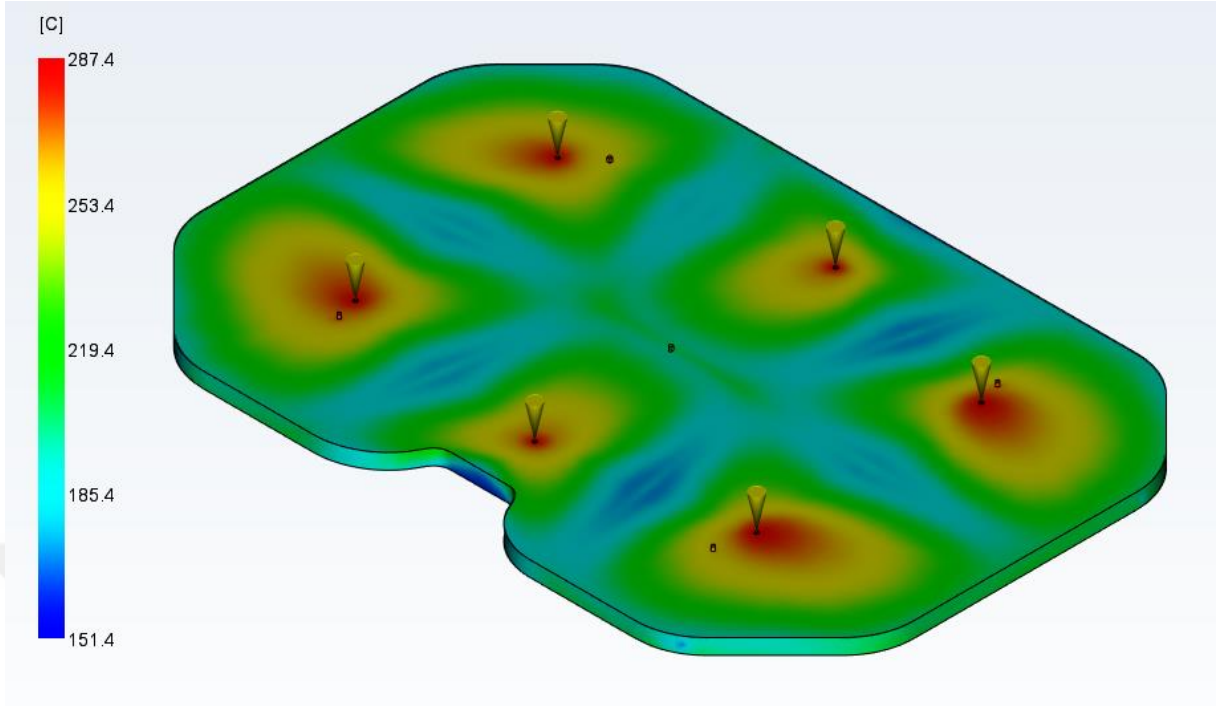
Dolum sırasında kalıp boşluğu tam olarak dolduğu için kalite " Normal" olarak tanımlanır.



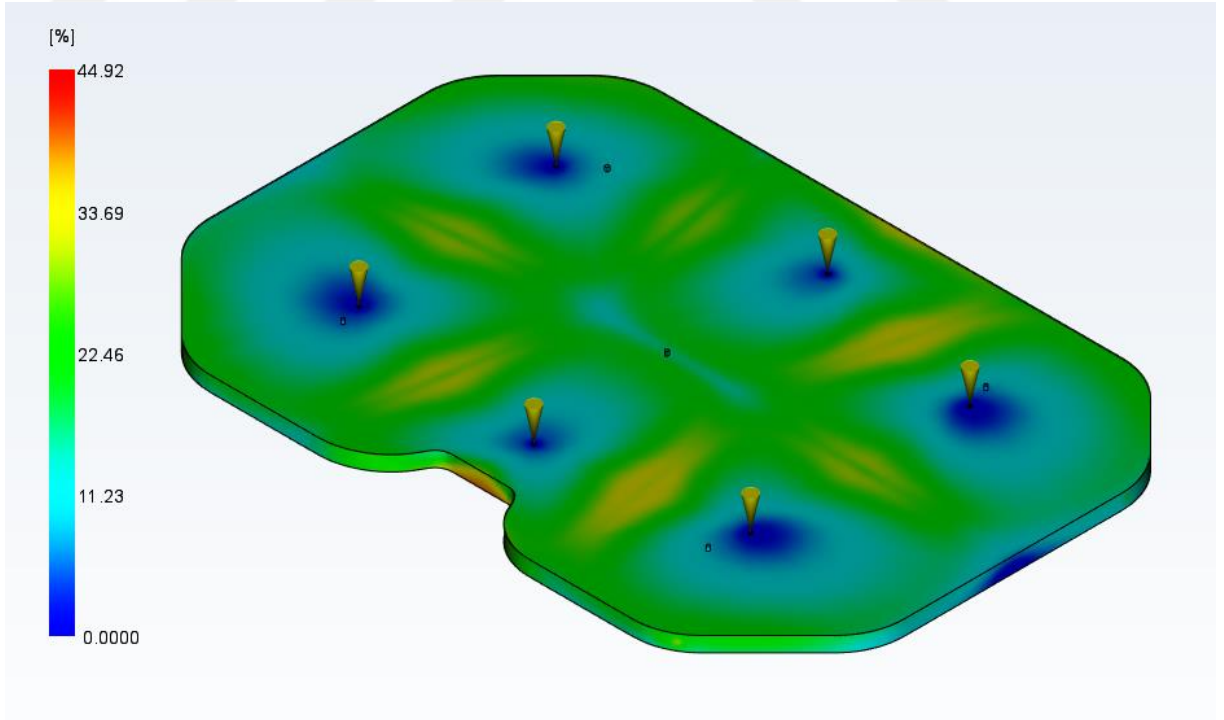
Şekil 3. 34. Analiz 8 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 35. Analiz 8 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 36. Analiz 8 Ortalama Sıcaklık Sonucu



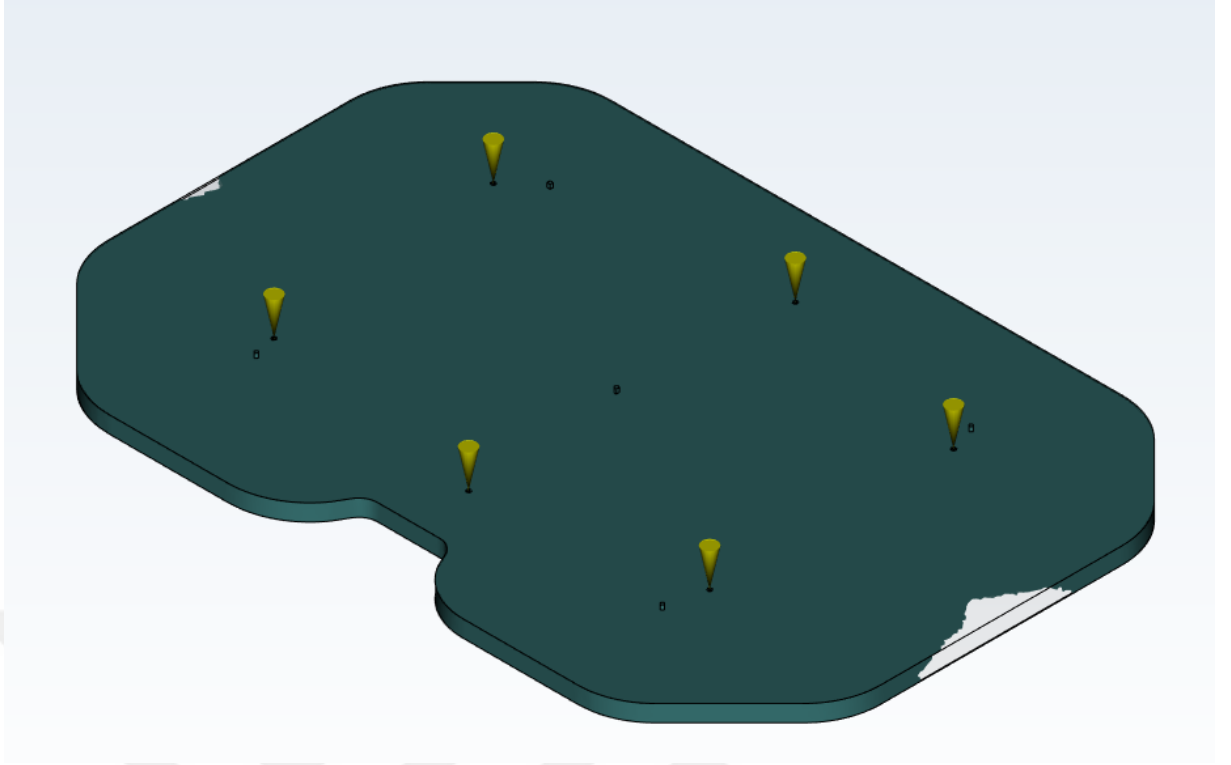
Şekil 3. 37. Analiz 8 Dolum Sonrasında Hemen Katılan Alan Sonucu

3.3.9. 9 No'lu Analiz

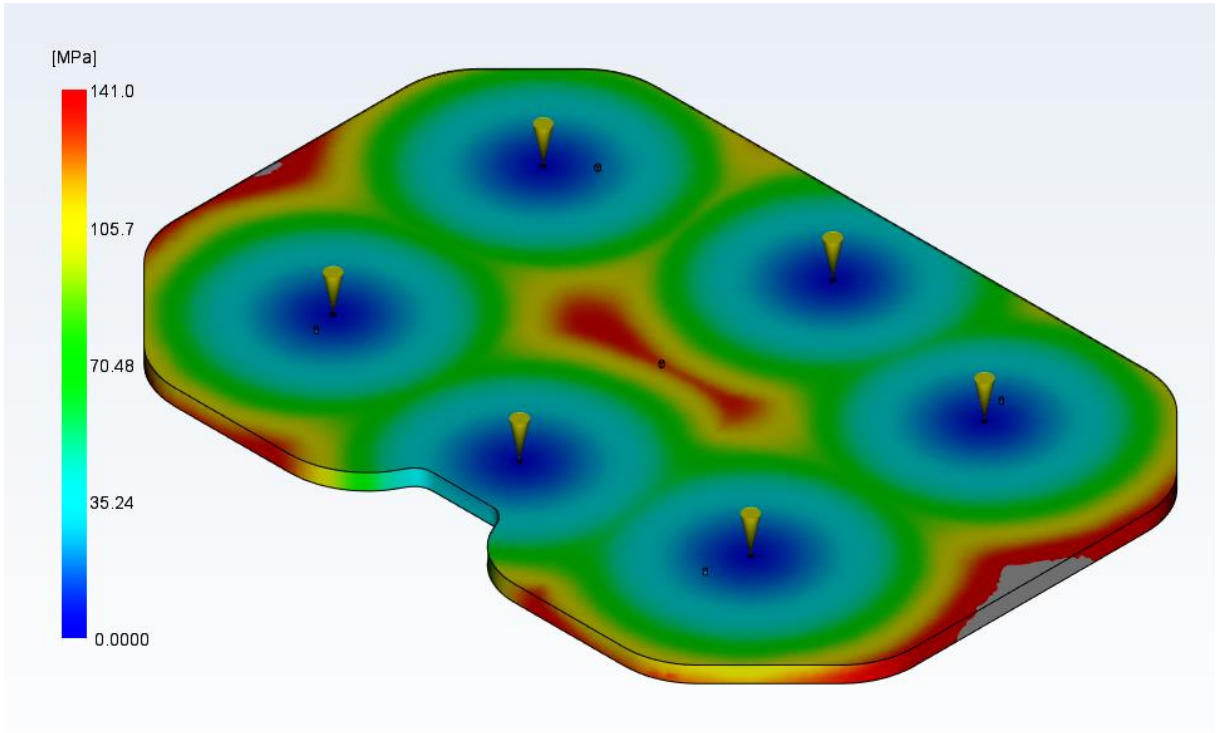
Kalıp sıcaklığı 70 °C, enjeksiyon sıcaklığı 200 °C ve enjeksiyon basıncı 800 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır.

Şekil 3.39. 'de ki 1 nolu analizin basınç değişim sonucu verilmiştir. Grafikte basınç değişimlerini ifade etmek için renk aralığı kullanılmıştır. Grafikteki renk dağılımı incelendiğinde kırmızı ile renklendirilmiş bölgenin basıncı 141 Mpa'dır. Bu basınç değeri üründe meydana gelen en yüksek basınçtır. Bu basınç o bölgede bulunan hammaddenin katılaşp, ergimiş hammadde akışını engellediği için meydana gelmiş olabilir. Bu nedenle kalıp boşluğu şekil 3.38.'de yer alan dolun analizi sonucunda görüldüğü gibi tam dolmamıştır. Yolluk bölgesi çevresinde akışı engelleyen bir unsur bulunmadığından basınç 0 Mpa 'dır. Şekil 3.40.'de yer alan ortalama sıcaklık sonucu incelendiğinde ürünün hızlı soğuduğu gözlemlenir. Ürünün hızlı soğuması kalıp boşluğunun tam dolmasını engellediği gibi, üründe kaynak çizgisi oluşumuna neden olur. Şekil 3.41.'da yer alan grafikte dolun sonrasında hemen katılaşan alan verilmiştir. Grafik incelendiğinde ergimiş hammadde yolluktan çıktıktan hemen sonra kırmızı ile belirtilen alanların katılaşmaya başladığı gözlemlenmiştir.

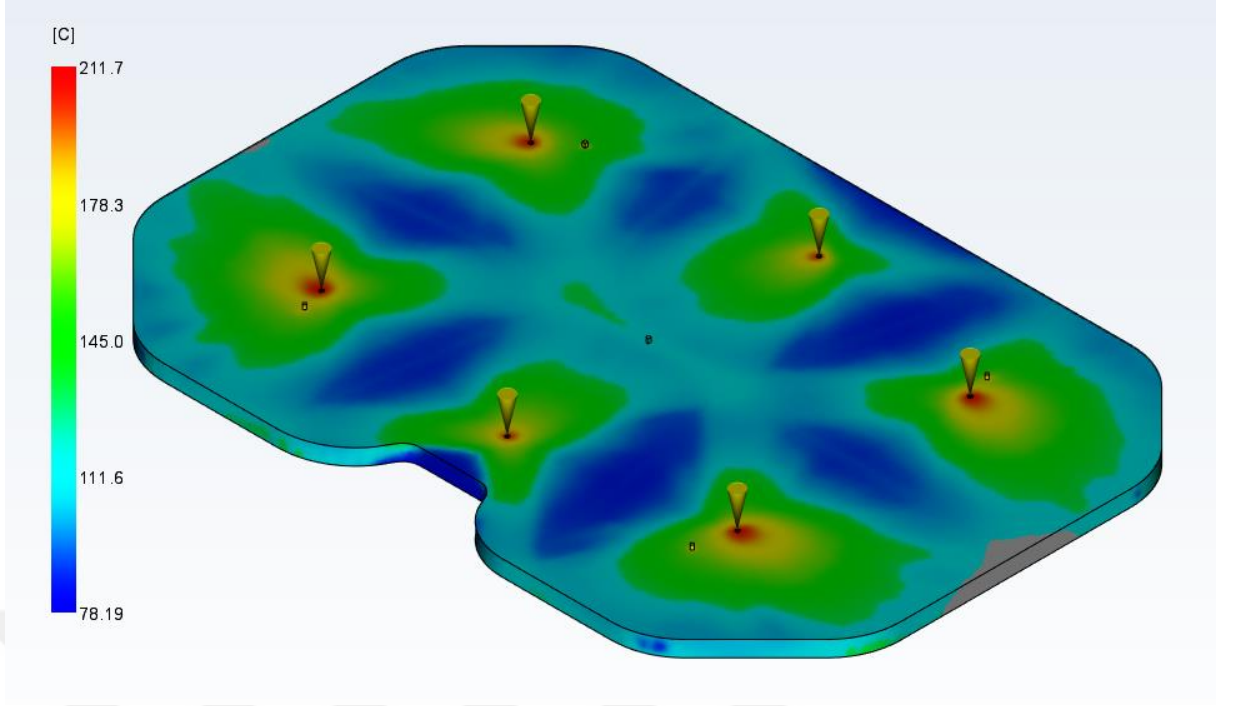
Kalite, kalıp boşluğu tam olarak dolmadığından "Çok Kötü" olarak tanımlanmıştır.



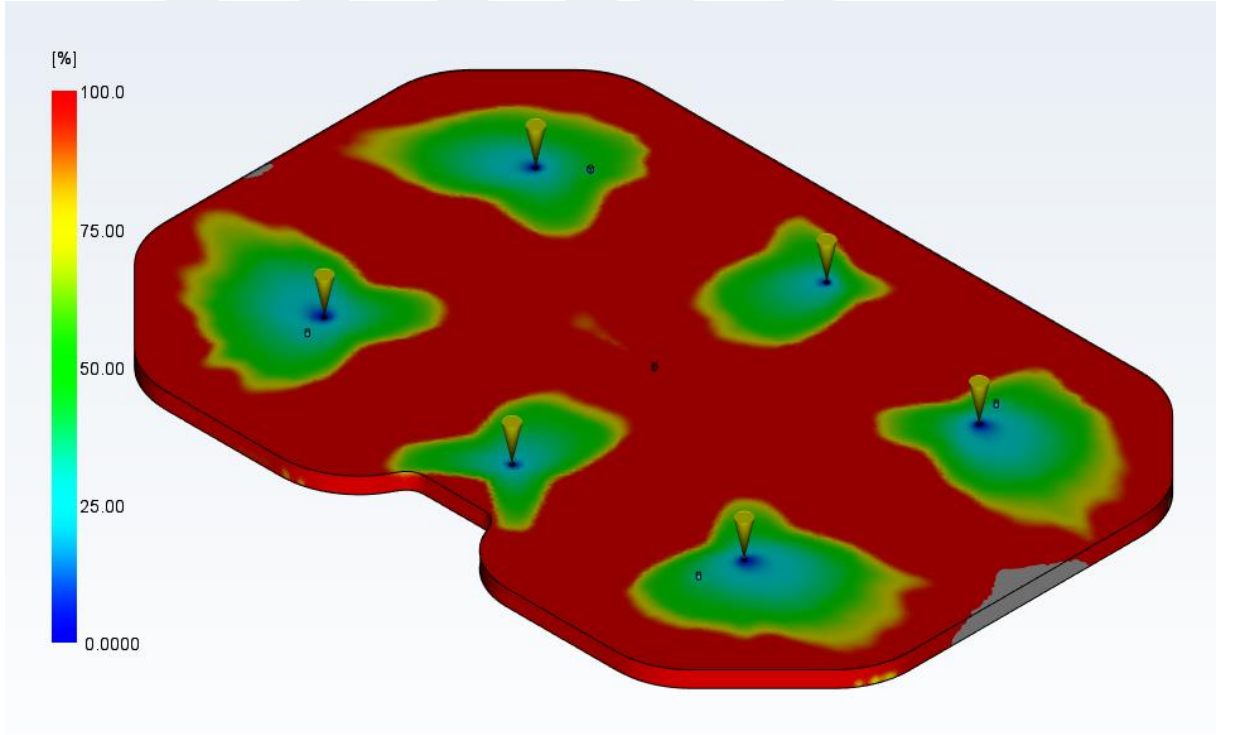
Şekil 3. 38. Analiz 9 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 39. Analiz 9 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 40. Analiz 9 Ortalama Sıcaklık Sonucu



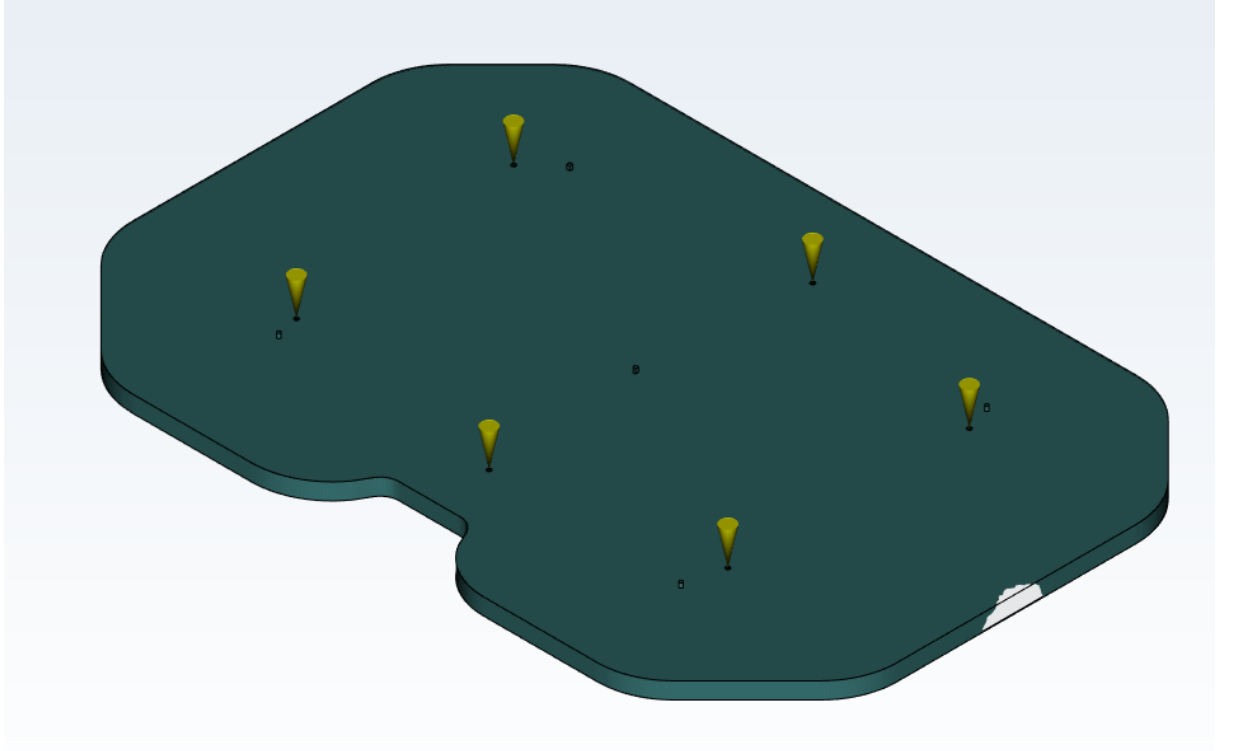
Şekil 3. 41. Analiz 9 Dolum Sonrasında Hemen Katılaşılan Alan Sonucu

3.3.10. 10 No'lu Analiz

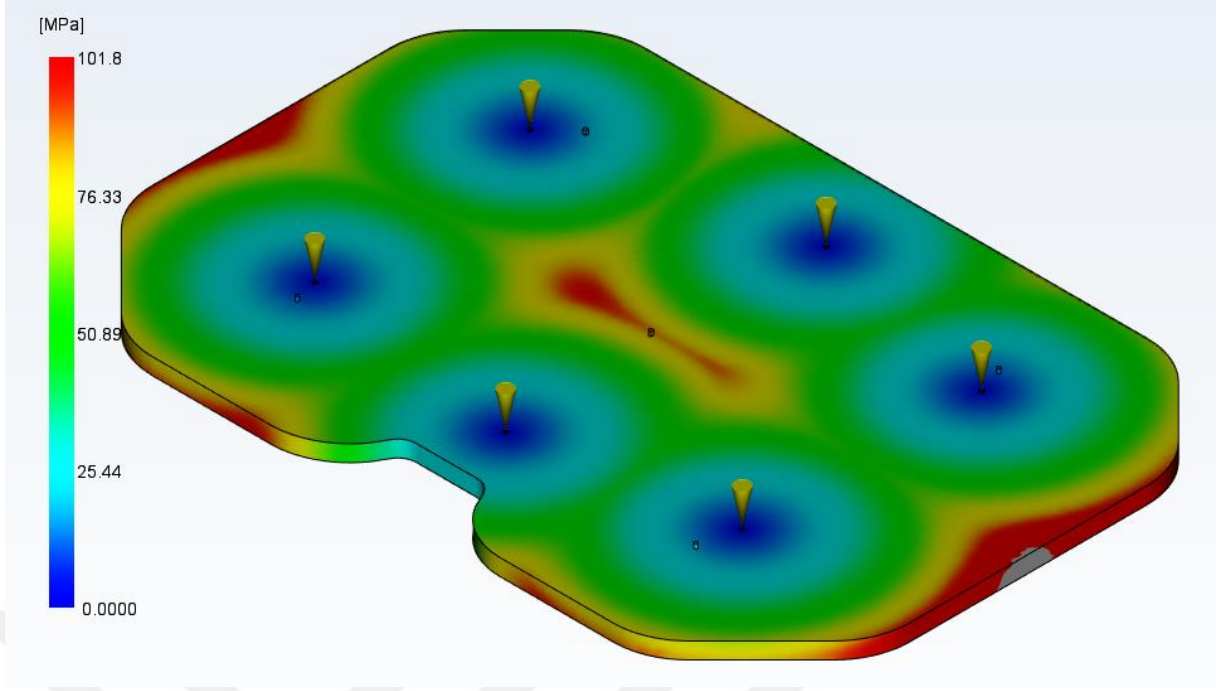
Kalıp sıcaklığı 70 °C, enjeksiyon sıcaklığı 220 °C ve enjeksiyon basıncı 1200 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır.

Şekil 3.43'de basınç değişimi sonucu incelendiğinde üründe en yüksek basınç değerinin 101.8 MPa olduğu görülmüştür. Bu basınç değerine yine kalıp boşluğu tam dolmadan ulaşılmıştır. Bu durum ise şekil 3.42 'de görüldüğü gibi kalıbın tam dolmaması ile sonuçlanmıştır. Şekil 3.44' de ortalama sıcaklığın 155.5 °C görülmüştür. Farklı yolluklardan gelen ergimiş hammaddelerin birleştiği kaynak noktalarında sıcaklığın en düşük değerde olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.45 de ise dolum sonrasında katılaşma tespit edilmiştir.

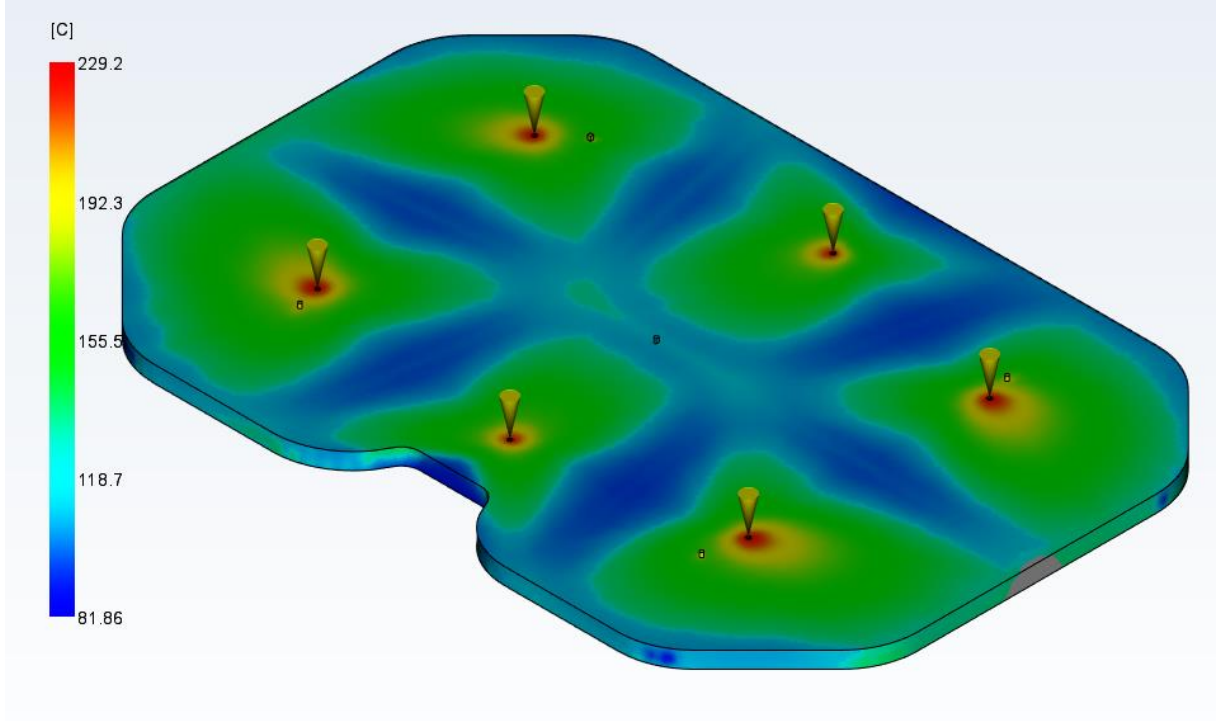
Dolum analizi dikkate alındığında kalıp boşluğunun tam dolmamış olduğu gözlenmiştir. Ancak kalıp boşluğu 1,5 ve 9 nolu analize göre daha fazla olduğu için kalite "Kötü" olarak tanımlanmıştır.



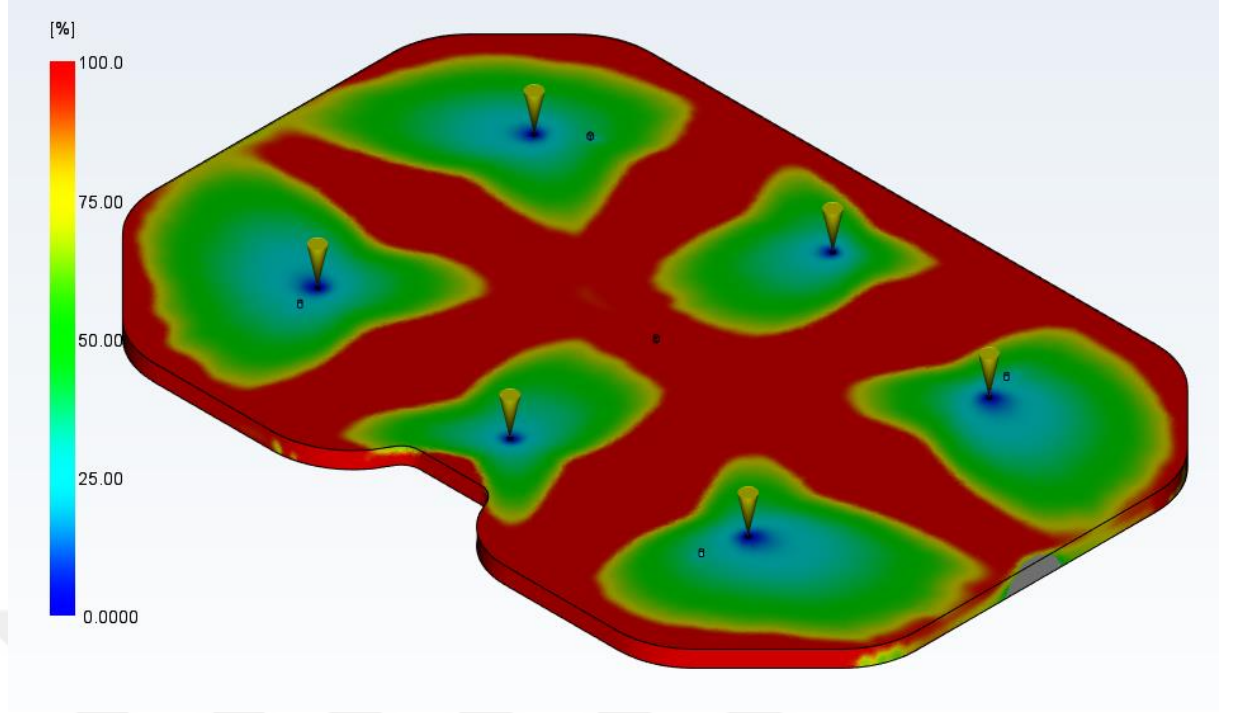
Şekil 3. 42. Analiz 10 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 43. Analiz 10 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 44. Analiz 10 Ortalama Sıcaklık Sonucu



Şekil 3. 45. Analiz 10 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştıran Alan Sonucu

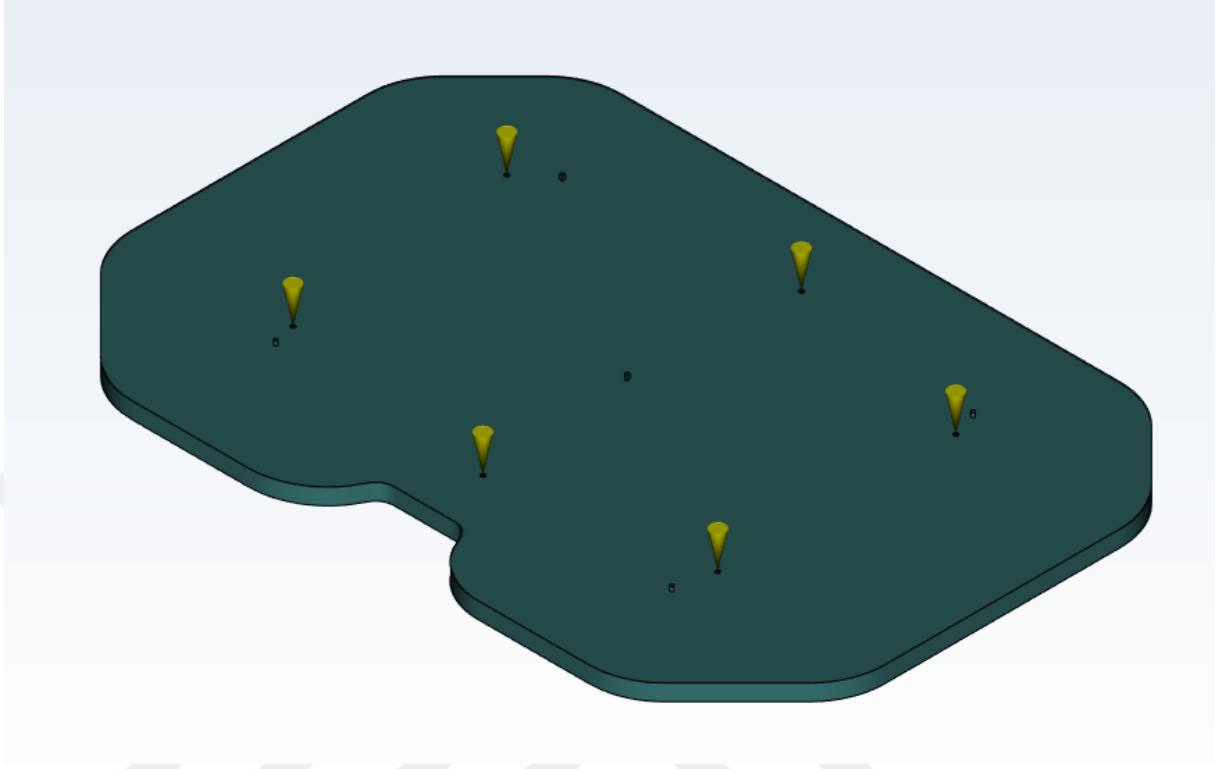
3.3.11. 11 No'lu Analiz

Kalıp sıcaklığı 70 °C, enjeksiyon sıcaklığı 260 °C ve enjeksiyon basıncı 400 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır.

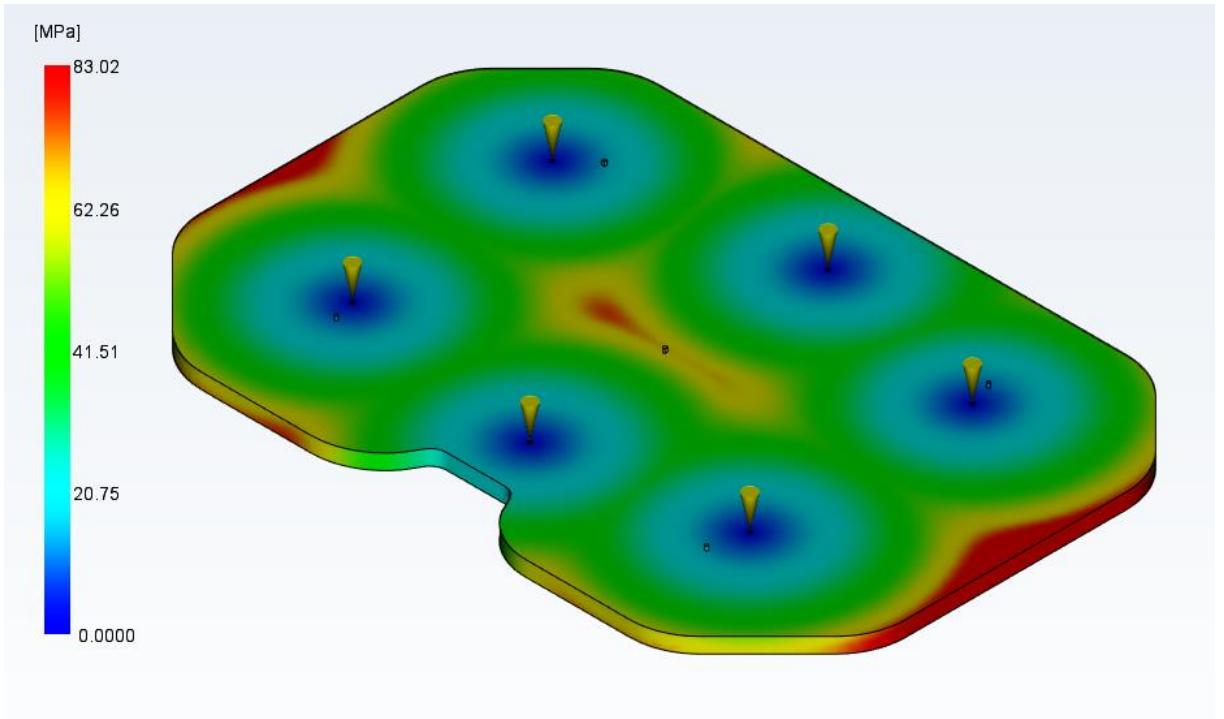
Şekil 3.46 'daki dolum analizi incelendiğinde polimer akışkanın kalıp boşluğunu tam olarak 7.46 sn'de doldurduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.47'de yer alan basınç değişim grafiği incelendiğinde en yüksek basınç 83.02 MPa olarak tespit edilmiştir. En yüksek basınç yolluk noktasına en uzak noktada meydana gelmiştir. Şekil 3.48 incelendiğinde ise ortalama sıcaklığın 201.7 °C olduğu tespit edilmiştir. dolum sırasında katılma meydana geldiği gözlemlenmemiştir. (Şekil 3.49)

Kalitesi "Normal" ve "İyi" olarak tanımlanan analizlerle karşılaştırıldığında kullanılan parametreler düşük değerde olduğu için kalite " Çok İyi " olarak tanımlanmıştır. Parametrelerin düşük değerde olması üretimde kullanılan kalıp ve enjeksiyon makinesinin kullanım ömrü için oldukça önemlidir. Gerekenden yüksek değerde basınç ve sıcaklık kullanıldığında kalıpta ve makinelerde hasar oluşabilir. Özellikle kalıpta hasar oluşması üretimin sağlıklı ve stabil olarak ilerlemesi için

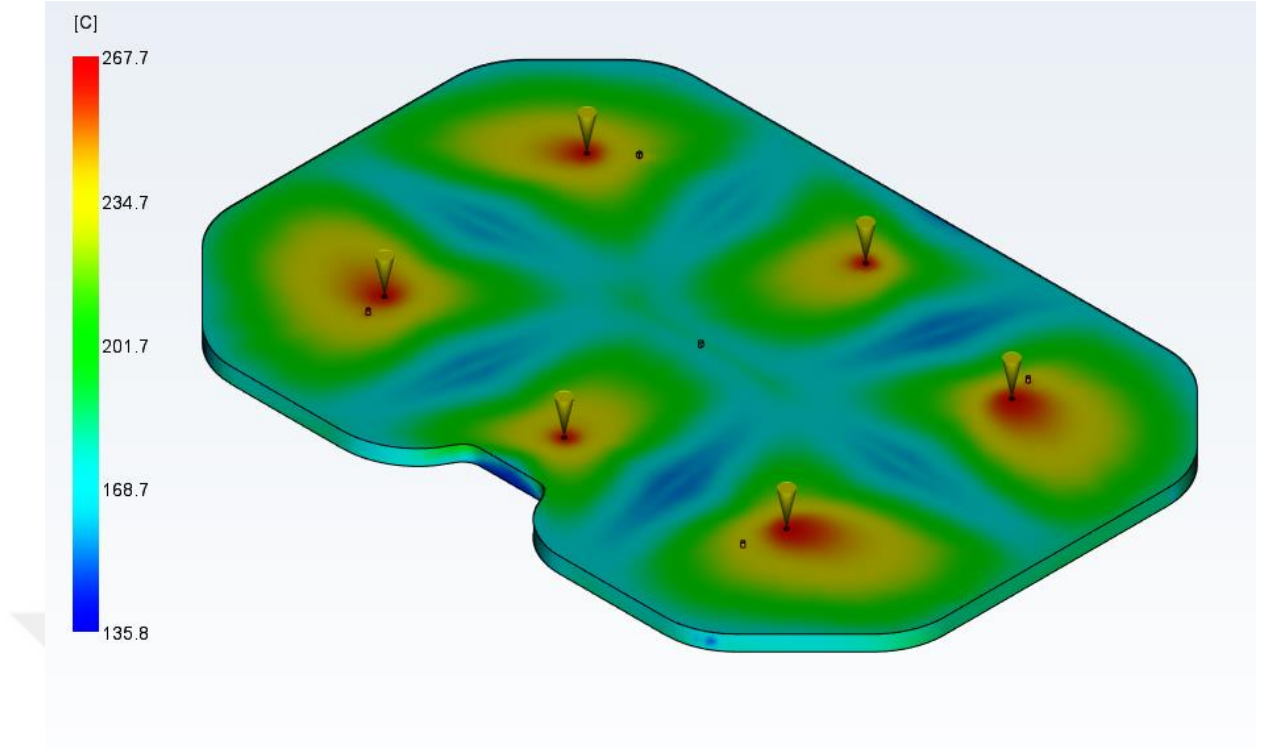
oldukça kritiktir. Ayrıca gerekenden yüksek değerler enerji kullanımını artırır ve bu durum ürün başına maliyeti artmasına neden olur.



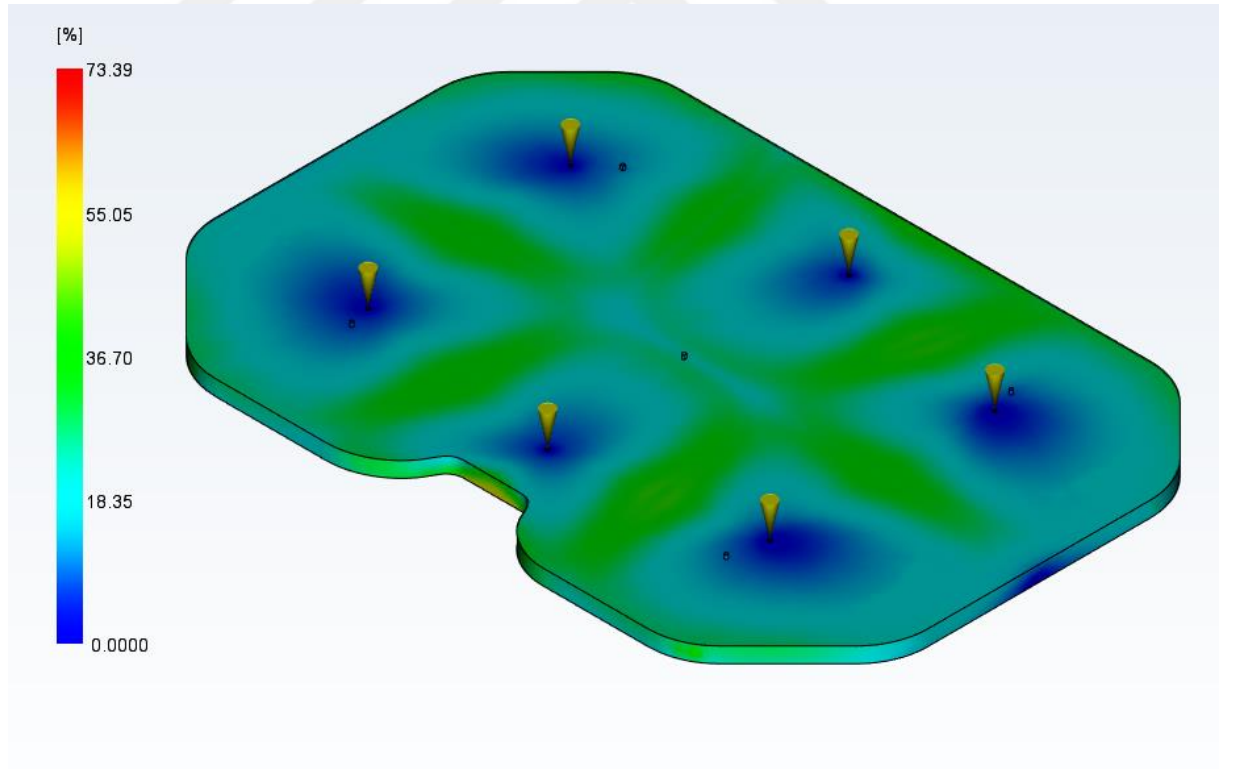
Şekil 3. 46. Analiz 11 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 47. Analiz 11 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 48. Analiz 11 Ortalama Sıcaklık Sonucu



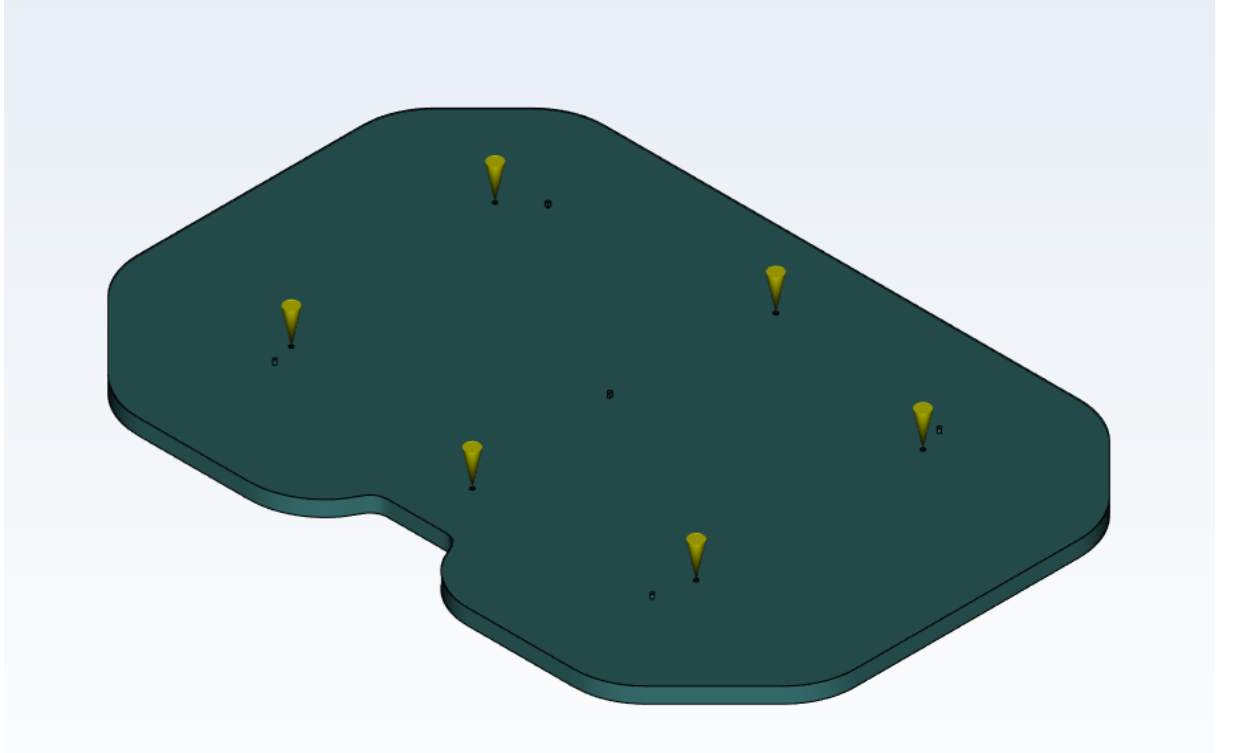
Şekil 3. 49. Analiz 11 Dolum Sonrasında Hemen Katılaşan Alan Sonucu

3.3.12. 12 No'lu Analiz

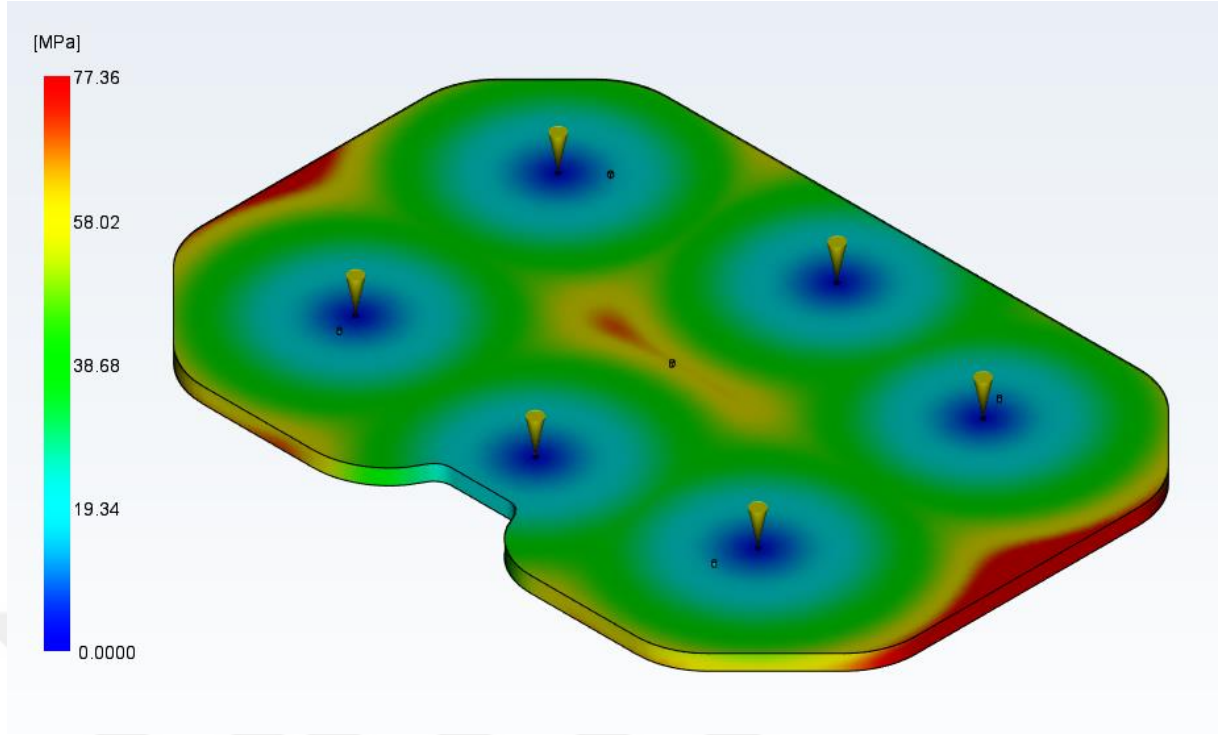
Kalıp sıcaklığı 70 °C, enjeksiyon sıcaklığı 280 °C ve enjeksiyon basıncı 600 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır.

Şekil 3.50 'de yer alan dolum analizi incelendiğinde polimer akışkanın kalıp boşluğunu tam olarak 7.46 sn'de dolduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.51' de yer alan basınç değişim sonucu incelendiğinde basınç en yüksek 77.36 MPa değerine çıkmıştır. Şekil 3.52 'de görüldüğü gibi ortalama sıcaklık 201.7 °C'dir. Ürün sıcaklığı yolluk çevresinde hızla soğuduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.53.'de dolum sonrası katılaştıran alan gözlemlenmemiştir. Bu durum sağlıklı bir akışın meydana geldiğini gösterir.

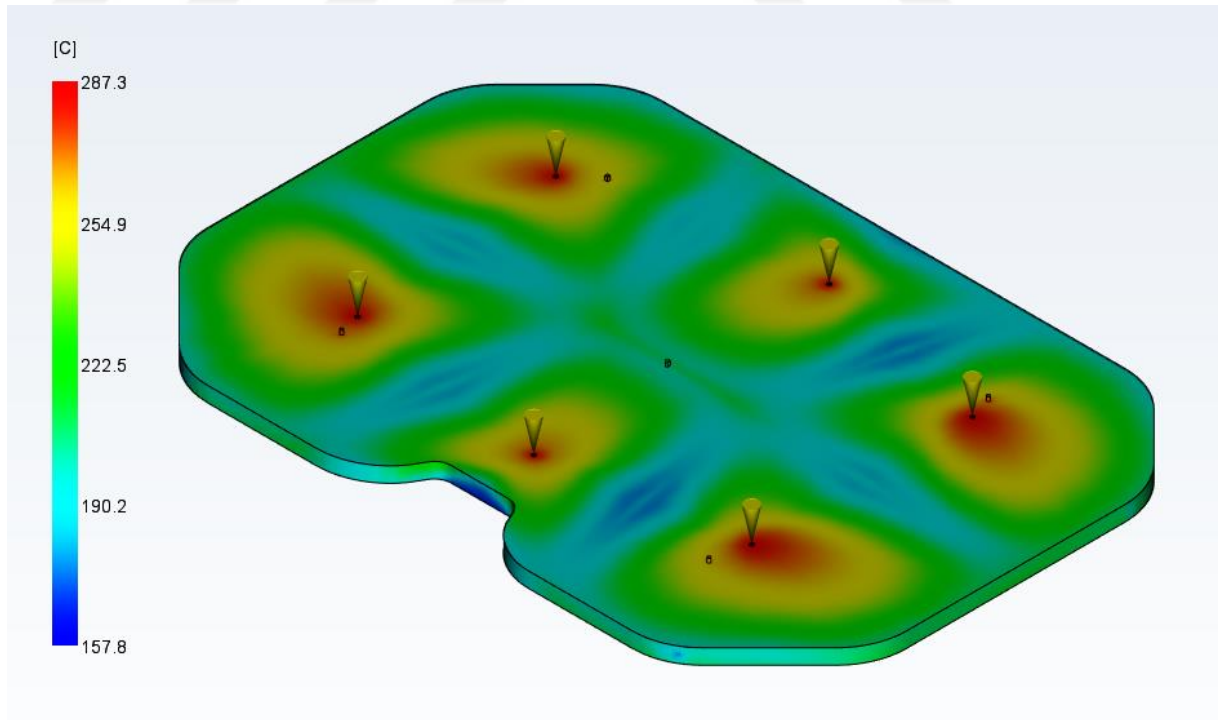
Aynı sürede dolum işleminin gerçekleştiği analizler ile karşılaştırıldığında kullanılan parametreler daha yüksek seviyede olduğu için ve bu durum enerji tüketimini arttıracak için kalite "İyi" olarak tanımlanmıştır.



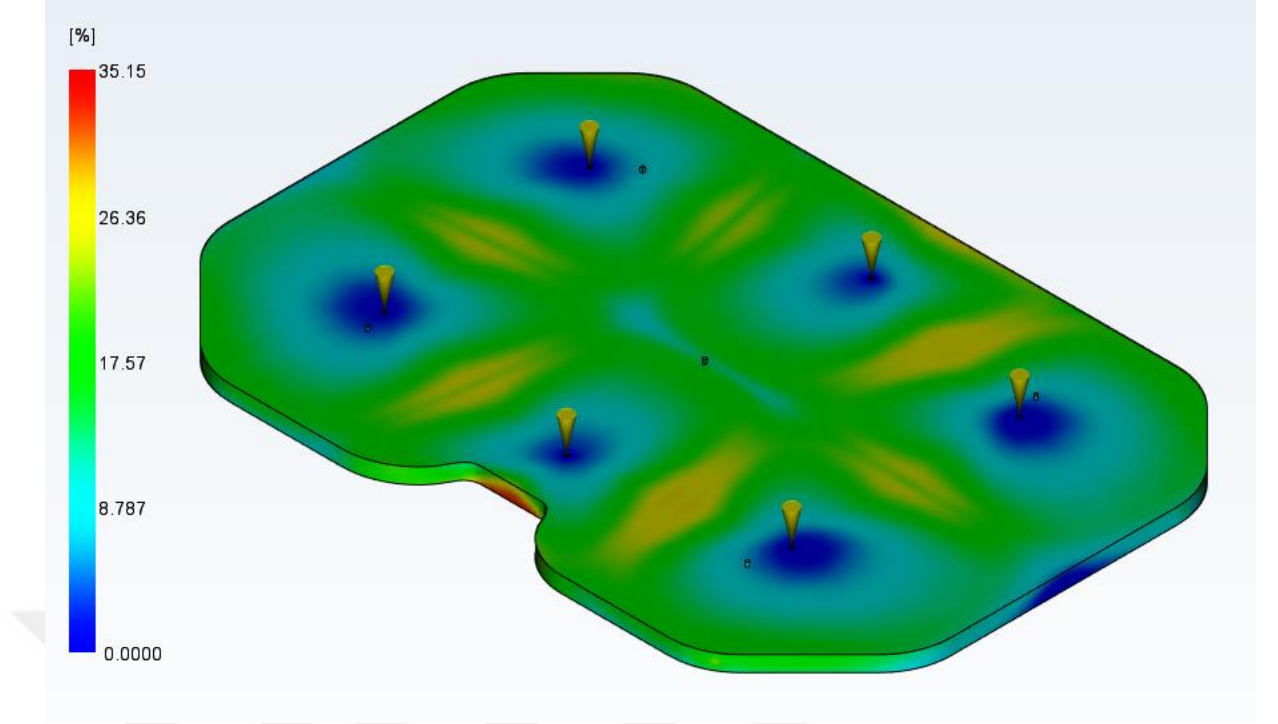
Şekil 3. 50. Analiz 12 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 51. Deney 12 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 52. Analiz 12 Ortalama Sıcaklık Sonucu



Şekil 3. 53. Analiz 12 Dolum Sonrasında Hemen Katılaşan Alan Sonucu

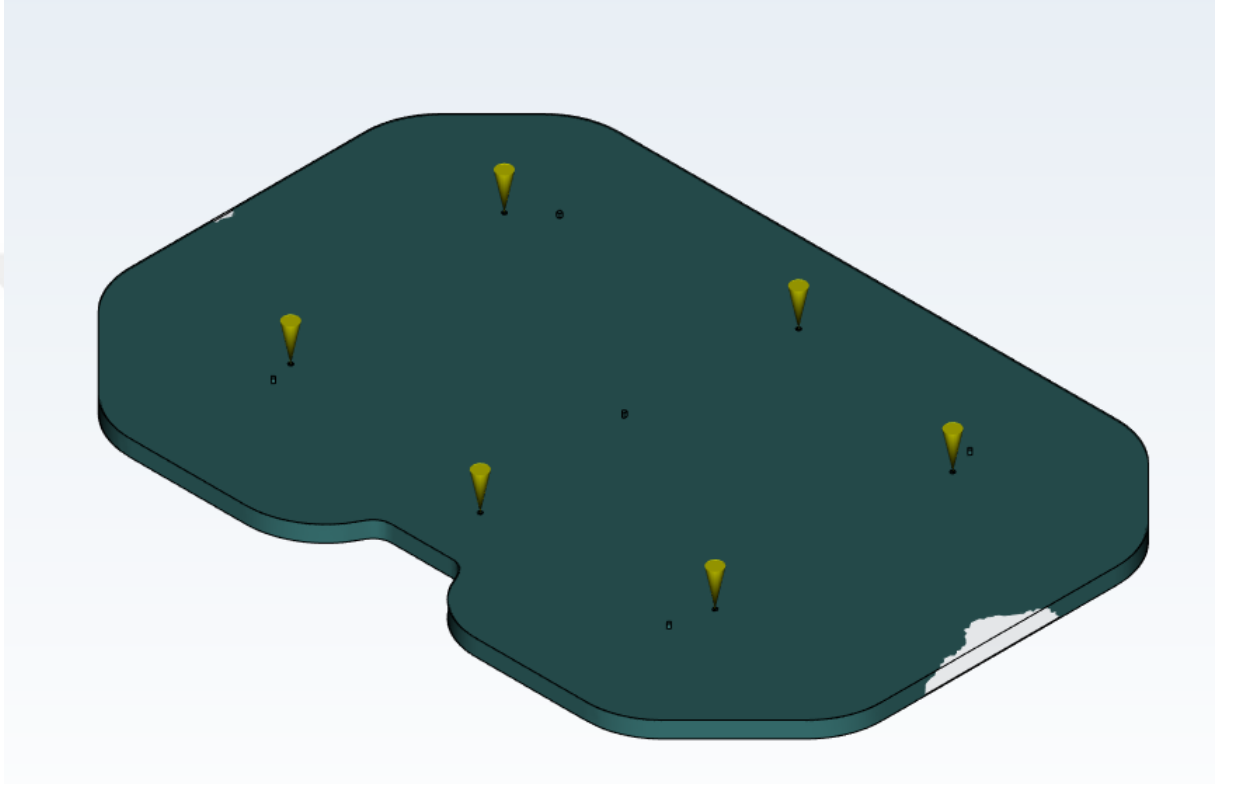
3.3.13. 13 No'lu Analiz

Kalıp sıcaklığı 80 °C, enjeksiyon sıcaklığı 200 °C ve enjeksiyon basıncı 1200 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır.

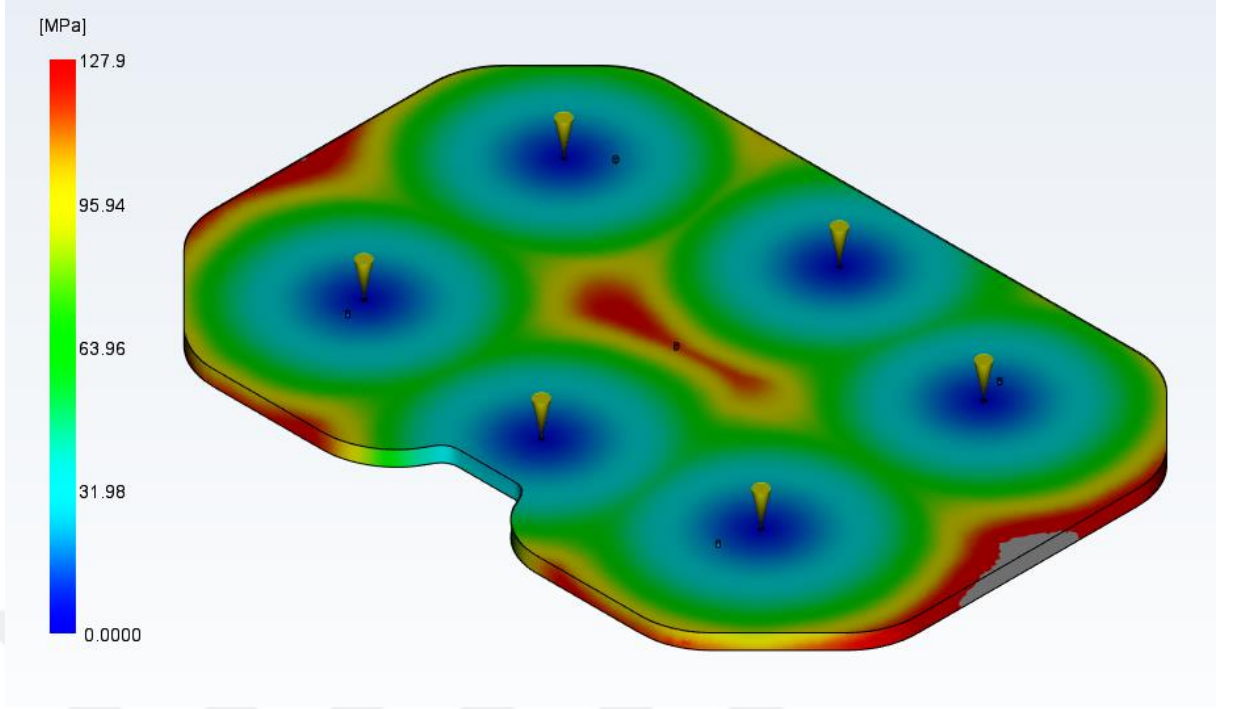
Şekil 3.55. 'de ki 1 nolu analizin basınç değişim sonucu verilmiştir. Grafikte basınç değişimlerini ifade etmek için renk aralığı kullanılmıştır. Grafikteki renk dağılımı incelendiğinde kırmızı ile renklendirilmiş bölgenin basıncı 127.9 Mpa'dır. Bu basınç değeri üründe meydana gelen en yüksek basınçtır. Bu basınç o bölgede bulunan hammaddenin katılaşıp, ergimiş hammadde akışını engellediği için meydana gelmiştir. Bu nedenle kalıp boşluğu şekil 3.54.'da yer alan dolum analizi sonucunda görüldüğü gibi tam dolmamıştır. Yolluk bölgesinde akışı engelleyen bir unsur bulunmadığından basınç 0 Mpa 'dır. Şekil 3.56.'de yer alan ortalama sıcaklık sonucu incelendiğinde ürünün çok hızlı soğuduğu gözlemlenir. Ürünün hızlı soğuması kalıp boşluğunun tam dolmasını engellediği gibi, üründe kaynak çizgisi oluşumuna neden olur. Şekil 3.57.'da yer alan grafikte dolum sonrasında hemen katılaşan alan

verilmiştir. Grafik incelendiğinde ergimiş yolluktan çıktıktan hemen sonra kırmızı ile belirtilen alanların katılaşmaya başladığı gözlemlenmiştir.

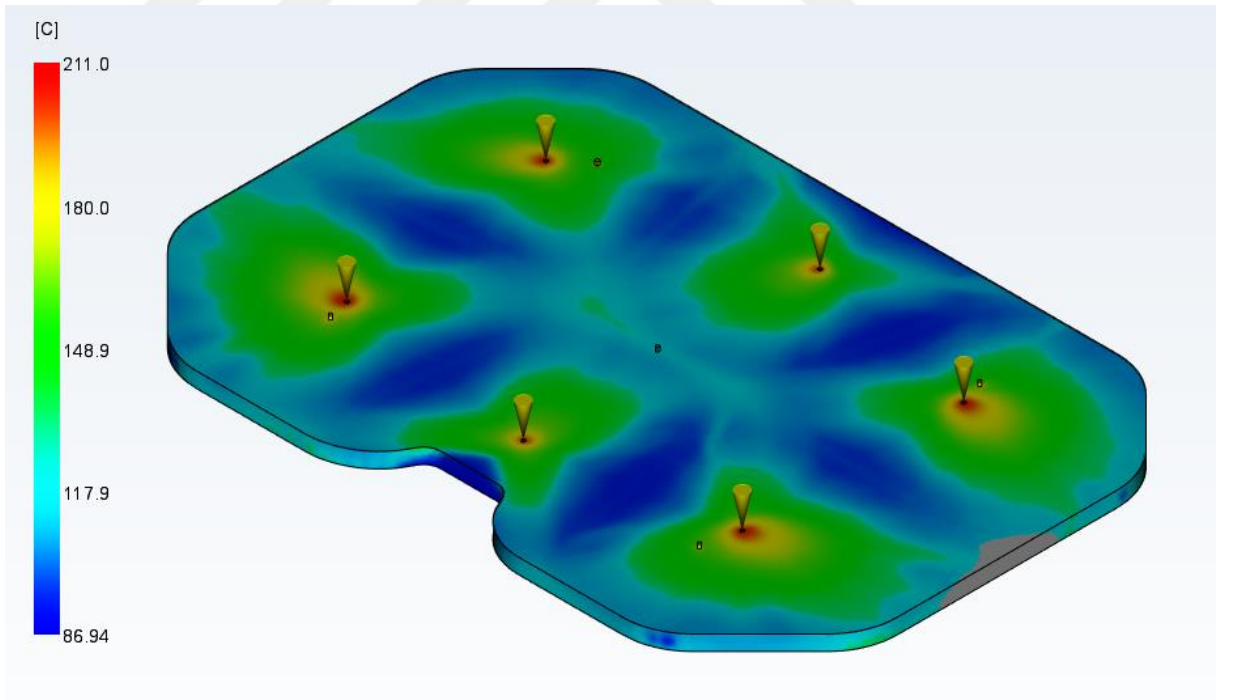
Kalite, kalıp boşluğu tam olarak dolmadığından "Çok Kötü" olarak tanımlanmıştır.



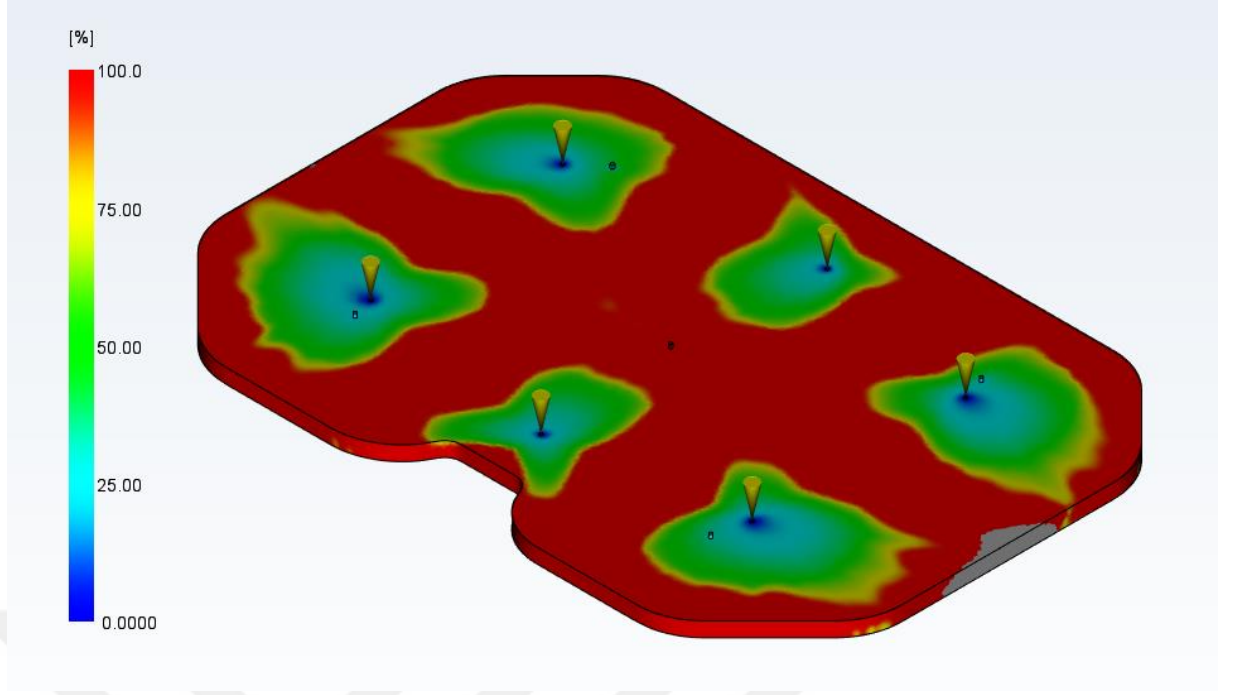
Şekil 3. 54. Analiz 13 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 55. Analiz 13 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 56. Analiz 13 Ortalama Sıcaklık Sonucu



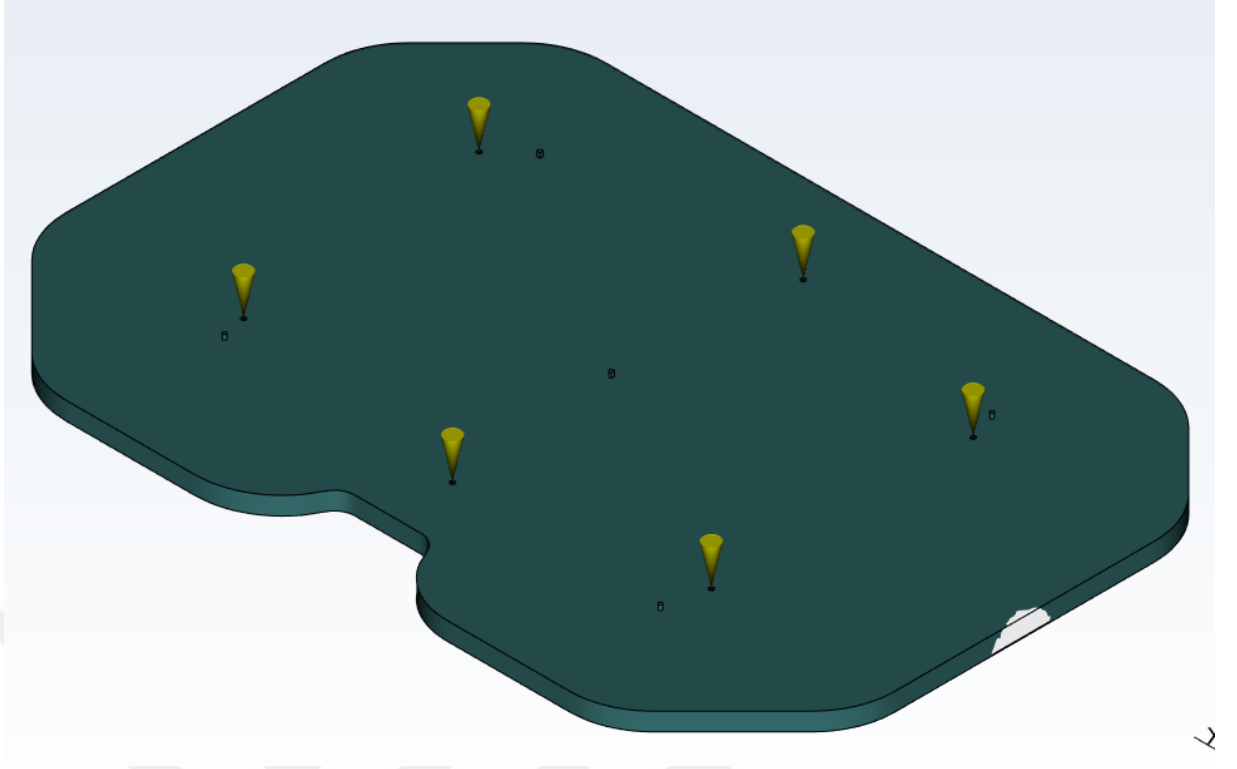
Şekil 3. 57. Analiz 13 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştan Alan Sonucu

3.3.14. 14 No'lu Analiz

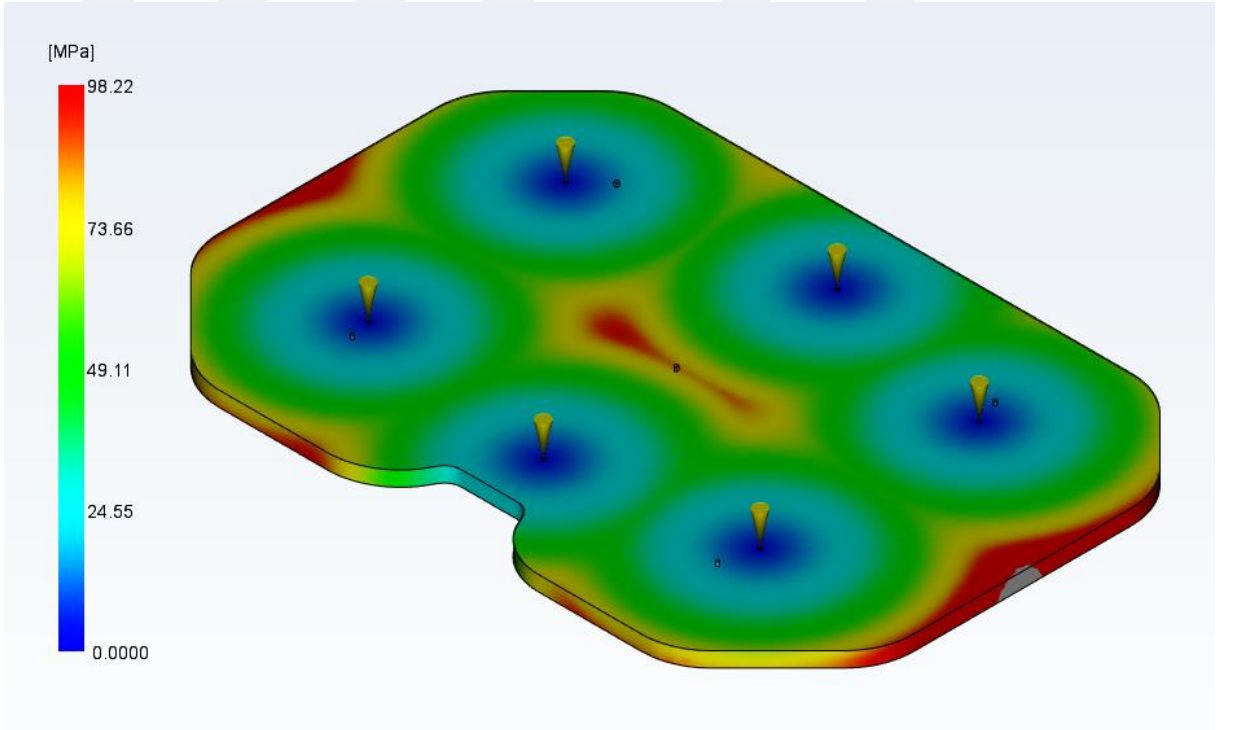
Kalıp sıcaklığı 80 °C, enjeksiyon sıcaklığı 220 °C ve enjeksiyon basıncı 800 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır

Şekil 3.59' da ki basınç değişimi sonucu incelendiğinde üründe oluşan en yüksek değer kırmızı renkle ifade edilen 98.22 MPa olduğu görülür. En yüksek basınç değerine kalıp boşluğunu tam doldurmadan meydana gelmesi kalıp boşluğunun tam dolmadığı anlamına gelir. Bu durum şekil 3.58' de görülebilir. Şekil 3.60. de yer alan ürünün ortalama sıcaklığı incelendiğinde ürünün kaynak bölgelerinde soğumanın hızlı olduğu gözlemlenir. Bu tür durumlarda üründe kaynak çizgisi meydana gelebilir. Şekil 3.61 'de yer alan dolum sonrasında katılaştan bölgelerin ifade edildiği grafik incelendiğinde ise kırmızı ile belirtilmiş alanların %100 oranında katılaştığı gözlemlenmiştir. Bu durum kalıp boşluğunun tam olarak dolmasını engelleyebilir.

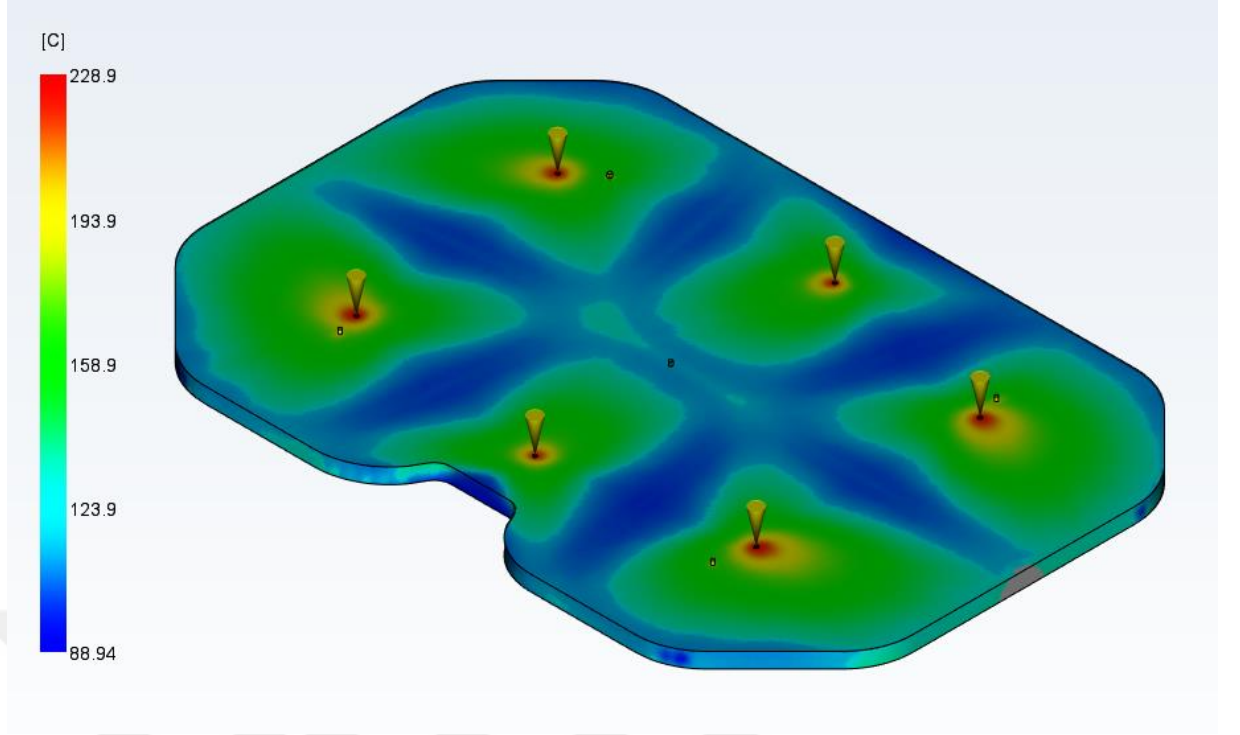
Kalıp boşluğu 1, 5, 9 ve 13 numaralı analizlere göre daha fazla dolduğu için ancak yine de tam dolum sağlanamadığı için kalite "Kötü" olarak tanımlanmıştır.



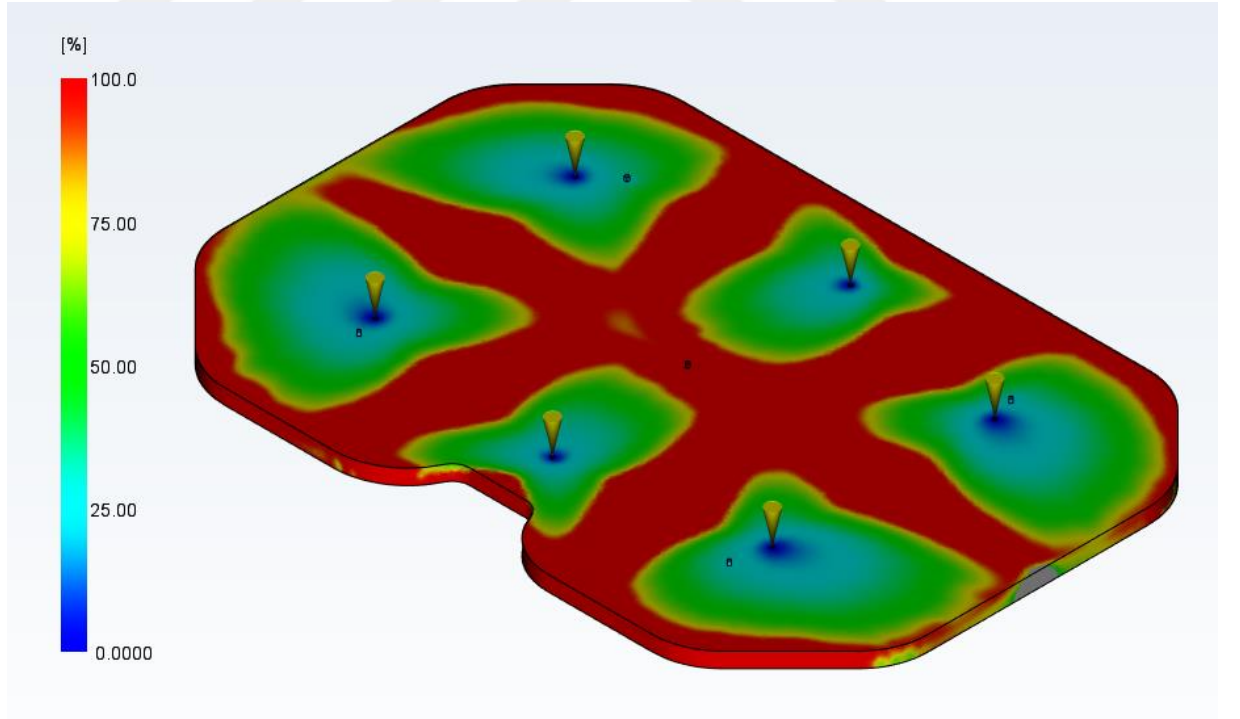
Şekil 3. 58. Analiz 14 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 59. Analiz 14 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 60. Analiz 14 Ortalama Sıcaklık Sonucu



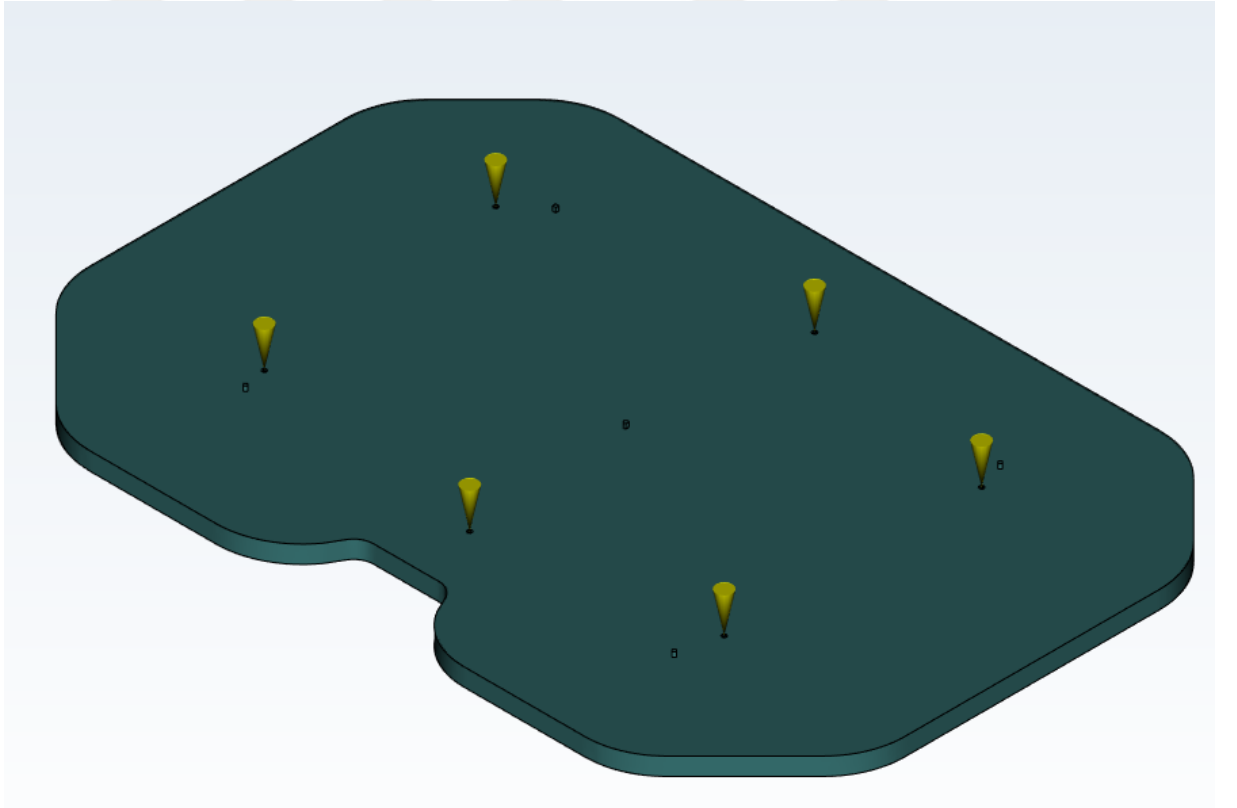
Şekil 3. 61. Analiz 14 Dolum Sonrasında Hemen Katılan Alan Sonucu

3.3.15. 15 No'lu Analiz

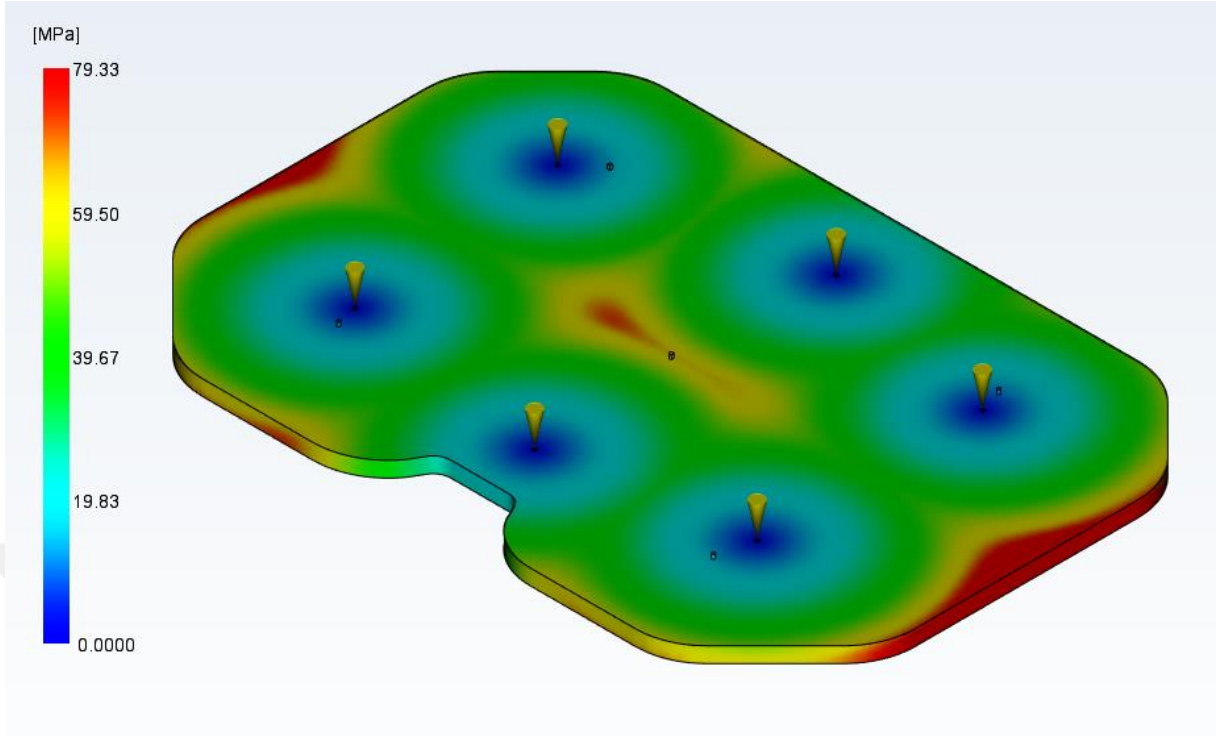
Kalıp sıcaklığı 80 °C, enjeksiyon sıcaklığı 260 °C ve enjeksiyon basıncı 600 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır

Şekil 3.62 ' de yer alan dolum analizi incelendiğinde polimer akışkanın kalıp boşluğunu tam olarak 7.7 sn 'de dolduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.63' de yer alan basınç değişim sonucu incelendiğinde basınç en yüksek 79.33 MPa değerine çıkmıştır. Şekil 9.64 'de görüldüğü gibi ortalama sıcaklık 204.1 °C'dir. Ürün sıcaklığı yolluk çevresi de hızla soğuduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.49'da dolum sonrası katılaştıran alan gözlemlenmemiştir. Bu durum akışın erken soğuma olmadan kalıp boşluğunun her yerine ulaşabileceğini ifade eder.

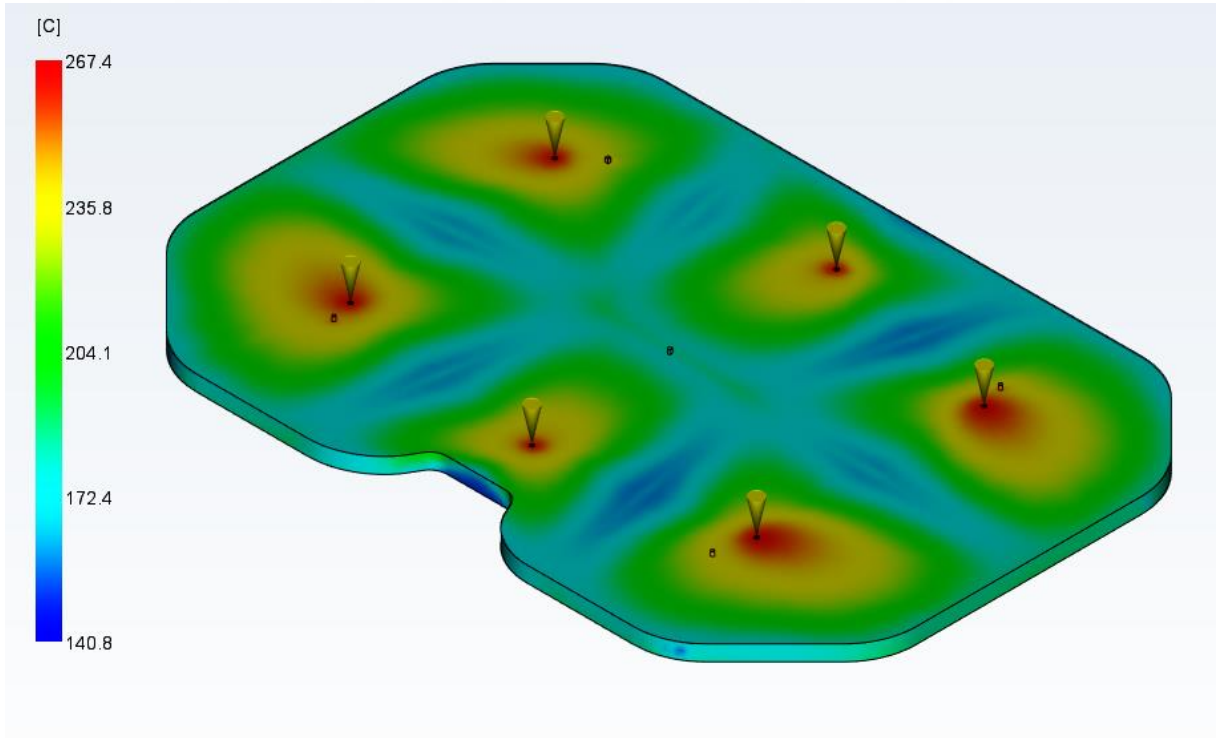
Aynı sürede dolum işleminin gerçekleştiği analizler ile karşılaştırıldığında kullanılan parametreler daha yüksek seviyede olduğu için ve bu durum enerji tüketimini arttıracak için ancak kalitesi "Normal" olarak tanımlanmış analizlere kıyasla daha düşük seviyedeki parametreler kullanıldığı için kalite "İyi" olarak tanımlanmıştır.



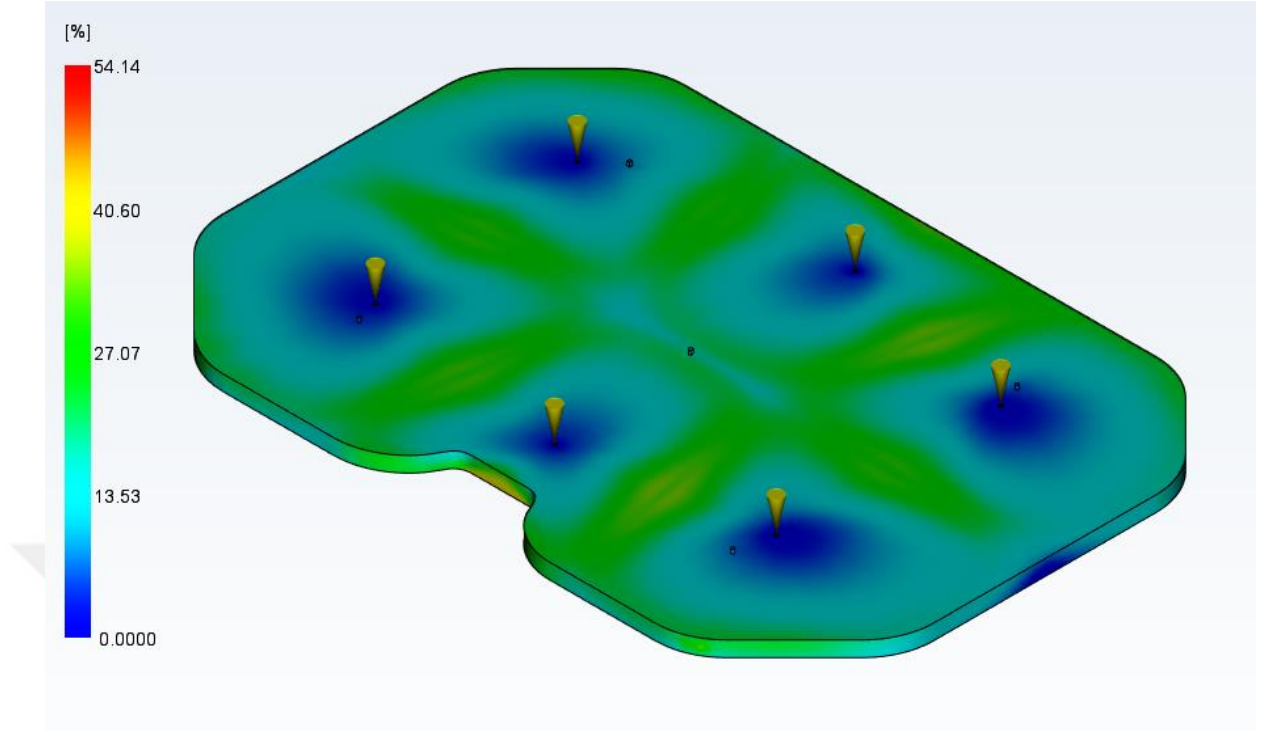
Şekil 3. 62. Analiz 15 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 63. Analiz 15 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 64. Analiz 15 Ortalama Sıcaklık Sonucu



Şekil 3. 65. Analiz 15 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştıran Alan Sonucu

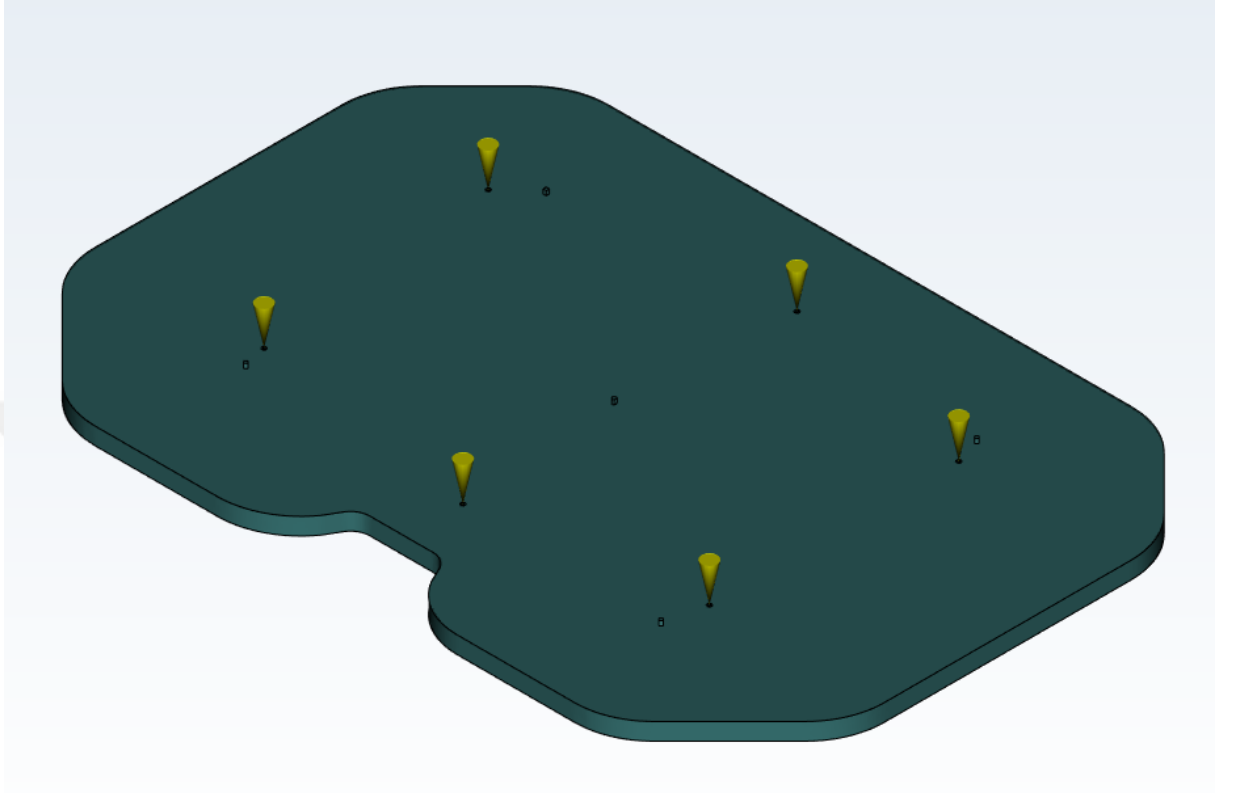
3.3.16. 16 Nolu Analiz

Kalıp sıcaklığı 80 °C, enjeksiyon sıcaklığı 280 °C ve enjeksiyon basıncı 400 MPa olmak üzere ürünün moldflow programı ile analizi yapılmıştır.

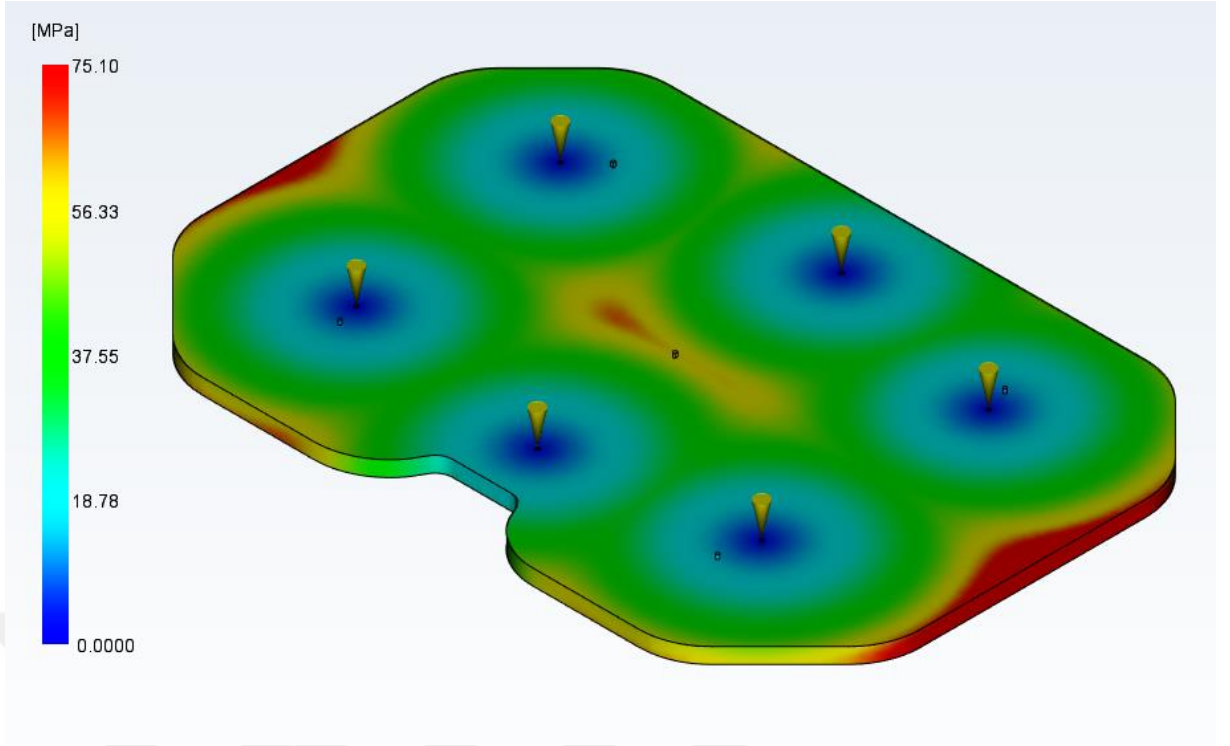
Şekil 3.66 'daki dolum analizi incelendiğinde polimer akışkanın kalıp boşluğunu tam olarak 7.45 sn'de doldurduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.67 de yer alan basınç değişim grafiği incelendiğinde en yüksek basınç 75.10 MPa olarak tespit edilmiştir. En yüksek basınç yolluk noktasına en uzak noktada ve kalıp boşluğunun bittiği noktada meydana gelmiştir. Şekil 3.48 incelendiğinde ise ortalama sıcaklığın 225.2 °C olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.49 incelendiğinde dolum sırasında %100 oranında katılaşma meydana geldiği gözlemlenmemiştir.

Bu analiz kalitesi "Normal" ve "İyi" olarak tanımlanan analizlerle karşılaştırıldığında kullanılan parametreler düşük değerde olduğu için ve bu durum

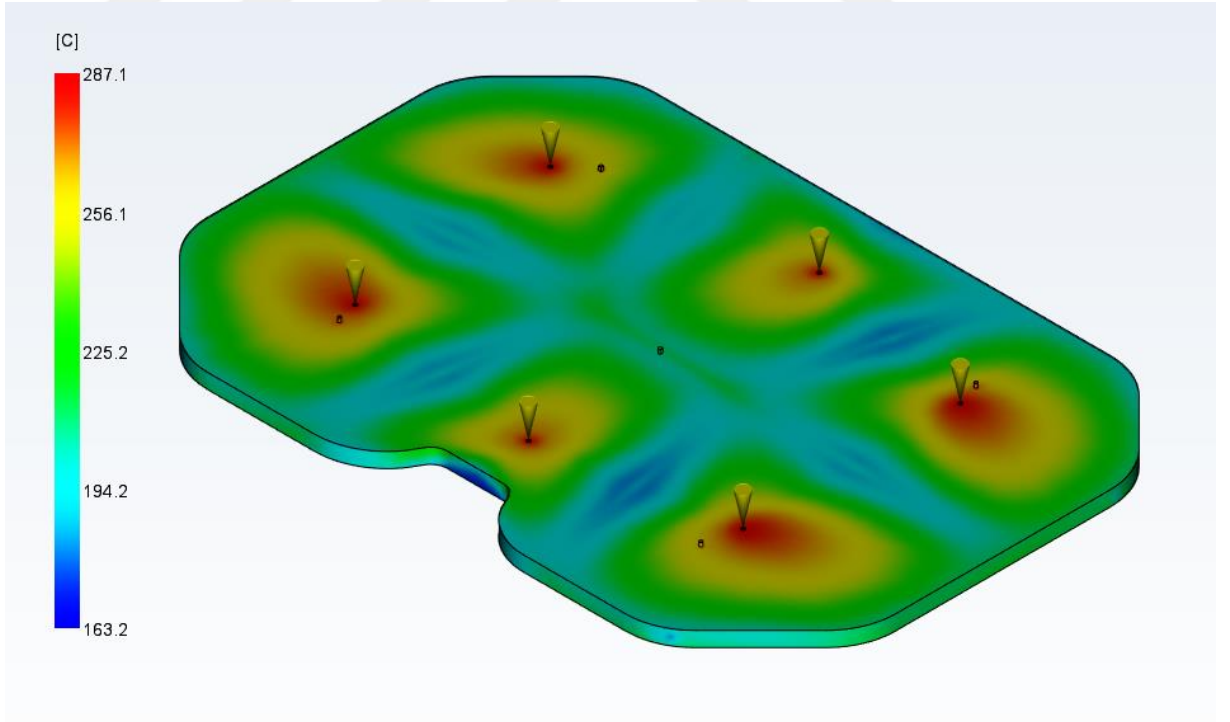
enerji tasarrufunun yanı sıra kalıp ve makine ömrü için olumlu bir durum olduğundan kalite " Çok İyi " olarak tanımlanmıştır.



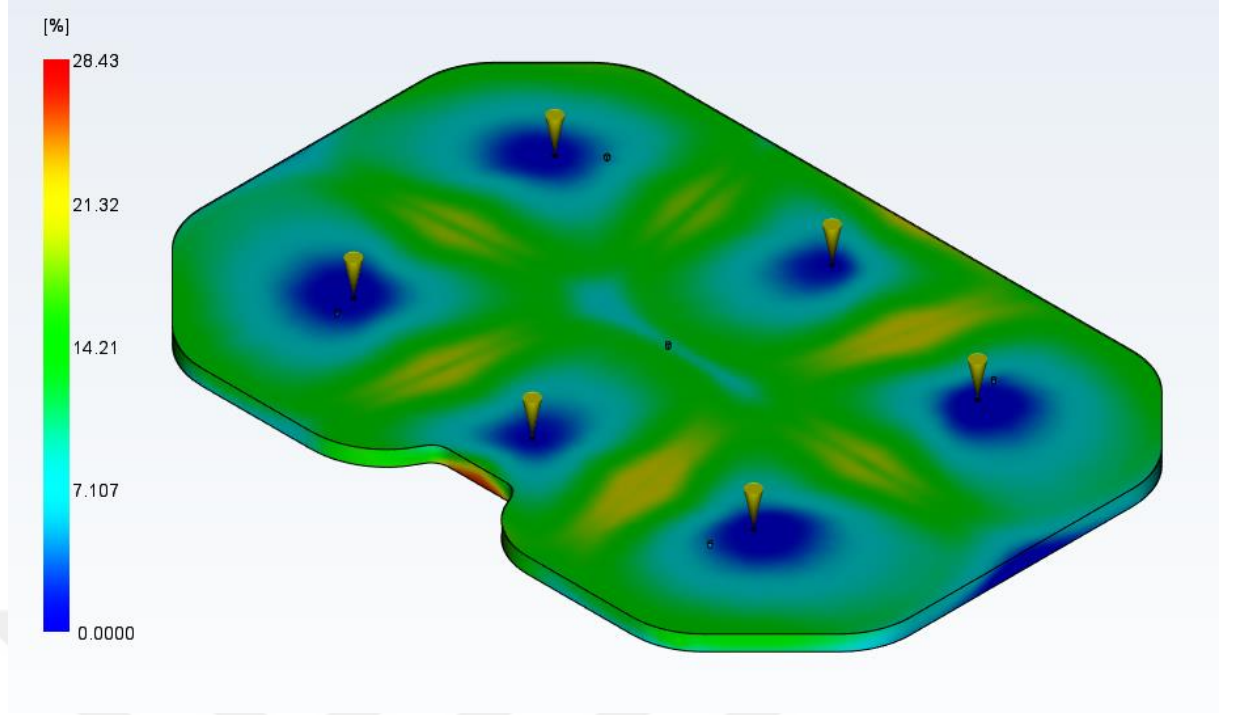
Şekil 3. 66. Analiz 16 Dolum Analizi Sonucu



Şekil 3. 67. Analiz 16 Basınç Değişimi Sonucu



Şekil 3. 68. Analiz 16 Ortalama Sıcaklık Sonucu



Şekil 3. 69. Analiz 16 Dolum Sonrasında Hemen Katılaştıran Alan Sonucu

Bu sonuçlar değerlendirildiği zaman tablo 3.3'deki sonuçlar ortaya çıkar . Bu analizler sonucunda elde edilen kalite sonuçları bulanık mantık sistemine girilecektir.

Tablo 3. 3. Deney Sonuçları

Deney No	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Basıncı (Mpa)	Kalite
1	50	200	400	Çok Kötü
2	50	220	600	Kötü
3	50	260	800	Normal
4	50	280	1200	Normal
5	60	200	600	Çok Kötü
6	60	220	400	Kötü
7	60	260	1200	Normal
8	60	280	800	Normal
9	70	200	800	Çok Kötü
10	70	220	1200	Kötü
11	70	260	400	Çok İyi
12	70	280	600	İyi
13	80	200	1200	Çok Kötü
14	80	220	800	Kötü
15	80	260	600	İyi

16	80	280	400	Çok İyi
----	----	-----	-----	---------

3.4. Bulanık Mantık Sisteminin Oluşturulması

Ürünün üretimi sırasında çalışması gereken parametre aralıkları ürüne göre belirlendikten sonra 64 deneme yapmak yerine, deneme sayısının 16'ya düşmesi için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Ardından 16 adet denemenin Moldflow programında analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirilip kalitesi için tanımlamalar yapılmıştır. Yapılan bu tanımlamalar bulanık mantık sistemini oluşturan kurallar kümesini oluşturur. (Tablo 3.3.)

Bulanık mantık bilgiye veya kurala dayalı sistemler olduğundan, bulanık kurallar sisteminin temelinde "Eğer - O halde" kurallarına dayalı temel bulunmaktadır. EĞER < bulanık söylem >, O HALDE < bulanık söylem > şeklinde koşullu cümledir. Bulanık söylemin 2 çeşidi vardır. Bunlar atomik söylem ve bulanık söylemdir.

Atomik söylem ; “ $x \in A$ dır ($x \in A$) ” prensibine dayanır. Burada x dilsel değişken, A ise yine dilsel değerdir. A x 'in fiziksel alanında belirlenmiş bir bulanık kümedir.

Bileşik bulanık söylemde ise "ve", "veya" ve "değil" ilişkilerini kullanan atomik bulanık kompozisyonudur. Bu ilişkiler uygun olarak bulanık kesişme, birleşme ve tülemeyi ifade etmektedirler. Örneğin eğer " x " plastik enjeksiyon hızı ise o zaman, aşağıdaki ifadelerin bulanık söylem olduğu ifade edilebilir. (Burada D-düşük , O-orta, Y-yüksek, ÇK-çok yüksek bulanık kümelerini göstermektedir.)

- $x \in D$ 'dir
- $x \in O$ 'dur.
- $x \in Y$ 'dir.
- $x \in \text{ÇK}$ 'dir.
- $x \in D$ 'dir veya $x \in Y$ değildir.
- $x \in D$ 'dir ve O değildir.
- ($x \in D$ 'dir ve $x \in \text{ÇK}$ değildir) veya $x \in O$ 'dur.

Burada son üç söylem bileşik bulanık mantık iddialarıdır. Bir bileşik söylemin içeriğindeki atomik iddialar özektirler ve aynı bir söylemdeki farklı x değerlerini alabilirler. Yani bileşik söylemdeki dilsel değişkenler genelde aynı

olmayabilirler. Örneğin x enjeksiyon hızı ve y ergimiş hammaddenin kabuk kalınlaşma hızı ise ve eğer ergimiş hammaddenin kabuk kalınlaşma hızı için (L) bulanık kümesi belirlenmek istenirse o halde aşağıdaki söylem kullanılır;

- x F'tir ve y L'dir.

Söylem değerlendirildiğinde bulanık söylem, bulanık bağıntı gibi bakılmıştır. Bulanık bağıntının üyelik fonksiyonlarını belirlenmelidir. "Ve" ilişkisi bulanık kesişme için kullanılmaktadır. U ve V 'nin fiziksel alanlarında dilsel değerler olduğunu ve A ve B 'nin uygun olarak U ve V 'de bulanık kümeler olduğunu varsayıldığında

- x A'dır ve y B'dir

Bileşik bulanık söylemi $U \times V$ 'de

- $\mu_{A \cap B}(x,y) = t[\mu_A(x), \mu_B(y)]$

üyelik fonksiyonlu $A \cap B^{-1}$ bulanık bağıntısı olarak yorumlanabilir. t-norm olarak min kullanırsak;

- $\mu_{A \cap B}(x,y) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)]$ olur.

“VEYA” ilişkisi için bulanık birleşme kullanılmaktadır. Yani x A'dır veya y B'dir. bileşik bulanık söylemi $U \times V$ 'de

- $\mu_{A \cup B}(x,y) = D[\mu_A(x), \mu_B(y)]$

olarak ele alınır. Burada $s: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ herhangi bir D-normudur.

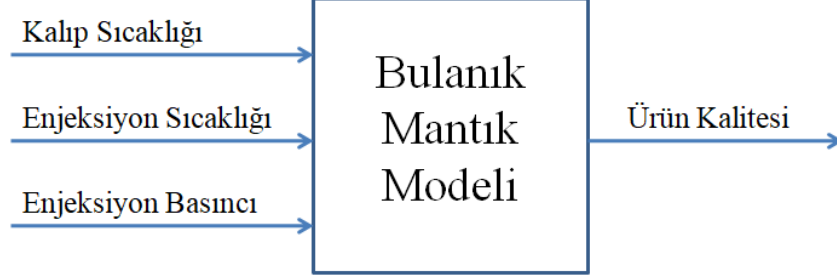
Örneğin s-norm olarak max kullanırsak;

$$\mu_{A \cup B}(x,y) = \max[\mu_A(x), \mu_B(y)]$$

“DEĞİL” ilişkisi için bulanık tümeleme kullanılmaktadır.

Örneğin; 1 numaralı analiz için örneklendirmek gerekirse; " Eğer kalıp sıcaklığı $50^\circ C$ ve enjeksiyon sıcaklığı $200^\circ C$ ve enjeksiyon basıncı $400 MPa$ ise, o halde kalite çok kötüdür." Bu örnekte "çok kötü" gibi dilsel ifadeler kullanılır ve bu dilsel değerlerin uygun üyelik dereceleri mevcuttur. Bulanık mantık sistemi oluşturulmaya karar verildikten sonra yapılması gereken ilk iş "Eğer - O halde" kural

tablosunu elde etmektir. Bu kurallar uzman kişiden ya da yapılan deneylerden elde edilir.



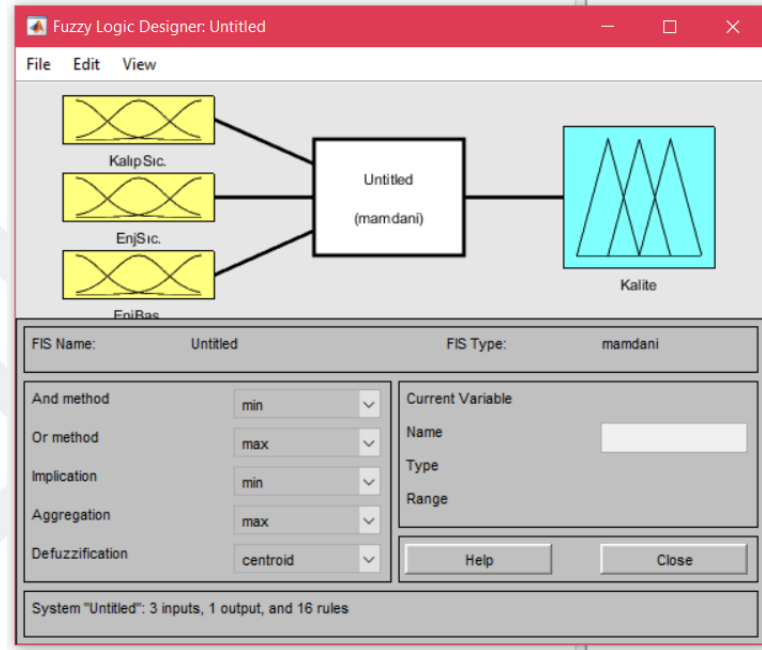
Şekil 3. 70. Sistemin Giriş ve Çıkış Parametreleri

Tasarlanan bulanık mantık sisteminde şekil 9.71'de görüldüğü gibi 3 girdi ve 1 çıkış bulunur. Girdiler; Kalıp sıcaklığı, enjeksiyon sıcaklığı ve enjeksiyon basıncıdır. Çıktı ise ürün kalitesidir. Bunların arasındaki bağlantı sugeno ya da mamdani çıkarım yöntemleriyle yapılabilir. Çıkarım bulanık mantık sisteminden önemli bir adımdır. İnsanın çıkarım yapma ve karar verme özelliklerinin kullanıldığı bölüm burasıdır. Bulanıklaştırma adımında elde edilen üyelik fonksiyonları ile kural tabanında hangi kuralların kullanılacağı bulunur ve çıkarım işlemi yapılır. Sugeno sistemi verimli bir çıkarım sistemi olup, PID kontrolü gibi doğrusal tekniklerle iyi çalışır, Optimizasyon ve uyarılma teknikleri için uygundur, çıkış yüzeyinin devamlılığını garanti eder ve mamdani çıkarım yöntemiyle arasındaki en önemli fark ise daha çok matematiksel analiz için uygundur. Mamdani ise insan girdisine daha uygundur. Bu yüzden bu sistemde mamdani çıkarım sistemi kullanılmıştır. Mamdani bulanık modellemesi ise aşağıdaki 5 adımda oluşturulmaktadır (Zhang vd.2012).

- 1) Bulanık ifadeler kullanılarak girdiye ait 0 ile 1 arasında değişen üyelik dereceleri belirlenerek bulanıklaştırma işlemi yapılır.
- 2) Kural tabanı belirlenir.
- 3) Mantık ifadeler ile işlem (ve, veya) uygulanır.
- 4) Kuralların çıktısını ifade eden bulanık kümeler birleştirilir.

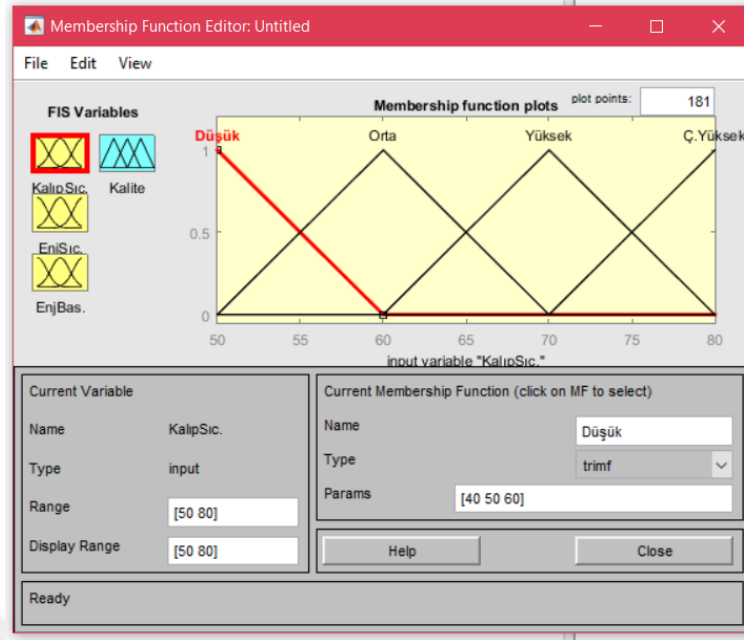
5) Sayısal bir ifadeye dönüştürülen toplam bulanık küme sonuçları durulaştırılır.

Bu yöntemle bulanık kural tabanındaki her bir kural bir tane çıkış bulanık kümesi belirlemektedir ve tüm bulanık çıkarım mekanizması M tane kişisel bulanık kümelerin bir kombinasyonudur. Bu kombinasyon birleşme ve kesişme ile elde edilebilir.



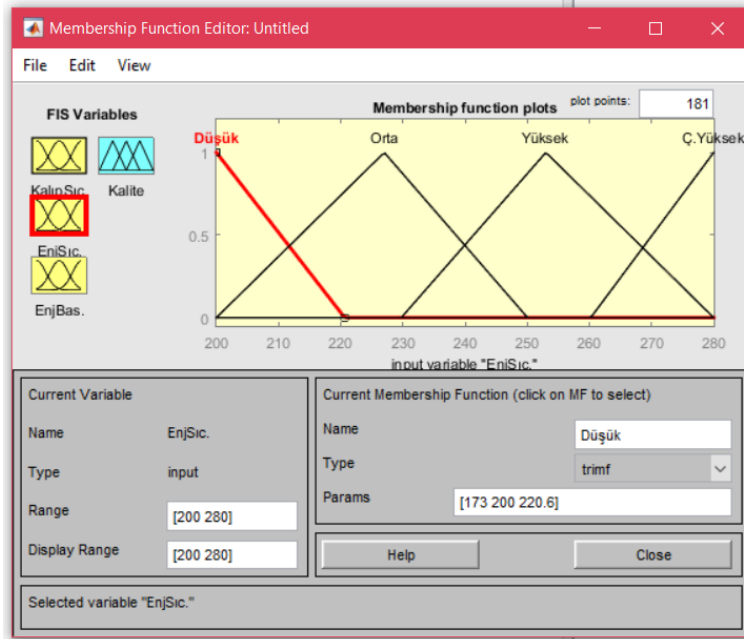
Şekil 3. 71. Bulanık Mantık Siteminin Oluşturulması

Sistemde her girdi ve çıktı için üyelik fonksiyonları tanımlanır. Kalıp sıcaklığı için 50 °C -60 °C -70 °C -80 °C olmak üzere 50-80 değerleri arasında olan şekil 3.72' de görüldüğü gibi 4 üyelik fonksiyonu vardır. Bu fonksiyonlar sisteme düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak tanımlanır. Aynı işlemler diğer girdiler için de yapılır.



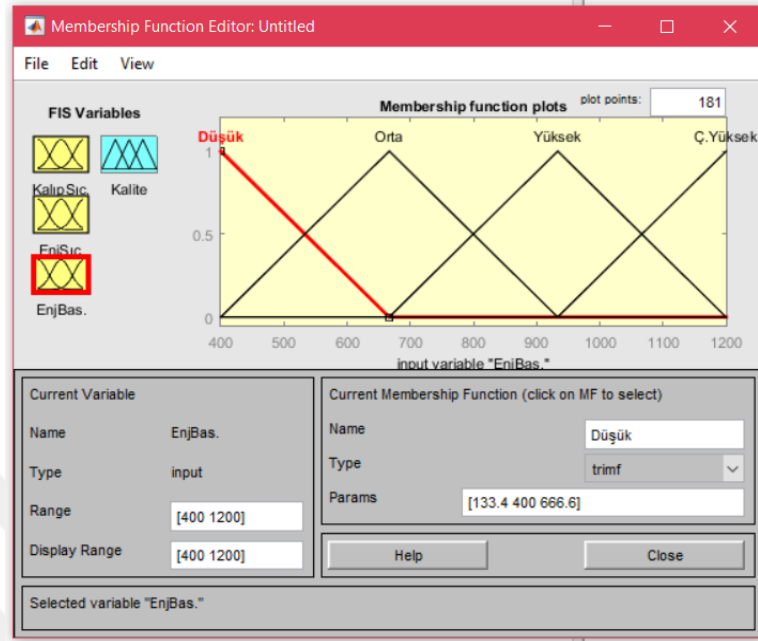
Şekil 3. 72. Kalıp Sıcaklığı Üyelik Fonksiyonlarının Tanımlanması

Enjeksiyon sıcaklığı için 200 °C-220-°C-260 °C-280 °C olmak üzere şekil 3.73' de görüldüğü gibi 4 farklı üyelik fonksiyonu vardır.



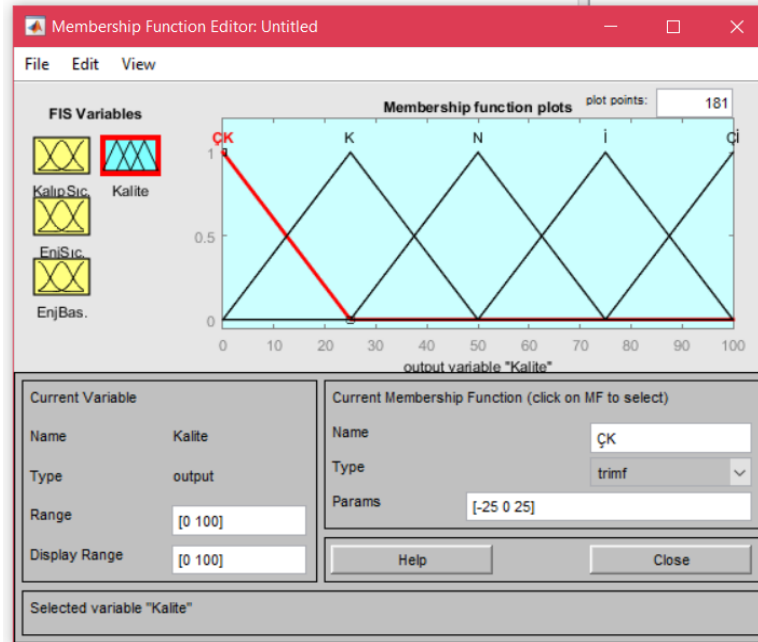
Şekil 3. 73. Enjeksiyon Sıcaklığı Fonksiyonlarının Tanımlanması

Enjeksiyon basıncı için ise 400 MPa -600 MPa -800 MPa -1200 MPa olmak üzere yine şekil 3.74' de görüldüğü gibi 4 farklı üyelik fonksiyonu bulunur.



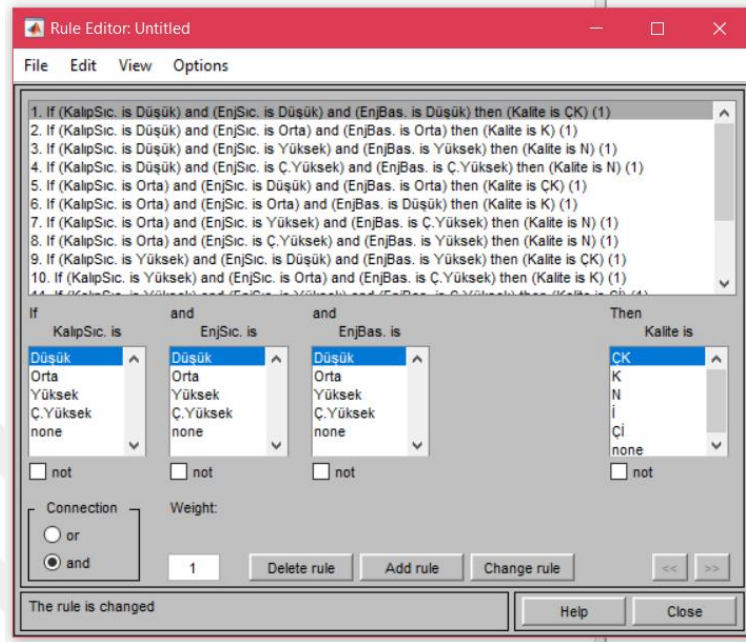
Şekil 3. 74. Enjeksiyon Basıncı Fonksiyonlarının Tanımlanması

Kalite için 0-100 aralığında şekil 3.74' de görüldüğü gibi 5 üyelik fonksiyonu bulunmaktadır.



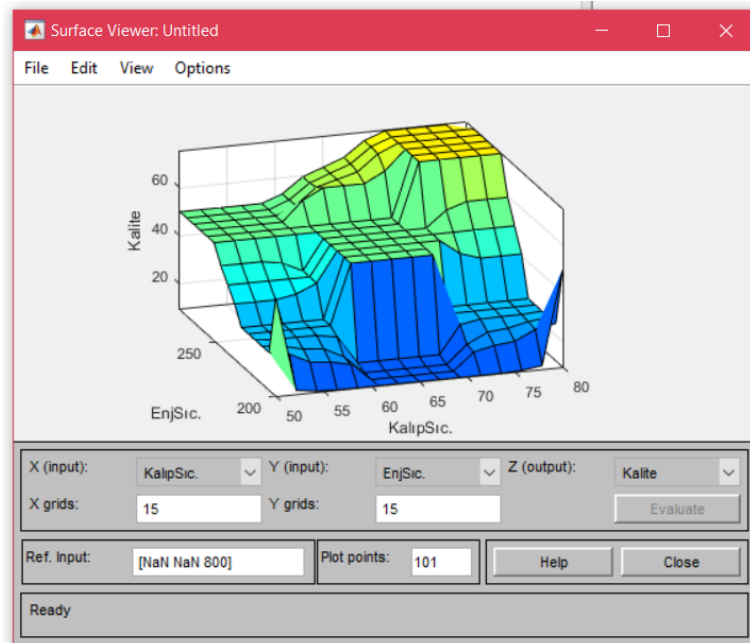
Şekil 3. 75. Kalite Değerlerinin Girilmesi

Bu işlemler tamamlandıktan sonra sisteme şekil 3.76 'deki gibi kurallar girilir. Bu kurallar Moldflow analizleri sonucunda elde edilen sonuçların değerlendirilmesi sonucunda oluşturulmuştur.



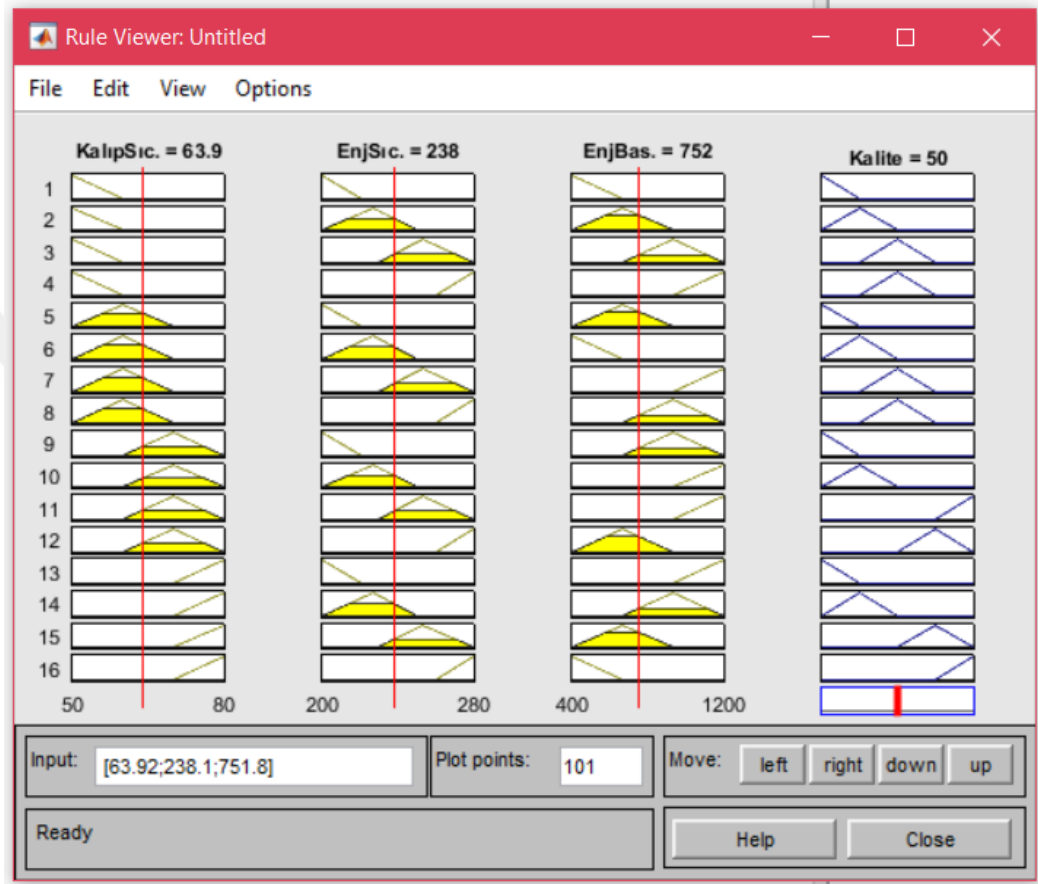
Şekil 3. 76. Kuralların Sisteme Tanımlanması

Kurallar sisteme girildikten sonra sonuç ekranı "Surface viewer" şekil 3.77'deki gibidir. Şekil 3.78' de ise "Rule Viewer" ekranı verilmiştir.



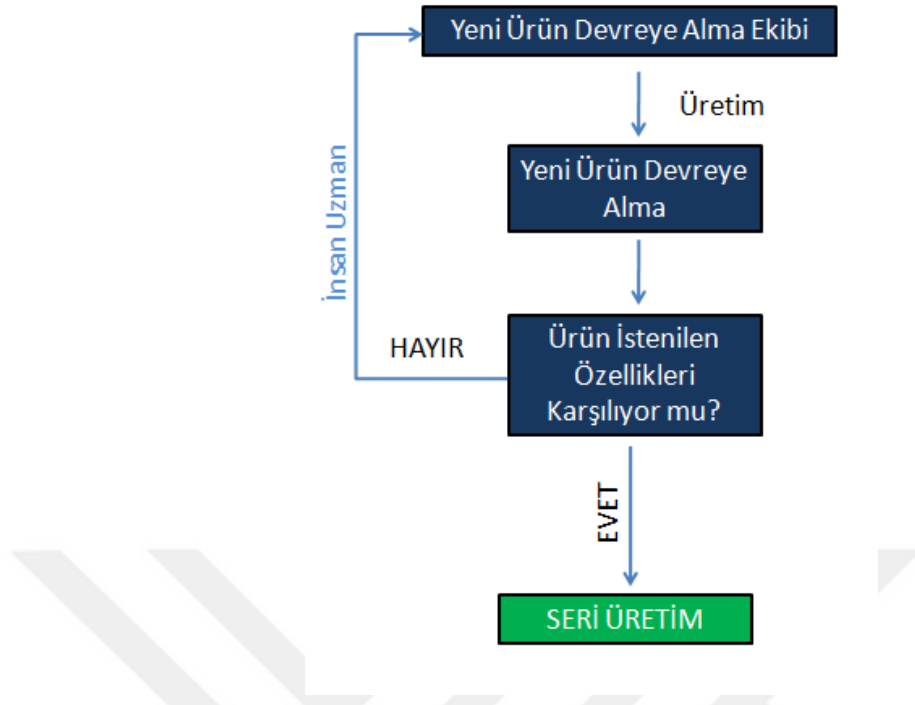
Şekil 3. 77. "Surface viewer" Sonuç Ekranı

"Rule viewer" ekranı enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve kalıp sıcaklığında değişiklik yaptığımızda anında kalite bilgisini verir. Bu sonuç ekranı sayesinde deneme yapmak istenen değerlerde baskıdan çıkan ürünün kalitesini görülebilir. Bu sayede makine başında iyi kalitede ürün alabilmek için geçen süre ciddi oranda azalır.



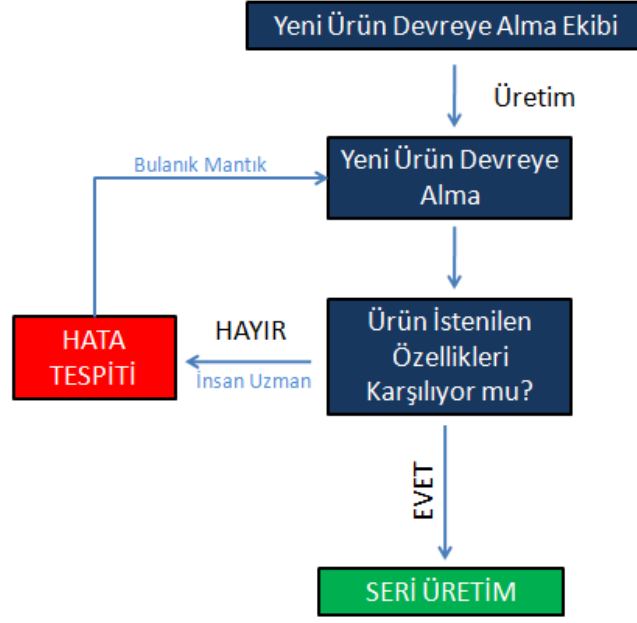
Şekil 3. 78. "Rule viewer" Sonuç Ekranı

Bulanık mantık sisteminin kullanılması sayesinde üretimde çalışan makine ve kalıpların performansı konusunda deneyimli formenlerin bilgileri kayıt altına alınmış olur. Böylece üretimdeki deneyim, matematiksel formüle dönüşür. Bu durum formenlerin işten ayrılması gibi durumlarda bilginin yok olmasını engeller.



Şekil 3. 79. Mevcut Yeni Ürün Devreye Alma Süreci

Şekil 3.78' de bir ürünün deneme yapıldıktan sonra mevcut seri üretime geçme prosesi verilmiştir. Mevcut proste plastik enjeksiyon kalıbı makineye bağlanıp denemeler yapıldıktan sonra eğer denemelerde istenilen kalite elde edilirse seri üretime geçilir. İstenilen kalite elde edilemez ise deneyimli uzman yardımıyla denemeler baştan yapılır. Mevcut sistemde bir değişiklik yapıldığında, o değişikliğin kaydı tutulmadığı için, elde edilen ürün uygun olmadığı zaman denemelere baştan başlanmaktadır. Dolayısıyla süreç rassal denemelerle sürmektedir. Mevcut sistemde hata tespiti yapılmadan süreç baştan başlar. Bu durum zaman kaybı oluşturur ve sürecin devamlılığı için kalıcı bir çözüm ortaya koymaz. Bu durum süreci verimsiz hale getirir.



Şekil 3. 80. Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Yeni Ürün Devreye Alma Süreci

Şekil 3.79' da görülen bulanık mantık sistemi ile yeni ürün devreye alma sürecinde ise Mevcut prosteşte plastik enjeksiyon kalıbı makineye bağlanıp denemeler yapıldıktan sonra eğer denemelerde istenilen kalite elde edilirse seri üretime geçilir. İstenilen kalite elde edilemez ise deneyimli uzman yardımıyla hata tespiti yapılır. Bu tespit parametrelere göre ürün kalitesi değerlendirilerek yapıp, yapılan yorum bulanık mantık sistemine girilir. Böylece yeni yaklaşımda süreç adım adım ilerler ve iyileştirmeler sürekli hale gelir. Ayrıca aynı ürün aynı makinede farklı zamanlarda üretime alınıp farklı sonuçlar çıktığında, kaliteyi etkileyen etkenler daha rahat görülebilir. Aynı ürün farklı aynı çevre koşullarında ve aynı parametrelerde farklı makinelerde baskıya alınıp farklı sonuçlar elde edildiğinde ise makine performansları hakkında yorum yapılabilir. Bu tür sonuçların elde edilmesi üretimi farklı bir bakış açısıyla değerlendirip, farklı ve yeni çözüm önerilerinin bulunmasını sağlar.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Dünyada üretim alanında artan rekabet, ülkemizde ihracat özellikle üzerinde durulması gereken bir konu haline gelmiştir. İhracatı arttırmak için en önemli iki etken teknoloji ve işçiliktir. Batıda rekabet teknolojik alanında iken, hammadde ve işçilik maliyetleri alanında ise uzak doğu rekabeti kısıtırmaktadır. Tüm bu faktörler ele alındığında rekabette yer alabilmek için, makine ve kaynakların en verimli şekilde kullanılması gerekmektedir.

Türkiye'de plastik sektörünü incelediğimizde beyaz eşya, otomotiv, gıda gibi sektörlerin gelişmesi ile birlikte buna paralel olarak plastik sektörü de ülkemizde gelişme göstermektedir. Sektörlerde kullanılan plastik malzemelerin büyük bir kısmının plastik enjeksiyonla şekillendirilir. Plastik enjeksiyonda yüksek kalitenin düşük maliyet ile elde edilmesi piyasada diğer rakiplere karşı avantaj sağlar.

Plastik enjeksiyon prosesini incelediğimizde beklenen fiziksel ve görsel özellikleri karşılayan, kalite ve ölçü standartlığı açısından kararlı üretim için hazırlık aşaması süre olarak fabrikada üretimde çalışan formen ve operatörler belirlemektedir. Hazırlık aşamasında geçen süreyi kısaltmak verimliliğin artmasında önemli rol oynar. Proseste çalışan kişilerin ürün devreye alma sırasında yaptığı hatalar hazırlık aşaması süresini arttırır. Ayrıca proseste bir değişiklik yapıldığında, yapılan değişikliğin kaydedilmediği için kalıptan çıkan son ürün istenilen özellikleri karşılamadığında parametrelerde değişiklik yapılarak süreç baştan başlamaktadır ve süreçte yapılan değişiklikler rastlantısal yapılmaktadır. Ayrıca formenlerin işten ayrılmaları durumunda ürünün devreye alınmasıyla ilgili tüm bilgi kaybolur ve bu yüzden hazırlık aşaması süresi yeni elemanlarla belirsizleşir. Bu durum işletmeleri rekabet ve verimlilik anlamında zora sokar.

Parametrelerin optimizasyon aşaması zor ve maliyetli olup oldukça önemlidir. Çünkü sadece pratik bilgiden yararlanılarak enjeksiyon parametreleri üzerinden yapılan değişiklik ile yapılan üretimde kalıp kararlı ürün verene kadar devamlı baskı yapar. Bu baskılar sırasında işçilik, hammadde ve enerji gibi maliyetler artmaktadır. Bunların yanı sıra plastik enjeksiyon prosesi sıcak-soğuk hava değişikliklerinden bile etkilenir. Bu yüzden ürün farklı zaman aralıklarında devreye alındığında aynı parametreler kullanıldığında önceki sonuçları vermeyebilir. Bu durum prosesin

kararlılığı açısından olumsuz bir durum oluşturup, müşteri kaybetme riskini ortaya çıkartır.

Bu tez çalışmasında bir beyaz eşya firmasının bulaşık makinesine ait olan alt tabanda optimum makine ve ürün parametrelerine farklı bir bakış açısıyla kısa ve sürekli sistemin yeni bilgiyle beslenmesi koşuluyla sürekli iyileşen bir şekilde ulaşılmıştır. Aynı zamanda proseste çalışan üretimden sorumlu elemanların ya da uzman kişilerin deneyimleri sisteme aktarılmış olup, makine ve ürün parametreleri üzerinde yapılacak olan her değişiklik denemeye gerek kalmadan kalitesinin öngörülmesi sağlanmıştır. Enjeksiyon parametreleri, imalat kuralları, kararlılık tabloları ve genel çerçevede her deneyim belirlenerek deneysel ve teorik bilgi tabanı oluşturur. Bu bilgi tabanına göre bulanık mantık ile optimizasyon yapılarak kesin sonuçlar çıkarılır.

Sistemi etkin ve doğru şekilde kullanmak için sisteme kuralların sisteme eksiksiz olarak girilmesi, ayrıca kaliteyi etkileyen tüm etkenlerin analiz edilip sisteme dahil edilmesi gerekir. Bunun için sektörde çalışanların kurs, seminer gibi faaliyetlerle eğitilmesi ve farklı bakış açıları kazanması oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] Pınar Engin, Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle İmalatta Hataların Tespiti Ve Proses Şartlarının Optimizasyon Uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul,2010,77s (Yüksek Lisans Tezi)
- [2] Akyürek Ahmet ,Plastik Enjeksiyon Süreci Optimizasyonunda Yapay Zeka Tekniklerinin Kullanımı, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, 2009,151s (Yüksek Lisans Tezi)
- [3] Ceritbinmez Ferit, Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı Ve Üretilen Parçalarda Çapaklanmaya Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun, 2014, 112s (Yüksek Lisans Tezi)
- [4] Kamber Ömer Şaban, Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Basınç Ve Sıcaklık Parametrelerinin Ürün Kalitesine Etkileri Ve Taguchi Yöntem İle Optimizasyonu, Marmara Üniveritesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Makine Eğitim Programı, İstanbul, 2008, 185s , (Doktora Tezi)
- [5] Özçelik B., Erzurumlu T., “Determination of effecting Dimensional Parameters on Warpage of Thin Shell Plastic Parts Using İntegrated Response Surface Method and Genetic Algorithm”. International Communications in Heat and Mass Transfer, 32,2005, 1085-1094.
- [6] Tiryaki Eğrisöğüt A.,Kazan R., Bulaşık Makinesinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi, Mühendis ve Makina, Cilt: 48, Sayı: 565
- [7] Ünsal Sinan, İbrahim Alışkan, Mamdani ve Takagi-Sugeno Çıkarım Yöntemlerine Sahip Bulanık Mantık Denetleyicilerin Özgün Yazılım ve Araç Kutusu Performans Analizi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, (Yüksek Lisans Tezi)
- [8] Dubay, R.,“Self-optimizing MPC of Melt Temperature in Injection Moulding”. ISA Transactions, 41, 2002,81-94

- [9] Öktem H., Erzurumlu T., Uzman İ.; "Application of Taguchi Optimization Technique in Determining Plastic Injection Molding Process Parameters for a Thin-Shell Part". *Materials and Design*, 28, 2007,1271-1278.
- [10] Web, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Plastik> , Erişim Tarihi 2018
- [11] Pagev, Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu, Mart 2017, 33s
- [12] Web, Akdoğan Ayşegül, Plastiklere İlave Edilen Katkı Maddeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi,
http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Plastiklere_ilave_edilen_katki_maddeleri.pdf , Erişim Tarihi 2018
- [13] Web,
https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf Plastics Europe, Plastics - The Facts 2017, Web, 2018
- [14] <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/plastikte.mek2.pdf>
Ay İrfan, Termoplastik ve Termoset Plastikler, Balıkesir Üniversitesi, Web, 2018
- [15] Scaufelbühl, M.; Kişisel Görüşme, (Kistler Instrumente Semineri), (2007)
- [16] Collins, C.: "Monitoring Cavity Pressure Perfects Injection Molding", *Assembly Automation* 19 (1999) 197-202.
- [17] Palabıyık, M., 2008. Polimer Esaslı Kompozitler İle Konstrüksiyon, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, İstanbul.
- [18] Paçacı Serdar, Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık Ve Sinirsel Bulanık Denetleyiciler İle Asenkron Motorların Hız Denetimi İçin Simülasyon Tasarımı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü ,Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta, 2011, 105s (Yüksek Lisans Tezi)
- [19] <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/7826/1/4254.pdf>
Köse Engin, Plastik Enjeksiyonda Proses Ve Kalıp Kaynaklı Sorunların Giderilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2006, 111s (Yüksek Lisans Tezi)
- [20] Web, www.hasco.com, Erişim Tarihi: 2018

- [21] Web, Milli Eğitim Bakanlığı ,
http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Hacim%20Ve%20Plastik%20%C5%9Eekillendirme%20Kal%C4%B1p%20Resmi.pdf ,
Erişim Tarihi 2018
- [22] İçer Enver, Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı Ve Tasarım Esaslarına Göre İmalatı, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı, Yalova, 2014, 131s (Yüksek Lisans Tezi)
- [23] Turaçlı, H., Enjeksiyon Kalıpları imalatı, Seçkin Yayın Evi, İstanbul, 198s., 2008
- [24] Kafalı Mehmet Samet, Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, 2011, 116 s (Yüksek Lisans Tezi)
- [25] Web,<http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/plc-nedir-ne-ise-yarar/15033#ad-image-0>, Erişim Tarihi 2018
- [26] İçten Berke, Plastik Enjeksiyonda Basınç, Sıcaklık, Zaman, Hız Gibi Faktörlerin Parça Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü , Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2004, 95s (Yüksek Lisans Tezi)
- [27] Yeung, V.W.S.; Lau, K.H.: “Injection Moulding 'C-Mold 'Cae Package. Process Parameter Design And Quality Function Deployment: A Case Study Of Intelligent Materials Processing”, Journal Of Material Processing Technology 63 (1997) 481-487.
- [28] Shen, Y.K.; Liu, J.J.; Chang, C.T.; Chiun, C.Y.: “Comparison of the Results for Semisolid and Plastic Injection Molding Process”, Int. Comm. Heat Mass Transfer; 1 (2002) 97-105.
- [29] Lau, H.C.W.; Ning, A.; Pun, K.F.; Chin, K.S.: “Neural Networks for The Dimensional Control of Molded Parts Based on a Reverse Process Model”, Journal of Materials Processing Technology 117 (2001) 89-96.
- [30] Bryce, D.M.: “Plastic Injection Molding”, Society of Manufacturing Engineers, Vol II,Georgetown,Texas (1997) 332-333.

- [31] Young, W.B.: “Effect of Process Parameters on Injection Compression Molding of Pickup Lens”, Applied Mathematical Modelling 29 (2005) 955– 971.
- [32] Çakır Yavuz, I 20-3 Polietilen Plastik Ürünlerde Çekme Miktarına Etki Eden Enjeksiyon Parametrelerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara,200, 75s (Yüksek Lisans Tezi)
- [33] Kamber Ömer Şaban, Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Basınç Ve Sıcaklık Parametrelerinin Ürün Kalitesine Etkileri Ve Taguchi Yöntem İle Optimizasyonu, Marmara Üniveritesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Makine Eğitim Programı, İstanbul, 2008, 185s , (Doktora Tezi)
- [34] Akyüz, Ö.F,Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, Pagev Yayınları, II. Baskı, İstanbul, Türkiye, (2001) 195-217
- [35] Huang, M.C.,Tai, C.C., The Effective Factors in the Warpage Problem of an Injection - Molded Part with a Thin Shell Feature, Journal of Materials Processing Technology 110 (2001) 1-9.
- [36] Web, BrightWorks, Ekim 2017 Teknik Bülten, <http://brightworksenineering.com/teknik-bulten> , Erişim Tarihi 2018
- [37] Hugh, J.,InjectionMolding,Manufacturing Engineeer on a disk(2001) 1-7 <http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/eod/manufact/manufact-214.html> (04.07.2007).
- [38] Tsai, C.C., Lu, C.H., Multivariable Self-Tuning Temperature Control for Plastic Injection Molding Process , Ieee Transactions On Industry Applications, 34 (1998)
- [39] Keniga, S.; David, A.B.; Omer, M.; Sadeh, A.: “Control of Properties in Injection Molding by Neural Networks”, Engineering Applications of Artificial Intelligence 14 (2001) 819–823.
- [40] Parabodh, C.: “A Guide to Injection Moulding of Plastics”, 2nd Edition,India,(2000) <http://www.pitfallsinmolding.com/> (09.09.2007).
- [41] Hatman, A.: “ Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Isı Yönetimi”, Kalıp Dünyası, 22 (2003) 47-51.
- [42] Fischer, J.M.: “Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage”, Plastics Design Library Handbook Series, Norwich, USA (2003) 105-170

- [43] Willett, R.:“Copper Applications in Innovative Technology” Willett Technical Services, Bloomingdale (1997) 1-3
<http://www.copper.org/innovations/1997/12/molds.html> (04.07.2006)
- [44] Grillet, A.M.; Arjen, C.B.B.; Peters, G. W. M. ; Frank, P.T.B.: “Numerical Analysis of Flow Mark Surface Defects in Injection Molding Flow”, By The Society of Rheology, 46 (2002) 651-669.
- [45] Ergüney, S.; Karataş, Ç.; Sarıtaş, S.: “ Ticari Plastiklerin Kalıpta Akış Boylarının İncelenmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 20 (2005) 297303.
- [46] Uluer,O.; Güldaş, A.; Özdemir , A.: “Ergimiş Plastiğin Kalıp Boşluğundaki Gerçek Akış Davranışını Gözlenmesi İçin Kalıp Tasarımı Ve İmalatı” Teknoloji, 8 (2005) 181-189.
- [47] ISO 1133:2005 "Plastikler - Termoplastiklerin Kütlesel Erime Akış Hızının (MFR) ve Hacimsel Erime Akış Hızının (MVR) belirlenmesi”
- [48] ASTM D1238-10 " Ekstrüzyon Plastometre ile Termoplastiklerin Erime Akış Hızının Belirlenmesi için Mevcut Olan Standart Test Yöntemi“
- [49] Merah, N.; Irfan-ul-Haq, M.; Khan, Z.: “Temperature and Weld-Line Effects on Mechanical Properties of CPVC” , Journal of Materials Processing Technology, 142 (2003) 247–255.
- [50] Beaumont, J.P.; Nagel, R.; Sherman, R.:“Successful Injection Molding Process,Design and Simulation”, Hanser Publishers, Munich, Germany, (2002)
- [51] Web, BrightWorks, Eylül 2017 Teknik Bülten,
<http://brightworksenineering.com/teknik-bulten> , Erişim Tarihi 2018
- [52] Loostma FA (1997) Fuzzy Logic for Planning and Decision Making.
Kluwer Academic Publihers: Dordrecht/Boston/London
- [53] Web, http://anole-hot-runner.com/plastic-injection-troubleshooting-plastic-black-spots-amp-brown-streaks_379.htm, Erişim Tarihi 2018
- [54] Web, <https://www.slideshare.net/HanyAmer4/polymer-extrusion-problems-defects> , Erişim Tarihi 2018
- [55] Web, <https://www.creativemechanisms.com/blog/what-cause-injection-molding-defects-and-how-to-fix-them> , Erişim Tarihi, 2018

- [56] Web,
http://www.plasticsemarket.com/index.php?read=923&onmag=true&type=m
agazine , Erişim Tarihi 2018
- [57] Web, Bright Work Engineering , Şubat Sayısı
https://www.brightworkengineering.com/images/download/subat-2016.pdf
,Erişim Tarihi 2018
- [58] Web, https://www.ivoiregion.net/photo/molding-defects-fimmtech.html,
Erişim Tarihi 2018
- [59] Şirvancı,M.,Kalite İçin Deneş Tasarımı, Taguchi Yaklaşımı ,Literatür
Yayıncılık,İstanbul, (1997) 12-110.
- [60] Web , Özgür Plastik, <http://www.ozgunplastik.gen.tr/Polipropilen.htm> ,
Erişim Tarihi 2018
- [61] Baykal N., Beyan T.,Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler,
Bıçaklar Kitabevi, 2004, Yayın No:10.
- [62] WANG, L.X.,"Stable Adaptive Fuzzy-Control of Nonlinear Systems", IEEE,
Transactions on Fuzzy Systems, Vol.1, No.1, pp.1, February 1993.
- [63] Pehlivan İhsan, Bulanık Mantık Kontrolörler İle Klasik PID Kontrolörlerin
Karşılaştırılması Ve Bir Bulanık Mantık Kontrolör Tasarımı, Sakarya
Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı, 2001, 78s (Yüksek Lisans Tezi)
- [64] COX, E.,"Fuzzy Fundamentals", IEEE, Spectrum, pp.58, October 1992
- [65] KOSKO, B., "Neural Netwok and Fuzzy Systems" Academic Press, 1993
- [66] LEE, C.C., "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller",
PART II, IEEE, Transactions on Systems and Cybernetics, Vol.20,
No.2, March 199
- [67] KAHANER D.K.,Advances in Fuzzy Theory and Applications, IEEE,
Micro, Vol.11, No.4, August 1991.

- [68] Harun Tanyıldızı, Salih Yazıcıoğlu, Bulanık Mantık Metodu ile Tekil Y¼kler Altında İki Açıklıklı Kirişlerin Plastik Göçme Yük Faktörü Değerinin Bulunması, İMO Teknik Dergi,2006, 3961-3971, Yazı 262.
- [69] Musa Alcı, Engin Karatepe, 2002, Bulanık Mantık ve Matlab Uygulamaları, İzmir, Türkiye.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kutlucan TUNÇER

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir,1991

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : kutlucantuncer@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Menemen Anadolu Lisesi 2005-2009

Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği 2010-2014

Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Yönetimi , 2014-2016

Mesleki Deneyim

Kurum bilgisi : Maxion Wheels Jantaş Jant Sanayi ve Tic. A.Ş. 2014-2016

Kurum bilgisi : Teknikaplast Teknik Kalıp Plastik San. Tic. A.Ş. 2017-2018