



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

**YAKLAŞIK ÇÖZÜM TEKNİKLERİNİ KULLANARAK PLASTİK
ENJEKSİYON PROSESİNİN TASARIM METODOLOJİSİ**

HÜSEYİN ÇAKMAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Dr. Öğretim Üyesi Oğuz KAYABAŞI**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAKLAŞIK ÇÖZÜM TEKNİKLERİNİ KULLANARAK PLASTİK
ENJEKSİYON PROSESİNİN TASARIM METODOLOJİSİ

Hüseyin ÇAKMAK tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğretim Üyesi Oğuz KAYABAŞI

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğretim Üyesi Oğuz KAYABAŞI

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Fehmi ERZİNCANLI

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. İlyas KANDEMİR

Gebze Teknik Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 16/07/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının , kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

16 Temmuz 2019

Hüseyin Çakmak

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğretim Görevlisi Oğuz Kayabaşı'na en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen çalışma arkadaşım Özgür Uysal ve Alplas firmasına şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

16 Temmuz 2019

Hüseyin ÇAKMAK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xix
KISALTMALAR.....	xx
SİMGELER	xxi
ÖZET	xxii
ABSTRACT	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. PLASTİK MALZEMELER VE ENJEKSİYON PROSESİ.....	6
2.1. PLASTİK MALZEMELER.....	6
2.1.1. Polimerlerin Sınıflandırılması	8
2.1.1.1. <i>Yapılarına Göre Polimerler.....</i>	8
2.1.1.2. <i>Polimer Zincirlerine Göre Sınıflandırma</i>	8
2.1.1.3. <i>Kimyasal Bileşimlerine Göre Sınıflandırma.....</i>	8
2.1.1.4. <i>Fiziksel Durumlarına Göre Sınıflandırma.....</i>	9
2.1.2. Mühendislik Plastikleri	9
2.1.2.1. <i>Mühendislik Plastiklerinin Mekanik Özellikleri</i>	10
2.2. ENJEKSİYON PROSESİ	11
2.2.1. Plastik Üretim Yöntemleri	11
2.2.2. Enjeksiyon Prosesinin Esasları.....	12
2.2.3. Proses Parametreleri	13
2.2.3.1. <i>Sıcaklık.....</i>	13
2.2.3.2. <i>Enjeksiyon Hızı</i>	14
2.2.3.3. <i>Enjeksiyon Basıncı</i>	14
2.2.3.4. <i>Ütüleme Basıncı</i>	14
2.2.3.5. <i>Tutma Basıncı</i>	14
2.2.3.6. <i>Soğuma Zamanı</i>	14
2.2.3.7. <i>Enjeksiyon Süresi.....</i>	15
2.2.3.8. <i>Kalıp Sıcaklığı.....</i>	15

2.2.3.9. Eriyik Sıcaklığı.....	15
3. DENEY TASARIMI VE SAĞLAM TASARIM	17
3.1. İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIMI	17
3.1.1. Faktöriyel Deney Tasarımı	17
3.1.2. Yanıt Yüzey Yöntemi.....	19
3.1.2.1. Endik Çıkış Yöntemi	21
3.1.2.2. İkinci Dereceden Yanıt Yüzeyi Analizi.....	22
3.2. TAGUCHİ DENEY TASARIM YÖNTEMİ İLE SAĞLAM TASARIM.....	23
3.2.1. Taguchi Sağlam Tasarım Metodu	23
3.2.2. Taguchi Sağlam Tasarım Metodunun Gelişimi	23
3.2.3. Taguchi Sağlam Tasarım Metodunun Avantajları	24
3.2.4. Sağlamlık Stratejisi.....	24
3.2.4.1. P-Diyagramı	25
3.2.4.2. Kalite Ölçümleri	26
3.2.4.3. Sinyal/Gürültü Oranı	27
4. OPTİMİZASYON VE GENETİK ALGORİTMA	29
4.1. OPTİMİZASYON.....	29
4.1.1. Optimizasyon Probleminin İfadesi.....	30
4.1.2. Modelleme.....	32
4.1.3. Klasik Optimizasyon	33
4.1.4. Kısıtsız Optimizasyon	33
4.1.4.1. Kısıtsız Tek Değişkenli Optimizasyon.....	33
4.1.4.2. Kısıtsız İki Değişkenli Optimizasyon	34
4.1.4.3. Kısıtsız Çok Değişkenli Optimizasyon	34
4.1.5. Kısıtlı Optimizasyon	35
4.1.5.1. Kısıtlı İki Değişkenli Doğrusal Programlama.....	35
4.1.5.2. Kısıtlı Çok Değişkenli Doğrusal Programlamada Simplex Metodu.....	35
4.1.5.3. Kısıtlı Çok Değişkenli Doğrusal Programlamada Lagrange Çarpanları.....	36
4.2. GENETİK ALGORİTMA	37
4.2.1. Tanım	37
4.2.2. Temel Kavramlar	37
4.2.3. Genetik Operatörler	38
4.2.3.1. Üreme.....	38
4.2.3.1.1. Rulet Çarkı.....	39
4.2.3.1.2. Sıralı Seçim	39
4.2.3.1.3. Turnuva Yöntemi.....	39
4.2.3.2. Çaprazlama.....	39
4.2.4. Genetik Algoritma Akış Diyagramı	41
4.2.5. Genetik Algoritma Parametre Seçimi.....	41
4.2.4.1. Popülasyon Büyüklüğü	42
4.2.4.2. Çaprazlama Olasılığı.....	42

4.2.4.3. Mutasyon olasılığı.....	42
4.2.4.4. Kuşak aralığı.....	42
4.2.4.5. Seçim Stratejisi	42
4.2.4.6. Fonksiyon Ölçeklemesi	42
5. MATERYAL VE METOD.....	43
5.1. PROBLEMİN TANIMLANMASI	43
5.1.1. Parçanın Tanıtılması	43
5.1.2. Problemin Tanımlanması.....	45
5.1.3. Parça Tasarım Kontrollerinin Yapılması.....	46
5.1.4. Kalıp Tasarım Kontrollerinin Yapılması	47
5.2. SONLU ELEMENLAR MODELİNİN OLUŞTURULMASI	48
5.2.1. Modelin Transfer Edilmesi ve Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması	48
5.2.2. Yolluk Sisteminin Autodesk Synergy Programında Modellenmesi	50
5.3. PROSES PARAMETRELERİ	53
5.3.1. Üretimde Kullanılan Proses Parametrelerinin İncelenmesi	53
5.3.2. Dolum ve Çarpılma Analizi ile Mevcut Durumun Tespiti.....	56
5.3.3. Deney Setinde Kullanılacak Değişken Parametrelerin Belirlenmesi	60
5.4. TAGUCHİ DENEY SETİNİN OLUŞTURULMASI.....	62
5.5. PLASTİK AKIŞ SİMÜLASYONU	64
5.5.1. Analiz Tipi ve Malzeme Seçimi	64
5.5.2. Proses Parametrelerinin Programa Aktarılması	66
5.5.3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	69
5.6. SAYISAL ANALİZ.....	75
5.6.1. Sinyal Gürültü Oranı Hesaplamaları	75
5.6.2. ANOVA Testi ve Regresyon Modeli Oluşturulması	80
5.7. GENETİK ALGORİTMA TOOL İLE OPTİMİZASYON	83
5.8. MONTE CARLO SİMÜLASYONU	87
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	90
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	92
8. KAYNAKLAR.....	94
9. EKLER.....	96
9.1. EK 1: DETAYLI ANALİZ SONUÇLARI.....	96

9.1.1. Dolum,Akış ve Ütöleme Analizi.....	96
9.1.2. Soğuma Analizi	101
9.2. EK 2: PROSES PARAMETRELERİ	104
ÖZGEÇMİŞ.....	105



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Değişik zamanlarda kullanılan malzemelerin önem seviyeleri.	6
Şekil 2.2. Propilen ve Polypropilen.	7
Şekil 2.3. Polimer Zincir Yapıları.....	8
Şekil 2.4. İnorganik Poimer.	9
Şekil 2.5. a)Amorf Yapılar b)Kristal Yapılar c)Yarı Kristal Yapılar.	9
Şekil 2.6. Ticari amaçlı kullanılan mühendislik plastikleri.	10
Şekil 2.7. Yaygın kullanılan malzemelerin Çekme dayanımlarının karşılaştırılması....	10
Şekil 2.8. Yaygın kullanılan malzemelerin kopma uzama değerlerinin karşılaştırılması.	11
Şekil 2.9. Plastik Üretim Yöntemlerine genel bakış.....	12
Şekil 2.10. Plastik Üretim Yöntemlerine genel bakış.....	13
Şekil 2.11. U formunda Basınç-Enjeksiyon Süresi Grafiği.	15
Şekil 2.12. Parça Ağırlığı ve Kayma Gerilmesinin Eriyik Sıcaklığı ile Değişimi.....	16
Şekil 3.1 a) Yanıt Yüzey Grafiği b)Kontur grafiği.	20
Şekil 3.2. P (Parametre) Diyagramı.	25
Şekil 3.3 a) Adım b) Kuadratik kalite kayıp fonksiyonu.....	27
Şekil 4.1. $f(x)$ fonksiyonu min $-f(x)$ fonksiyonunun maks. noktaları.	30
Şekil 4.2. Optimizasyon işleminin akış şeması.....	31
Şekil 4.3. Rulet Çarkı Seçimi.....	39
Şekil 4.4. Çaprazlama yöntemlerinin şematik gösterimi.	40
Şekil 4.5. GA Akış Diyagramı.	41
Şekil 5.1. Siemens NX10 programında tasarlanmış üç boyutlu model.	43
Şekil 5.2. Dolap üzerine takılan parçada çarpılma sebebi ile meydana gelen açıklık. ...	45
Şekil 5.3. CMM ölçüm raporu.....	45
Şekil 5.4. Parça teknik resmi.....	46
Şekil 5.5. Kaburga tasarımında kullanılan anma ölçüleri.....	46
Şekil 5.6. Kaburga yapısının (Rib) dip tarafında görülen kalınlık farkı.	47
Şekil 5.7. Sıcak yolluk sistemi ile birlikte kalıp yarımı.....	47
Şekil 5.8. Soğuk yolluk ve malzeme giriş bölgesi.....	48
Şekil 5.9. Autodesk Moldflow Plastic Synergy18.1 programında oluşturulan sonlu elemanlar modeli.	49
Şekil 5.10. Sonlu elemanlar modeline ait mesh istatistikleri.	49
Şekil 5.11. Sıcak yolluk, soğuk yolluk ve yolluk girişi modeli genel görüntüsü.	50
Şekil 5.12. Sıcak yolluk sisteminde kalıp giriş yolluğu, yatay yolluk ve dikey yolluk ölçüleri.....	51
Şekil 5.13. Sıcak yolluk sistemine ait dikey yolluk ve valve gate ölçüleri.....	51
Şekil 5.14. Soğuk yolluk sistemine ait yolluk ve giriş ölçüleri.	51
Şekil 5.15. Sıcak yolluk firması tarafından tasarlanan yolluk sisteminin 3D modeli....	52
Şekil 5.16. a) Sekansiyel valf genel kesit b) Soğuk yolluk bağlantı bölgesi ve vida. ...	53
Şekil 5.17. Tedarikçi tarafından sağlanan Proses Sayfası.....	54

Şekil 5.18. Enjeksiyon makinesi bilgi sayfası.	55
Şekil 5.19. Enjeksiyon makine kataloğu.....	56
Şekil 5.20. Basınç katlama oranı tanımı.	56
Şekil 5.21. a) Parça üzerinde işaretlenen yolluk noktası b) Her iki kalıp gözünde 2sn ve 3sn sonunda dolun miktarı.	57
Şekil 5.22. a)Parça dolunu ön görünümü b)Parça dolunu arka görünümü.....	58
Şekil 5.23. Fiziksel şartlara benzer çarpılma analiz sonucu.	58
Şekil 5.24. a) Çekme oranı sonucu b) Basınç sonucu c) Donma oranı sonucu.	60
Şekil 5.25. a) Dişi kalıp soğutma kanalları b) Erkek kalıp soğutma kanalları.	61
Şekil 5.26. Ütuleme profil grafiği.	62
Şekil 5.27. Autodesk Moldflow Synergy programında oluşturulmuş sonlu elemanlar modeli.....	64
Şekil 5.28. Analiz tipi seçimi yapılan program ara yüzü.....	65
Şekil 5.29. Malzeme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan test metotları ve uygulama tarihleri.	65
Şekil 5.30. Malzeme proses özellikleri.	66
Şekil 5.31. Malzeme mekanik özellikleri.	66
Şekil 5.32. Eriyik sıcaklığı, kalıp açılma süresi, enjeksiyon-ütüleme-soğutma toplam süresi değerlerinin programa girildiği ara yüz.	67
Şekil 5.33. Gelişmiş ayarların Autodesk Moldflow Synergy programına girildiği program ara yüzü.....	68
Şekil 5.34. Dolap üzerinde belirlenen kalite problemi.	70
Şekil 5.35. Z yönünde minimum çarpılma sonucu.	70
Şekil 5.36. Dolun süresi sonucu.	71
Şekil 5.37. Kaynak izleri sonucu	71
Şekil 5.38. Akış önü sıcaklığı sonucu.....	72
Şekil 5.39. Hava boşluğu sonucu.....	73
Şekil 5.40. Dolun-ütüleme faz geçişi sırasında parçada oluşan basınç değerleri.	73
Şekil 5.41. Çöküntü sonucu.	74
Şekil 5.42. Kapama tonajı sonucu.	74
Şekil 5.43 Tahmini model katsayıları, Kareler ve düzeltilmiş kareler toplamını.	78
Şekil 5.44. S/N oranına göre parametre etki grafiği.	79
Şekil 5.45. Katsayılar tablosu, kareler toplamı ve düzeltilmiş kareler toplamı değeri. ..	83
Şekil 5.46. Hedef fonksiyonu için en iyi sonuç değişimi.	86
Şekil 5.47. Rastgele sayı üretme ara yüzü.	88
Şekil 5.48. Regresyon denkleminin girildiği program ara yüzü.....	88
Şekil 6.1 Yeni numuneler ile hazırlanan CMM raporu	91
Şekil 6.2 Ütuleme Basıncı-Çarpılma Değeri	91

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1 Etkileşim içermeyen faktöriyel deney	18
Çizelge 3.2 Etkileşim içeren faktöriyel deney	19
Çizelge 4.1 Simplex tablosu	36
Çizelge 4.2. Çaprazlama Yöntemleri	40
Çizelge 5.1. Malzemenin genel özellikleri	44
Çizelge 5.2. Proses parametreleri	44
Çizelge 5.3. Soğutma kanalı çap ölçüleri.	61
Çizelge 5.4. Taguchi deney seti oluşturulurken kullanılan parametreler ve seviyeleri.	63
Çizelge 5.5. Ortogonal Taguchi deney seti.....	63
Çizelge 5.6. Değişken ve sabit proses parametreleri.	68
Çizelge 5.7. Akış simülasyonları sonucu bulunan ortalama çarpılma değerleri.....	75
Çizelge 5.8. Çarpılma değerleri S/N oranları.	76
Çizelge 5.9. Sinyal/Gürültü oranları cevap tablosu.	77
Çizelge 5.10 Sinyal/Gürültü oranına göre en etkin parametre değerleri	79
Çizelge 5.11 Hesaplanan tahmini çarpılma değeri	79
Çizelge 5.12 Parametre Etkilerinin Yüzde Oranları	82
Çizelge 5.13 Varyans analiz tablosu.....	82
Çizelge 5.14. Parametre alt ve üst sınır değerleri.	84
Çizelge 5.15 Genetik algoritmaya ait genel parametreler ve işlemci parametreleri.....	84
Çizelge 5.16 Optimum çarpılma için parametre değerleri.....	85
Çizelge 5.17. Minimum çarpılma değeri ve bunu sağlayan parametreler.	89
Çizelge 6.1 Çarpılma Sonuçları karşılaştırma tablosu.....	90

KISALTMALAR

ANOVA	Varyans analizi
ABS	Akrilonitril/bütadien/stiren
CMM	Koordinat ölçüm cihazı
BDT	Bilgisayar destekli tasarım
BDM	Bilgisayar destekli mühendislik
GA	Genetik algoritma
LB	Daha büyük daha iyi
NB	Nominal en iyi
PP	Polypropilen
PVT	Basınç hacim sıcaklık
R-kare	Kareler toplamı
R-kare(adj)	Düzeltilmiş kareler toplamı
S/B	Daha küçük daha iyi
S/N	Sinyal/gürültü
US	Uzman sistem
YSA	Yapay sinir ağları

SİMGELER

C	Karbon
F	Amaç fonksiyonu
Fa	A için serbestlik derecesi
Ft	Toplam serbestlik derecesi
gi	Sınırlamalar
H	Hidrojen
L	Lagrange fonksiyonu
Mn	Ortalama molekül ağırlığı
MPa	Mega pascal
N	Nitrojen
Sa	A için kareler toplamı
St	Kareler toplamı
T	Sıcaklık
TiN	Titanyum nitrür
V	Viskozite
vj	Lagrange çarpanı

ÖZET

YAKLAŞIK ÇÖZÜM TEKNİKLERİNİ KULLANARAK PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİNİN TASARIM METODOLOJİSİ

Hüseyin ÇAKMAK

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Oğuz KAYABAŞI

Temmuz 2019, 104 sayfa

Bu çalışmada, istatistiksel deney tasarım yöntemleri kullanılarak, hazırlanan deney setine uygun olarak yapılan akış analizleri ile enjeksiyon parametrelerinin optimize edilmesine çalışılacaktır. Elde edilen sonuçları değerlendirmek için, ilk olarak istatistiksel deney yazılımı olan Mini Tab vasıtası ile uygun bir regresyon modeli oluşturulacaktır. Model katsayılarının doğruluğunu saptamak için F testi, parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkisini saptamak için ANOVA(Varyans Analizi) testi uygulanacaktır. İkinci olarak elde edilen regresyon modeli uygunluk fonksiyonu olarak tanımlanacak, enjeksiyon parametre sınır değerleri kısıt olarak alınacaktır. Optimum enjeksiyon parametrelerinin belirlenmesi için GA (Genetik algoritma) çalıştırılacaktır. Üçüncü olarak süreç, bir hipoteze dayanan değişken yaratılarak, Monte Carlo simülasyonu ile optimize edilmeye çalışılacaktır. Monte Carlo simülasyonu, analitik olarak belirsiz durumlarda, varsayımlara dayanan hesaplamaları yapmak için kullanılır. Bu çalışmada kalıp sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı, enjeksiyon basıncı gibi proses parametreleri sabit değildir. Bu belirsizliği gidermek için süreç, hipoteze dayalı değişken üretmek suretiyle optimize edilecektir. Son aşamada, farklı optimizasyon yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, hangi yöntemin daha doğru sonuç verdiği değerlendirilecektir.

Anahtar sözcükler: Enjeksiyon parametreleri, Deneysel tasarım, Genetik algoritma.

ABSTRACT

DESIGN METHODOLOGY OF PLASTIC INJECTION PROCESS USING APPROXIMATE SOLUTION TECHNIQUES

Hüseyin ÇAKMAK

Düzce University

Institute of Science and Technology of Mechanical Engineer

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Oğuz KAYABAŞI

July 2019, 104 pages

In this study, Moldflow analysis will be performed in accordance with the set of design of experiment by using statistical experimental design methods for optimization of injection parameters. In order to evaluate the results, firstly a proper regression model will be created by making statistical analysis by means of Mini Tab software. Variance analysis (Anova) will be performed to determine the F test of the accuracy of the model coefficients and the effects of the parameters. Secondly, the regression model will be defined as the fitting function and the optimum parameters will be worked on to be found by using the Genetic Algorithm with the constraints of the injection process. Thirdly, the process will be optimized by creating variable based on a hypothesis by means of Monte Carlo simulation. Monte Carlo simulation is used to make calculations based on assumption in case of indeterminating propagation in traditional analytical models and analytical techniques do not work properly. In this study, the process parameters such as mould temperature, cooling water temperature, injection pressure are never constant value. To remove this uncertainty, the process will be optimized by generating the variable based on hypothesis. It will be evaluated which method gives more accurate results by comparing to results being obtained by different optimization method in the final phase.

Keywords: Injection parameters, Desing of experiment , Genetic alghorithm.

1. GİRİŞ

Enjeksiyon kalıplama prosesi, hali hazırda plastik hammadde den üretim için endüstride kullanılan en popüler yöntemlerden biridir. Yüksek üretim oranı, nispeten kısa kalıplama döngüsü, düşük atık oranı, pürüzsüz yüzey ve karmaşık geometrileri üretebilme imkanı prosesi cazip hale getiren başlıca etmenlerdir.

Öte yandan plastik enjeksiyon üretiminde sıklıkla karşılaşılan eksik dolum, çarpılma, büzülme, kalıntı gerilim gibi hatalar, elde edilen ürün kalitesine oldukça fazla etki etmektedir. Karmaşık şekilli ürün tasarım gerekliliği, enjeksiyon kalıplamada yüksek kalite gereksinimi ile karşı karşıya kalan plastik endüstrisinde işlem parametrelerini belirlemek için deneme yanılma yönteminin kullanılmasından çok daha pratik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

İyi bir kalıp tasarımı ve optimum proses parametre değeri üretkenliğin, kalite ve ürün maliyetine temel etkiyi oluşturan unsurlardır.

Enjeksiyon prosesi temel olarak üç adımdan meydana gelmektedir:

- 1) Birinci aşamada, kalıp boşluğu yüksek basınç altında erimiş plastik malzeme ile dolar.
- 2) İkinci aşamada kalıp boşluğu tamamen dolduktan sonra plastiğin büzülmesi sonucu oluşacak eksik dolumun telafisi amacı ile daha fazla plastik eriyik, uygun basınç altında kalıp boşluğuna gönderilir
- 3) Son aşamada ürün soğutulmuş olarak kalıptan dışarı çıkartılır.

Plastik enjeksiyon prosesinin optimize edilmesi ile alakalı bir çok çalışma mevcuttur. Plastik akış simülasyonu, deney tasarım yöntemleri, yapay zeka uygulamaları sıklıkla kullanılan araçlardır. Bu araçların tek başına kullanılması ile prosesi etkileyen bir çok faktörün aynı anda iyileştirilmesi ve istenen optimum sonuca ulaşılması oldukça düşük bir ihtimaldir. Öte yandan tüm bu araçlardan doğru bir şekilde yararlanılması için belli bir sistematığe ihtiyaç duyulmaktadır. Bu araçların tasarlanan bir tasarım metodolojine uygun olarak kullanılması proses optimizasyonunun çok daha başarılı bir şekilde gerçekleşmesini sağlayacaktır.

Çekme miktarına enjeksiyon parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Girdiler ve çıktılar arasındaki ilişki incelemede Taguchi Yöntemi ve varyans analizi araçları kullanılarak incelenmiştir. Eriyik sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı ve ütüleme süresi etkileri incelenen enjeksiyon parametreleridir [1].

Polimer malzemedan üretilen bir kabın, minimum çekme miktarını işlem parametre optimizasyonu ile sağlamaya çalışılmıştır. Bunun için Taguchi Deneysel Tasarım metodu ve varyans analizini (ANOVA) kullanılmıştır. Parametrelerin çekme üzerindeki etkilerini belirleyebilmek için sinyal/gürültü oranını kullanılmıştır [2].

Bir DVD-ROM ön kapağının plastik enjeksiyonla basılması sonucunda oluşan boyutsal çekmeye etki eden en uygun işlem parametrelerini belirlemek için yapılan çalışmada, bir dizi moldflow akış analizi, L27 ortogonal deneysel tasarımına göre planlanan enjeksiyon parametreleri ile yapılmıştır. Sinyal/gürültü oranı minimum çekme sağlayabilmek için kullanılmıştır. Varyans analizi (ANOVA) ile her bir parametrenin çekme üzerindeki etkisini tespit edilmiştir. Taguchi yöntemi ile bulunan en uygun parametre değerlerini doğrulamak için enjeksiyon presi ile deney seti kullanılmıştır [3].

Eriyik sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve soğuma süresi parametrelerini optimize etmek için Taguchi deney tasarım yöntemi ve ANOVA(Varyans analizi) kullanılmıştır. Bu amaçla ilk olarak Polikarbonat hammaddeden çay tepsisini farklı eriyik sıcaklığı, soğuma süresi ve enjeksiyon basıncı değerleri ile üretilmiştir. Elde edilen her bir iş parçasının çekme dayanım testini gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçları varyans analizi ile değerlendirilerek optimum işlem parametrelerini belirlenmiştir [4].

Geri dönüştürülmüş Polipropilen hammaddesinin reolojik özelliklerinin çarpılma üzerine etkisini araştırmak için sayısal simülasyonlar kullanılmıştır. Karışımların yüksek ve düşük kayma hızında reolojik eğrilerini elde etmek için kılcal ve dönme reometre kullanılmıştır. Deneysel sonuçları ile Cross WLF modeli ve Moldflow akış simülasyonunda çarpılma tahmini yapılmıştır. Monte Carlo simülasyonu ile çarpılma değerleri ve robust(sağlam) tasarım için tolerans değerleri belirlenmiştir [5].

Led Lambası gövdesinin seçilen enjeksiyon parametrelerinin çekme miktarına etkileri araştırılmıştır. Bunun için, Taguchi deney tasarım metodunu kullanılmıştır. Sonuçta seçilen parametrelerin, çekme miktarını etkili bir şekilde azalttığı anlaşılmıştır. Optimum tahmini değer ve doğrulanmış değer arasında %3.82 fark oluşmuştur [6].

Parametre çokluğu ve birbirleri ile etkileşimleri nedeni ile analitik olarak modellenmesi zor olan enjeksiyon işlemini, yapay sinir ağları yardımı ile modellenmiştir. YSA ile yapılan modellemeden sonra, hedef fonksiyonuna dönüştürülen işlem modelini, Genetik Algoritma ile optimize edilmiştir [7].

Taguchi yaklaşımı kullanarak enjeksiyon kalıplama değişkenlerinin çöküntü efekti üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Taguchi yaklaşımı kullanarak, optimum parametre ayarları ile ilgili çöküntü miktarı elde edilmiştir. Doğrulama denemeleri ile elde edilen çöküntü miktarı, öngörülen çöküntü miktarı ile karşılaştırıldı ve sonuçların uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar, Taguchi yaklaşımının çeşitli işlem parametre kombinasyonları ile çöküntü miktarının tahmininde başarılı bir şekilde kullanılabilceğini göstermektedir [8].

Parametrelerin enjeksiyon işlemi üzerindeki etkilerini bulmak için Yapay Sinir Ağları kullanılmıştır. Bunun için ilk olarak enjeksiyon makinesi, kalıp malzemesi, ürün şekli ve malzemesi gibi girdi çıktı parametrelerini düzenleyen Yapay Sinir Ağ modeli oluşturulmuştur. Daha sonra modeli eğitmek için teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapay Sinir Ağ modelinden elde edilen sonuçlar hem Moldflow analizleri hem de deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen enjeksiyon süresi ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak enjeksiyon süresi açısından deneysel çalışmalarla model arasında %14,2, Moldflow analizi ve model arasında %51,6 fark olduğu gözlemlenmiştir [9].

Plastik enjeksiyon kalıp imalat maliyetini hesaplayan bir program geliştirilmiştir. Bunun için ilk olarak kalıp malzemesi, üretilecek plastik malzeme tipi, enjeksiyon makine özellikleri, standart kalıp elemanları, üretilecek parçanın geometrik özelliklerinin girildiği bir ara yüz oluşturulmuştur. Program bu parametrelere göre optimum kalıp maliyetini hammadde maliyeti, tasarım maliyeti, işçilik maliyeti ve işleme maliyetinin toplamı olarak hesaplanmıştır. Program etkinliğini test etmek amacıyla plastik dirsek parçası üzerinde deneysel çalışma yapılmıştır [10].

Karşıtlık analizi, yapay sinir ağları ve genetik algoritma kullanılarak plastik enjeksiyon kalıplığında çarpılmanın optimize edilmesi araştırılmıştır. Bilindiği üzere plastik enjeksiyon kalıplaması plastik hazırlığı, enjeksiyon, ütüleme, soğutma, parçanın çıkarılması ve işlem sürecinde kontrol uygulamalarını kapsamaktadır [11].

Yedi farklı tip plastik malzemede enjeksiyon parametrelerinin, bzlmeye olan etkisini sistematik olarak incelemiştir. İnceleme sonucunda tutma basıncının en kritik parametre olduğunu saptamıştır. Eriyik sıcaklığı biraz daha az etkiye sahiptir. Enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı çekme değerini nispeten daha az etkilemektedir [12].

Enerji tüketimi ile ürün kalitesi arasındaki dengeyi belirlemek ve aynı zamanda hangi değişkenler ile sürecin optimize edilebileceğini saptamak için araba amurluk parça enjeksiyon prosesi araştırılmıştır. Çok yüzeyli optimizasyon problemlerini çözmek için YYM uygulanmış ve domine edilmemiş sıralama GA kullanılarak proses parametreleri optimize edilmiştir. Problem zme prosedüründe hesaplama maliyetini ve süresini azaltmak için, BDT entegrasyon araçlarının kombinasyonu kullanılmıştır [13].

Plastik enjeksiyon sürecinde yeni ürün devreye alma süreci önemli ölçüde zaman almaktadır. Bu süreci kısaltabilen firmalar, rekabette önemli avantajlar elde ederken, bu süreyi kısaltamayan firmalar müşteri kaybetme riskiyle karşılaşabilmektedirler. Plastik enjeksiyon yöntemini kullanan otomotiv yan sanayi firmalarında en önemli süreçlerden biri olan yeni ürün devreye alma sürecini kısaltabilmek ve malzeme, makine kullanımı, işgücü maliyetleri azaltabilmek amacı ile yapılmıştır. Çalışmada yapay zeka tekniklerinden Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Uzman Sistem (US) kullanılmıştır [14].

Taguchi metodu kullanılarak plastik parçaların üretiminde etkili olan; farklı ürün tasarımı, giriş sayısı, giriş ölçüleri ve yolluk tasarımı parametreleri ile üründe oluşan çarpılmanın en aza indirilmesine çalışılmıştır. Kontrol parametreleri olarak ürün tasarımı, giriş sayısı, giriş ölçüleri, yolluk tasarımı kullanılmış ve deney kalıbı tasarlanıp imal edilmiştir. Kalıp imalatı sonrasında çarpılma değerlerinin elde edilmesi için üretilen kalıp kullanılarak plastik enjeksiyon yöntemiyle üretim yapılmıştır. Plastik malzeme olarak polipropilen (PP) Petoplen MH220 kullanılmıştır. Kalıp tasarımı aşamasında ve çarpılma değerlerinin kullanılmasında üç seviyeli deney tasarımına dayanan Taguchi metodu kullanılmıştır. Taguchi'nin ortogonal dizini, S/N oranı ve ANOVA arpılmayı etkileyen kontrol parametrelerinin optimum seviyelerini bulmak için kullanılmıştır. Kontrol parametrelerinin optimum seviyeleri ile yapılan doğrulama testi sonuçları plastik enjeksiyon kalıplama işleminde çarpılmaların azaltılmasında Taguchi Metodunun uygun bir metot olduğunu göstermiştir [15].

Optimizasyon enjeksiyon kalıplama işleminin parametreleri verimliliği artırmak için çok önemlidir. İşlem optimizasyonunda, parametrelerin kabul edilebilir performans için

optimum seviyelerde çalışmalıdır. Taguchi ortogonal dizinin deneysel tasarımı optimizasyon için kullanılmıştır. Plastik malzeme grubu olarak PP malzeme kullanılmıştır [16].

Enjeksiyon parametrelerinin çarpılmaya etkisi saptanmaya çalışılmıştır. Dairesel bir plastik parçanın çarpılma değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu sayede deneme üretimine gerek kalmadan proses parametrelerinin ayarlanabileceği öngörülmüştür. Bu amaca ulaşmak için YSA modeli kullanılmıştır. Farklı proses parametreleri kullanılarak yapılan Moldflow analiz sonuçlarının bir kısmı YSA modelinin eğitimi için kullanılmıştır. İkinci aşamada çarpılma tahmini hata miktarını belirlemek için başka bir veri grubu kullanılmıştır. Sonuçlar R-kare (Kareler toplamı) YSA eğitimi için 0,997 ve test verileri için 0,995 olarak bulunmuştur [17].

Sayısal benzetim, akış problemlerini çözmek için çok güçlü araçlardır. Taguchi deney tasarım yöntemi optimizasyon problemlerinde kullanılan en popüler deney tasarım yöntemlerinden biridir. Öte yandan sınırlı optimizasyon problemlerinin çözümünde Genetik Algoritmaya sıklıkla başvurulur.

Bu çalışmada, bu tip karmaşık optimizasyon problemlerinde, güçlü mühendislik araçlarının kullanılarak, bir metodoloji geliştirilmeye çalışılmıştır.

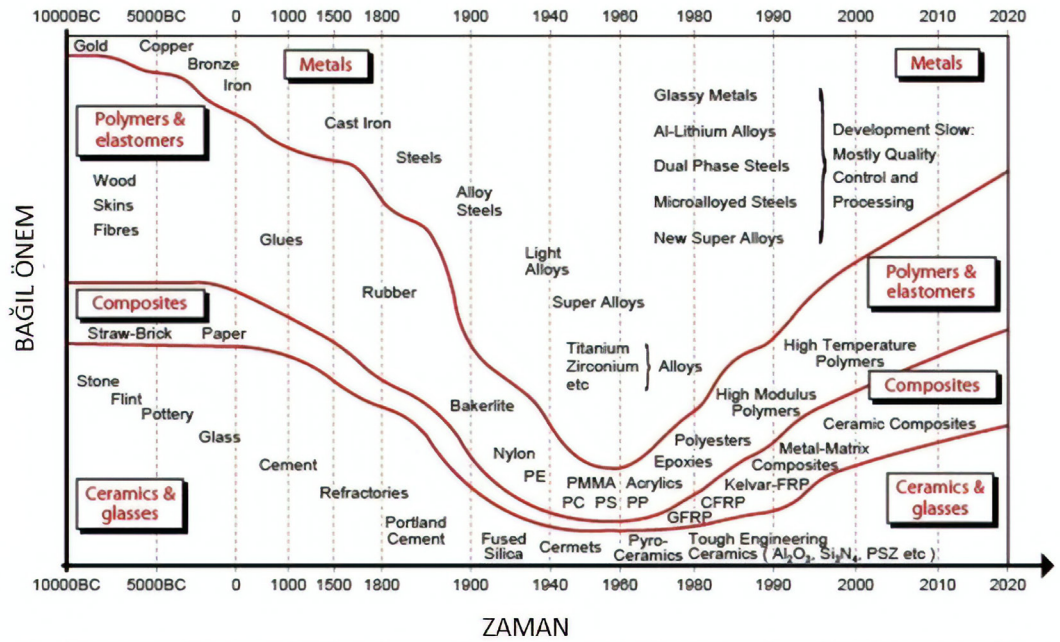
Bu amaçla, Taguchi metodu ile tasarlanan deneyler ile enjeksiyon parametrelerinin çarpılmaya olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar varyans analizi ile yorumlanmış, uygun bir regresyon modeli oluşturulmuştur. Model genetik algoritmaya amaç fonksiyonu olarak tanıtılmış, belirlenen kısıtlar ile birlikte çarpılma değeri minimize edilmiştir.

Daha sonra analitik olarak belirsiz durumlarda varsayımlarda dayanan hesaplamalarda kullanılan Monte Carlo simülasyonu yardımı ile minimum çarpılma değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Son bölümde tüm sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmış ve sonuçların tutarlılığı yorumlanmıştır.

2. PLASTİK MALZEMELER VE ENJEKSİYON PROSESİ

2.1. PLASTİK MALZEMELER

İnsanlık tarih boyunca mevcut malzemeleri kullanmış ,bir yandan da yenilerinin keşfi için çaba göstermiştir. Taş ve madenden başlayarak bugün kullanılan malzemeler düşünüldüğü zaman bu arayış net bir şekilde anlaşılmaktadır. Şekil 2.1'deki grafikte tarih boyunca kullanılan bazı malzemelerin önem seviyeleri görülmektedir.



Şekil 2.1. Değişik zamanlarda kullanılan malzemelerin önem seviyeleri.

Grafik incelendiğinde ilk çağlarda polimer olarak ağaç, deri ve elyaflar görülmektedir. Bu malzeme menüsü günümüzde çok fazla çeşitlenmiş ve çok spesifik gereklilikleri karşılayacak şekilde gelişmiştir [19].

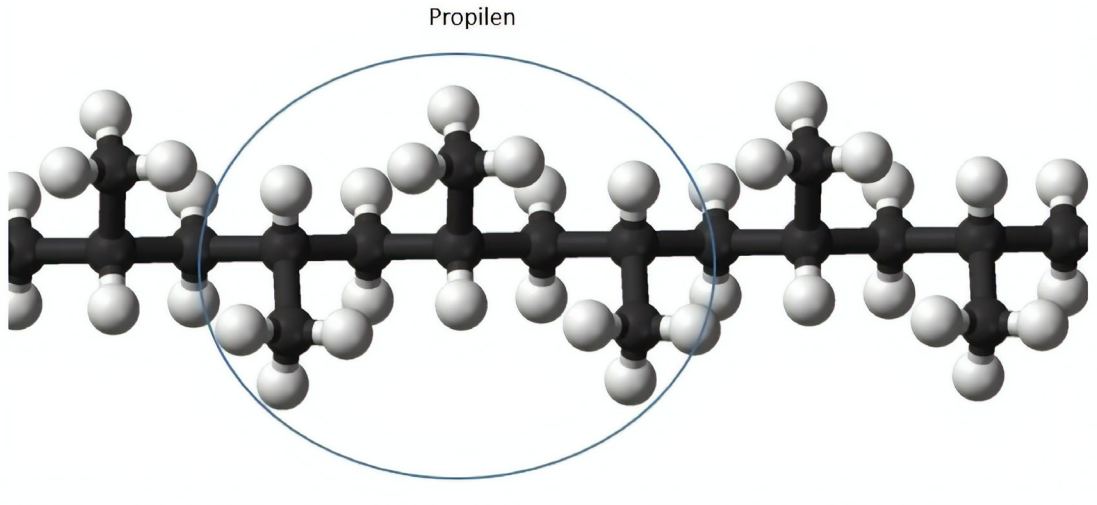
Plastik kelimesi Yunanca da şekil alabilen anlamına gelen plastikos kelimesinden gelmektedir. Bu tanımdan yola çıkarsak plastik kelimesi şekil alabilen malzeme olarak değerlendirilebilir. Bu noktada polimer kavramının da eklenmesinde fayda vardır. Polimer bir ağ oluşturacak şekilde tekrar eden temel yapılar anlamına gelir. Tekrar eden

yapılar karbon, hidrojen bazen de oksijen, nitrojen, sülfür ve klor içerirler. Bu iki tanımı birleştirecek, çoğalmış organik içerikli kimyasal yapı taşlarından oluşan ve şekil alabilen malzemelere plastik denir [19].

Plastiğin özü ham petroldür. Ham petrolün molekül ağırlığı çok yüksektir. Ham petrol rafinerilerde işlenerek monomer adı verilen yapı taşları elde edilir. Yapı taşlarının ve dizilişlerinin farklılaşmasına bağlı olarak plastik tipinin performansı değişmektedir. Monomer polimer içinde kendini tekrar eden yapılardır. Bazı monomer ve polimer çiftlerini şu şekilde sıralayabiliriz :

Propile-Polipropilen, Etilen-Polietilen, Strien-Polistren,

Ethylene Terephthalate-Polyetylene Terephthalate



Şekil 2.2. Propilen ve Polypropilen.

Polimer (Polumerus) kelimesinin kaynağı Yunanca olup, çok parça içeren anlamına gelmektedir. Polimerin sentezlenmesi için, bu yapı taşlarının uygun bir ortamda bir araya gelmesi, aktive edilmesi ve istenilen seviyede durdurulması gerekmektedir. Bu işleme polimerizasyon denir. Polimerizasyondan sonra, baz polimerlere istenilen özellikleri göre katkı maddeleri de ekleyerek nihai ürünler elde edilir [19].

2.1.1. Polimerlerin Sınıflandırılması

2.1.1.1. Yapılarına Göre Polimerler

Eğer sadece tek monomer dizilimi ile oluşuyorsa bu yapıya homopolimer denir. Polietilen Etilenden elde edilir, benzer şekilde polistiren de stenden elde edilir [19].

İki farklı monomerin bir araya gelmesiyle oluşan yapıya kopolimer denir. Kopolimer yapılar üç grup halinde incelenebilir :

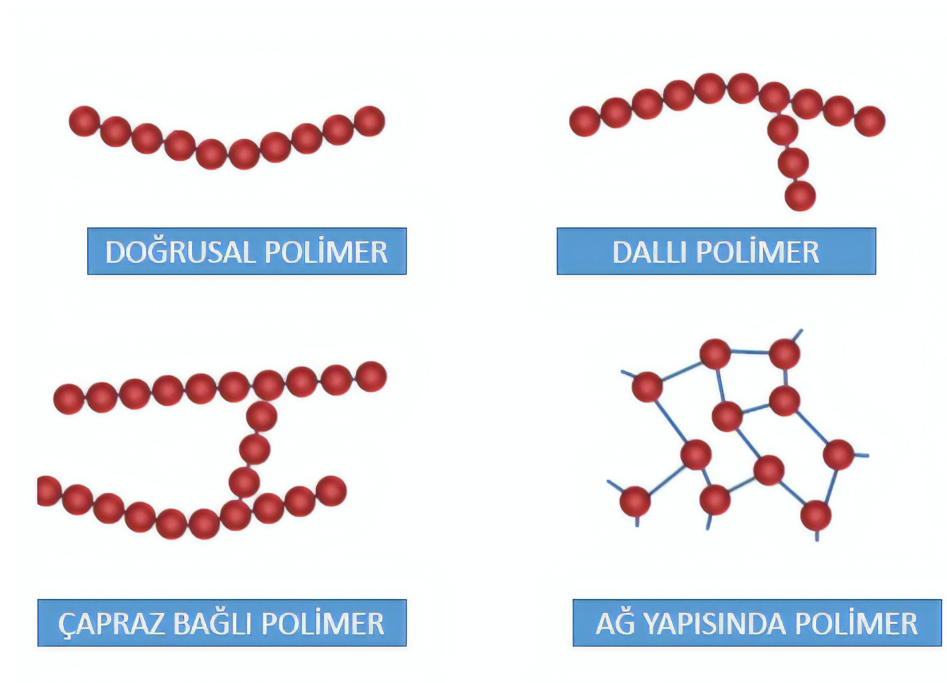
Ardışık Kopolimer -A-B-A-B-A-B-A-B-

Blok Kopolimer -A-B-B-B-B-A-A-A-

Düzensiz Kopolimer -A-A-B-B-B-A-B-A-

2.1.1.2. Polimer Zincirlerine Göre Sınıflandırma

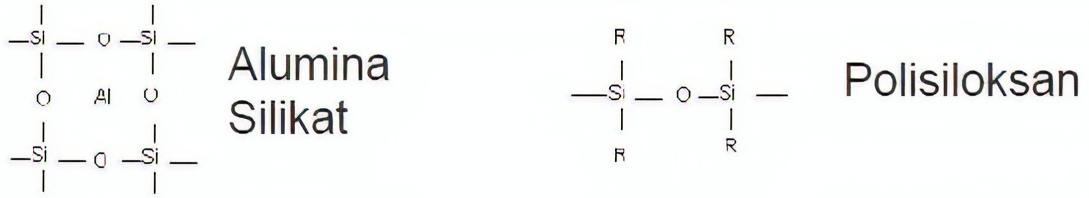
Zincir yapılarına göre polimerlerin sınıflandırılması Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Polimer zincir yapıları.

2.1.1.3. Kimyasal Bileşimlerine Göre Sınıflandırma

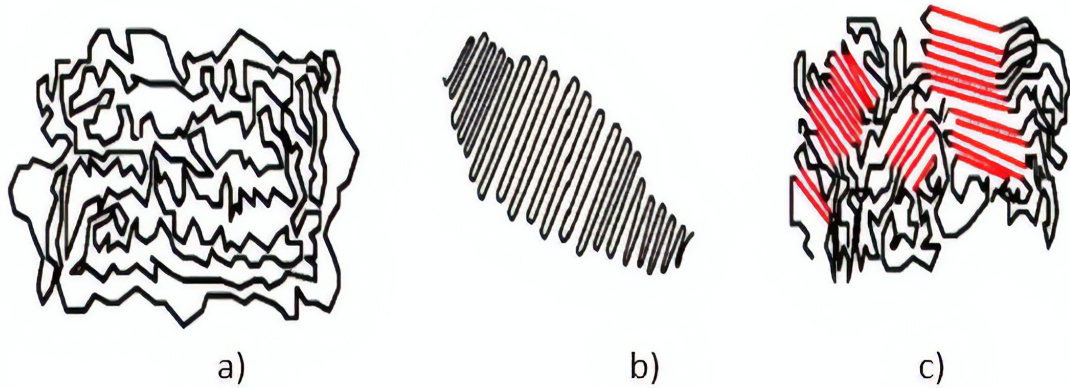
C,H,O,N ve halojen atomları bulunduran yapılara organik polimer denir. Ana zincirde C atomu yerine periyodik cetveldeki IV-VI grup elementleri içeren polimerler ise inorganik polimer olarak isimlendirilir. Şekil 2.4'te inorganik polimer örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.4. İnorganik polimer.

2.1.1.4. Fiziksel Durumlarına Göre Sınıflandırma

Fiziksel yapılarına göre polimerler üç gruba ayrılırlar. Şekil 2.5'te fiziksel yapılarına göre polimerler görülmektedir.

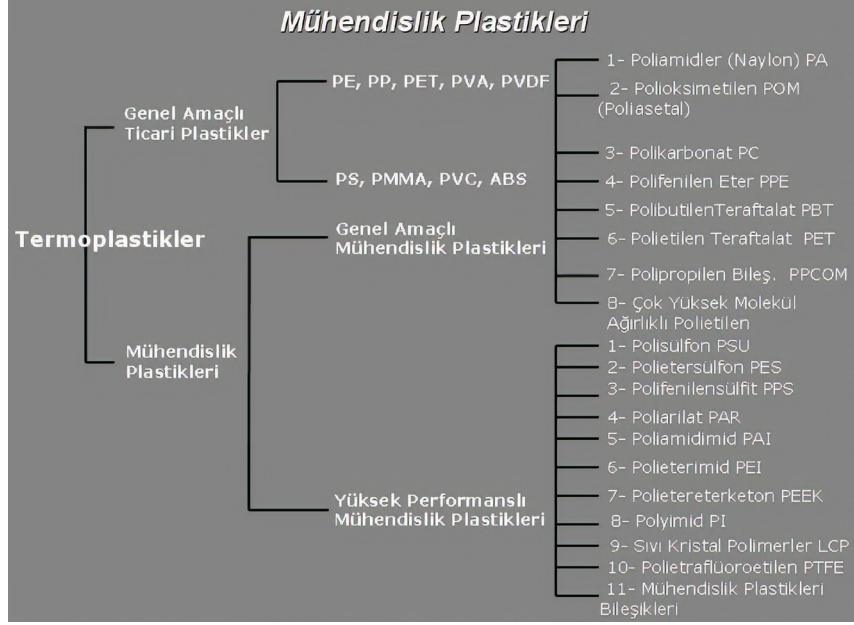


Şekil 2.5. a)Amorf yapılar b)Kristal yapılar c)Yarı kristal yapılar.

2.1.2. Mühendislik Plastikleri

Mühendislik polimerlerini her türlü mühendislik uygulamaları için ideal kılan gelişmiş mekanik ve termal özelliklere sahip bir plastik malzemeler grubudur. Ağırlık, sertlik veya diğer özellikler açısından bu polimerlere eşit veya daha fazla olan geleneksel malzemelerin yerini almıştır ve özellikle kompleks şekillerin üretilmesini çok daha kolay hale getirir Mühendislik plastikleri kendilerinden beklenen fonksiyonlara göre Genel amaçlı ve yüksek performans olarak ayrılır.

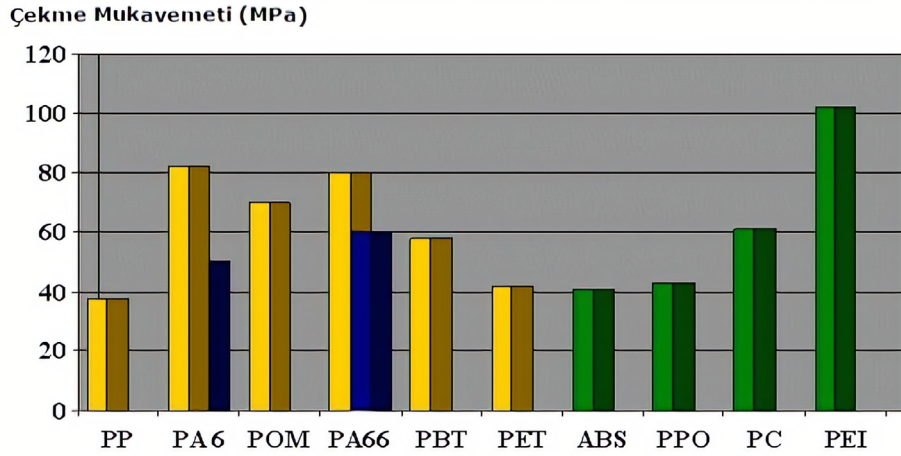
Genel amaçlı mühendislik plastikleri amorf, kristalin veya yarı kristalin yapıda olabilirler. Bu plastiklerden beklenen performans değerleri yüksek performanslı plastiklere nazaran çok daha düşük seviyededir. Şekil 2.6'da Ticari amaçlı kullanılan Mühendislik plastiklerinin gruplandırılması görülmektedir.



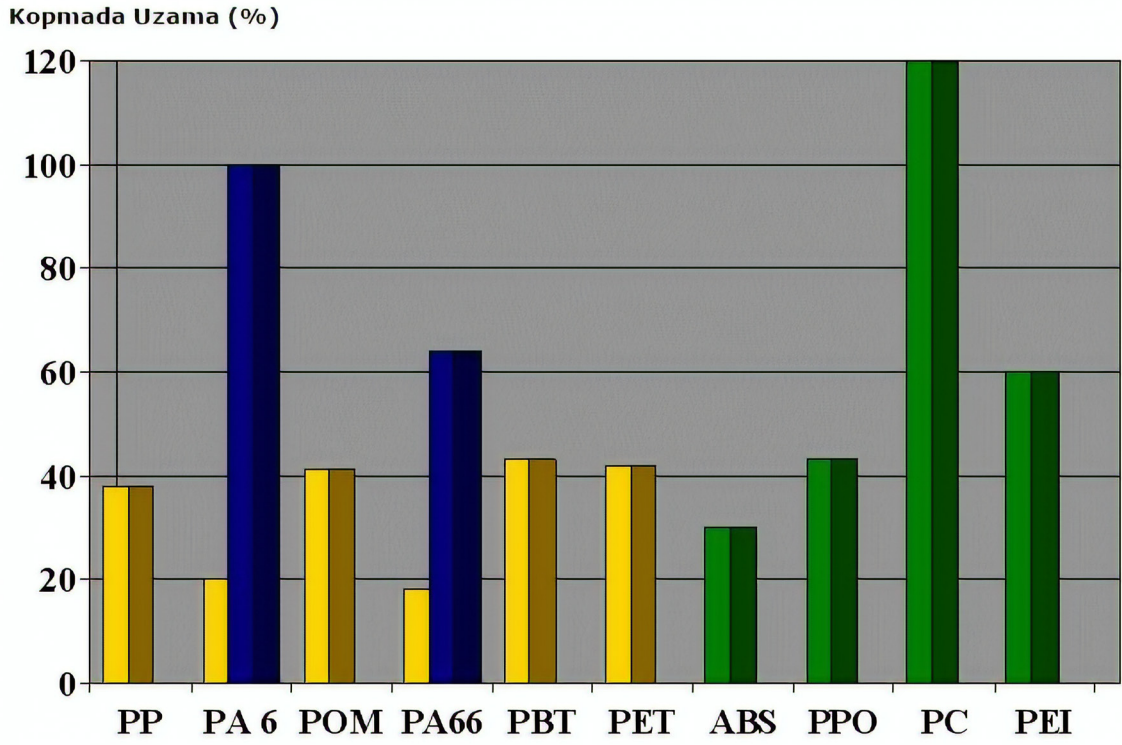
Şekil 2.6. Ticari amaçlı kullanılan mühendislik plastikleri.

2.1.2.1. Mühendislik Plastiklerinin Mekanik Özellikleri

Mühendislik plastiklerinin mekanik özelliklerini belirleyici başlıca iki özellik çekme dayanımları ve kopma dayanımlarıdır. Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de [20] en sık kullanılan malzemelere ait çekme ve kopma uzama değerleri görülmektedir. Malzeme seçimi yaparken bu iki ana mekanik değer mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 2.7. Yaygın kullanılan malzemelerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması.



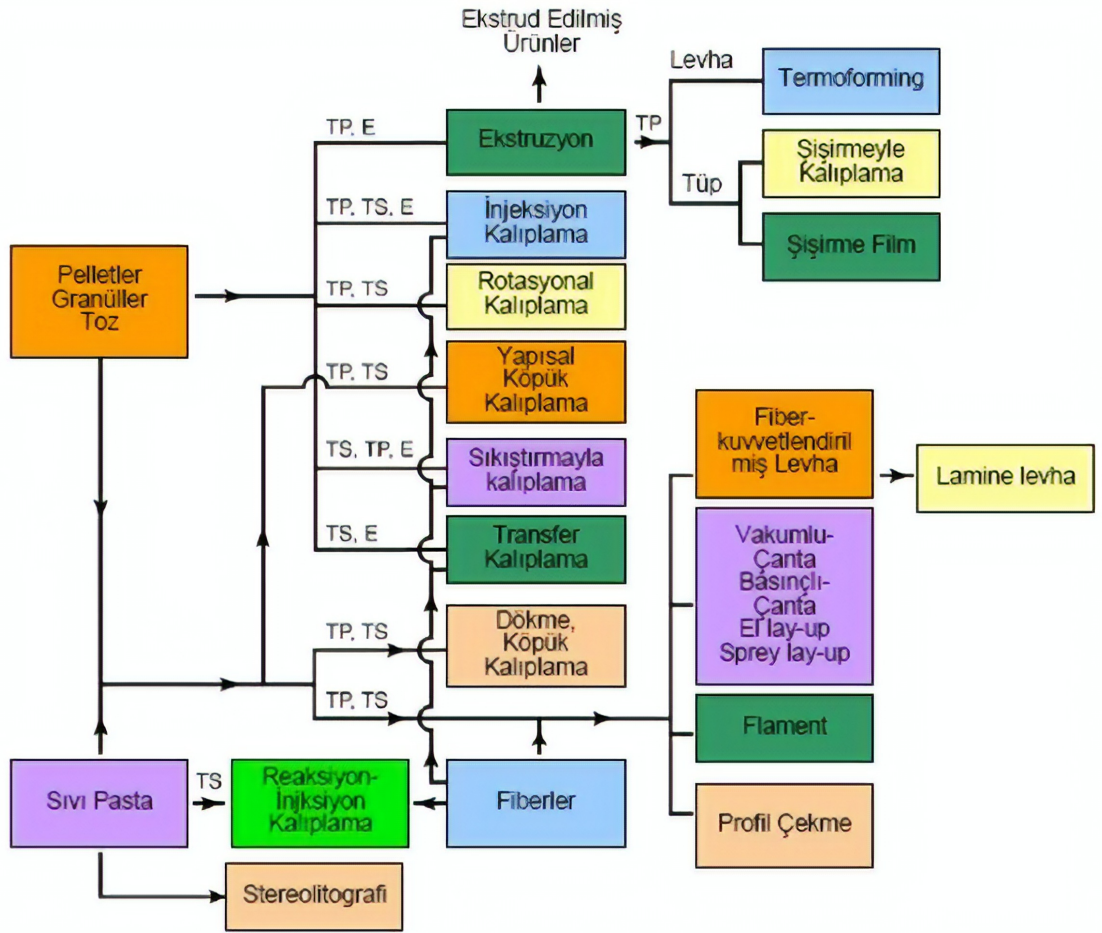
Şekil 2.8. Yaygın kullanılan malzemelerin kopma uzama değerlerinin karşılaştırılması.

2.2. ENJEKSİYON PROSESİ

2.2.1. Plastik Üretim Yöntemleri

Endüstride kullanılan Termoplastikler, termosetler, elastomerler ve kompozitler çeşitli yöntemlerle şekillendirilir. En yaygın olarak kullanılan yöntemler: Enjeksiyon kalıplama, basınçla kalıplama, transfer kalıplama, ekstrüzyon kalıplama, şişirme kalıplama, rotasyonel kalıplama, termoforming, reaksiyon-injeksiyon kalıplama ve kalenderlemedir. Plastik parça üretim yöntemlerini bilmek tasarlanan parçanın işlevini, üretim süresini, üretim maliyetini, testler sırasındaki performansını iyileştirmek için önemli bir bilgidir. Şekil 2.9’da başlıca plastik üretim yöntemleri toplu halde verilmiştir.

Enjeksiyon kalıplama yöntemi ucuz maliyeti, karmaşık şekillerin üretilmesindeki başarısı, seri üretime uygunluğu gibi önemli avantajları sebebiyle endüstride plastik parça imalatı için en fazla kullanılan yöntemlerden ilk sırada olmaktadır.



Şekil 2.9. Plastik üretim yöntemlerine genel bakış.

2.2.2. Enjeksiyon Prosesinin Esasları

Enjeksiyon prosesinin her aşaması, belirli bir basınç ve bekleme süresine göre yönetilir. Kalıp doldurulup, ütülendiğinde ve yolluk girişi donduğunda soğutma aşamasına geçilir. Soğutma miktarı soğutma süresine göre belirlenir ve döngü tamamlanır. Ardından bir sonraki döngüye geçilir.

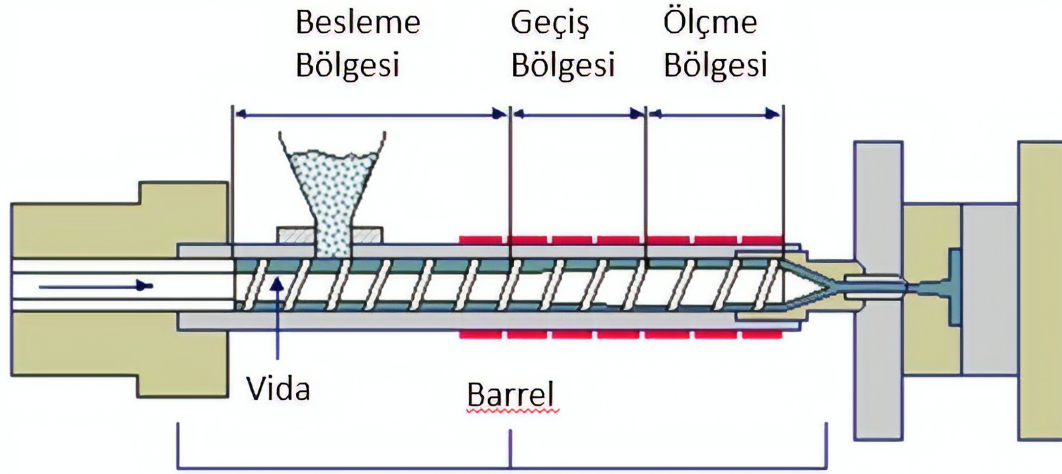
Enjeksiyon prosesi genel anlamda üç fazdan meydana gelir:

1-Dolum Fazı: Bu aşamada kalıp boşluğu erimiş malzeme ile doldurulur. Malzeme ileri yönde akmaya zorlanırken barelin bölümlerinden olan torpedo nun içinden geçer. Bu sayede karıştırılmaya zorlanır. Bu faz enjeksiyon hızı, basınç ve enjeksiyon zamanı ile kontrol edilir. Burada kastedilen enjeksiyon hızı, vidanın ileri yöndeki hızıdır.

2-Ütüleme Fazı: Eriyik malzeme kalıba girdikçe soğumaya ve neticesinde çekmeye başlar. Ütüleme fazında eksik dolum olmaması için çekme ile kaybedilen malzemeyi telafi edebilmek amacıyla, kalıba daha fazla eriyik girmesi sağlanır.

3-Tutma Fazı: Daha fazla eriyik malzeme kalıba girmeye zorlandığında, eriyik malzeme geri yönde sızma yapabilir. Bunu engellemek için tutma fazında eriyik malzeme donana kadar karşı kuvvet uygulanır. Bazı enjeksiyon makinalarında ütüleme ve tutma fazı tek bir zaman için veya tutma aşamasında birleştirilir.

Şekil 2.10'da tipik bir enjeksiyon makinesinde yer alan enjeksiyon vidasının kısımları görülmektedir. Dolum, ütüleme ve tutma fazı bu bölgelerde meydana gelmektedir.



Şekil 2.10. Enjeksiyon vidasının kısımları.

2.2.3. Proses Parametreleri

Enjeksiyon prosesinde ürün kalitesi dört ana parametre ile doğrudan ilişkilidir. Bu parametreler sıcaklık, hız, basınç ve zamandır.

2.2.3.1. Sıcaklık

Enjeksiyon makinesinde plastiği eritmek için gerekli olan sıcaklık olarak tanımlanır. Sıcaklık parametresi ayarlanırken, hammadde üreticisinin sağladığı, malzeme veri sayfasındaki malzeme ergime sıcaklığını bilmek önemlidir. Uygulamada başlangıçta minimum sıcaklıkta denemeye başlanır, daha sonra çıkan parçalardaki kalite durumu göz önüne alınarak farklı sıcaklıklar denenir. Enjeksiyon makinelerinde malzemenin eritildiği ocak çeşitli bölgelere ayrılmıştır. Bu sayede sıcaklık kontrol altında tutulur.

Sıcaklık dağılımlarının parçada homojen olarak dağılmaması, çok yüksek ve çok düşük sıcaklık değerleri parçada kalite problemlerine ve mekanik olarak darbe direncinin düşmesine sebep olabilir.

2.2.3.2. *Enjeksiyon Hızı*

Enjeksiyon işlemi sırasında, vidanın ileri hareketindeki hızıdır. Bu sırada kalıpta dolum işlemi gerçekleşir. Parça et kalınlığına göre enjeksiyon hızları değişiklik gösterir. Daha ince cidar kalınlığına sahip parçalar yüksek, nispeten kalın cidar kalınlığına sahip parçaların daha düşük hızla doldurulması, yüzey kalitesi açısından daha iyi sonuçlar verir.

2.2.3.3. *Enjeksiyon Basıncı*

Dolum sırasında eriyik malzemeyi kalıba itmek için oluşan kuvvettir. Basıncın optimum olması kalite açısından önemlidir. Yüksek basınç değer, deformasyon, düşük basınç değeri eksik dolum hatasının görülmesine sebep olabilir.

2.2.3.4. *Ütüleme Basıncı*

Vida tarafından, vida tam olarak geri gelmeden önce yapılan basınç türüdür. Bu basınç ile kalıbın tam olarak dolması sağlanır. Yüksek ütüleme basıncı kalıbın tam olarak dolmasını sağlar ancak vida üzerinde meydana gelen stres değerini artırır. Bu sebeple ütüleme basıncı mümkün olduğunca düşük seçilmelidir. Pratikte maksimum enjeksiyon basıncının %20 sinden fazla olmaması istenir.

2.2.3.5. *Tutma Basıncı*

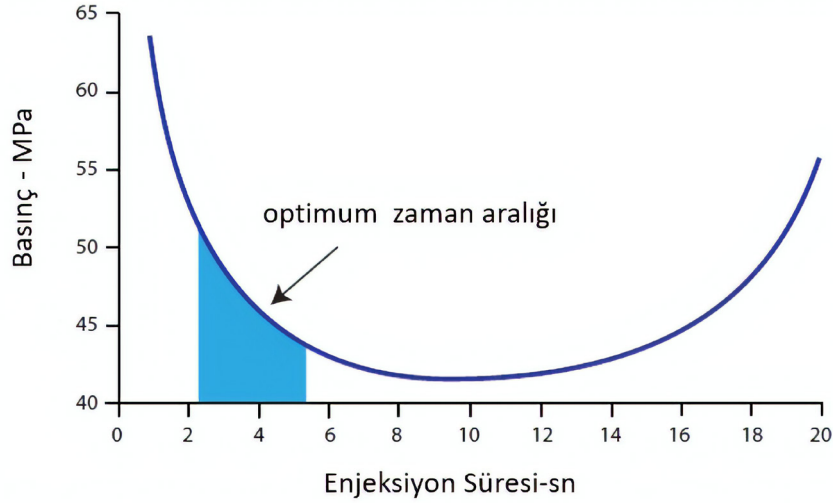
Plastik malzeme kalıp içine enjekte edildikten ve kalıbı tam doldurduktan sonra ikinci fazda kalıptaki giriş noktasından geriye kaçmaya çalışır bu hareketi engellemek amacı ile enjeksiyon basıncı sonrasında uygulanan basınç türüdür. Çekme miktarını azaltmak için parça kalıp içerisinde basınç altında bekletilir. Böylece parça çektikçe içeriye yeni malzeme girmesine zorlanır. Yolluk girişinin donması ile basınç iletilemeyeceğinden dolayı daha fazla basınç uygulanmaz.

2.2.3.6. *Soğuma Zamanı*

Enjeksiyon makinasının ütüleme fazına geçtiği anda başlayan ve kalıp açılana kadar devam eder zamandır. Bu süre zarfında kalıp, kalıp çekirdeklerinde açılan su kanallarında belli sıcaklıkta geçirilen su ile soğutulur. Pratikte çevrim sürecinin %70 kadar süre alır. Paçanın kalıptan çıktıktan sonraki kararlılığında soğutma zamanının payı büyüktür. Soğutma zamanının yeterliliği fiziksel parça üzerinde parça sıcaklığı ölçülerek kontrol edilebilir. Simülasyon ortamında su kanallarındaki ısı değişimi soğutma zamanının göstergesidir.

2.2.3.7. Enjeksiyon Süresi

Plastik hammaddenin, yüksek sıcaklıkta eritilmesi ve bir kalıp içerisine enjekte edilmesi için geçen süreye denir. Enjeksiyon süresi ve kalıbı doldurmak için gerekli basınç değeri bir eğri olarak çizilirse U şeklinde bir eğri oluşur. Şekil 2.11’de görüldüğü gibi bu eğri, kalıbı doldurmak için gerekli olan minimum basınç değeri ile biter [16].



Şekil 2.11. U formunda basınç-enjeksiyon süresi grafiği.

2.2.3.8. Kalıp Sıcaklığı

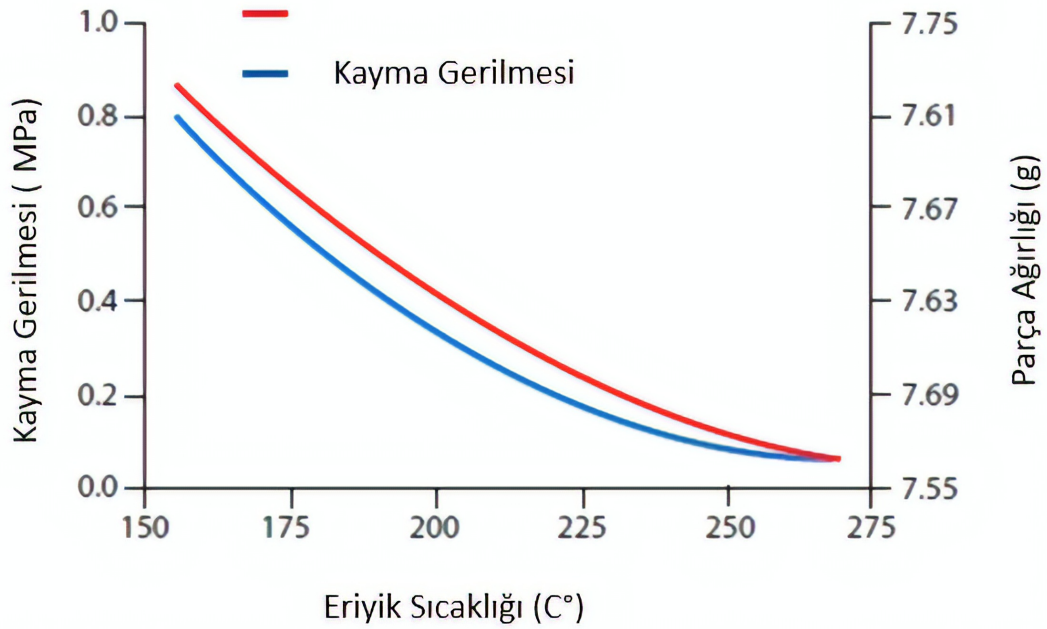
Plastiğin ergitilmesi için enjeksiyon makinesi tarafından meydana gelen ve ısı transferi ile kalıp duvarlarında mevcut olan sıcaklıktır. Kalıp duvar sıcaklığı; parça kalitesi, işlemin ekonomik olması, boyut hassasiyeti açısından çok önemlidir. Bu sıcaklık malzeme ısı karakteri ile birlikte kalıp soğutma süresini de belirleyen faktördür. Burada kalıp yüzey sıcaklığı esas alınmakta, kalıp kesitinde iç kısımlardaki sıcaklık dikkate alınmamaktadır. 2.5mm den daha ince cidar kalınlığındaki parçalarda prosesin başında henüz enjeksiyon fazında iken hidrolik basınç artışı görülür. Malzeme kesit kalınlığının büyümesi ve kalıp cidarında meydana gelen soğuma etkisi kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

2.2.3.9. Eriyik Sıcaklığı

Plastik malzemenin eriyik hale gelmesi için gerekli olan sıcaklık değeridir. Şekil 2.12’de Eriyik sıcaklığının değişimi ile kayma gerilmesi ve parça ağırlığında meydana gelen değişiklik görülmektedir. Buna göre, düşük sıcaklıklarda, kalıp doldurma basınç değeri hem de kalıp boşluğundaki kayma gerilme değeri başlangıçta yüksektir. Erime sıcaklığı arttıkça, eğri düzleşir ve erime sıcaklığındaki belirli bir artış değeri için kayma

gerilmesinde daha küçük bir miktarda azalma meydana gelir. Eriyik sıcaklığı arttıkça malzeme erime hızı da artar, bu sebeple yüksek eriyik sıcaklığı parça kalitesinin düşmesine sebep olabilir [16].

Eriyik sıcaklığının yüksek olması, parçanın ütüleme basıncının artacağı anlamına gelmesine rağmen, parça ağırlığı azalacaktır çünkü hacimsel büzülmede önemli miktarda artış meydana gelecektir [16].



Şekil 2.12. Parça ağırlığı ve kayma gerilmesinin eriyik sıcaklığı ile değişimi.

3. DENEY TASARIMI VE SAĞLAM TASARIM

3.1. İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIMI

İstatistiksel çalışmalar için veriler, deneyler veya anketler yapılarak elde edilir. Deneysel tasarım, deneylerin tasarımı ve analizi ile ilgilenen istatistiğin dalıdır. Deneysel tasarım yöntemleri, tarım, tıp, biyoloji, pazarlama araştırması ve endüstriyel üretim alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Başlıca istatistiksel deney tasarım yöntemlerini şöyle sıralayabiliriz:

1- Faktöriyel deney tasarımı

2-Yanıt Yüzey Yöntemi

3-Taguchi Yöntemi

3.1.1. Faktöriyel Deney Tasarımı

Bir deneyde birden fazla faktör incelendiğinde, faktöriyel deney kullanılmalıdır. Bu deneylerde faktörler birlikte değişir. Bir faktöriyel deneyde her faktör tamamlandığında tüm faktörlerin tüm seviyelerine ilişkin olası kombinasyonların tamamı incelenir [13].

Bir deneyde iki faktör söz konusu ise; A faktörünün a tane seviyesi, B faktörünün b tane seviyesi bulunuyorsa, bu durumda, ab çiftinin tüm kombinasyonlarını içerecek şekilde deney tasarlanır [13].

Bir faktörün etkisi, faktör seviyesindeki değişimin yanıtta ürettiği değişim olarak tanımlanır. Çalışmadaki birincil faktörle ilgisi olması nedeniyle buna ana etken denir. Örneğin Çizelge 3.1'i ele alalım. Bu, her biri iki seviyeli (A düşük, A yüksek, B düşük, B yüksek) olan iki faktörlü (A ve B) faktöriyel deneydir. A faktörünün ana etkisi, A'nın yüksek seviyesi için ortalama yanıt ile düşük seviyesi için ortalama yanıt arasındaki farktır veya

$$A = (30 + 40)/2 - (10 + 20)/2 = 20 \quad (3.1)$$

A faktörünün düşük seviyeden yüksek seviyeye çıkması, 20 birimlik ortalama artışa neden olur. Benzer olarak B faktörünün ana etkisi şu şekildedir;

$$B = (20 + 40)/2 - (10 + 30)/2 = 10 \quad (3.2)$$

Çizelge 3.1. Etkileşim içermeyen faktöriyel deney.

	Faktör B	Faktör B
Faktör A	B düşük	B yüksek
A düşük	10	20
B düşük	30	40

Bazı deneylerde, bir faktörün seviyeleri arasındaki yanıt farkı diğer faktörlerin tüm seviyeleri için aynı büyüklükte olamaz. Bu durumda, faktörler arasında bir etkileşimden söz edilir. Çizelge3.2 'de B faktörünün düşük seviyesinde A'nın etkisi

$$A = 30 - 10 = 20 \quad (3.3)$$

Ve B faktörünün yüksek seviyesindeki A'nın etkisi

$$A = 0 - 20 = -20 \quad (3.4)$$

A'nın etkisi B faktörü için seçilen seviyeye bağlı olarak farklılık gösterdiğinden "A ve B faktörleri arasında bir etkileşim vardır" deriz.

Etkileşim güçlü ise, ana etkinin taşıdığı önem azalır. Örneğin tablo 2'deki veriyi ele aldığımızda, A'nın ana etkisini şu şekilde hesaplarız.

$$A = (30 + 0)/2 - (10 + 20)/2 = 0 \quad (3.5)$$

Çizelge 3.2. Etkileşim içeren faktöriyel deney.

	Faktör B	Faktör B
Faktör A	B düşük	B yüksek
A düşük	10	20
A yüksek	30	0

Buradan A faktörünün hiçbir etkisi olmadığı sonucunu çıkartırız. Ancak, B faktörünün farklı seviyelerinde A faktörünün etkisini incelediğimizde, durumun böyle olmadığını görürüz. A faktörünün etkisi B faktörünün seviyesine bağlıdır. Burada AB etkileşimi bilgisi ana etki bilgisinden daha faydalı hale gelir. Belirgin bir etkileşim ana etkinin önemini maskeleyebilir. Sonuç olarak, etkileşim söz konusu olduğunda, etkileşim halinde olan faktörlerin ana etkisi çok anlamlı olmayabilir [13].

3.1.2. Yanıt Yüzey Yöntemi

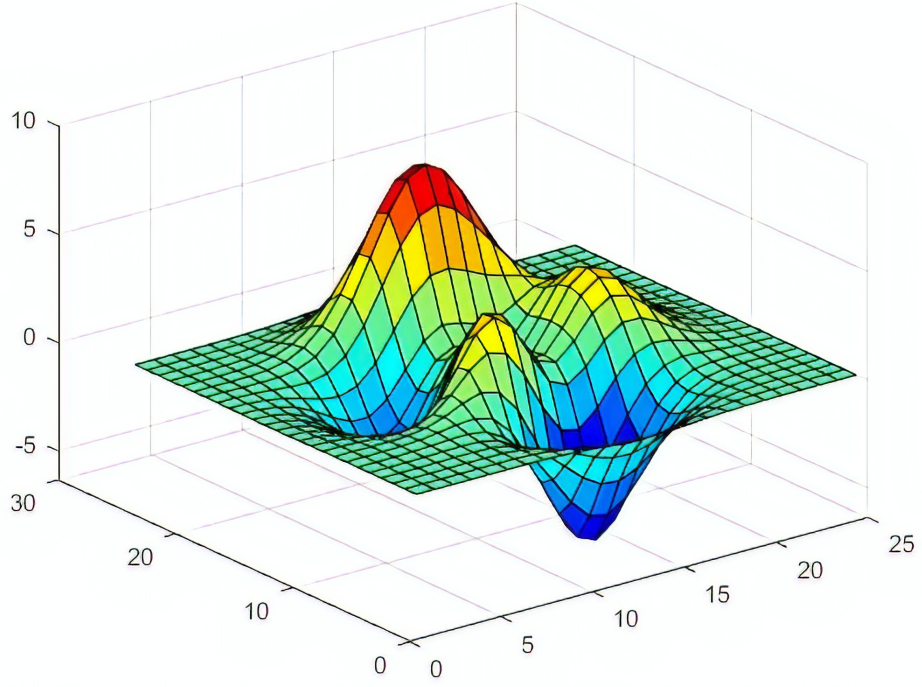
Yanıt yüzey metodolijisi (YYM), yanıtı bir takım değişkenler tarafından etkilenen uygulamalarda analiz ve modelleme için faydalı olan matematiksel ve istatistiksel teknikler bütünüdür ve amacı yanıtı optimize etmektir [13].

Örneğin, bir kimya mühendisinin bir sürecin verimini en büyükleyen sıcaklık (x_1) ve besin konsantrasyonu (x_2) seviyelerini bulmak istediğini varsayalım. Süreç verimi sıcaklık ve besin konsantrasyonunun bir fonksiyonudur.

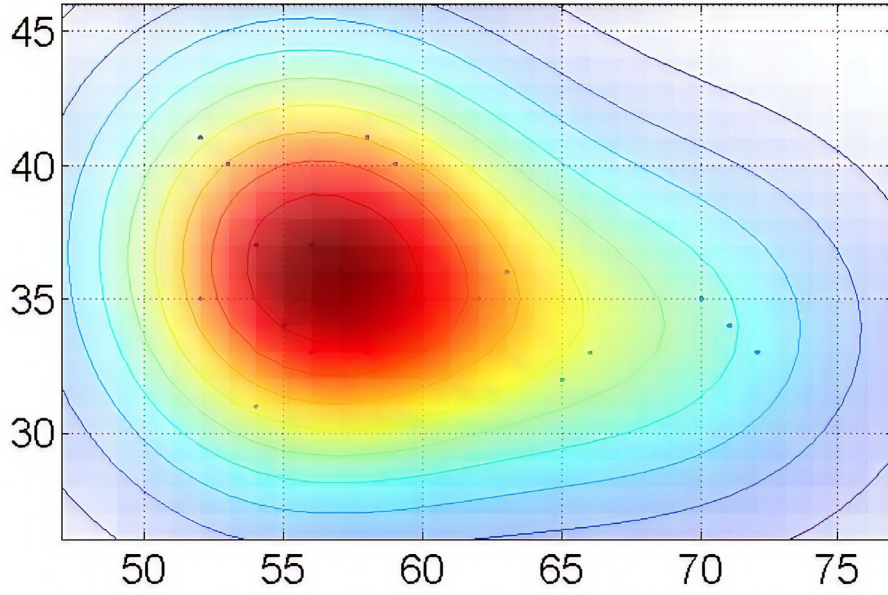
$$Y = f(x_1, x_2) + \epsilon \quad (3.6)$$

Burada ϵ yanıt Y 'de gözlemlenen hata ya da gürültüyü göstermektedir. Beklenen yanıt $E(Y)=f(x_1, x_2)$ ile gösterirsek, $f(x_1, x_2)$ ifadesine yanıt yüzeyi adını veririz. Örnek bir yanıt yüzey grafiğini şekil 13'de görebiliriz. Üç boyutlu uzayda bir yüzey grafiği olarak yanıt gösterilmektedir. Bir yanıt yüzeyinin şeklini görselleştirmeye yardımcı olmak için, sıklıkla yanıt yüzeyinin konturları çizilir. Kontur grafiğinde, sabit yanıt çizgileri X düzlemine çizilir. Her bir kontur, yanıt yüzeyinin belli bir yüksekliği ile ilgilidir. Yanıt

yüzeyini yüksekliği ya da şeklinde yol açan seviyeleri incelerken kontur çizgilerinden faydalanılır [13].



a)



b)

Şekil 3.1. a) Yanıt Yüzey Grafiği b)Kontur grafiği.

Çoğu YYM problemlerinde, yanıt ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin şekli bilinmez. Bu nedenle YYM’de ilk adım, Y bağımsız değişkenler arasındaki uygun yakınsamanın bulunmasıdır. Genellikle, bağımsız değişkenlerin bazı bölgelerinde düşük dereceli polinom kullanılır. Eğer yanıt, bağımsız değişkenlerin bir doğrusal fonksiyonu tarafından iyi tanımlanırsa, yakınsama fonksiyonu birinci dereceden bir modeldir [13].

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \epsilon \quad (3.7)$$

Sistemde bir eğrilik mevcutsa, ikinci dereceden bir model gibi yüksek dereceli bir polinom kullanılmalıdır.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (3.8)$$

Çoğu YYM problemleri bu yakınsama polinomlarının birini veya birkaçını kullanır. Tabii ki, bir polinom modelin bağımsız değişkenlerin tüm değer aralığında gerçek fonksiyonel ilişkilere yakınsayacağı düşünülemez; ancak nispeten küçük bir bölgede genellikle iş görür [13].

YYM sıralı bir işlemdir. Yanıt yüzeyinde optimumdan uzak bir noktada bulunduğumuzda, genellikle sistemde küçük bir eğrilik oluşur ve birinci dereceden model uygun olacaktır. Burada amacımız araştırmacıyı hızlı ve etkin bir şekilde optimum civarına yönlendirmektir. Optimum bölge bulunduğu anda, ikinci dereceden bir model gibi daha geniş bir model uygulanabilir ve optimumu bulmak için bir analiz gerçekleştirilir. Yanıt yüzeyinin analizini “bir tepeye tırmanmak” gibi düşünürsek ,maksimum yanıt noktası dağın zirvesidir. Eğer optimum değer minimum nokta ise “vadiye iniş” olarak tanımlanabilir [13].

YYM’nin nihai amacı sistem için optimum işletim koşullarına karar vermek ya da işletim spesifikasyonlarının karşılandığı faktör uzayını belirlemektir. Ayrıca, YYM’de optimum kelimesi lokal optimum olarak algılanmalıdır. Global optimum noktasını bulmayı garanti etmez. Buna rağmen optimizasyon deneyi diye isimlendirilirler [13].

3.1.2.1. Endik Çıkış Yöntemi

Sistemin optimum işletim koşullarına ilişkin başlangıçtaki tahmini, çoğu zaman gerçek optimumdan oldukça uzaktır. Böyle durumlarda, araştırmacının amacı optimum civarına

hızlı bir şekilde ulaşmaktır. Basit ve ekonomik açıdan etkin bir deney prosedürü kullanmayı isteriz. Optimumdan uzak olduğumuzda birinci dereceden bir modelin, X'lerin dar bir bölgesinde, gerçek yüzeye yeterli derecede yakınsadığını kabul ederiz [13].

Endik çıkış yöntemi, yanıtta maksimum artış sağlayan, endik çıkış yolu boyunca adım adım hareket ettiren bir yöntemdir. Tabii ki, minimizasyon istendiği durumda, en dik iniş yönteminden bahsedebiliriz. Uyumlanan birinci dereceden model

$$y = \beta + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i \quad (3.9)$$

Ve y'nin tahmininin olarak birinci dereceden yanıt yüzeyi şekil14 de gösterilen paralel çizgiler serisidir. Dik çıkış yönü y nin en hızlı arttığı yöndür. Bu yön uyumlanan yanıt yüzey konturlarının normalidir. Genellikle, endik çıkış yolu olarak, ilgilenilen bölgenin merkezinden geçen ve uyumlanan yüzey konturlarına dik olan bir çizgiyi alırız [13].

Deneyler endik çıkış yolu boyunca, yanıtta daha fazla artış gözlemlenemeyinceye kadar gerçekleştirilir. Ardından, yeni bir birinci derecen model uyumlanabilir, endik çıkış yolu için yeni bir kararlaştırılır ve analist sürecin optimum nokta civarına ulaştığını hissedene kadar bu yönde deneyleri gerçekleştirmeye devam eder [13].

3.1.2.2. İkinci Dereceden Yanıt Yüzeyi Analizi

Analist optimuma yeterince yaklaştığında, yanıt yüzeyindeki eğrilik nedeniyle, yanıt için ikinci dereceden bir model kullanılmalıdır. Uyumlanan ikinci derece model

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j \quad (3.10)$$

Burada β değeri en küçük kareler tahminini gösterir.

3.2. TAGUCHİ DENEY TASARIM YÖNTEMİ İLE SAĞLAM TASARIM

3.2.1. Taguchi Sağlam Tasarım Metodu

Genichi Taguchi öncülüğünde geliştirilen, Taguchi Metodu olarak da bilinen Sağlam Tasarım Metodu (Robust Design Method), mühendislik verimliliğini büyük oranda arttırmaktadır. Yöntem temel olarak, Gürültü Faktörlerini (Ürünün kullanımı sırasında ortaya çıkan çevresel etkiler, üretimde meydana gelen değişiklikler ve bileşenlerin bozulması) bilinçli bir şekilde değerlendirerek, sahadaki arıza maliyetlerini göz önünde bulundurur ve bu sayede müşteri memnuniyeti sağlanmasına yardımcı olur [21].

Sağlam Tasarım yöntemi, ürünün veya sürecin temel fonksiyonunu geliştirmeye odaklanır, bu sayede esnek tasarımları ve eş zamanlı mühendisliği kolaylaştırır. Aslında ürün maliyetini düşürmek, kaliteyi arttırmak ve aynı zamanda geliştirme aralığını azaltmak için kullanılan en güçlü yöntemlerden biridir [21].

3.2.2. Taguchi Sağlam Tasarım Metodunun Gelişimi

Son yıllarda bir çok firma üretim ve prosesler sırasında israfın azaltılması için 6 Sigma yaklaşımına büyük yatırımlar yaptılar. Bu yatırımlar maliyet yapısı üzerinde büyük değişikliklere yol açtılar. Firmaların birçoğu geleneksel 6 Sigma yöntemi için azami fayda noktasına ulaşmışlardır [21].

ITT şirketinden Brenda Reichederfer birçok lider firma arasında gerçekleştirdiği karşılaştırmalı değerlendirme anketinde şu sonuca varıldı :

“Tasarım, ürün yaşam döngüsü maliyeti üzerinde %70 bir etkiye sahip. Ürün geliştirme etkinliği yüksek olan firmalarda ortalama kazancın üç katına kadar bir kazançta sahip olabiliyorlar. Yine bu şirketler ortalama gelir artışının iki katı bir artışa sahip olabiliyorlar”. Bu raporda ayrıca ürün geliştirme maliyetlerinin %40 oranında boşa harcandığı sonucuna da varmışlardır [21].

Buna benzer yapılan çalışmalar sonucunda firmaları 6 Sigma tasarım başlığı altında geliştirilmiş ürün geliştirme süreçlerini kabul etmeye yönlendirdi.6 Sigma tasarım yaklaşımı :

- Mühendislik verimliliğini arttırmaya ve bu sayede yeni ürünlerin hızlı ve düşük maliyetlerle geliştirilmesine

- Değere dayalı yönetime odaklanılmasına imkan sağladı.

Taguchi Sağlam Tasarım Yöntemi otomotiv, görüntüleme sistemleri, telekomünikasyon, elektronik,yazılım gibi bir çok alanda sıklıkla kullanılmakta ve şirketlere milyonlarca dolar tasarruf sağlamaktadır [21].

3.2.3. Taguchi Sağlam Tasarım Metodunun Avantajları

Taguchi sağlam tasarım yöntemi, geliştirme zamanını ve maliyetini iki katına kadar azaltmaya yardım eden çok etkili bir yöntemdir. Genel olarak ürün/sistem geliştirmede yer alan mühendislik kararları iki kategoride sınıflandırılabilir :

- Geçmiş ortak bilgi ve deneyimlerin hatasız uygulanması.
- Genellikle ürün/sistem kalitesini, güvenilirliğini, performansını ve maliyetini iyileştirmek için yeni tasarım bilgisinin üretilmesi.

Bilgisayar Destekli Tasarım/Mühendislik (BDT/BDM) araçları genel olarak geçmiş bilgiyi uygulamak için etkili olsa da, Sağlam Tasarım Yöntemi mühendislik becerilerini geliştirme yönünde hareket ederek, yeni bilgi üretme verimliliğini büyük ölçüde artırır. Sağlam Tasarım Yöntemini uygulayan bir şirket, tasarım fikirlerinin potansiyelini tam olarak ve hızla uygulayabilir, bu sayede yüksek karlar elde edebilir [21].

3.2.4. Sağlamlık Stratejisi

Varyasyon azaltma, evrensel olarak güvenilirliğin ve üretkenliğin geliştirilmesinde anahtar olarak kabul edilebilir. Ürün geliştirme döngüsündeki varyasyonu azaltmak için kullanılan bir çok yaklaşım vardır. Bir ürünün yaşam döngüsünün belirli bir aşamasında varyasyon azalmasını ele alarak, sonraki aşamalardaki arızaları önleyebilirsiniz [21].

6 Sigma yaklaşımı, imalat ve beyaz yaka personelin gerçekleştirdiği işlemlerde ortaya çıkan sorunları bularak ve acil bu sebepleri ortadan kaldırarak maliyet azaltmada muazzam kazançlar sağlamaktadır [21].

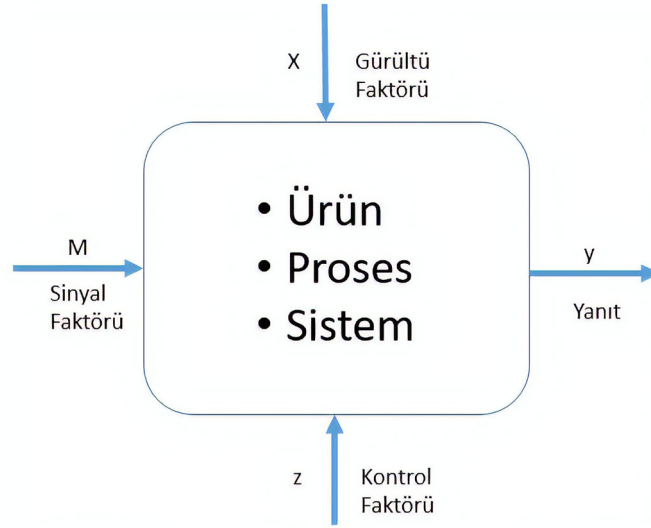
Sağlamlık Stratejisi bunları yaparken beş ana araç kullanmaktadır [21] :

- P diyagramları, ürünle ilişkili değişkenleri gürültü, kontrol, sinyal (giriş) ve tepki (çıkış) faktörlerine göre sınıflandırmak için kullanılır.
- İdeal fonksiyon, üst sistemin kusursuz çalışması için tasarım konsepti tarafından somutlaştırılan sinyal-yanıt ilişkisinin ideal biçimini belirlemek için kullanılır.

- Quadratik zarar fonksiyonu (Kalite zarar fonksiyonu), kullanıcının hedef performanstan sapması nedeni ile oluşan zararı ölçmek için kullanılır.
- Sinyal/Gürültü oranı, deney kalitesinden yola çıkarak saha kalitesini tahmin etmek için kullanılır.
- Ortogonal Diziler, az sayıda deneme ile kontrol faktörleri (tasarım parametreleri) hakkında güvenilir bilgi toplamak için kullanılır.

3.2.4.1. P-Diyagramı

P-Diyagramları geliştirme projelerinin en önemli adımlarındandır. Geliştirme kapsamını tanımlamanın bir yoludur. Öncelikle tasarım konsepti ile ilgili sinyal (giriş) ve cevap (çıkış) belirlenir. Örnek olarak bir odaya ait soğutma sistemi tasarlanıyorsa termostat ayarı sinyaldir, elde edilen oda sıcaklığı ise yanıttır. Şekil 3.4'te görülen parametre diyagramında, ürün, proses veya sistem tasarımı için gerekli olan girdiler ve çıktılar görülmektedir [21].



Şekil 3.2. P (Parametre) Diyagramı.

Örneğimize devam edersek sonrasında tasarımcının kontrolü dışındaki parametreler/faktörler göz önünde bulundurulur. Bu örnekte dış haça sıcaklığı, camların açılması/kapanması, odada bulunan insan sayısı gibi faktörlere gürültü faktörü denir. Tasarımcı tarafından belirlenebilecek faktörlere/parametrelere ise kontrol faktörleri denir. Bu örnekte klima ünitesi büyüklüğü, yalıtım, kayıt sayısı kontrol faktörlerine örnek verilebilir [21]. İdeal olan, elde edilen oda sıcaklığının termostata set edilen eşit olmasıdır.

Ancak gürültü faktörleri nedeni ile ideal sonuçtan sapmalar görülür. Tasarımcının ana görevi, uygun kontrol faktörlerini ve bu faktörlerin ayarlarını belirleyerek idealden sapma miktarını düşük bir maliyetle minimize etmektir. Bunu dikkate alarak yapılan tasarım, Taguchi tarafından tanımlanan sağlam tasarım olarak adlandırılır [21].

Ürünlerin/sistemlerin doğrusal olmamalarından faydalanılarak sağlam tasarımlar elde edilebilirler. Sağlam (Robust) tasarım yöntemi, tasarım hassasiyetini en aza indirmek için sistematik bir prosedür belirler ve buna Parametre Tasarımı denir [21].

Ürün arızalarının büyük bir çoğunluğu ve bunun sonucunda ortaya çıkan saha maliyetleri ve tasarım yenilikleri, erken tasarım aşamalarında gürültü faktörlerini göz ardı etmekten kaynaklanmaktadır. Gürültü faktörleri, bir sonraki ürün teslim aşamalarında, masraflı arızalara ve yara bantlarına neden olacak sürprizlerle tek tek yayılır. Sağlam Tasarım yönteminde, tasarım fikirlerini parametre tasarımında gürültü faktörlerine maruz bırakarak bu sorunlardan kaçınılır [21].

Bir sonraki adım, parametrelerin nominal değerlerden izin verilen sapmasını belirlemektir. Bu adım, daha sıkı tolerans maliyetinin müşteriye sağladığı faydalarla dengelenmesini içerir. Alt sistemlerin ve bileşenlerin farklı derecelerinin seçilebilmesi için mevcut alternatiflerden benzer kararlar alınmalıdır. Kuadratik kayıp fonksiyonu, bu kararların müşteriler veya üst düzey sistemler üzerindeki etkisini ölçmek için çok kullanışlıdır. Maliyetin dengelenmesi sürecine Tolerans Tasarımı adı verilir. Tolerans tasarımı ve ardından parametre tasarımı kullanmanın sonucu düşük maliyetli başarılı ürünler elde edilir [21].

3.2.4.2. Kalite Ölçümleri

Ürün fraksiyonunu, belirlenen ölçütlerin dışında kalite ölçütü olarak kullanmak oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. Hurda ürün kaynaklı zarar kalite ölçüsü açısından oldukça başarılı bir yöntem olsa da müşteri memnuniyetinin ölçülmesi açısından son derece yetersiz kalmaktadır. Kalite Kaybı fonksiyonu müşteri memnuniyetini ölçmek için oldukça iyi bir alternatif sunmaktadır [21].

Önemli bir tasarım optimizasyon problemi, ortalamayı hedefte tutarken varyansın en aza indirilmesini gerektirir. Ortalama ve standart sapma arasında, ortalamayı hedefte ayarlamak genellikle kolaydır, ancak varyansı azaltmak zordur. Bu nedenle, tasarımcı ilk önce varyansı en aza indirmeli ve ardından ortalamayı hedefe göre ayarlamalıdır. Mevcut kontrol faktörlerinin çoğu, varyansı azaltmak için kullanılmalıdır. Ortalamayı hedefte ayarlamak için yalnızca bir veya iki kontrol faktörü yeterlidir [21].

Taguchi, kayıp fonksiyonu olarak bilinen ve aynı zamanda gürültü oranı Sinyal/Gürültü fonksiyonu olarak da ifade edilen üç farklı amaca uygun fonksiyon vardır [3].

Performans karakteristiği adı verilen sonucun en düşük en iyi olduğu durumda:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (3.14)$$

En yüksek (büyük) en iyi olduğu durumda:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (3.15)$$

Nominal en iyi olduğun da :

$$\frac{S}{N} = 10 \log \left(\frac{y^-2}{s^2} \right) \quad (3.16)$$

$$y^- = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.17)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - y^-)^2 \quad (3.18)$$

Burada y_i = Performans karakteristiğinin i . gözlem değeri $n = 1$ denemedeki test sayısı, y^- = Gözlem değerlerinin ortalaması, S^2 = Gözlem değerlerinin varyansı olup S/N oranı büyüdükçe hedef etrafında ürün varyansı küçülür [21].

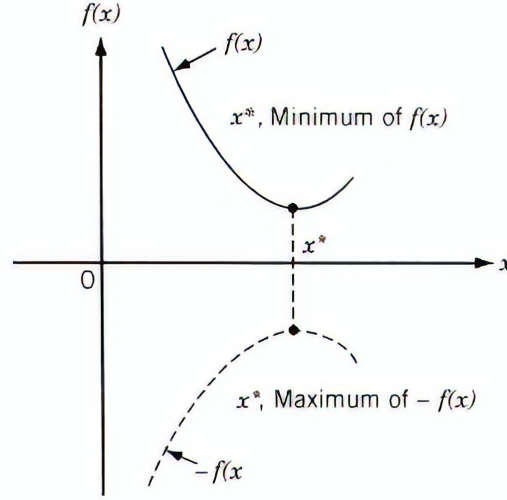
4. OPTİMİZASYON VE GENETİK ALGORİTMA

4.1. OPTİMİZASYON

Optimizasyon, belirli koşullar altında en iyi sonucu alma eylemidir. Herhangi bir mühendislik sisteminin tasarım, yapım ve bakımı sırasında mühendisler bazı aşamalarda birçok teknolojik ve yönetsel kararları almak zorundadırlar. Tüm bu kararların nihai amacı, gerekli çabayı en aza indirmek ve/veya istenen faydayı en üst düzeye çıkarmaktır. Gerekli çaba ve/veya herhangi bir pratik durumda istenen fayda, belirli karar değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebildiğinden, optimizasyon, bir fonksiyonun maksimum veya minimum değerini veren koşulları bulma süreci olarak tanımlanabilir [18]

Şekil 4.1'deki grafikte görüleceği üzere $f(x)$ fonksiyonunun maksimum değeri, negatif $f(x)$ fonksiyonunun minimum değeri ile aynı noktaya karşılık gelir. Bu sebeple, bir fonksiyonun maksimumunun aynı fonksiyonun negatifinin minimumu arayıp bulunabileceği için bu fonksiyon için optimizasyon yapılabilir denir. Ayrıca fonksiyon üzerinde aşağıdaki işlemler yapılırsa dahi optimum nokta değişmeyecektir [18].

- $f(x)$ fonksiyonunu pozitif c sabiti ile bölme veya çarpma
- pozitif c sabitini $f(x)$ fonksiyonuna ekleme ya da çıkartma.



Şekil 4.1. $f(x)$ fonksiyonu min $-f(x)$ fonksiyonunun maks. noktaları.

Tüm optimizasyon problemlerini etkin bir şekilde çözmek için tek bir yöntem yoktur. Bu nedenle, farklı optimizasyon problemlerini çözmek için çeşitli optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Optimum arama yöntemleri aynı zamanda matematiksel programlama teknikleri olarak da bilinir ve genellikle yöneylem araştırmasının bir parçası olarak incelenir. Yöneylem araştırması ile ilgili bir matematik dalıdır. Bilimsel yöntem ve tekniklerin karar verme problemlerine uygulanması ve en iyi veya en uygun çözümlerin oluşturulması olarak tanımlanabilir. Yöneylem araştırması konusunun başlangıcı II. Dünya Savaşı'nın erken dönemlerine kadar gider. Savaş sırasında, İngiliz ordusu, çok sayıda kıt ve sınırlı kaynakların (savaş uçakları, radarlar ve denizaltılar gibi) çeşitli faaliyetlere (sayısız hedeflere ve varış noktalarına konuşlandırılması) tahsis edilmesi sorunuyla karşı karşıya kaldı. Kaynak tahsisi problemlerini çözmek için sistematik bir yöntem bulunmadığından, askeri problemi bilimsel bir şekilde çözmek için yöntemler geliştirmesi için bir matematikçilerden kurulu bir ekip görevlendirildi . Ekip tarafından geliştirilen yöntemler, İngiltere'nin Hava Savaşı'nı kazanmasında etkili oldu. Askeri operasyonlar üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda geliştirilen doğrusal programlama gibi yöntemler daha sonra operasyon araştırma yöntemleri olarak bilinir hale geldi. [18]

4.1.1. Optimizasyon Probleminin İfadesi

Optimizasyonda modelleme ve çözümlenme iki önemli bileşen olarak nitelendirilmektedir. Modelleme gerçek yaşamda karşılaşılan problemin matematiksel olarak ifade edilmesi; çözümlenme ise bu modeli sağlayan en iyi çözümün elde edilmesini kapsamaktadır.

Bir optimizasyon probleminde optimize edilmek istenen problem fonksiyon, fonksiyonu optimize etmek için kullanılan parametreler değişken ve değişkenleri sınırlandıran limit değerleri ise kısıt olarak tanımlanır.

Bir optimizasyon ve ya matematiksel programlama problemi şu şekilde ifade edilir:

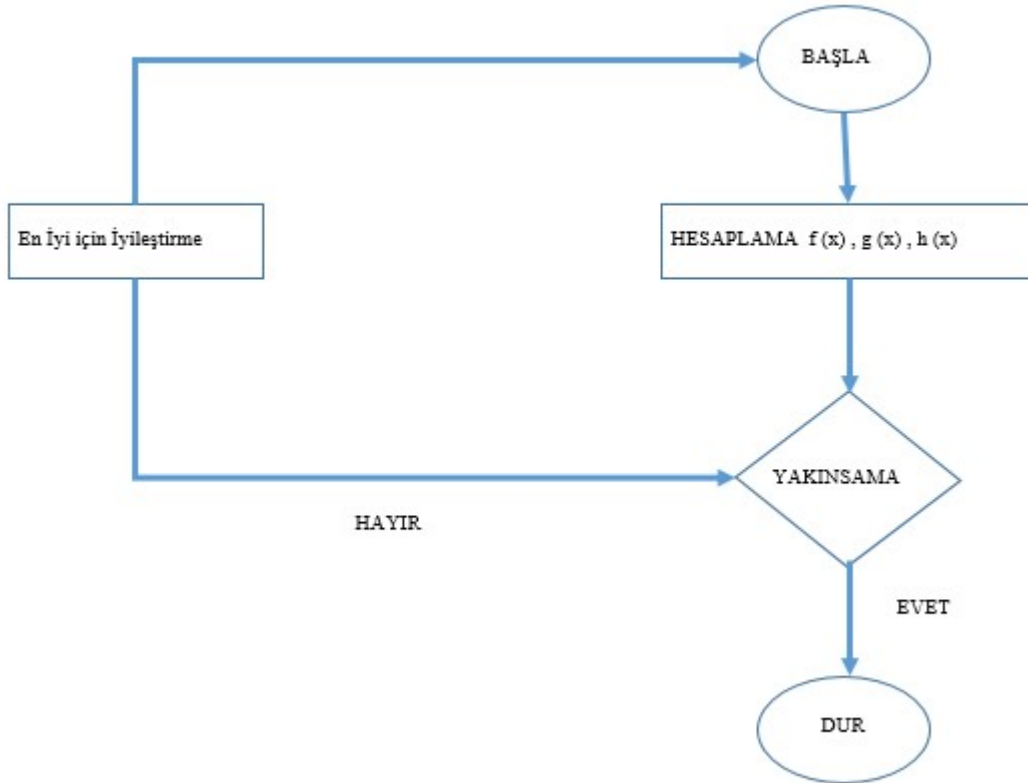
$$\text{Fonksiyon} \quad F(x_i) \quad (4.1)$$

$$\text{Değişkenler} \quad X_i = [X_1, X_2, \dots, X_n]^T \quad (4.2)$$

$$\text{Kısıtlar} \quad G_j(X_i) \leq 0 \quad (4.3)$$

$$H_k(X_i) = 0 \quad (4.4)$$

Şekil 4.2’de optimizasyon problemlerinde kullanılan akış şeması görülmektedir. Akış şemasından anlaşılacağı üzere optimizasyon amaç fonksiyonu, kısıtları aşmadan en iyileme gerçekleşene kadar devam eder.



Şekil 4.2. Optimizasyon işleminin akış şeması.

4.1.2. Modelleme

Modeller hemen tüm mühendislik problemlerinin çözümünde önemli bir rol oynamaktadır. İlgili modellerin ve problemi formüle ederken ve çözerken uygulanacak tekniklerin öğretilmesi mühendislik eğitiminin önemli bir kısmını oluşturur. Basit bir örnek olarak, ince bakır bir kablodaki elektrik akımını ölçmeye çalıştığımızı düşünelim. Modelimiz bu durumda ohm kanunu olacaktır :

$$\text{Akım} = \text{Gerilim} / \text{Direnç} \quad I=E/R \quad (4.5)$$

Bu tip modellere mekanik modeller denir. Bu tip modeller, temel fiziksel mekanizma ile ilişkili değişkenlere dair bilgilerimize dayanmaktadır. Bunun yanında, biz bu ölçüm sürecini farklı zamanlarda veya farklı günlerde tekrar gerçekleştirirsek, gözlenen ölçüm sonuçlarında bazı küçük değişiklikler oluşabilir. Çevre sıcaklığı, ölçüm cihazındaki dalgalanma, kablunun kimi yerlerindeki küçük kusurlar, gerilimdeki kaymalar gibi faktörlerin kontrol altında tutulamaması buna yol açar. Sonuç olarak daha gerçekçi bir model şu şekilde olmalıdır:

$$I=E/R+\epsilon \quad (4.6)$$

Eklenen ϵ terimi ile elektrik akımı gözlenen değerinin modelde tam olarak yansıtılmadığı gerçeği hesaba katılmış olur. Böylece ϵ teriminin sistemi etkileyen, ama modele dahil olmayan tüm değişkenlik kaynaklarının etkisini kapsadığını düşünebiliriz [13].

Bazı problemlerde, mühendisler olguyu kolayca veya tam olarak ifade edemeyen modeller ile çalışmak zorunda kalabilirler. Örneğin bir polimerin ortalama moleküler ağırlığını M_n belirlemek isteyelim. M_n nin malzemenin viskozitesi V , kullanılan katalizör miktarı C ve polimerizasyon reaktörü sıcaklığına T bağlı olduğunu biliyoruz. M_n ile bu değişkenler arasında ilişki şu şekilde formüle edilebilir :

$$M_n = f(V, C, T) \quad (4.7)$$

Burada f fonksiyonunun biçimi bilinmemektedir. Birinci derece Taylor serisi açılımı yoluyla, belki çalışan bir model şu şekilde oluşturulabilir:

$$M_n = \beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 C + \beta_3 T + \epsilon \quad (4.8)$$

Halini alır. Bu tip modeller deneysel modeller olarak adlandırılır. Ancak bu tip modeller olguya ilişkin yasa ve prensiplerden değil, bizim olgu hakkındaki mühendislik bilgimizden kaynaklanır. Denklemdaki β parametrelerini tahmin için veri gereklidir. Bu veriler geçmişe dönük araştırma, gözlemsel araştırma veya deney tasarımından elde edilebilir [13].

4.1.3. Klasik Optimizasyon

Sürekli ve türevlenebilir fonksiyonların en iyilenmesinde kullanılır. Bu yöntemler analitik ve en iyi noktanın bulunmasında türev hesaplarına ilişkin teknikler kullanılır. Türev kavramı temelde diferansiyel bir işlemdir. Fonksiyonun bir değişkene göre değişim hızını, başka bir ifade ile fonksiyonun eğimini belirler [17].

Bir $f(x)$ fonksiyonunu ele alırsak, fonksiyonun x_1 ve x_2 noktalarında aldığı değerler sırası ile $f(x_1)$ ve $f(x_2)$ olacaktır. (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) noktaları arasındaki eğim veya fonksiyonun değişim hızı Denklem 4.9'da gösterilmiştir.

$$\frac{\Delta f}{\Delta x} = \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} = \frac{f(x_1 + \Delta x) - f(x_1)}{\Delta x} \quad (4.9)$$

Eğer, X_1 ve X_2 noktaları arası büyükse, eğim (X_1, y_1) ve (X_2, Y_2) noktalarından geçen bir doğru olacak ve fonksiyonun bu aralıktaki değişim hızının yaklaşık bir ortalamasını verecektir. x_1 ve x_2 aralığı daraltılırsa daha dar bir bölgedeki eğim bulunacak, noktalardan her birindeki eğime yakın değere yakın bir değer elde edilecektir. Eğer $\Delta x = x_2 - x_1$ farkı sıfır yapılırsa, bu kez tek bir noktadaki ani veya noktasal değişim hızı elde edilebilir ve bu türevin tanımıdır ve Denklem 4.10' da gösterilmiştir.

$$f'(x) = \frac{df(x)}{dx} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\Delta f}{\Delta x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x_1 + \Delta x) - f(x_1)}{\Delta x} \quad (4.10)$$

Türev, temel matematikte bir fonksiyonun değişim hızını göstermesi yanında, değişimin sıfır olduğu, yani fonksiyonun maksimum veya minimum olduğu noktaları bulmamızda yardımcı olur [17].

4.1.4. Kısıtsız Optimizasyon

4.1.4.1. Kısıtsız Tek Değişkenli Optimizasyon

Tek değişkenli bir fonksiyonun optimum noktası için gerek ve yeter şartları:

$$f'(x) = 0 \quad (4.11)$$

n , çift ve $f''(x) > 0$ ise $f(x)$ fonksiyonu yerel min. noktaya sahiptir

n , çift ve $f''(x) < 0$ ise $f(x)$ fonksiyonu yerel max. noktaya sahiptir

n , tek ise $f(x)$ fonksiyonu ne yerel min noktaya sahip değildir.

Dönüm noktasıdır.

4.1.4.2. Kısıtsız İki Değişkenli Optimizasyon

Çift değişkenli bir $f(x_1, x_2)$ fonksiyonun optimum nokta için gerek ve yeterli şartlar :

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = 0 \quad \frac{\partial f}{\partial x_2} = 0 \quad (4.12)$$

$$A_0 = \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} \quad B_0 = \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} \quad C_0 = \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} \quad (4.13)$$

$B_0^2 - A_0 C_0 < 0$ ve $A_0 + C_0 < 0$ yerel maks. var

$B_0^2 - A_0 C_0 < 0$ ve $A_0 + C_0 > 0$ yerel min. var

$B_0^2 - A_0 C_0 > 0$ eyer noktası var

$B_0^2 - A_0 C_0 = 0$ belirsizlik var

4.1.4.3. Kısıtsız Çok Değişkenli Optimizasyon

Çok değişkenli bir $f(x)$ fonksiyonunun optimum noktası için gerek ve yeter şartlar:

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = 0 \quad \frac{\partial f}{\partial x_2} = 0 \quad \frac{\partial f}{\partial x_3} = 0 \quad (4.14)$$

İkinci türevden oluşan Hessian Matrisi :

$$C = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_3} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_3} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_3 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_3 \partial x_2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_3^2} \end{pmatrix} \quad (4.15)$$

$$[C1] = \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} \quad [C2] = \begin{array}{cc} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} \end{array} \quad [C3] = [C] \quad (4.16)$$

$i = 1, 2, \dots, n$ için $[C_i] > 0$ ise x_1, x_2, \dots, x_n yerel min. nokta olur

$i = 1, 3, 5, \dots, n$ $[C_i] < 0$ ve $i = 2, 4, 6, \dots, n$ $[C_i] > 0$ ise x_1, x_2, \dots, x_n yerel maks.

Bu şartların sağlanmadığı durumda x_1, x_2, \dots, x_n eğer noktası olur [17].

4.1.5. Kısıtlı Optimizasyon

4.1.5.1. Kısıtlı İki Değişkenli Doğrusal Programlama

İki değişkenli doğrusal programlama problemleri grafik ile çözülebilir. Doğrusal programlama, amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcıları karar değişkenlerinin doğrusal fonksiyonu biçiminde olan problemlerin çözümü ile uğraşan optimizasyon tekniğidir. Doğrusal programlamanın çok yaygın bir kullanım alanı vardır. Üretim planlaması, endüstriyel planlama, tahıl üretim planlaması, ulaşım planlaması gibi alanlarda kullanılmaktadır [17].

Bir doğrusal programlama şu şekilde oluşturulur :

$$\text{Fonksiyon} \quad f(x_1, x_2, x_3) = [3 \quad 2] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

Değişkenler x_1, x_2

$$\text{Kısıtlar} \quad \begin{array}{l} K \\ L \\ M \end{array} \begin{bmatrix} 4 & 8 \\ -1 & -2 \\ 2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} 100 \\ -20 \\ 40 \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

$x_i \geq 0 \quad i = 1, 2$

4.1.5.2. Kısıtlı Çok Değişkenli Doğrusal Programlamada Simplex Metodu

Çok değişkenli olan doğrusal programlama problemlerini grafik metodu ile çözmek mümkün değildir. n tane değişkenli olan bir doğrusal programlama problemi için, mümkün çözümler n boyutlu uzayda konveks bir set teşkil eder. Bu setin köşeleri yani uç noktaları problemin mümkün temel çözümleridir. Eğer problemin bir optimal çözümü varsa, bu uç noktaların biri optimal çözüm olacaktır. Simplex metodu bir uç noktadan başlayarak optimuma daha yakın bir ikincisine, oradan bir üçüncüsüne atlayarak optimum

uç noktasına ulaşmamızı sağlar. Her atlayışta amaç fonksiyonu optimuma biraz daha yaklaşır veya değerini korur [17].

Simplex metodu ile çözülen örnek bir optimizasyon problemi :

$$f(x_1, x_2) = 100x_1 + 60x_2 \text{ maksimum değerini bulma.} \quad (4.19)$$

Kısıtlar:

$$5x_1 + 2x_2 \leq 190 \quad (4.20)$$

$$4x_1 + 3x_2 \leq 180 \quad (4.21)$$

$$3x_1 + 4x_2 \leq 200 \quad x_1 \geq 0 \quad x_2 \geq 0 \quad (4.22)$$

Çizelge 4.1. Simplex tablosu.

Temel Değişken	Satır	f	X1	X2	S1	S2	S3	ST
*	0	1	0	0	4.04	19.88	0	4200
X1	1	0	1	0	0.5192	-0.3976	0	30
X2	2	0	0	1	-0.57	0.71	0	20
S3	3	0	0	0	1.6344	-2.7832	1	7.6

4.1.5.3. Kısıtlı Çok Değişkenli Doğrusal Programlamada Lagrange Çarpanları

Çok değişkenli fonksiyonlarda bağlı ekstremum problemlerinin çözümünde kullanılan optimizasyon yöntemidir. Vektörel notasyonla düşünülürse ekstremum koşullarında fonksiyonların gradyent vektörlerinin doğrultularının aynı olacağı gerçeğine dayanır [17].

$$L = F(x_i) - \sum \gamma_j (g_j(x_i) - c) \quad (4.23)$$

Gerek şartlar :

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = 0 \quad \frac{\partial L}{\partial \gamma_j} = 0 \quad (4.24)$$

L: Lagrange fonksiyonu F : Amaç fonksiyonu
Xi : Değişkenler γj : Lagrange çarpanları
gj : Kısıtlar c: kısıt denkleminde (gj=c)

Yeterli koşullar :

Karush-KuhnTucker koşulları; optimizasyon problemlerinde birden fazla sabit değere bağlı çok değişkenli bir fonksiyonun maksimum ve minimum değerlerini bulmak için kullanılan, doğrusal olmayan sınırlı optimizasyon problemlerinin temel çözüm yolu olan ve sınırlı fonksiyonların kararlı noktalarını hesaplamaya yarayan lagrange çarpanları metodunun eşitsizlik kısıtlı promlemlere uyarlanmış halidir [17].

$$\gamma_j \geq 0 \quad (4.25)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = \frac{\partial F}{\partial x_i} - \sum_j^m \gamma_j - \frac{\partial g_j}{\partial x_i} = 0 \quad (4.26)$$

$$\gamma_j (g_j(x) - c_j) \leq 0 \quad (4.27)$$

$$g_j(x) - c_j \leq 0 \quad (4.28)$$

4.2. GENETİK ALGORİTMA

4.2.1. Tanım

Temel ilkeleri ilk kez 1975 yılında John Holland tarafından ortaya atılan Genetik Algoritma, optimizasyon probleminin çözümünde kullanılacak rastgele seçilmiş bir çözüm kümesi oluşturabilmek için evrim teorisine ait mekanizmaları kullanan bir optimizasyon yöntemidir. Temel mantığı, topluluğun nesilden nesle geçmesi sırasında kötü çözümlerin yok olmasına ve iyi çözümlerden daha iyi çözümlere ulaşılması esasına dayanır [18].

4.2.2. Temel Kavramlar

Kromozom: Optimizasyon problemi için olası çözümleri ifade eder.

Topluluk: Kromozomların oluşturduğu çözüm kümesi.

Uygunluk Değeri: Problem çözümünün kalitesini belirler ve uygunluk fonksiyonu kullanılarak hesaplanır.

Çaprazlama, mutasyon vb. Olası özümleri temsil eden kromozomlar üzerinde yapılan işlemlerdir.

Yeni nesiller: Seçilen bireylerin genetik operatörlerden(aprazlama, mutasyon v.b) geçirilmesi ile elde edilen bireyler topluluğu.

4.2.3. Genetik Operatörler

Bir optimizasyon probleminin GA ile çözümü, birkaç (vektör) tasarım vektörünü ifade eden rastgele dizelerden oluşan bir popülasyon ile başlar. GA'lardaki (n) popülasyon büyüklüğü genellikle sabittir. Her dize (veya tasarım vektörü) uygunluk değerini bulmak için değerlendirilir [18].

Bireylerin (tasarımların), yeni bir nokta popülasyonu (tasarımları) üretmek için üç operatör tarafından (üreme, çaprazlama ve mutasyon) alıştırılır. Yeni popülasyon uygunluk değerini bulmak için ayrıca değerlendirilir ve sürecin yakınsaması için test edilir. Bir üreme döngüsü, çaprazlama ve mutasyon ve uygunluk değerlerinin değerlendirilmesi GA' larda bir kuşak olarak bilinir [18].

Yakınsama kriteri karşılanmazsa, bireyler üç operatör tarafından yinelenerek çalıştırılır ve ortaya çıkan yeni popülasyon uygunluk değerleri için değerlendirilir. İşlem, yakınsama kriteri karşılanana ve işlem sonlandırılıncaya kadar, birkaç kuşak boyunca devam eder [18].

4.2.3.1. Üreme

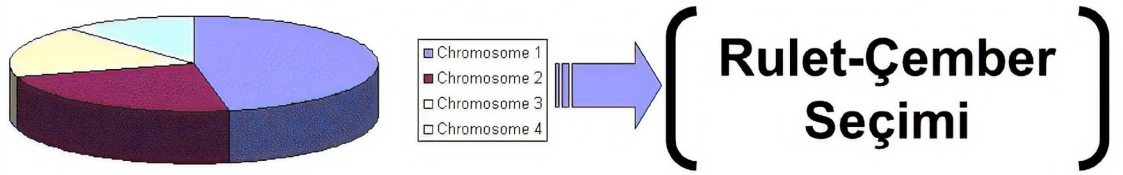
Üreme, iyi karakterlerden bir çiftleşme havuzu oluşturmak için popülasyona uygulanan ilk işlemdir. Üreme operatörü aynı zamanda seçim operatörü olarak ta bilinir. Çünkü popülasyondaki iyi karakterleri seçmek için kullanılır [18].

Üreme (seçim) operatörü, mevcut popülasyonda ortalamanın üzerinde olan bireyleri almak ve olasılıksal bir yaklaşım ile kopyalarını çiftleşme havuzuna eklemek için kullanılır. Popülasyondaki bütün bireylerin uygunluk fonksiyonu hesaplandıktan sonra, bunlardan bazıları yeni kuşaklar üretmek için seçilirler. Bu operatör uygulanırken genelde popülasyonun büyüklüğünün değiştirilmesine izin verilmez [18].

Üreme (seçim) için en çok kullanılanlar: Rulet Çarkı, Sabit Durum ve Turnuva yöntemleridir.

4.2.3.1.1. Rulet Çarkı

Kromozomlar uygunluklarına göre seçilirler. Daha iyi kromozomlar, daha fazla seçilme şansına sahip olanlardır. Popülasyondaki tüm kromozomların yerleştirildiği bir rulet çarkında kromozoma ait alan uygunluğu ile doğru orantılı olarak belirlenir. Daha uygun kromozom daha geniş bir alana sahip olur. Şekil 4.3'de 4 örnek bir rulet çemberi görülmektedir.



Şekil 4.3. Rulet Çarkı Seçimi.

4.2.3.1.2. Sıralı Seçim

En kötü uyumluluğa sahip kromozoma 1 değeri verilir. Daha iyi durumda olana 2 değeri verilir ve bu işlem tüm kromozomlar için yapılır. En iyi kromozoma N (birey sayısı) değeri verilir. Bu sayede seçim sırasında uyumlu kromozomların seçimine öncelik verilmesi sağlanır ve seçilme şansı artırılmış olur. Bu yöntemde çözüm daha geç yakınsayabilir.

4.2.3.1.3. Turnuva Yöntemi

Her yeni nesilde yüksek uyuma sahip kromozomlar yeni çocukları oluşturmak için seçilir. Düşük uyumluluk değerine sahip çocuklar ise kaldırılır. Yerlerine bu yeni üretilen çocuklar konulur. Toplumun kalan kısmı olduğu gibi yeni nesle aktarılır.

4.2.3.2. Çaprazlama

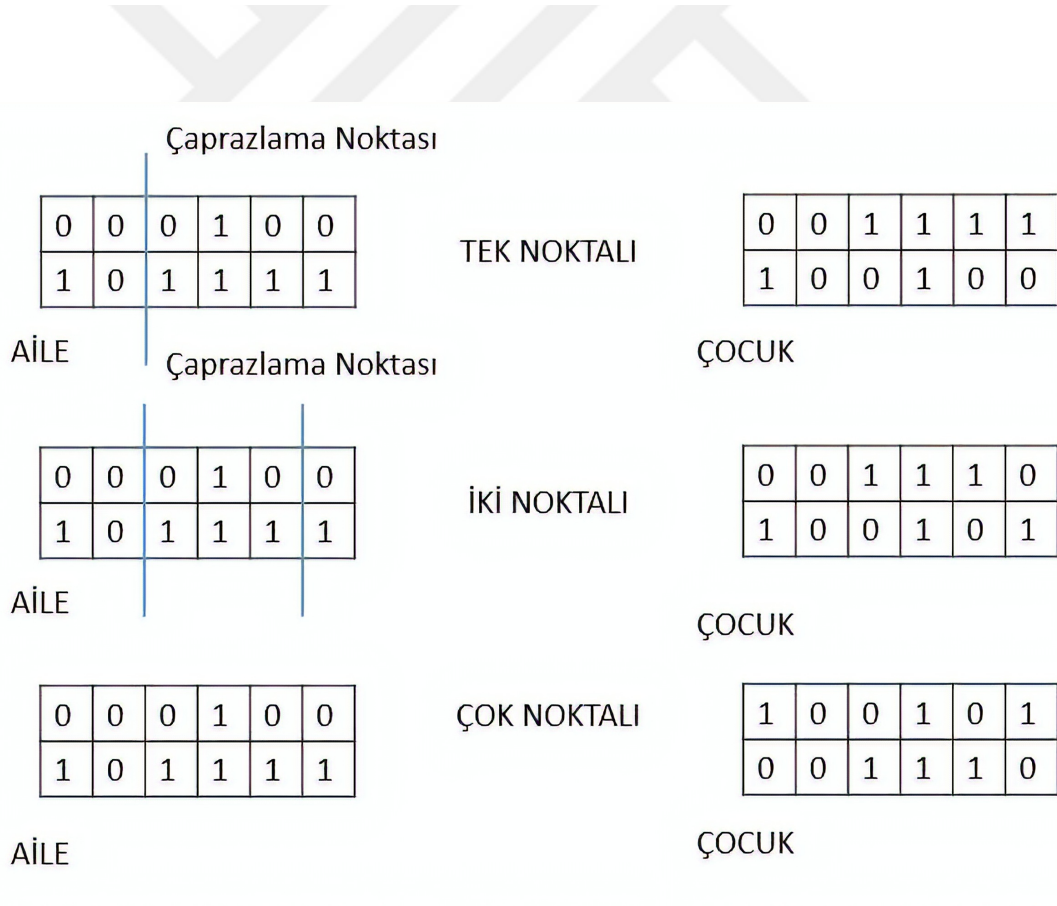
Anne kromozomdaki genlerin yerlerini değiştirerek çocuk kromozomlar üretmek için kullanılan bir operatördür. Bu sayede uygunluk değeri yüksek olan ana kromozomlardan uygunluk oranı daha yüksek olan çocuk kromozomlar üretilir.

Literatürde birçok çaprazlama yönteminden bahsedilirken en fazla kullanılan iki yöntem tek noktalı, iki noktalı ve sıralı çaprazlamadır.

Çizelge 4.2. Çaprazlama Yöntemleri

	Kromozom1	Kromozom2	Çocuk1	Çocuk2		
Tek Noktalı	11000/00100110110	11011/11000011110	1101111000011110	1100000100110110		
Çift Noktalı	11011/00100/110110	11011/11000/011110	1100011000110110	1,1011E+15		
Sıralı	984/567/13210	871/2310/9546	984/567/13210	871/2310/9546	984/2310/1567	821/567/93410
	A	B	A	B	A1	B1

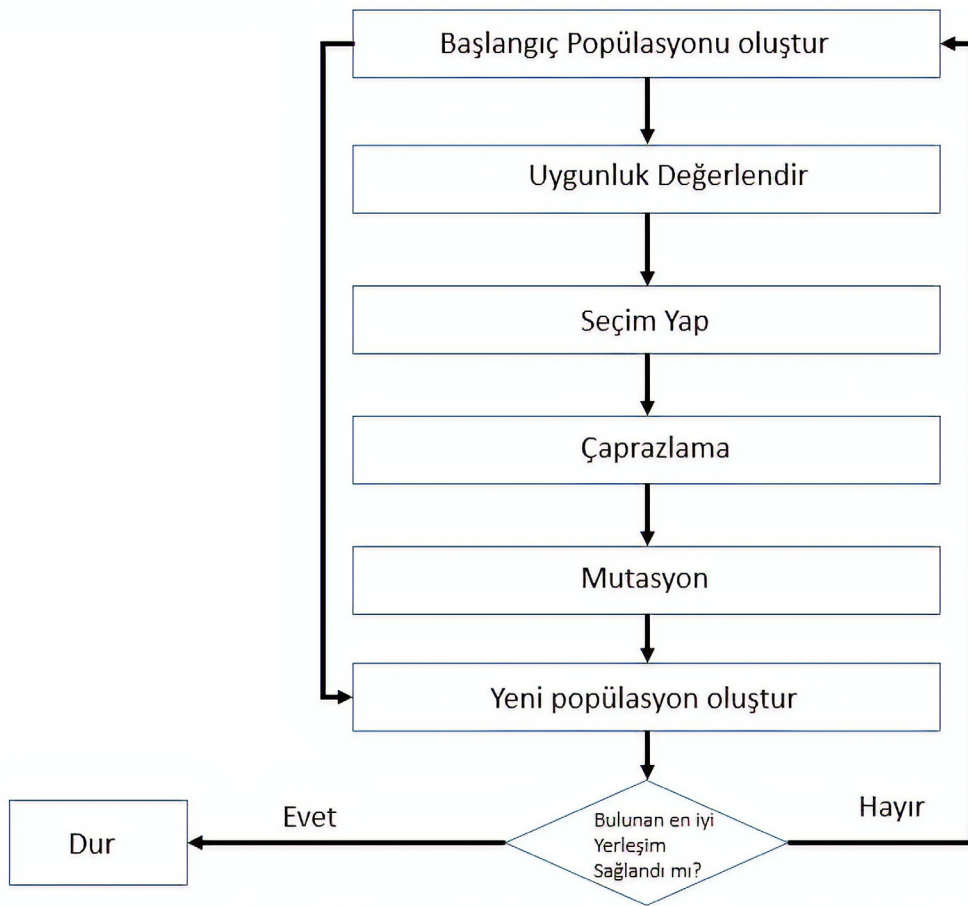
Şekil 4.4’de en sık kullanılan çaprazlama yöntemlerinin şematik gösterimi mevcuttur. Çözüm uzayında kaç adet kromozomun çaprazlanacağını belirleyen sayıya çaprazlama oranı denir. Bu oran aynı zamanda fertlerin eşleştiklerinde mutasyon yapma ihtimalini de ifade eder. Çaprazlamanın artması, yapı bloklarının artması sonucunu beraberinde getirir. Fakat aynı zamanda bu durum iyi kromozomların bozulma riskini arttıran bir etkidir.



Şekil 4.4. Çaprazlama yöntemlerinin şematik gösterimi.

4.2.4. Genetik Algoritma Akış Diyagramı

GA sürecinde ilk yapılan işlem arama uzayında mümkün olan bütün çözümlerin dizi olarak kodlanması işlemidir. İkinci olarak rastsal bir çözüm kümesi başlangıç popülasyonu olarak seçilir. Üçüncü olarak her bir dizi için uygunluk değeri hesaplanır. Dördüncü aşamada bir grup dizi belli olasılık değerine göre rastsal olarak seçilerek çoğaltır. Beşinci aşamada çoğaltılan yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak çaprazlama ve mutasyon işlemine tabi tutulurlar. Bu işlem önceden belirlenen kuşak sayısına ulaşıncaya kadar devam eder. Şekil 4.5’de akış diyagramı şematik olarak görülmektedir.



Şekil 4.5. GA akış diyagramı.

4.2.5. Genetik Algoritma Parametre Seçimi

Optimal sonucu bulmak için doğru parametre değerlerini kullanmak çok önemlidir. Tüm problemler için ortak parametre değerleri kullanmak neredeyse imkânsızdır. Kullanılan bu parametre değerleri kontrol parametreleri olarak adlandırılmıştır [14] .

4.2.4.1. *Popülasyon Büyüklüğü*

GA kullanıcısı tarafından verilen en önemli kararlardan biridir. Çok küçük olursa, GA yerel optimumda takılabilir. Çok büyük olması ise çözüm süresini ciddi miktarda uzatır.

Golderberg 1985 te kromozom uzunluğuna bağlı olarak popülasyon büyüklüğü hesaplamak için bir yöntem önermiştir. Schaffer ve arkadaşları 1989 da çok sayıda fonksiyon üzerinde yaptıkları denemeler sonucu 20-30 arası popülasyon büyüklüğünün iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir [14].

4.2.4.2. *Çaprazlama Olasılığı*

Amaç mevcut iyi kromozomların özelliklerini birleştirerek daha uygun kromozom yaratmaktır. Artması yapı bloklarının artmasını sağlar. Bazı iyi kromozomlar bu esnada yok olabilir [14].

4.2.4.3. *Mutasyon olasılığı*

Amaç popülasyondaki genetik çeşitliliği korumaktır. Artarsa genetik arama rassal bir aramaya dönüşebilir. Ancak kayıp genetik tekrar bulmada yardımcı olur [14].

4.2.4.4. *Kuşak aralığı*

Her kuşaktaki yeni kromozom oranıdır. Yüksek değer birçok kromozomun yer değiştirdiğini gösterir [14].

4.2.4.5. *Seçim Stratejisi*

Eski kuşağı yenilemenin çeşitli yöntemleri vardır. Mevcut yavrular tamamen değiştirilirse en iyi kromozom bir sonraki kuşağa aktarılamaz. Bu yüzden elitist stratejisi ile birlikte kullanılması gerekir. En uygun yöntem olarak, popülasyondaki en iyi kromozom hiçbir zaman yenilenmemelidir [14].

4.2.4.6. *Fonksiyon Ölçeklemesi*

Doğrusal ölçekleme, üstsel ölçekleme gibi yöntemler mevcuttur. Probleme en uygun ölçekleme yönteminin seçilmesi GA nın etkin işlemesi açısından önemlidir [14].

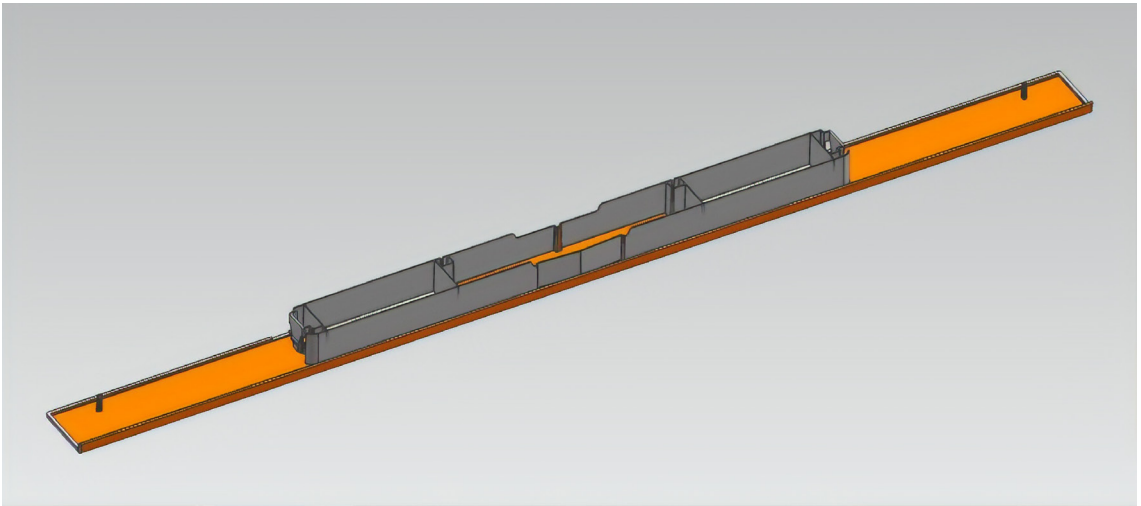
5. MATERYAL VE METOD

5.1. PROBLEMİN TANIMLANMASI

5.1.1. Parçanın Tanıtılması

Bu çalışmamızda amaç; istatistik, yapay zeka ve simülasyon gibi güçlü araçların, karmaşık optimizasyon probleminde kullanılmasının faydalarını saptamak olacaktır. Çalışmamıza konu olan üst panel kaplama (top panel cover) parçası buzdolabında, müşteri tarafından ilk olarak fark edilen, görsel bir parçadır. Bu sebeple çöküntü, çarpılma, birleşme izi gibi kalite kusurları kesinlikle istenmemektedir. Ayrıca montaj olacağı bölgeye tam uyumlu olmaması, müşteri tarafından algılanan kalite problemine sebebiyet verecektir. Tüm bu hataların önlenmesi ancak doğru ürün ve kalıp tasarımı ve doğru proses parametreleriyle imal edilmesi ile mümkün olacaktır.

Bu parça PP(Polypropilen) malzeme grubundan A Shulman GMBH firması tarafından üretilen, POLYFLAM RIPP 3625 CS1 malzemesinden basılmaktadır. Şekil 5.1’de Siemens NX10 programı ile tasarlanan parçanın 3D modeli görülmektedir. Parça tipik ince cidarlı parça tasarımına örnektir. Orta kısmında mukavemet için eklenen bir kaburga yapısı mevcuttur.



Şekil 5.1. Siemens NX10 programında tasarlanmış üç boyutlu model.

Çizelge 5.1’de malzemenin genel özellikleri görülmektedir. Tasarım esnasında malzeme seçimi yaparken mekanik, termal, optik gibi parçadan beklenen özellikler hammadde tedarikçisi tarafından sağlanan bu bilgiler ışığında değerlendirilir.

Çizelge 5.1. Malzemenin genel özellikleri.

Sıvı Halde Yoğunluk g/cm ³	1,23
Katı Halde Yoğunluk g/cm ³	1,37
Elastik modül,Dik yönde MPa	2822
Elastik modül,Paralel yönde MPa	2387
Poisson oranı,Dik yönde	0,375
Poisson oranı,Paralel yönde	0,389
Kesme Modülü MPa	907
Camsı Geçiş Sıcaklığı C°	122

Çizelge 5.2’de ham madde tedarikçisi tarafından önerilen proses parametreleri görülmektedir. Bu parametreler geometrisi ve kullanılan enjeksiyon makine özellikleri ile değişiklik gösterebilir.

Çizelge 5.2. Proses parametreleri.

Kalıp Yüzey Sıcaklığı C°	60
Eriyik Sıcaklığı C°	200
Kalıp Sıcaklık Farkı en az C°	40
Kalıp Sıcaklık Farkı en fazla C°	80
Kabul edilebilir eğilme gerilimi MPa	0,25
Kabul edilebilir kayma hızı 1/sn	1000

5.1.2. Problemin Tanımlanması

Seri üretimi devam eden parça için müşteri tarafından çarpılma problemi geri bildirimini yapılmıştır. Şekil 5.2’de çarpılma sebebiyle uç bölgesinde açıklık kalmış parça montajı görülmüştür. Ayrıca CMM ile hazırlanan ölçüm raporlarına göre parça, teknik resimde yazan ölçülere uygun değildir. Uç bölgelerde görülen çarpılma nedeni ile paralellik ve doğrusallık ölçüleri tolerans dışıdır. Bu hali ile parça kalite birimi tarafından onaylanmamıştır. Şekil 5.3’de koordinat ölçüm cihazı ölçüm sonuçları ve Şekil 5.4’te parça teknik resminde ilgili ölçüler görülmektedir. 0.7mm tolerans içinde olması gereken paralellik değeri 4mm ye kadar çıkmaktadır. 1mm olarak öngörülen doğrusallık değeri 3,9 mm olarak ölçülmüştür. 1.5mm olarak belirlenen doğrusallık değeri 3.89mm olarak ölçülmüştür. Parça uç bölgelerinde meydana gelen çarpılma, tolerans dışı ölçülere sebebiyet vermektedir.

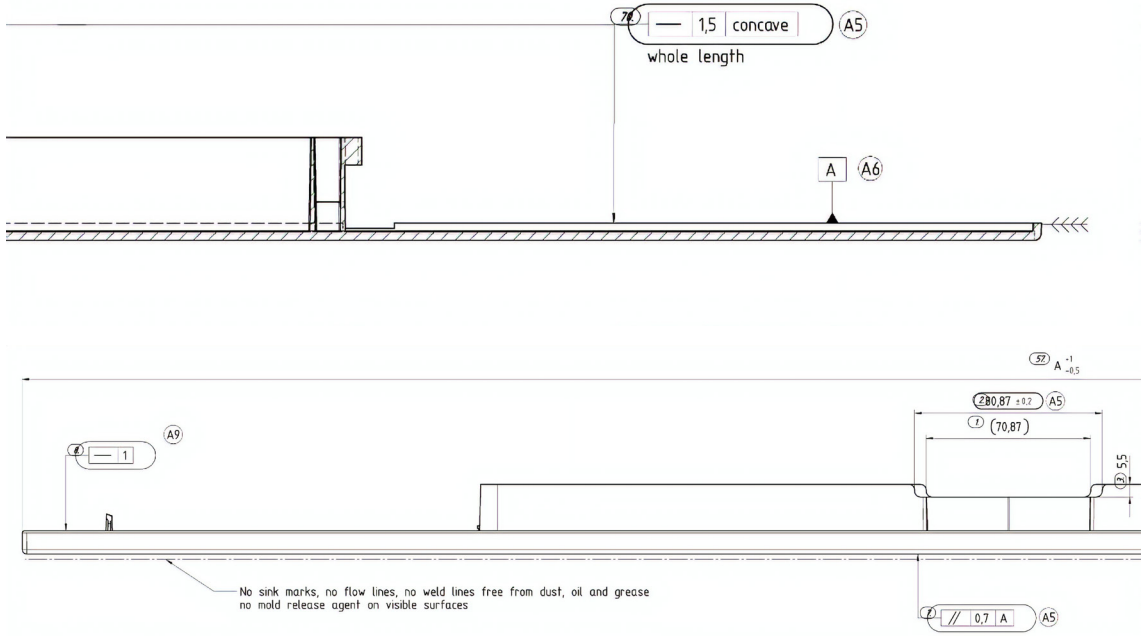


Şekil 5.2. Dolap üzerine takılan parçada çarpılma sebebi ile meydana gelen açıklık.

1.KALIP GÖZÜ							
Item-No.: Drawing	Nominal value	Upper allowed	Lower allowed deviation	Additional Information	Actual value (Supplier)		
Field:					1.NUMUNE	2.NUMUNE	3.NUMUNE
7/G10	0	0,7	0	Paralelism	4,085	3,914	2,987
8/E2	0	1	0	Straightness	3,99	3,008	2,845
9/H2	39,4	0,3	-0,3		38,842	38,835	38,787
70/A16	0	1,5	0	Straightness	3,899	3,616	3,145

2.KALIP GÖZÜ							
Item-No.: Drawing	Nominal value	Upper allowed	Lower allowed deviation	Additional Information	Actual value (Supplier)		
Field:					1.NUMUNE	2.NUMUNE	3.NUMUNE
7/G10	0	0,7	0	Paralelism	2,498	1,272	2,388
8/E2	0	1	0	Straightness	2,347	1,718	1,915
9/H2	39,4	0,3	-0,3		38,769	38,714	38,879
70/A16	0	1,5	0	Straightness	3,899	3,616	3,145

Şekil 5.3. CMM ölçüm raporu.

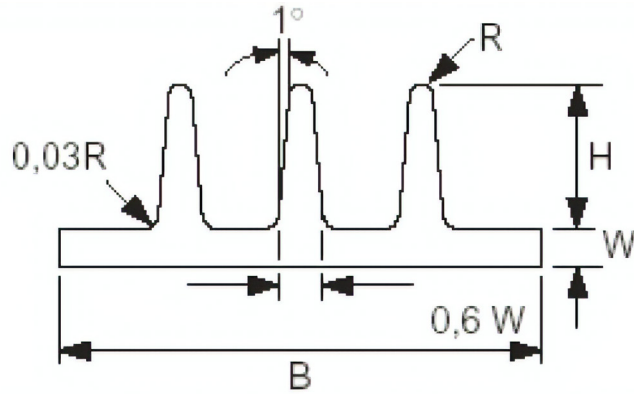


Şekil 5.4. Parça teknik resmi.

5.1.3. Parça Tasarım Kontrollerinin Yapılması

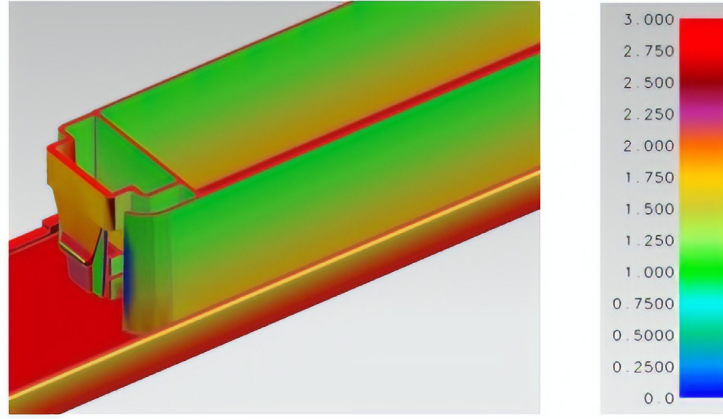
Çapılma ürün tasarımı, kalıp tasarımı veya proses kaynaklı olabilir. Bu sebeple ilk olarak üç boyutlu model genel plastik parça tasarım kurallarına göre gözden geçirilmelidir. Plastik parçaların, her bölgede homojen et kalınlığına sahip olması istenir.

Ayrıca mukavemet sağlaması için parçaya eklenen kaburga yapılarının kalınlığının kullanılan malzeme cinsine göre değişmek üzere , genel et kalınlığının belli katından daha fazla olmaması gerekir. Şekil 5.5'te doğru kaburga tasarımı için verilen örnek anma ölçüleri görülmektedir.



Şekil 5.5. Kaburga tasarımında kullanılan anma ölçüleri.

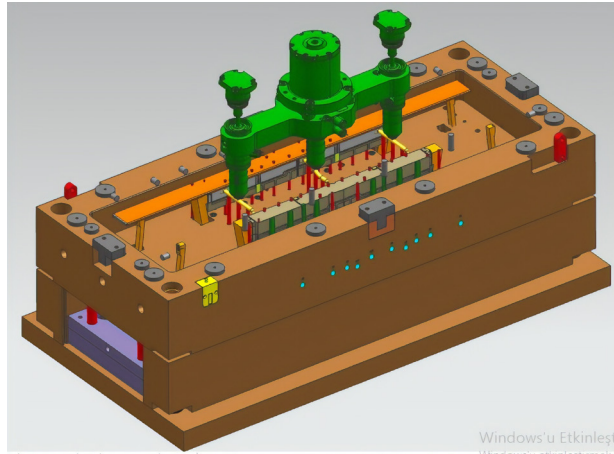
Şekil 5.6’da et kalınlığı analizinin sonuçları görülmektedir. Genel et kalınlığı 2mm olan parçada, eklenen kaburga bölgesinin dip kısımlarında kalınlığın 3mm bulunduğu görülmektedir. Bu kalınlık farkının, çarpılmaya olumsuz etkisi olacaktır. Genel plastik parça tasarım kuralı olarak, eklenen kaburga yapısının genel et kalınlığına oranı malzemeye göre değişmekle birlikte, bu oranın PP malzeme için 1/3 seviyesinde olması istenir.



Şekil 5.6. Kaburga yapısının (Rib) dip tarafında görülen kalınlık farkı.

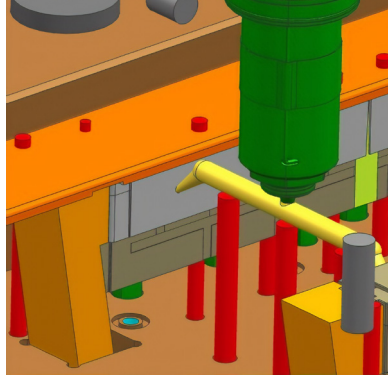
5.1.4. Kalıp Tasarım Kontrollerinin Yapılması

Bir sonraki aşamada kalıp tasarımında çarpılmaya sebep olacak herhangi bir hatanın yapılıp yapılmadığı incelenmiştir. Bu parça için iki gözlü, sıcak yolluklu bir kalıp tasarlanıp üretilmiştir. Soğutma kanalları parça geometrisi ve et kalınlıkları dikkate alınarak tasarlanmıştır. Şekil.30’da sıcak yolluk sistemi ile birlikte kalıbın genel görünümü mevcuttur.



Şekil 5.7. Sıcak yolluk sistemi ile birlikte kalıp yarımı.

Kalıp tasarımında özellikle yolluk giriş yeri, çarpılma hatası açısından önem taşımaktadır. Kalıp tasarımında giriş yerinin, parçanın en kalın yeri olması beklenir. Kalıp tasarımı incelendiğinde, maça bölgesi olması nedeni girişin, parçanın en kalın yerine konumlandırılmadığı görülmüştür. Şekil 5.8’de kalıp üzerinde, soğuk yolluk girişi görülmektedir. Malzeme girişi, kaburga yapısının ortasından sağlanmıştır.



Şekil 5.7. Soğuk yolluk ve malzeme giriş bölgesi.

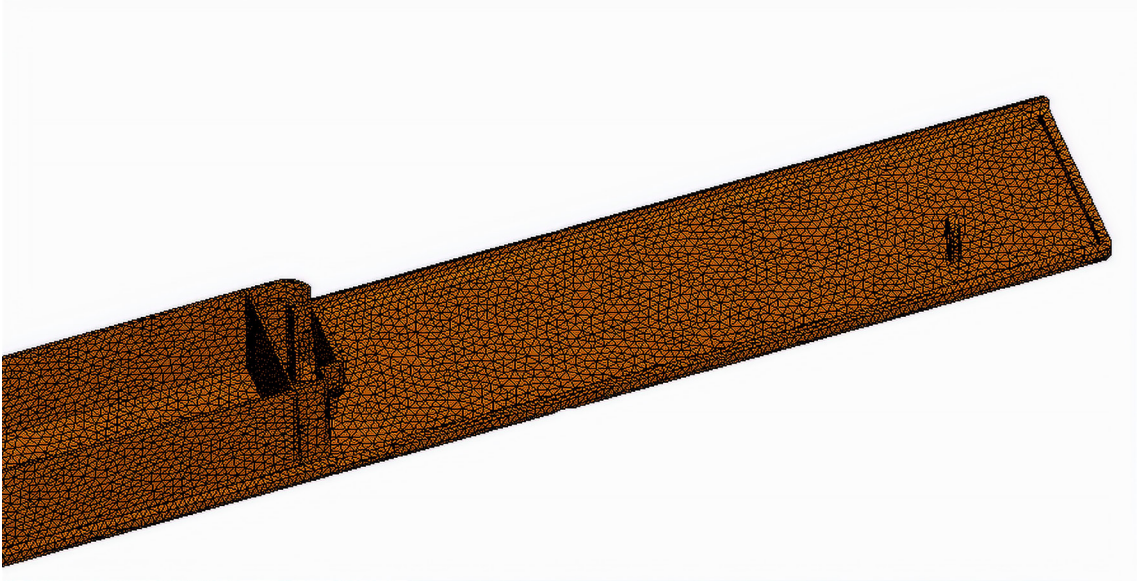
Genel olarak tasarımda kaburga bölgesinin (rib) dip kısımlarında yapılacak malzeme kalınlığı azaltma, malzeme giriş miktarını arttırmak için soğuk yolluk giriş bölgesini büyütme gibi çözümler çarpılma probleminin çözümü için faydası olacak değişiklikler olarak belirlenmiştir. Ancak bu değişikliklerin tamamı kalıpta modifikasyon yapılmasını sebep olacaktır. Bu ise kalıba dolayısıyla parça fiyatına ek maliyet getirecektir. Bunun için çarpılma problemini proses parametrelerini optimize ederek çözümlerin maliyetsiz bir çözüm olacağı düşünülmüştür.

5.2. SONLU ELEMENLAR MODELİNİN OLUŞTURULMASI

5.2.1. Modelin Transfer Edilmesi ve Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Analiz çalışmalarında Moldflow Synergy 2018.1 versiyonu kullanılmıştır. Parça ve kalıp tasarımı Siemens NX10 yazılımı ile gerçekleştirmiştir. İlk olarak parça geometrisi .step formatında Moldflow Synergy programına transfer edilmiştir. Şekil 5.9’da görülen model, Dual domain mesh tekniği ile oluşturulmuş yaklaşık 127 bin üçgensel eleman (triangle), 63479 bağlantı düğüm elemanından (connected nodes) oluşmaktadır.

Mesh kalitesini gösteren ana etmenlerden olan en-boy oranı (max. aspect ratio) 11.49 ile çarpılma ve soğutma analizi için istenen değerin biraz üzerinde olmakla birlikte ortalama 1.68 ve min. 1.16 değerleri oldukça ideal seviyededir. Yine model kalitesini doğrudan belirleyen Eşleşme yüzdesi (match percentage) ve karşılıklı eşleşme (reciprocal percentage) değerleri oldukça iyi durumdadır. Şekil 5.10’da oluşturulan sonlu eleman modeli ile ilgili istatistik bilgileri bulunmaktadır.



Şekil 5.8. Autodesk Moldflow Plastic Synergy18.1 programında oluşturulan sonlu elemanlar modeli.

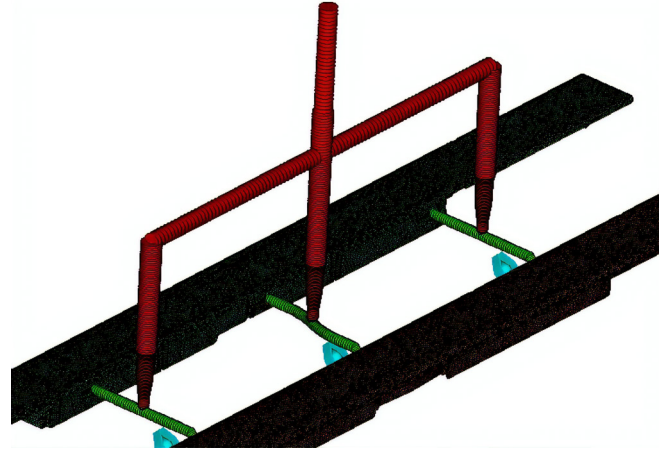
Mesh Information

Triangles			
Entity counts:			
Triangles			126978
Connected nodes			63479
Connectivity regions			3
Invisible triangles			742
Area: (Mold blocks and cooling channels are not included)			
Surface Area:			3331.95 cm ²
Volume by element types:			
Triangle:			329.428 cm ³
Aspect Ratio:			
Maximum	Average	Minimum	
11.49	1.68	1.16	
Edge details:			
Free edges			0
Manifold edges			190467
Non-manifold edges			0
Orientation details:			
Elements not oriented			0
Intersection details:			
Element intersections			148
Fully overlapping elements			24

Şekil 5.9. Sonlu elemanlar modeline ait mesh istatistikleri.

5.2.2. Yolluk Sisteminin Autodesk Synergy Programında Modellenmesi

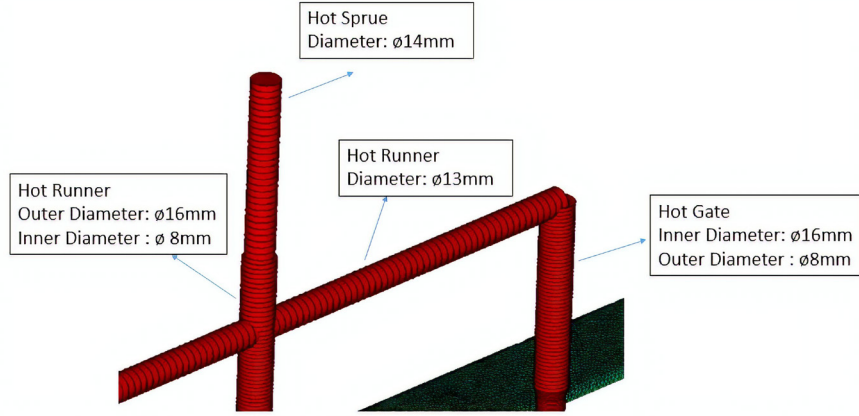
Bir sonraki aşamada sıcak ve soğuk yolluk sistemleri oluşturulmuştur. Bunun için iki farklı yöntem izlenebilir. Birinci yöntemde yolluk geometrileri çizgi şeklinde BDT programdan transfer edilir, daha sonra bunlar programa sıcak ve soğuk yolluk olarak tanıtlır ve mesh atılır. İkinci yöntemde ise yolluklar direk Autodesk Moldflow Plastic Synergy içerisinde beam elemanlar ile modellenir. Biz bu çalışmada ikinci yöntemi kullandık. Şekil 5.11’de yolluk modelinin genel görüntüsü görülmektedir. Kırmızı ile görülen yolluk elemanları sıcak yolluk, yeşil ile görülen yolluk elemanları soğuk yolluk girişleridir.



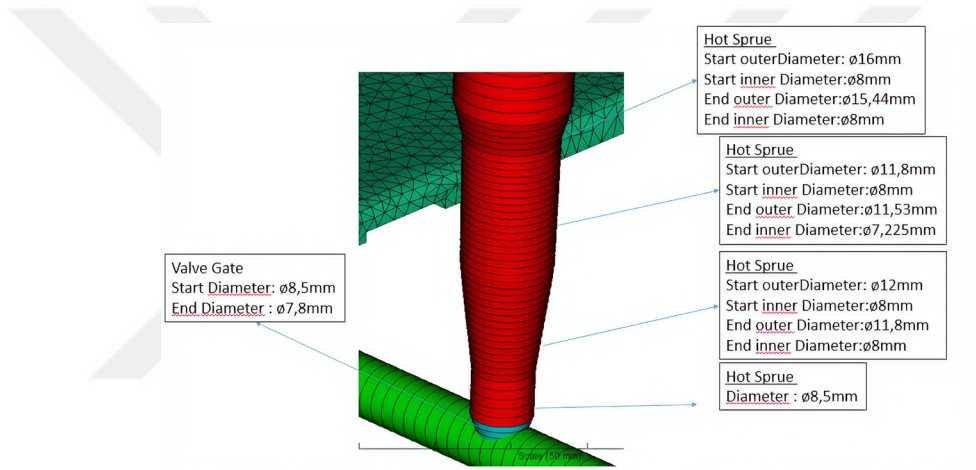
Şekil 5.10. Sıcak yolluk, soğuk yolluk ve yolluk girişi modeli genel görüntüsü.

Şekil 5.12, 5.13 ve 5.14’de sıcak ve soğuk yolluklara ait detay ölçüler görülmektedir. Akışın doğru modellenmesi için, tüm yolluk girişleri kalıp tasarımına uygun olarak beam elemanlar ile modellenmiştir, her bir yolluk girişi için yolluk tipi ve giriş çapları, programın sağladığı ara yüz ile tanımlanmıştır.

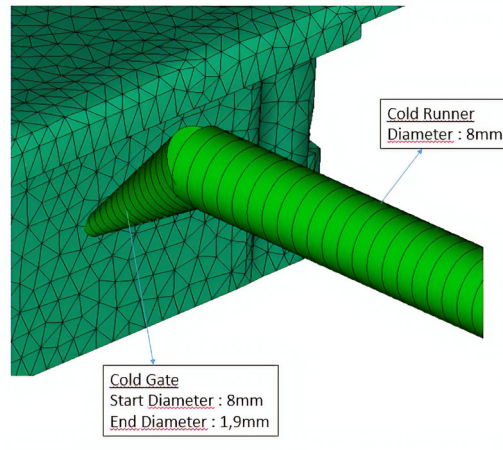
Ana dağıtıcı kanal tüm ölçüler ile modellenmiştir. Bu sayede plastik akışı çok daha gerçekçi olarak modellenmiştir. Akışkana ait basınç değerinin gerçek prosese yakın olabilmesi için sonlu eleman modelinin gerçeğe yakın olması, proses ve makine ayarlarının programa olabildiğince detaylı girilmesi gerekir.



Şekil 5.11. Sıcak yolluk sisteminde kalıp giriş yolu, yatay yolluk ve dikey yolluk ölçüleri.

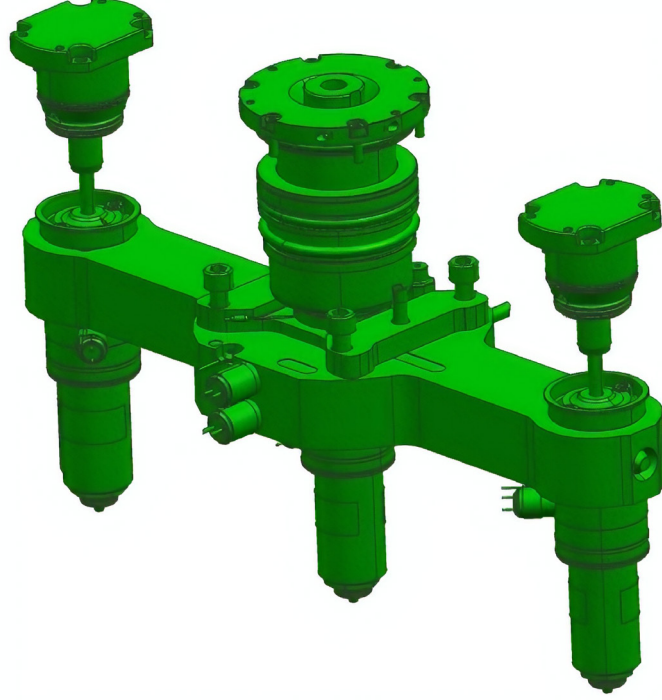


Şekil 5.12. Sıcak yolluk sistemine ait dikey yolluk ve valve gate ölçüleri.



Şekil 5.13. Soğuk yolluk sistemine ait yolluk ve giriş ölçüleri.

Üç adet sekansiyel valften oluşan sıcak yolluk sisteminin 3D modeli, sıcak yolluk tedarikçi firmadan sağlanmıştır. Şekil 5.15’de yolluk sisteminin 3D modeli görülmektedir.

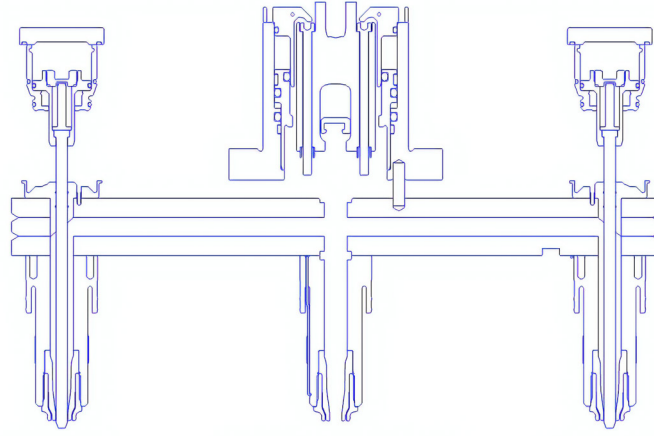


Şekil 5.14. Sıcak yolluk firması tarafından tasarlanan yolluk sisteminin 3D modeli.

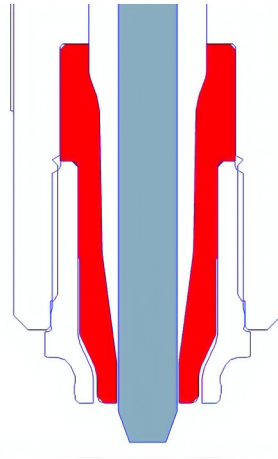
Analizin daha hızlı çözülebilmesi açısından sıcak yolluk sisteminin akış hacmi oluşturulurken bazı basitleştirmeler yapılmıştır. Sekansiyel valf yolluk girişleri, oldukça karmaşık bir geometriye sahiptir. Bir takım kabüller ile modelin basitleştirilmesi simülasyon hızını arttıracaktır.

Bu sebeple sıcak yollukta akış geçen iç hacim modellenirken, valfin kapanıp açılmasını sağlayan vida çapı hacmi çıkartılarak modellenmiştir. Şekil.39’da sıcak yolluk kesiti ve soğuk yolluk bağlantı bölgesi görülmektedir.

Akış analizinde malzemenin soğuk yolluğa gelene kadar kaybettiği basınç değerinin program tarafından hesaplanabilmesi için sıcak yolluk akış hacminin modellenmesi gerekir. Aksi halde enjeksiyon makinasından gelen malzeme, hiç basınç kaybı yaşamıyormuş gibi davranır.



a)



b)

Şekil 5.15. a) Sekansiyel valf genel kesit b) Soğuk yolluk bağlantı bölgesi ve vida.

5.3. PROSES PARAMETRELERİ

5.3.1. Üretimde Kullanılan Proses Parametrelerinin İncelenmesi

Akış simülasyonunda kullanılacak deney tasarımının oluşturulması için ilk olarak tedarikçi tarafından sağlanan ve hali hazırda üretimde kullanılan, parametre değerlerinin bulunduğu Şekil 5.17’de ki işlem sayfası incelenmiştir. Bu sayfa incelendiğinde, çevrim süresi 65sn, ütüleme basınç ve süreleri 45Bar-5sn,35Bar-3sn,35Bar-3sn şeklinde bir ütüleme profili uygulandığı görülmüştür. Eriyik sıcaklığı nozzle bölgelerine göre 235-240-235-230-220 C°’dir. Enjeksiyon basınçları yine bar cinsinden vida pozisyonuna göre 95Bar-10,95Bar-20,95Bar-75 şeklinde ayarlanmıştır. Soğutma suyu sıcaklıkları erkek kalıp için 55C° ve dişi kalıp için 40° olarak belirlendiği görülmüştür.

BARREL TEMP (C)									WATER TEMP (C)	
Nozzle	Cylinder 1	Cylinder 2	Cylinder 3	Cylinder 4	Cylinder 5	Cylinder 6	Cylinder 7	Cylinder 8	Dişi / cavity	Erkek/core
295	240	295	280	220					Su	55
									Kalıp	40
									Sekansiyel Valf	
									Açma (sn)	Kapama (sn)
									1	
									2	
									3	
									4	
									5	
									Geri Emiş / suck back	
									1	
									2	
									3	
									4	
									5	
									6	
									7	
									8	
									9	
									10	
									11	
									12	
									13	
									14	
									15	
									16	
									17	
									18	
									19	
									20	
									21	
									22	
									23	
									24	
									25	
									26	
									27	
									28	
									29	
									30	
									31	
									32	
									33	
									34	
									35	
									36	
									37	
									38	
									39	
									40	
									41	
									42	
									43	
									44	
									45	
									46	
									47	
									48	
									49	
									50	
									51	
									52	
									53	
									54	
									55	
									56	
									57	
									58	
									59	
									60	
									61	
									62	
									63	
									64	
									65	
									66	
									67	
									68	
									69	
									70	
									71	
									72	
									73	
									74	
									75	
									76	
									77	
									78	
									79	
									80	
									81	
									82	
									83	
									84	
									85	
									86	
									87	
									88	
									89	
									90	
									91	
									92	
									93	
									94	
									95	
									96	
									97	
									98	
									99	
									100	
									101	
									102	
									103	
									104	
									105	
									106	
									107	
									108	
									109	
									110	
									111	
									112	
									113	
									114	
									115	
									116	
									117	
									118	
									119	
									120	
									121	
									122	
									123	
									124	
									125	
									126	
									127	
									128	
									129	
									130	
									131	
									132	
									133	
									134	
									135	
									136	
									137	
									138	
									139	
									140	
									141	
									142	
									143	
									144	
									145	
									146	
									147	
									148	
									149	
									150	
									151	
									152	
									153	
									154	
									155	
									156	
									157	
									158	
									159	
									160	
									161	
									162	
									163	
									164	
									165	
									166	
									167	
									168	
									169	
									170	
									171	
									172	
									173	
									174	
									175	
									176	
									177	
									178	
									179	
									180	
									181	
									182	
									183	
									184	
									185	
									186	
									187	
									188	
									189	
									190	
									191	
									192	
									193	
									194	
									195	
									196	
									197	
									198	
									199	
									200	
									201	
									202	
									203	
									204	
									205	
									206	
									207	
									208	
									209	
									210	
									211	
									212	
									213	
									214	
									215	
									216	
									217	
									218	
									219	
									220	
									221	
									222	
									223	
									224	
									225	
									226	
									227	
									228	
									229	
									230	
									231	
									232	
									233	
									234	
									235	
									236	
									237	
									238	
									239	
									240	
									241	
									242	
									243	
									244	
									245	
									246	
									247	
									248	
									249	
									250	
									251	
									252	
									253	
									254	
									255	
									256	
									257	
									258	
									259	
									260	
									261	
									262	
									263	
									264	
									265	
									266	
									267	
									268	
									269	
									270	
									271	
									272	
									273	
									274	
									275	
									276	
									277	
									278	
									279	
									280	
									281	
									282	
									283	
									284	
									285	
									286	
									287	
									288	
									289	
									290	
									291	
									292	
									293	
									294	
									295	
									296	
									297	
									298	
									299	
									300	
									301	
									302	
									303	
									304	
									305	
									306	
									307	
									308	
									309	
									310	
									311	
									312	
									313	
									314	
									315	
									316	
									317	
									318	
									319	
									320	
									321	
									322	
									323	
									324	
									325	
									326	
									327	
									328	
									329	
									330	
									331	
									332	
									333	
									334	
									335	
									336	
									337	
									338	
									339	
									340	
									341	
									342	
									343	
									344	
									345	
									346	
									347	
									348	
									349	
									350	
									351	
									352	
									353	
									354	
									355	
									356	
									357	
									358	
									359	
									360	
									361	
									362	
									363	
									364	
									365	
									366	
									367	
									368	
									369	
									370	
									371	
									372	
									373	
									374	
									375	
									376	
									377	
									378	
									379	
									380	
									381	
									382	
									383	
									384	
									385	
									386	
									387	
									388	
									389	
									390	
									391	
									392	
									393	
									394	
									395	
									396	
									397	
									398	
									399	
									400	
									401	
									402	
									403	
									404	
									405	
									406	
									407	
									408	
									409	
									410	
									411	

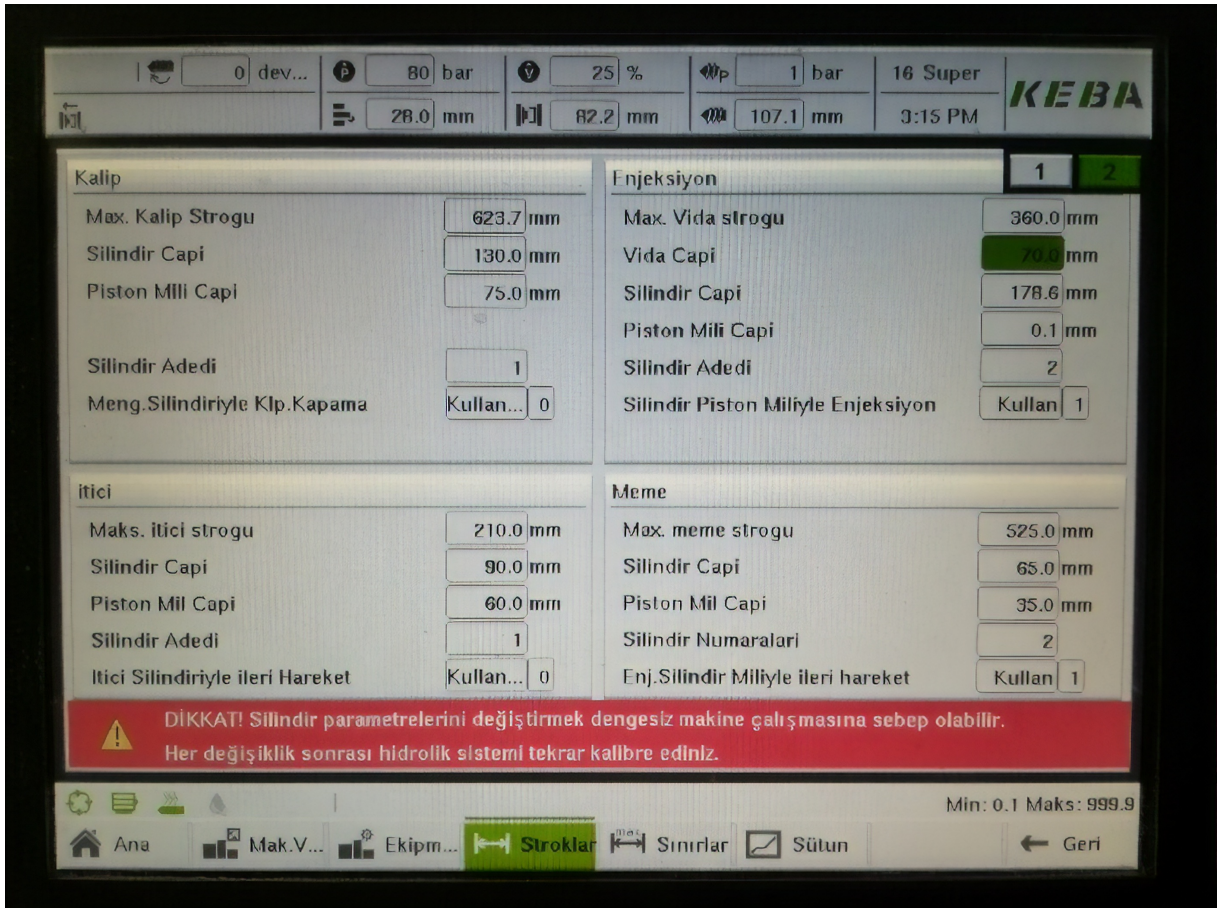
$$Vida Alanı = \frac{Vida \text{ çapı}^2 \times \pi}{4} = \frac{70^2 \times 3,14}{4} = 3846,5 \quad (5.1)$$

$$Silindir alanı = 2x \left(\frac{piston \text{ çapı}^2 \times \pi}{4} - \frac{Mil \text{ çapı}^2 \times \pi}{4} \right) \quad (5.2)$$

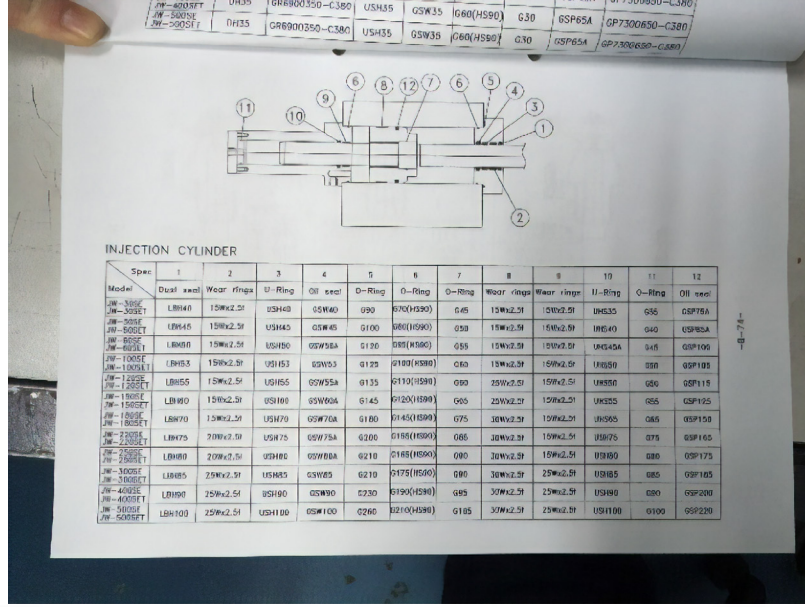
$$= 2x \left(\frac{190^2 \times 3,14}{4} - \frac{90^2 \times 3,14}{4} \right) = 2x21980 = 43960 \text{ mm}^2$$

$$Basınç Katlama Oranı = \frac{Silindir Alanı}{Vida Alanı} \quad (5.3)$$

$$= \frac{43960}{3846,5} = 11,4$$

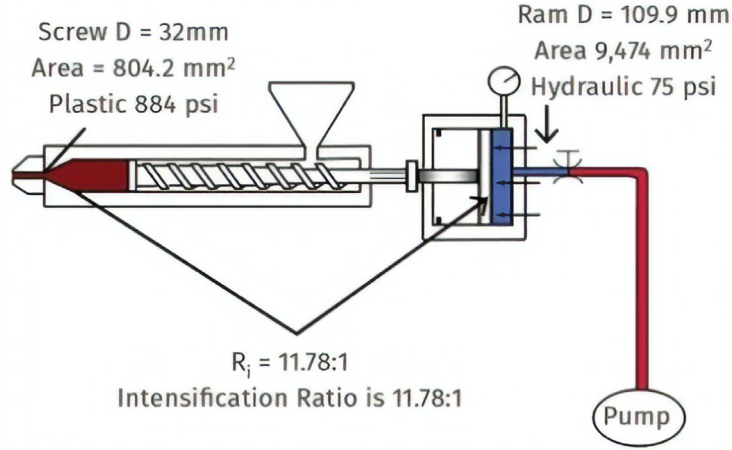


Şekil 5.17. Enjeksiyon makinesi bilgi sayfası.



Şekil 5.18. Enjeksiyon makine kataloğu.

Hydraulic vs. Plastic Pressure



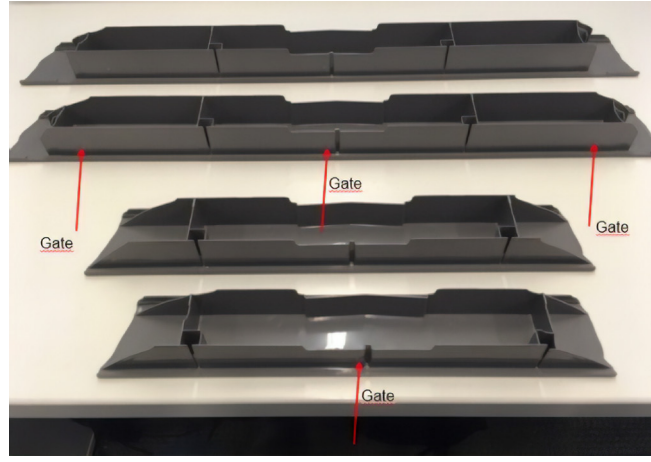
Şekil 5.19. Basınç katlama oranı tanımı.

5.3.2. Dolum ve Çarpılma Analizi ile Mevcut Durumun Tespiti

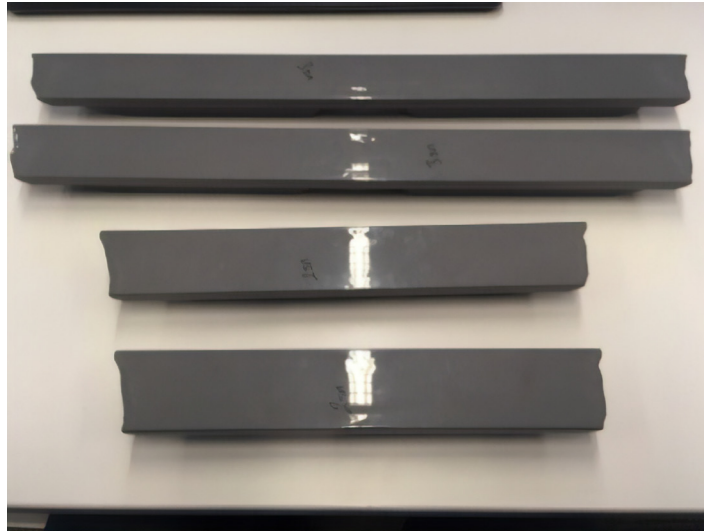
İşlem sayfasındaki basınç değerleri, basınç katlama oranı ile birlikte kullanılarak Moldflow programında fiziksel şartlar simüle edilmiştir. Moldflowda yapılan dolum analizi sonucu elde edilen dolum süresinin doğrulanması için eksik dolum çalışması yapılmıştır. Bu amaçla sekansiyel valflerin açıldığı anda (2.sn sonu) parçanın ne kadarının dolduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.21’de yapılan eksik dolum çalışması görülmektedir.

Ayrıca Şekil 5.22’de Moldflow dolum analiz sonuçları görülmektedir. Fiziksel parçada elde edilen sonuç ile Moldflow analiz sonucu paralellik göstermektedir. Böylece Deney tasarımında kullanacağımız dolum süresi belirlenmiştir.

Yapılan bu korelasyon çalışması sayesinde Moldflow yazılımı elde ettiğimiz değerlerin fiziksel değerler ile karşılaştırılması sağlanmaktadır. Bu bize optimizasyon probleminin çözümünde çok önemli bir girdi değeri elde etmemiz manasına gelmektedir. Fiziksel olarak oldukça maliyetli ve süre alan üretim deneme sayılarının azaltılması sonuç olarak parça maliyetini de pozitif yönde etkilemektedir.

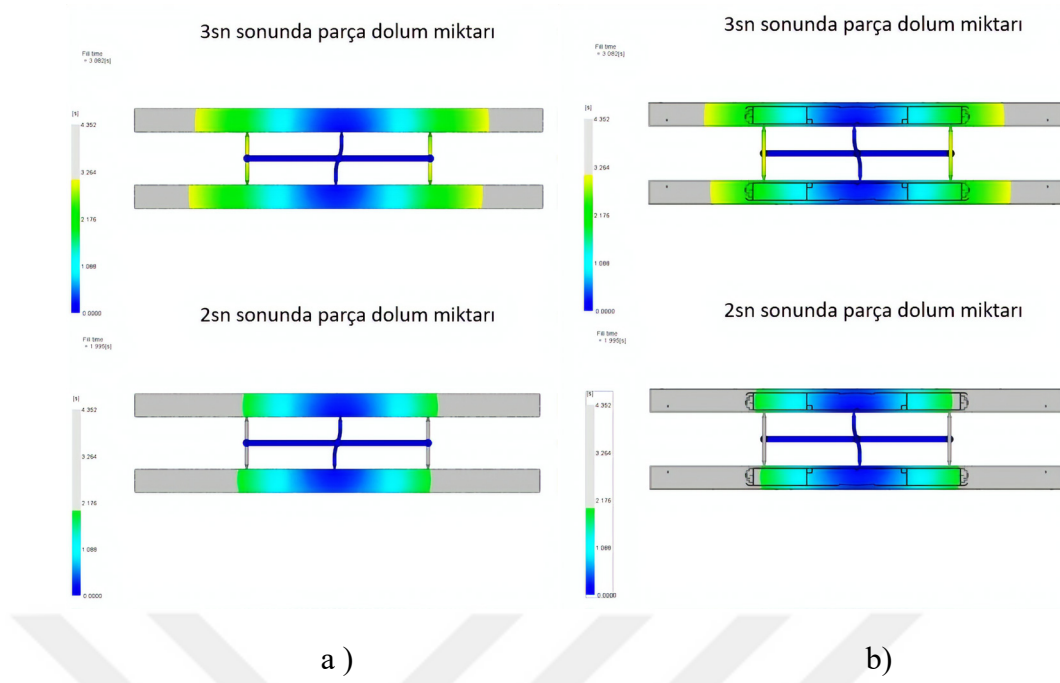


a)



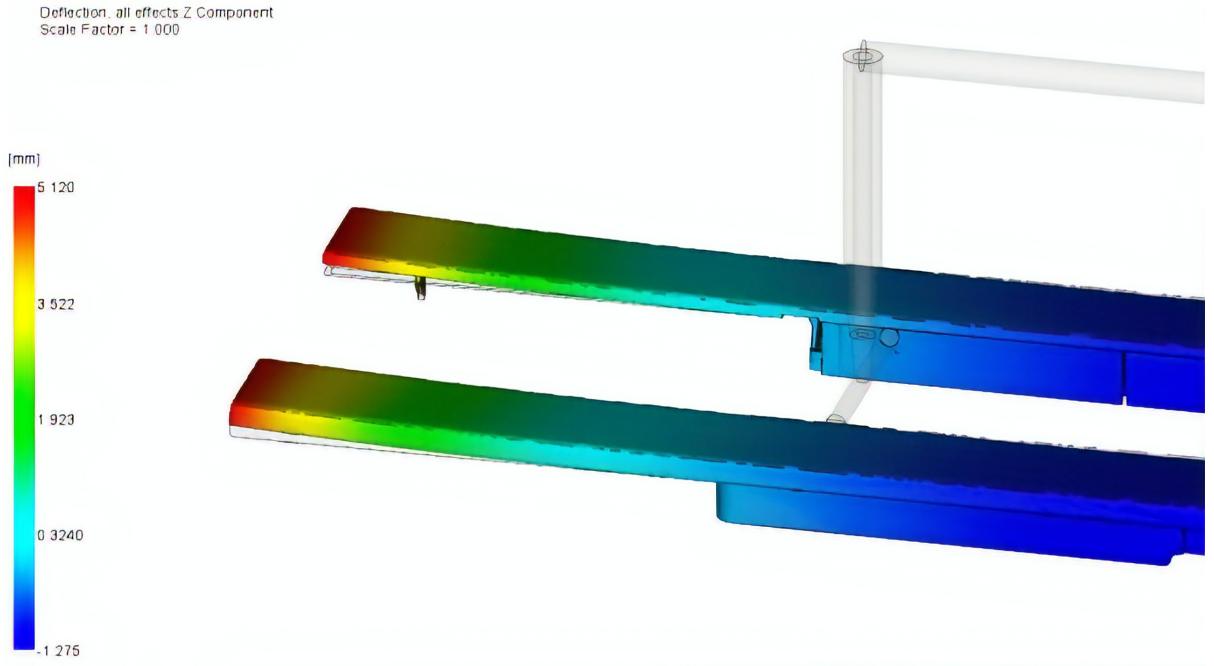
b)

Şekil 5.20. a) Parça üzerinde işaretlenen yolluk noktası b) Her iki kalıp gözünde 2sn ve 3sn sonunda dolum miktarı.



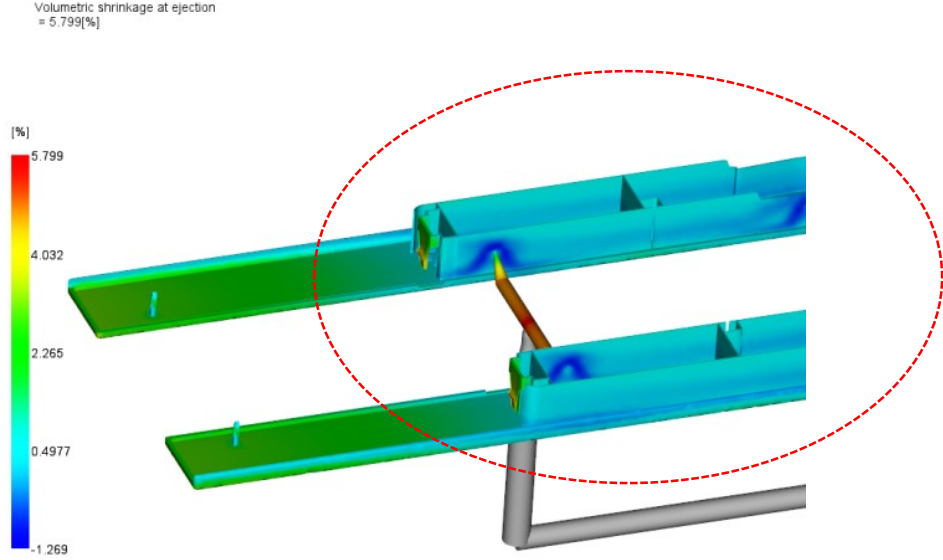
Şekil 5.21. a) Parça dolumu ön görünümü b) Parça dolumu arka görünümü.

Fiziksel şartların, yapılan korelasyon çalışması ile Moldflow aktarılması sonucunda fiziksel parçaya benzer çarpılma değerinin elde edildiği dolun ve çarpılma analizi yapılmıştır. Şekil 5.23’de çarpılma analizi sonucu elde edilen çarpılma değerleri görülmektedir.

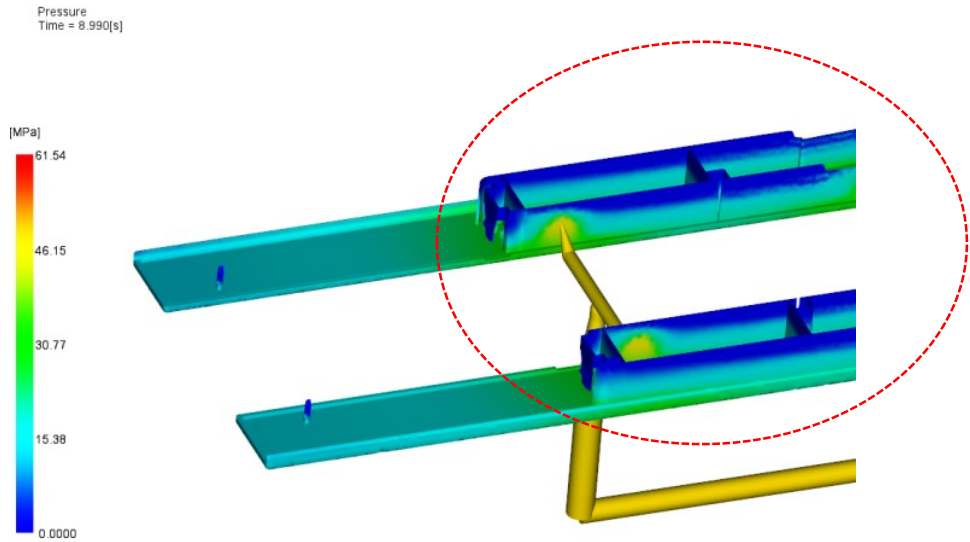


Şekil 5.22. Fiziksel şartlara benzer çarpılma analiz sonucu.

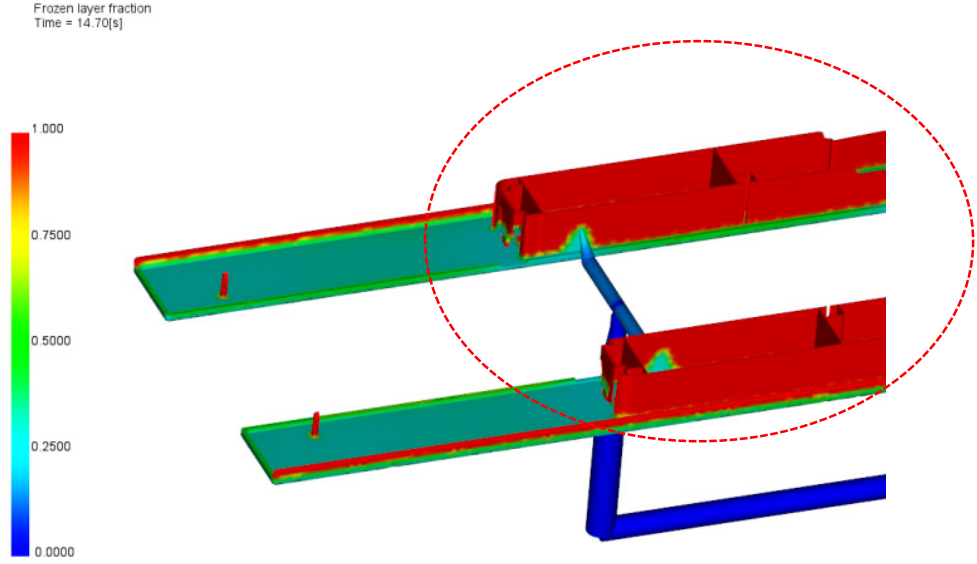
Simülasyonda çekme, basınç ve donma yüzdesi sonuçları incelenmiştir. Şekil 5.24'de çekme değerleri incelendiğinde , feder bölgesinin çekme oranının yüzeye göre çok düşük olduğu görülmüştür. Basınç sonuçları feder bölgesindeki basınç değerinin zamanla düştüğünü göstererek bunu doğrular niteliktedir. Bu durumun daha iyi anlaşılabilmesi için donma oranı sonucu incelenmiştir.



a)



b)

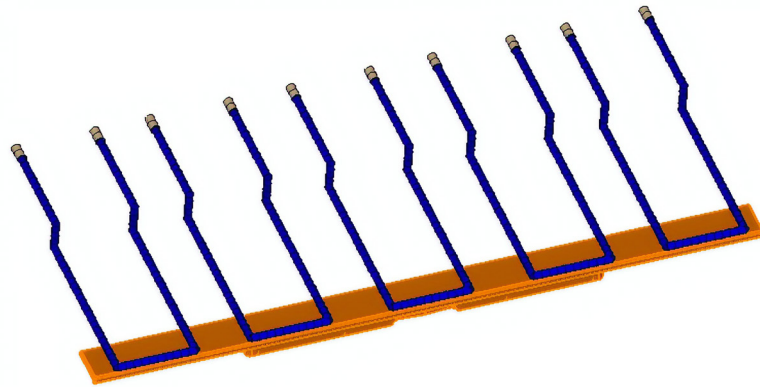


c)

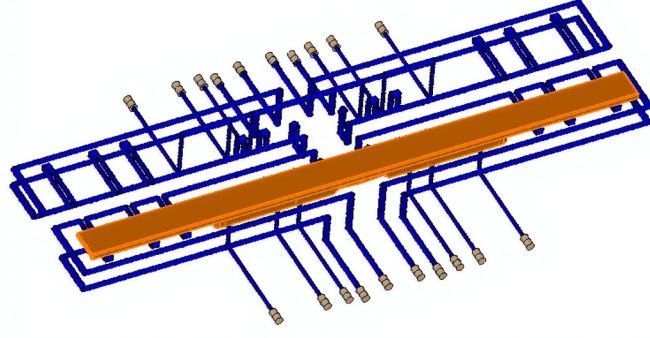
Şekil 5.23. a) Çekme oranı sonucu b) Basınç sonucu c) Donma oranı sonucu.

5.3.3. Deney Setinde Kullanılacak Değişken Parametrelerin Belirlenmesi

Yapılan bu çalışmalardan sonucunda, feder bölgesinin daha geç donmasını sağlamak, bu sayede basınç iletimini iyileştirmek ve sonuçta bölgesel çekme farkları sebebiyle oluşan çarpılmayı azaltmanın mümkün olduğu anlaşılmıştır. Kalıp soğutma kanallarının su sıcaklıklarının çarpılmayı optimize etmek için, değişken parametreler olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Şekil 5.25’de kalıp soğutma kanalları ve Çizelge 5.3’ de soğutma kanalı çap değerleri görülmektedir.



a)



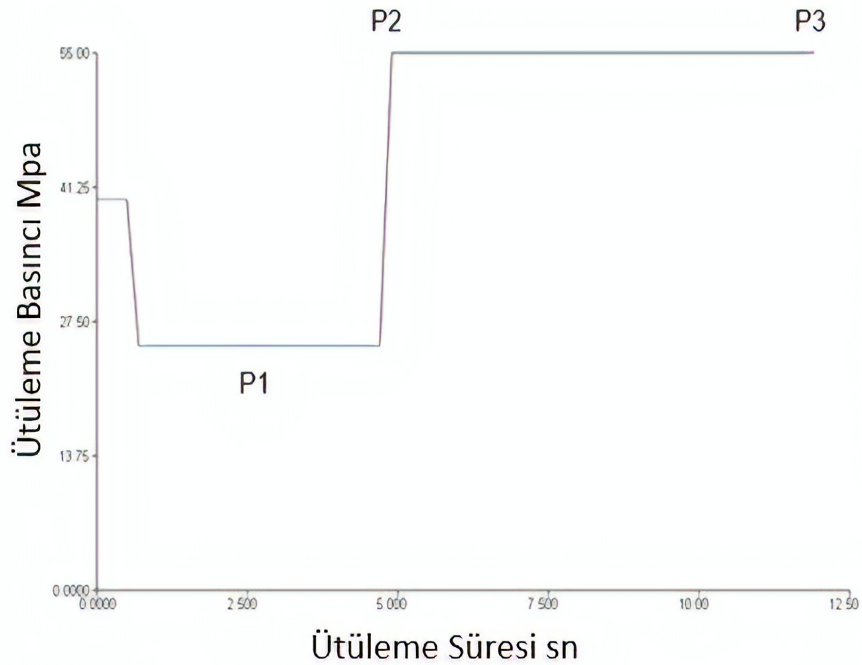
b)

Şekil 5.24. a) Dişi kalıp soğutma kanalları b) Erkek kalıp soğutma kanalları.

Çizelge 5.3. Soğutma kanalı çap ölçüleri.

Tanım	Tip	Parametre	Çap
A1	Giriş	Dişi kalıp_Soğutma_kanalı_1	10mm
A2	Giriş	Dişi kalıp_Soğutma_kanalı_1	10mm
B	Giriş	Dişi kalıp_Soğutma_kanalı_2	10mm
C1	Giriş	Erkek kalıp_Soğutma_kanalı_1	6mm
C2	Giriş	Erkek kalıp_Soğutma_kanalı_1	6mm
D	Giriş	Erkek kalıp_Soğutma_kanalı_2	8mm
A1*	Çıkış	-	10mm
A2*	Çıkış	-	10mm
B*	Çıkış	-	10mm
C1*	Çıkış	-	6mm
C2*	Çıkış	-	6mm
D*	Çıkış	-	8mm

Programda ütüleme fazının tanımlanması için kullanılan yöntemlerden biri ütüleme basınç ve sürelerinin verildiği ütüleme pofilinin oluşturulmasıdır. Profil oluşturulurken Enjeksiyon makinesinden farklı olarak vida konumu yerine süre kullanılmaktadır. İşlem sayfasındaki hidrolik basınç değerlerinin basınç katlama oranı ile korele edilmesi sonucu elde edilen ütüleme basınç değerleri, değişken parametreler için aralık değerleri olarak kullanılmıştır. Şekil 5.26'da oluşturulan ütüleme profili ve tanımlanan değişken parametreler görülmektedir.



Şekil 5.25. Ütüleme profil grafiği.

Profilden anlaşılacağı üzere, lineer bir ütüleme basıncında (P1) bir süre tutma yapıldıktan sonra, basınç değeri artırılarak oluşan yeni basınç değerinde (P2) yeniden tutma işlemi yapılması öngörülmüştür.

5.4. TAGUCHİ DENEY SETİNİN OLUŞTURULMASI

Sonuç olarak ütüleme basınç değerleri ve soğutma suyu sıcaklık parametrelerinden 7 değişken ve üç seviyeli L27 Ortogonal Taguchi deney seti oluşturulmuştur. Çizelge 5.4'de Akış analizlerinde kullanılacak parametreler ve seviyeleri mevcuttur.

Çizelge 5.4. Taguchi deney seti oluşturulurken kullanılan parametreler ve seviyeleri.

Parametreler	Seviye-1	Seviye-2	Seviye-3
Cavity_Temp_1 (°C)	35	40	45
Cavity_Temp_2 (°C)	25	35	40
Core_Temp_1 (°C)	35	40	45
Core_Temp_2 (°C)	60	65	70
Pressure_1 (Mpa)	20	25	30
Pressure_2 (Mpa)	45	55	65
Pressure_3 (Mpa)	45	55	65

Minitab 17 programında, Çizelge 5.4'deki parametre ve seviyeler kullanılarak deney seti oluşturulmuştur. Çizelge 5.5'deki deney setinde görüleceği üzere, her bir değişken parametre için üç seviye deney yapılması öngörülmüştür. Toplamda 27 adet moldflow analizi ile proses parametrelerinin optimize edilmesine çalışılmıştır.

Çizelge 5.5. Ortogonal Taguchi deney seti.

Deney No	Cav_1	Cav_2	Core_1	Core_2	Pres_1	Pres_2	Pres_3	Deney No	Cav_1	Cav_2	Core_1	Core_2	Pres_1	Pres_2	Pres_3
1	35	25	35	60	20	45	45	15	40	35	45	60	30	45	55
2	35	25	35	60	25	55	55	16	40	40	35	65	20	55	65
3	35	25	35	60	30	65	65	17	40	40	35	65	25	65	45
4	35	35	40	65	20	45	45	18	40	40	35	65	30	45	55
5	35	35	40	65	25	55	55	19	45	25	45	65	20	65	55
6	35	35	40	65	30	65	65	20	45	25	45	65	25	45	65
7	35	40	45	70	20	45	45	21	45	25	45	65	30	55	45
8	35	40	45	70	25	55	55	22	45	35	35	70	20	65	55

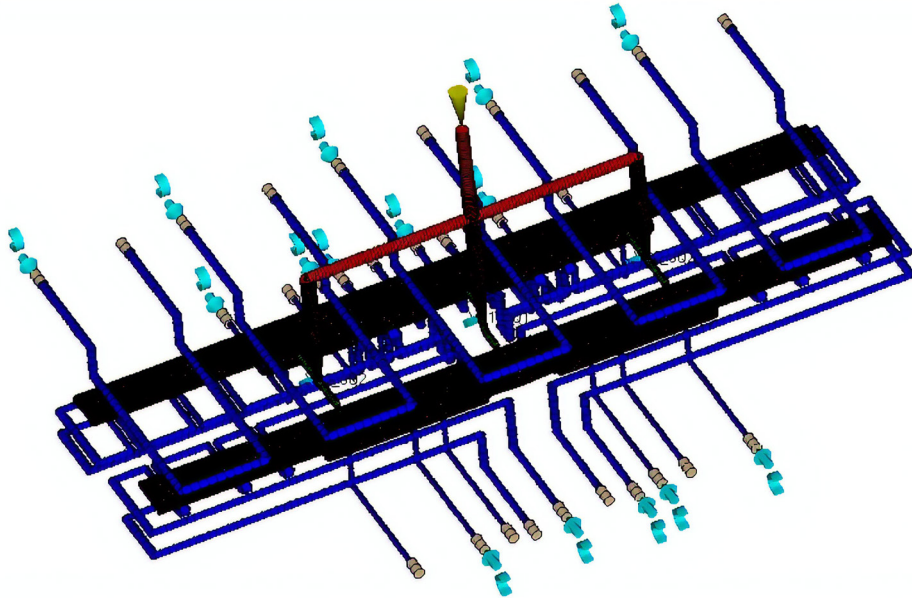
Çizelge 5.5 (devam). Ortogonal Taguchi deney seti.

9	35	40	45	70	30	65	65	23	45	35	35	70	25	45	65
10	40	25	40	70	20	55	65	24	45	35	35	70	30	55	45
11	40	25	40	70	25	65	45	25	45	40	40	60	20	65	55
12	40	25	40	70	30	45	55	26	45	40	40	60	25	45	65
13	40	35	45	60	20	55	65	27	45	40	40	60	30	55	45
14	40	35	45	60	25	65	45								

5.5. PLASTİK AKIŞ SİMÜLASYONU

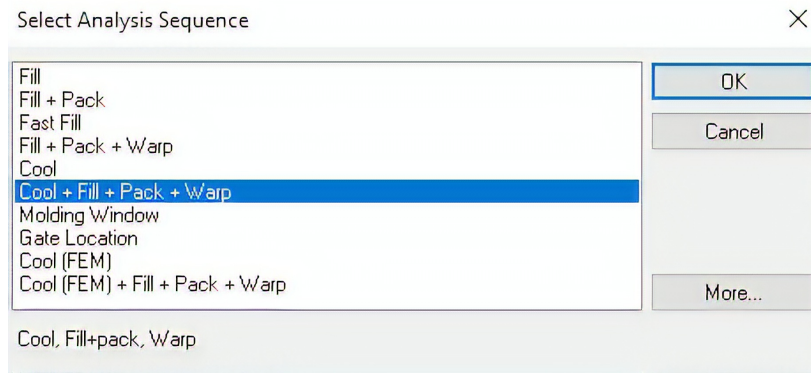
5.5.1. Analiz Tipi ve Malzeme Seçimi

Sonlu elemanlar modeli, yolluk ve soğutma kanalları, değişen parametrelerin tamamlanması sonraki aşamada analizde kullanılacak proses parametrelerinin programa aktarılmasıdır. Şekil 5.27’de tamamlanmış sonlu elemanlar modeli ve belirlenen enjeksiyon giriş noktası görülmektedir. Bundan sonra analiz tipi, malzeme bilgisi, kalıp bilgisi, proses parametreleri gibi kısıtlar programın ilgili ara yüzleri aracılığıyla programa tanıtılmıştır.



Şekil 5.26. Autodesk Moldflow Synergy programında oluşturulmuş sonlu elemanlar modeli.

İlk olarak yapılacak analiz türü seçilmiştir. Bu çalışmada akış ve soğutma ile birlikte çarpılma verileri de inceleneceği için programın bize sağladığı seçeneklerden, bu duruma uygun olan analiz tipini seçilmiştir. Şekil 5.28’de analiz türünün seçildiği program ara yüzü görülmektedir.



Şekil 5.27. Analiz tipi seçimi yapılan program ara yüzü.

Daha sonra ilgili malzeme kütüphanesinde parça malzemesi seçilmiştir. Eğer kütüphanede parça imalında kullanılan malzeme bilgileri yoksa, program tedarikçisinden istenir. Tedarikçi firma, malzeme bilgilerini bize sağlar. Bu çalışmada kullanılan malzeme bilgileri tedarikçi firma tarafından sağlanmış ve program kütüphanesine eklenmiştir. Kullandığımız malzeme A Schulman GMBH tarafından üretilen, PP ailesinden POLYFLAM RIPP 3625 CS1 malzemesidir. Malzeme bünyesinde %25 mineral katkısı mevcuttur. Malzeme bilgilerinin elde edilmiş tarihi ve uygulanan test metotları ile ilgili bilgi Şekil 5.29’da mevcuttur.

Data Type	Date	Method
Rheology	03-APR-14	Standard Capillary Rheology
Thermal	03-APR-14	Line - Source
Specific Heat	03-APR-14	DSC cooling
pVT	03-APR-14	Indirect Dilatometry
Shrinkage	03-APR-14	Uncorrected Residual Stress

Şekil 5.28. Malzeme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan test metotları ve uygulama tarihleri.

Malzeme ile ilgili özelliklerin belirlenmesinde kullanılan, test sonuçları elde edilen grafiklerde, malzeme kütüphanesinde bulunmaktadır. Bunun dışında yine malzemeye ait

mekanik, termal , proses özellikleri gibi temel özellikleri de malzeme kütüphanesinden bulunabilir.

Şekil 5.30, 5.31’de programın malzeme kütüphanesinden elde edilen proses özellikleri ve mekanik özelliklerine ait tablolar görülmektedir.

Mold surface temperature	<input type="text" value="60"/>	C
Melt temperature	<input type="text" value="200"/>	C
Mold temperature range (recommended)		
Minimum	<input type="text" value="40"/>	C
Maximum	<input type="text" value="80"/>	C
Melt temperature range (recommended)		
Minimum	<input type="text" value="180"/>	C
Maximum	<input type="text" value="220"/>	C
Absolute maximum melt temperature	<input type="text" value="230"/>	C
Ejection temperature	<input type="text" value="110"/>	C
View test information for ejection temperature...		
Maximum shear stress	<input type="text" value="0.25"/>	MPa
Maximum shear rate	<input type="text" value="100000"/>	1/s

Şekil 5.29. Malzeme proses özellikleri.

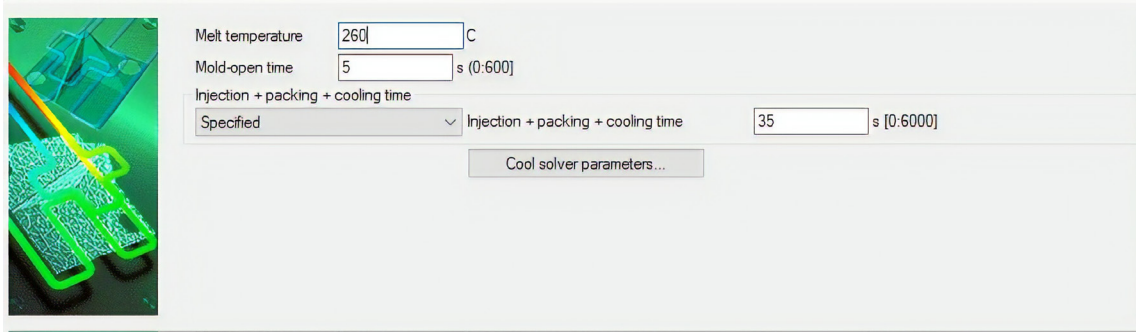
Mechanical properties data		
Elastic modulus, 1st principal direction (E1)	<input type="text" value="2822"/>	MPa
Elastic modulus, 2nd principal direction (E2)	<input type="text" value="2387"/>	MPa
Poissons ratio (v12)	<input type="text" value="0.375"/>	
Poissons ratio (v23)	<input type="text" value="0.389"/>	
Shear modulus (G12)	<input type="text" value="907"/>	MPa
Transversely isotropic coefficient of thermal expansion (CTE) data		
Alpha1	<input type="text" value="7.4e-05"/>	1/C
Alpha2	<input type="text" value="0.000107"/>	1/C
View test information...		
<input type="text" value="Do not use matrix properties"/>		
Weld Line Strength		
WLSC1	<input type="text"/>	1/K-s
WLSC2	<input type="text"/>	1/K^2-s
Phi Critical	<input type="text"/>	rad

Şekil 5.30. Malzeme mekanik özellikleri.

5.5.2. Proses Parametrelerinin Programa Aktarılması

Bu aşamada ilgili ara yüzler kullanılarak deney setinde belirlenen değişken parametre değerleri programa girilmiştir. Taguchi deney setinde belirtilen 27 ait akış simülasyon modeli oluşturulmuştur. Şekil 5.32’de proses parametrelerinin girildiği örnek program ara

yüzü görülmektedir. Çizelge 5.5’deki her bir satır, bir adet akış analizine karşılık gelmektedir.



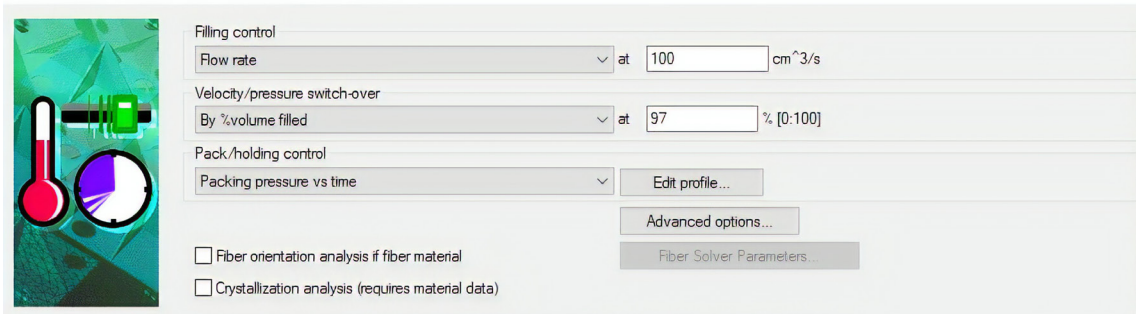
Melt temperature C
Mold-open time s [0:600]
Injection + packing + cooling time
Specified s [0:6000]
Cool solver parameters...

Şekil 5.31. Eriyik sıcaklığı, kalıp açılma süresi, enjeksiyon-ütüleme-soğutma toplam süresi değerlerinin programa girildiği ara yüz.

Şekil 5.33’de görüleceği üzere dolum kontrolü için akış oranı (Flow rate) parametresi kullanılmıştır. Bu oran , bir saniyede kalıba giren plastik miktarının hacimsel olarak temsil etmektedir. Dolumdan, ütüleme fazına geçişin belirlenmesinde malzemenin katılaşma oranı parametresi kullanılmıştır. Plastiğin %98 ‘inin katılaştığı anda ütüleme fazına geçileceği öngörülmüştür. Ayrıca , ütüleme basıncı oluşturulan basınç profili ile kontrol edilmiştir.

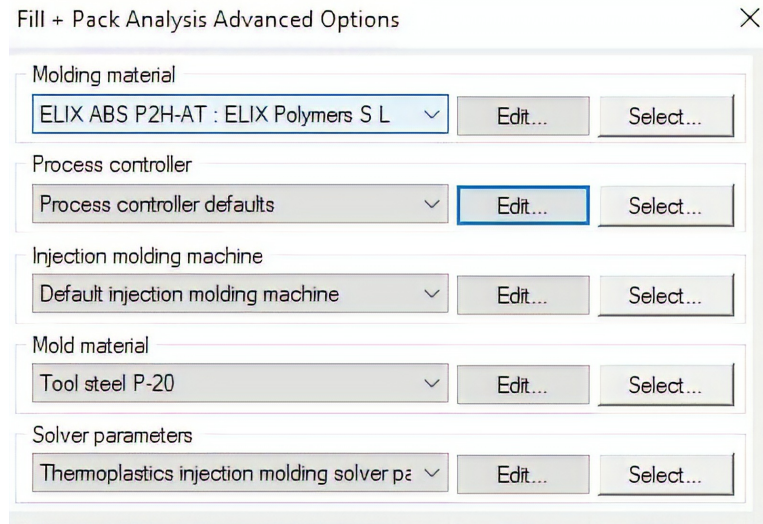
Bu genel ayarların dışında, kullanılan bir başka ara yüz ile ileri parametre ayarları da programa girilmiştir. Bu ara yüzde enjeksiyon makine bilgisi, proses kontrolü için gerekli olan diğer ayarlar ve kalıp malzeme bilgisi girilebilmekte, bu sayede simülasyon sonucu gerçeğe çok daha yakın sonuçlar elde edilmektedir . Özellikle enjeksiyon makinasına ait Tutma kuvveti, maksimum enjeksiyon stroğu , enjeksiyon vida çapı gibi makine değerleri simülasyondan elde edilecek sonuçlar açısından kritik parametrelerdir.

Process Settings Wizard - Fill+Pack Settings - Page 2 of 3



Filling control
Flow rate at cm³/s
Velocity/pressure switch-over
By %volume filled at % [0:100]
Pack/holding control
Packing pressure vs time
Advanced options...
Fiber Solver Parameters...
 Fiber orientation analysis if fiber material
 Crystallization analysis (requires material data)

a)



b)

Şekil 5.32. a) Akış oranı parametresinin girildiği ara yüz b) Gelişmiş ayarların Autodesk Moldflow Synergy programına girildiği program ara yüzü.

Çizelge 5.6’da değişken olarak kullandığımız parametreleri ve seviyeleri, ayrıca sabit tutulan proses parametrelerini toplu halde görebiliriz. Özet olarak kalıp yüzey sıcaklıkları, ütüleme basınç değerleri simülasyonlarda değişken değerler olarak kullanılmıştır, bunun dışında kalan proses parametreleri ise sabit kalmıştır.

Çizelge 5.6. Değişken ve sabit proses parametreleri.

Parametreler (Değişken)	Seviye-1	Seviye-2	Seviye-3
Dişi Kalıp Sıcaklığı_1 (°C)	35	40	45
Dişi Kalıp Sıcaklığı_2 (°C)	25	35	40
Erkek Kalıp Sıcaklığı_1 (°C)	35	40	45
Erkek Kalıp Sıcaklığı_2 (°C)	60	65	70
Ütüleme Basıncı_1 (Mpa)	20	25	30
Ütüleme Basıncı_2 (Mpa)	45	55	65
Ütüleme Basıncı_3 (Mpa)	45	55	65
Parametreler (Sabit)			

Çizelge 5.6 (devam). Değişken ve sabit proses parametreleri.

Akış Oranı (sn/cm ³)	100	-	-
Ütüleme Başlangıç Dolu Yüzdesi	97	-	-
Eriyik Sıcaklığı (C°)	260	-	-
Kalıp Açılma Süresi (sn)	5	-	-
Enj+ ütüleme+ soğutma süresi (sn)	35	-	-
Azami enjeksiyon kurs mesafesi (mm)	360	-	-
Azami enjeksiyon oranı (cm ³ /sn)	5000	-	-
Azami Tutma Kuvveti (tonne)	400	-	-
Azami vida Çapı (mm)	70	-	-

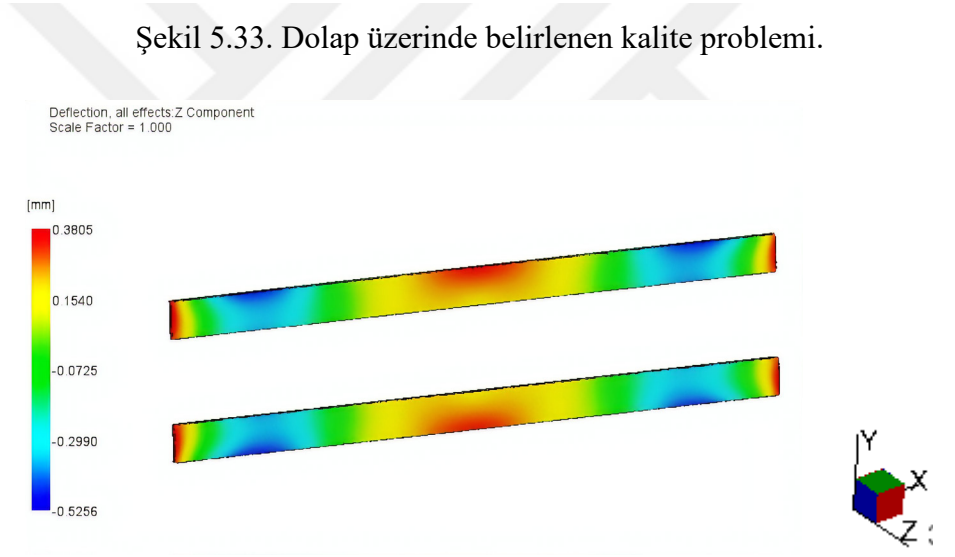
5.5.3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney setinde belirtilen toplam 27 adet akış analizi tamamlandıktan sonra, sonuçların değerlendirilmesi işlemine geçilmiştir. Bu çalışmada amaç, çarpılma problemini giderirken aynı zamanda parçada başka bir kalite problemine sebep olacak etkinin oluşturulmayacağı, optimum proses parametrelerini saptamaktır.

Üst panel kaplama parçasında montaj şartları düşünüldüğünde Z yönündeki çarpılma miktarı, Şekil 5.34’de öngörülen kalite probleminin esas kaynağıdır. Bu sebeple yapılan 27 analiz sonucunda Z yönünde minimum çarpılma değerinin olduğu analiz sonuçları, diğer kalite problemleri açısından değerlendirilmiştir. Şekil 5.35’de 27 akış analizi sonucu elde edilen minimum çarpılma değeri, deney setinde 19 no ile gösterilen parametre değerleri ile +Z yönünde 0.38mm ve -Z yönünde 0.52mm olarak gerçekleşmiştir. Bu çarpılma değerleri, teknik resimde öngörülen tolerans değerlerinin içinde kalmıştır. Bu sonuç, kalite problemine sebep olan çarpılmanın büyük oranda giderildiği anlamını taşımaktadır. Minimum çarpılma sonucunu elde ettiğimiz parametre değerlerinde, başka herhangi bir kalite probleminin oluşmadığından emin olmak için diğer analiz sonuçları da değerlendirilmiştir.

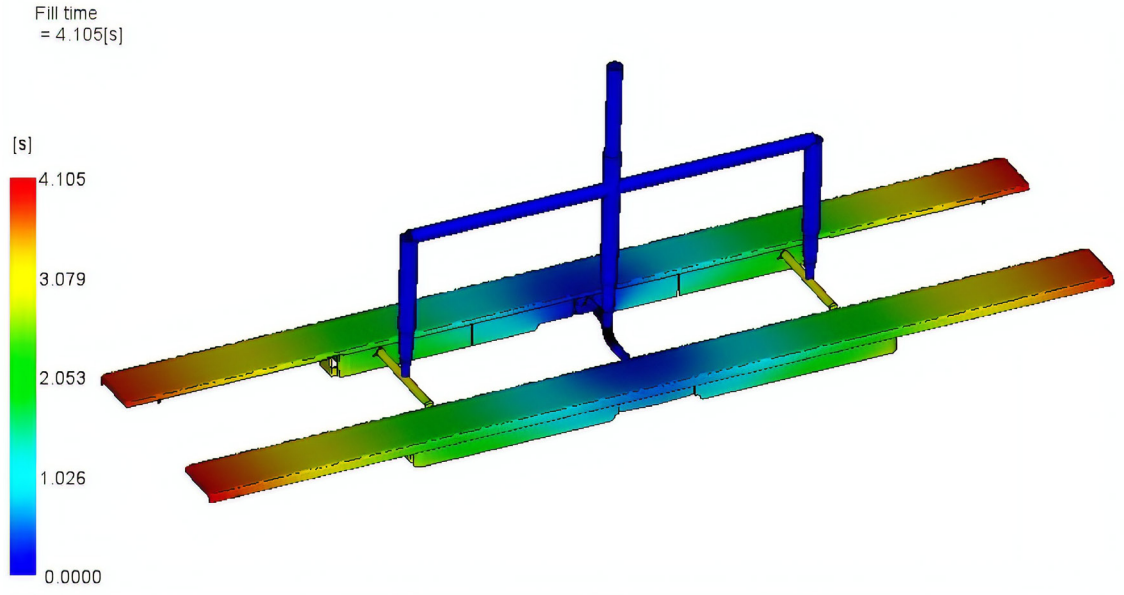


Şekil 5.33. Dolap üzerinde belirlenen kalite problemi.



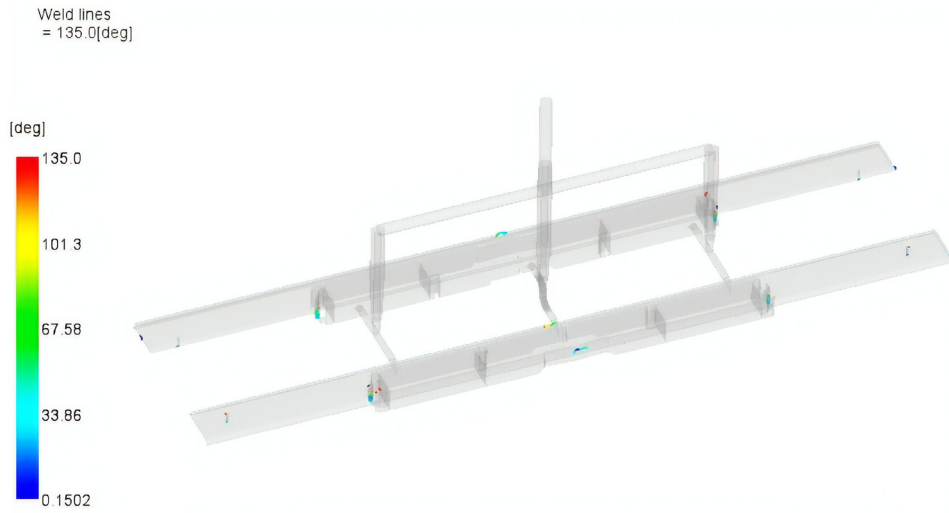
Şekil 5.34. Z yönünde minimum çarpılma sonucu.

Şekil 5.36’da dolun süresi sonuç çıktısı görülmektedir. Bu sonuç bize akış konusunda önemli bilgiler vermektedir. Kalıp boşluğunda dengeli bir akış olup olmadığı , hangi noktaların ne sürede dolduğu parça kalitesi açısından önemlidir. Dengesiz akış sonucu kritik bölgelerde kaynak izleri ve hava boşlukları oluşabilir, parçada çarpımlara sebebiyet verebilir. Buna göre kalıbın tamamı 4.1sn ‘de dolmuştur. Kalıbın herhangi bir bölgesinde eksik dolun sorunu görülmemiştir. Kalıpta en son dolun bölge, tahmin edildiği üzere parçanın en uç kısmıdır. Bu sonuca göre, dengeli bir akış olduğu söylenebilir.



Şekil 5.35. Dolum süresi sonucu.

Şekil 5.37’deki sonuç, bize hangi bölgelerde ve hangi açı değerlerinde kaynak izleri (weld line) oluştuğunu göstermiştir. Kaynak izleri için iki önemli kriter söz konusudur. Birincisi izlerin birleşme açıları, ikincisi birleşme sıcaklığı. Buna göre 172° üstündeki açı değerindeki birleşmeler parçaya görüntü anlamında etki etmez. Bunun altında kalanlar ise tehlikelidir.

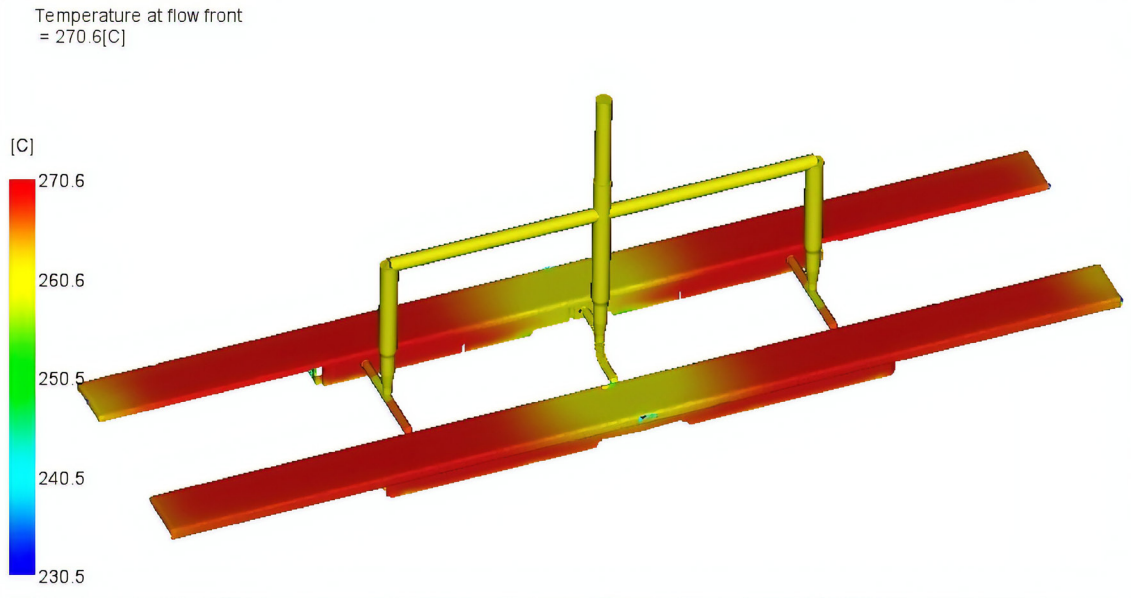


Şekil 5.36. Kaynak izleri sonucu.

Ancak burada birleşme sıcaklığı devreye girer. Malzemenin ergime sıcaklığının 20°C altındaki birleşmeler sıcak birleşmedir. Bu sebeple kalite problemine sebep olmaz. Bu

örnekte düşük açı değerine sahip birleşme bölgeleri olsa da sıcak birleşme olduğu için kalite problemine sebebiyet vermeyeceği öngörülmüştür.

Şekil 5.38'deki sonuçtan birleşme izleri olan bölgelerdeki sıcaklıkları kontrol ederek, sıcaklığın soğuk veya sıcak birleşme olduğu saptanmıştır. Bu sonuç, aynı zamanda tek başına incelendiğinde bize sıcaklık değişimini gösterir. Akış boyunca eriyik sıcaklığından 10° farklı akış sıcaklıkları kabul edilebilir. Bu çalışmada parça görsel yüzeyinde hemen hemen her yerde eş sıcaklık görülmüştür.

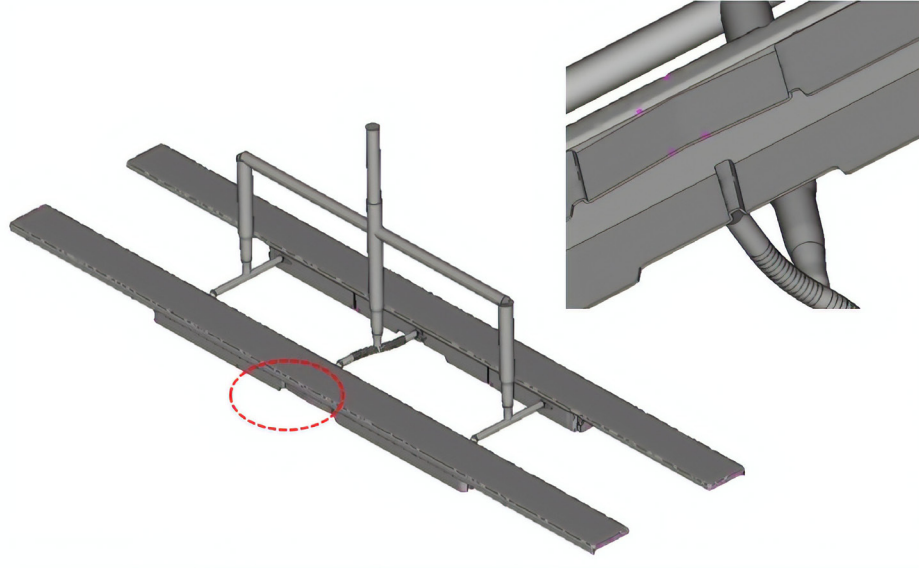


Şekil 5.37. Akış önü sıcaklığı sonucu.

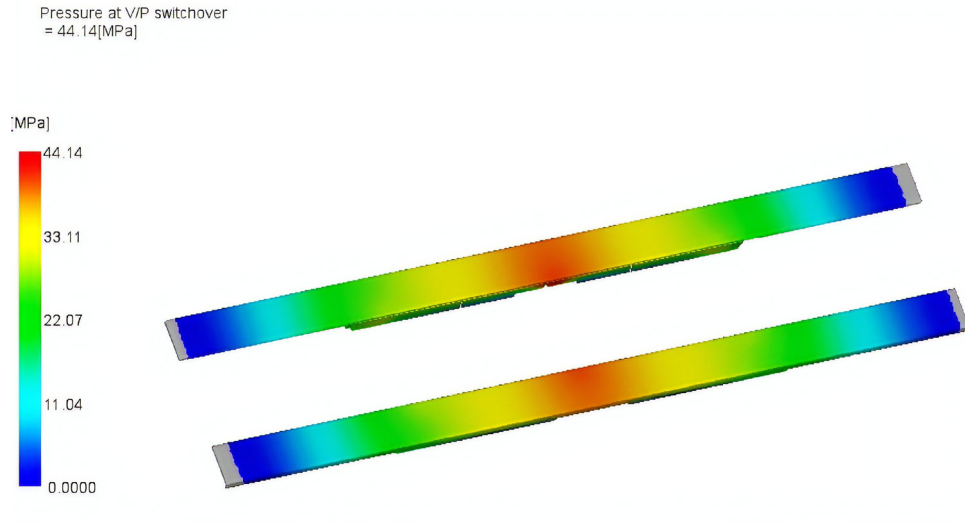
Şekil 5.39'da hava boşluklarının oldukça seyrek olduğu ve maça bölgesine yakın olması sebebiyle maça yardımı ile tahliye edilebileceği görülmüştür. Analiz sonuçlarına göre, yoğun hava boşluğunun görüldüğü bir bölgede, kalıp tasarımı havanın tahliyesi için elverişli değilse, kalıba ek tahliye kanalları açılır. Enjeksiyon öncesi, analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ile üretim sırasında meydana gelebilecek bir hatanın henüz kalıp tasarım safhasında önlenmesi sağlanabilir.

Şekil 5.40'da parçanın dolum fazından ütüleme fazına geçtiği andaki basınç değeri görülmektedir. Bu proses boyunca, parça üzerinde oluşacak en büyük basınç değerlerini saptamamıza yardımcı olur. Bunun için yolluk geometrisinin kapatılarak, parça üzerindeki basınç değerlerinin incelenmesi gerekir. Hammadde firmalarının yayınladıkları tablolarda parça üzerindeki basınç değerinin, malzeme cinsine göre hangi seviyede olması gerektiğini belirler. Burada, parça üzerinde maksimum 44MPa basınç

değeri saptanmıştır. Ekler bölümünde yer alan tabloya göre ABS malzeme türüne göre, bu basınç değeri kabul edilebilir bir seviyede olduğu öngörülmüştür.



Şekil 5.38. Hava boşluğu sonucu.

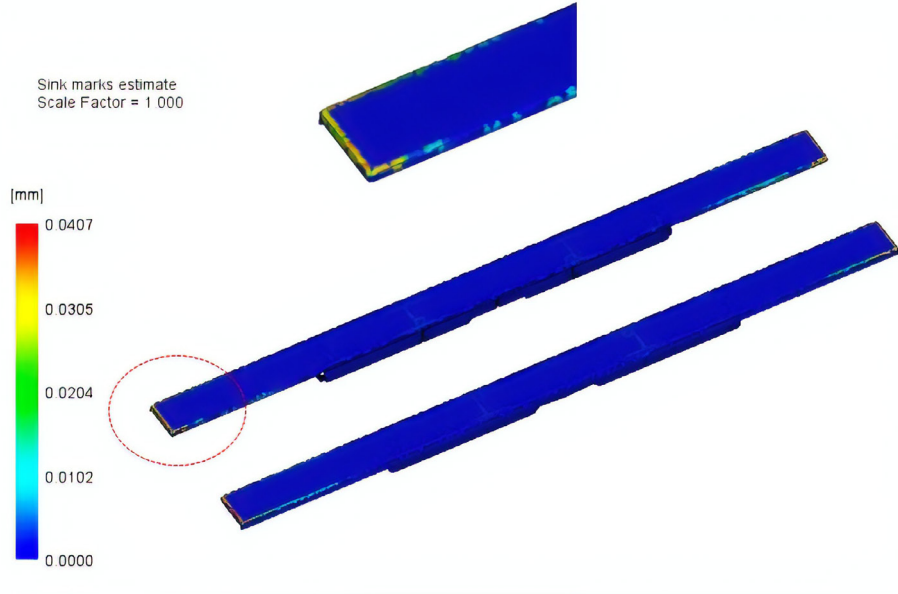


Şekil 5.39. Dolum-ütüleme faz geçişi sırasında parçada oluşan basınç değerleri.

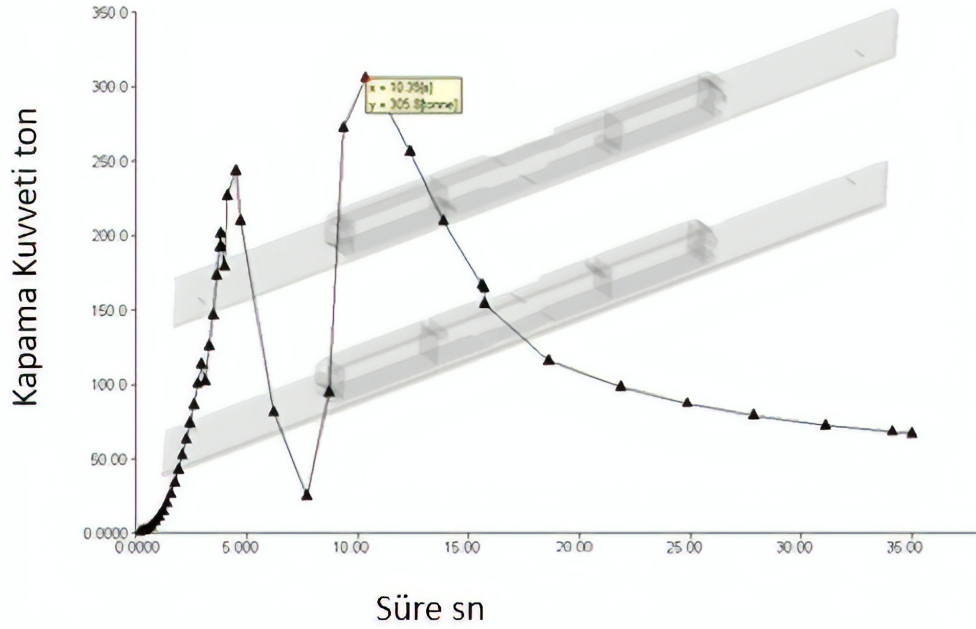
Şekil 5.41’de parçada maksimum çöküntünün 0,04mm ve parçanın uç bölgesinde olduğu görülmüştür. Bu çöküntü seviyesinin, parça da görsel bir kalite problemine sebebiyet vermeyeceği öngörülmüştür.

Enjeksiyon çevrimi sırasında meydana gelen maksimum kapama kuvveti değeri kullanılan makina değerini aşmamaktadır. Şekil 5.42’de görüldüğü üzere, ütüleme sırasında ~306 ton

maksimum kuvvet oluşmaktadır ve bu maksimum makina kapama kuvveti olan 400 tonun altında bir değerdir.



Şekil 5.40. Çöküntü sonucu.



Şekil 5.41. Kapama tonajı sonucu.

Çizelge 5.7'de her bir akış simülasyonu için elde edilen Z+ ve Z- yönündeki çarpılma değerlerine göre hesaplanan ortalama değerler görülmektedir. Bu problemde, çarpılma sonucunun en düşük çıktığı 19 numaralı akış simülasyonu için kullanılan parametrelerin,

başka herhangi bir kalite problemine sebebiyet vermediği anlaşılmıştır. Sonuç olarak bu parametre değerlerinin akış simülasyonu sonuçlarına göre, çarpılmayı minimize eden optimum parametre değerleri olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.7. Akış simülasyonları sonucu bulunan ortalama çarpılma değerleri.

Deney No	Çarpılma	Deney No	Çarpılma
1	2,945	15	2,245
2	1,240	16	0,69
3	0,575	17	0,835
4	2,660	18	2,375
5	1,150	19	0,455
6	0,650	20	1,245
7	2,420	21	1,54
8	1,025	22	0,57
9	0,700	23	1,43
10	0,550	24	1,665
11	0,680	25	0,595
12	2,170	26	1,565
13	0,775	27	1,775
14	0,785		

5.6. SAYISAL ANALİZ

5.6.1. Sinyal Gürültü Oranı Hesaplamaları

Tüm sayısal analiz işlemleri Minitab17 paket programında gerçekleştirilmiştir. Ortogonal deneysel tasarıma göre planlanmış deneylerden elde edilen sonuçlar, S/N oranı içine taşınarak analiz edilir. S/N oranı, istenen değerlerden çıkarılan performans

karakteristiklerinin ölçülmesi için kullanılır. S/N oranı, “(S/N)SB, daha küçük-daha iyisi”, “(S/N)LB, daha büyük-daha iyisi” ve “(S/N)NB, nominal-en iyisi” gibi üç temel performans karakteristiğine göre saptanır . Bahsedilen bu üç temel performans karakteristiği aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir [3].

$$\frac{S}{N}SB = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n yi^2\right) \quad (5.1)$$

$$\frac{S}{N}LB = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \frac{1}{yi^2}\right) \quad (5.2)$$

$$\frac{S}{N}NB = 10\log\left(\frac{y}{s^2y}\right) \quad (5.3)$$

Bu çalışmada, performans karakteristiği olarak enjeksiyon sonrasında plastik üründe oluşan çarpılma değeri kabul edilmiştir. Çarpılma değerinin olabildiğince küçük olması, kalite problemini ortadan kaldırarak plastik ürün kalitesinin daha iyi olmasını sağlayacağından kalite karakteristiği olarak “S/N” daha küçük-daha iyisi” seçilmiştir. Yedi enjeksiyon parametresi için Moldflow da elde edilen çarpılma değerlerine ait S/N oranlarının her biri Denklem 5.1’e göre hesaplanarak Çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8. Çarpılma değerleri S/N oranları.

Deney No	Çarpılma	S/N	Deney No	Çarpılma	S/N
1	2,945	-9,382	15	2,245	-7,024
2	1,240	-1,868	16	0,69	3,223
3	0,575	4,807	17	0,835	1,566
4	2,660	-8,498	18	2,375	-7,513
5	1,150	-1,214	19	0,455	6,840
6	0,650	3,742	20	1,245	-1,903
7	2,420	-7,676	21	1,54	-3,750
8	1,025	-0,214	22	0,57	4,883

Çizelge 5.8 (devam). Çarpılma değerleri S/N oranları.

9	0,700	3,098	23	1,43	-3,107
10	0,550	5,193	24	1,665	-4,428
11	0,680	3,350	25	0,595	4,510
12	2,170	-6,729	26	1,565	-3,890
13	0,775	2,214	27	1,775	-4,984
14	0,785	2,103			

Çarpılma değerlerini veren enjeksiyon işlem parametrelerinin en etkin parametreyi bulmak için S/N oranlarına göre hazırlanmış cevap tablosu kullanılır. Çizelge 5.9'da hazırlanan cevap tablosu görülmektedir. Buna göre S/N oranı en büyük olan Pressure_2 parametresi, çarpılma değerini en küçük en iyi kabulüne göre en çok etki eden parametredir.

Çizelge 5.9. Sinyal/Gürültü oranları cevap tablosu.

Level	Cav_1	Cav_2	Core_1	Core_2	Pressure_1	Pressure_2	Pressure_3
1	-1,912	-0,383	-1,313	-1,502	0,145	-6,191	-3,522
2	-0,402	-1,259	-0,947	-0,834	-0,575	-0,648	-0,926
3	-0,648	-1,320	-0,702	-0,626	-2,531	3,877	1,486
Delta	1,510	0,938	0,612	0,876	2,677	10,069	5,008
Rank	4	5	7	6	3	1	2

Yapılan analizin doğruluğunu belirleyen, sinyal-gürültü (S/N) oranı için tahmini model katsayıları çıktısı Şekil 5.43'de yer almaktadır. Bu tabloda %95 doğruluk oranına uygun olarak p (yüzde etkileşim değeri)'nin 0,05 den küçük olması beklenir. Bu değerden büyük olan değerler için ilgili parametrenin modeli anlamlı bir şekilde etkilemediğini söyleyebiliriz.

Kareler toplamı (R-sq) ve düzeltilmiş kareler toplamı(R-sq(adj)) 1'e ne kadar yakın ise doğruluk oranımız o kadar fazladır. Bu analiz için her iki değerde 1'e çok yakın çıkmıştır. Bu bize analizin gerçeğe yakın değer verdiğini göstermiştir.

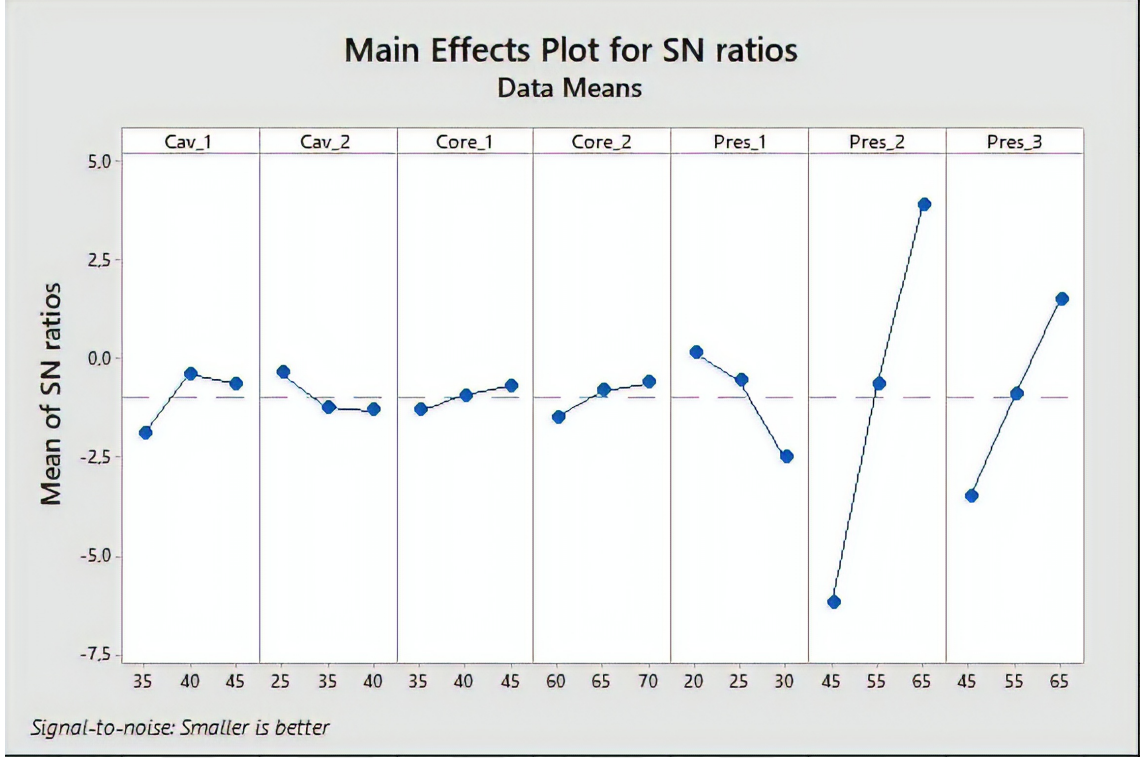
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,98724	0,1404	-7,033	0,000
Cav_1 35	-0,92454	0,1985	-4,657	0,001
Cav_1 40	0,58520	0,1985	2,948	0,012
Cav_2 25	0,60456	0,1985	3,045	0,010
Cav_2 35	-0,27166	0,1985	-1,368	0,196
Core_1 35	-0,32609	0,1985	-1,643	0,126
Core_1 40	0,04046	0,1985	0,204	0,842
Core_2 60	-0,51452	0,1985	-2,592	0,024
Core_2 65	0,15304	0,1985	0,771	0,456
Pres_1 20	1,13236	0,1985	5,704	0,000
Pres_1 25	0,41185	0,1985	2,075	0,060
Pres_2 45	-5,20418	0,1985	-26,216	0,000
Pres_2 55	0,33949	0,1985	1,710	0,113
Pres_3 45	-2,53494	0,1985	-12,770	0,000
Pres_3 55	0,06150	0,1985	0,310	0,762

S = 0,7294 R-Sq = 99,0% R-Sq(adj) = 97,8%

Şekil 5.42 Tahmini model katsayıları, Kareler ve düzeltilmiş kareler toplamını.

Hangi parametrenin, amaç fonksiyonu olan çarpılmayı ne kadar etkilediğini anlamının bir başka yolu da, her faktörün her seviyedeki etkisinin ayrıştırılmasıdır. Bunun için hesaplanan sinyal/gürültü oranlarının ortalaması, her faktörün her bir seviyesi için ayrı ayrı alınmıştır. Ek olarak yapılan 27 deneyin ortalama gürültü oranı hesaplanmıştır. En yüksek sinyal/gürültü oranı en iyi deney sonucunu verir.

Bu değeri Şekil 5.44'de görebiliriz. Bu grafik incelendiğinde en yüksek sinyal/gürültü oranına sahip olan Ütüleme basıncı_2 (Pressure_2) değerinin, sonuç üzerinde en etkili parametre olduğu görülmüştür. Daha sonra sırasıyla ütüleme basıncı_3 (Pressure_3) , Ütüleme basıncı_1 (Pressure_1) , Dişi kalıp tarafı-soğutma kanalı_1 (Cav_1) , Dişi Kalıp tarafı-soğutma kanalı_2(Cav_2) , Erkek kalıp tarafı-soğutma kanalı_2 (Core_2) , Erkek kalıp tarafı-soğutma kanalı_1 (Core_1) parametreleri gelmektedir.



Şekil 5.43. S/N oranına göre parametre etki grafiği.

Parametrelerin en etkin seviyelerini kullanarak, tahmini bir çarpılma değeri bulunmuştur. Bunun için Çizelge 5.10'da ki parametre değerleri kullanılarak Çizelge 5.11'de ki tahmini çarpılma değeri hesaplanmıştır.

Çizelge 5.10. Sinyal/Gürültü oranına göre en etkin parametre değerleri.

Cav_1	Cav_2	Core_1	Core_2	Pres_1	Pres_2	Pres_3
C°	C°	C°	C°	MPa	MPa	MPa
40	25	45	60	20	65	65

Çizelge 5.11. Hesaplanan tahmini çarpılma değeri.

S/N Oranı	Tahmini Çarpılma Değeri mm
8,44	0,14

5.6.2. ANOVA Testi ve Regresyon Modeli Oluşturulması

Taguchi metodunda kullanılan güçlü araçlardan biride varyans analizi (ANOVA) testidir. Varyans analizinde, incelenen faktörlerin, seçilen çıktı değerini (çarpılma miktarı) ne ölçüde etkiledikleri ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe yol açtıkları belirlenmiştir.

Varyans analiz tablosu oluşturmadan evvel öncelikle serbestlik derecesi, kareler toplamı, F oranı gibi değerlerin hesaplanması gerekir. Hesaplama yapılacak formüller aşağıda gösterilmiştir.

$$Ft = N - 1 \quad (5.4)$$

$$Ft = 27 - 1 = 26 \quad (5.5)$$

$$Fa = ka - 1 \quad (5.6)$$

$$F_{cav_1} = 3 - 1 = 2 \quad (5.7)$$

$$Fe = Ft - (Fa + Fb + Fc) \quad (5.8)$$

Bu denklem vasıtasıyla her bir faktör için serbestlik derecesi ve toplam serbestlik derecesi hesaplanmıştır. Ft; toplam serbestlik derecesi, Fa; a parametresi için serbestlik derecesi, Fe;hata oranı için serbestlik derecesi, N: deney sayısı, ka; her bir parametre için seviye sayısıdır

Burada toplam serbestlik derecesi ve bir faktör için serbestlik derecesi hesaplanmıştır. Benzer şekilde diğer parametreleri için de hesaplama yapılmıştır. Son olarak hata serbestlik derecesi hesaplanmıştır.

$$S_T = (T_{S1}^2 + T_{S2}^2 + \dots + T_{SN}^2) - \frac{(T_{S1} + T_{S2} + \dots + T_{SN})^2}{N} \quad (5.9)$$

$$S_A = \left(\frac{(\sum A_1)^2}{k_{A1}} + \dots + \frac{(\sum A_4)^2}{k_{A4}} \right) - \frac{(T_{S1} + T_{S2} + \dots + T_{SN})^2}{N} \quad (5.10)$$

$$S_e = S_T - (S_A + S_B + S_C) \quad (5.11)$$

Denklemden St;Kareler toplamı, Sa;a parametresi için kareler toplamı,Se;hata için kareler toplamı, Ts1: seviye bir için toplamlar, A1:a parametresi seviye bir için toplamlar,

N; deney sayısıdır.

$$Scav_1 = 0,428 \quad (5.12)$$

Benzer şekilde tüm parametreler ve hata için hesaplamalar yapılmıştır.

Varyans hesabı için formüller şu şekildedir:

$$Va = \frac{Sa}{fa} \quad (5.13)$$

$$Ve = \frac{Se}{fe} \quad (5.14)$$

Burada Va; a parametresi için varyans, Ve; hata için varyans, Sa; a parametresi kareler toplamı, fa; a parametresi serbestlik derecesi, fe; hata için serbestlik derecesi

$$Vcav_1 = \frac{Scav_1}{fcav_1} = \frac{0,428}{2} = 0,214 \quad (5.15)$$

Diğer parametreler içinde benzer hesaplamalar yapılmıştır.

Her enjeksiyon işlem parametresinin çekme üzerindeki etkisinin yüzdesel oranları hesaplanmış ve Çizelge 12'de verilmiştir.

ANOVA (Varyans analizi), yedi enjeksiyon işlem parametresinin çarpılma üzerindeki etkisini sayısal olarak belirlemek için kullanılan bir araçtır. Bu çalışmada, yedi enjeksiyon parametresinin çarpılma üzerindeki etkisi ve her işlem parametresinin etki oranı Çizelge 13'de verilmiştir. Yedi enjeksiyon parametresinin çekme üzerindeki sayısal etkisi F-ratio ile değerlendirilmiştir. % 95'lik ($\alpha=0.05$) güvenilirlik aralığında yedi enjeksiyon işlem parametresini kontrol etmek amacıyla, F-değeri (hesaplanmış) kullanılmıştır. Çizelge 5.13 incelendiğinde; ütüleme basıncı_2(469,785) ve ütüleme basıncı_3(132,479) F testi değerlerinin, diğer parametrelere göre büyük olduğu görülmüştür. Bu durum, yedi enjeksiyon parametresi arasında ütüleme basınç değerlerinin, min. çarpılma miktarı için en önemli iki parametre olduğu anlamına gelir.

Çizelge 5.12. Parametre etkilerinin yüzde oranları.

Erkek Kalıp Su Sıcaklığı %	Cav_1---0,2	Cav_2---0,16	-
Dişi Kalıp Su Sıcaklığı %	Core_1---0,5	Core_2---0,7	-
Ütüleme Basıncı %	Pres_1---5,5	Pres_2---69,7	Pres_3---19,6

Çizelge 5.13. Varyans analiz tablosu.

Factors	F	S	V	F-ratio	P%	Rank
Cav_1	2	0,428	0,214	20,096	2,981834	4
Cav_2	2	0,023	0,011	1,078	0,159964	7
Core_1	2	0,072	0,036	3,366	0,499443	6
Core_2	2	0,097	0,049	4,568	0,677797	5
Pres_1	2	0,779	0,390	36,590	5,429149	3
Pres_2	2	10,003	5,001	469,785	69,70487	1
Pres_3	2	2,821	1,410	132,479	19,65669	2
Hata	12	0,128	0,011		0,890257	
Toplam	26	14,350	7,122		100	

Tüm bu istatistiki hesaplamalar ile birlikte çarpımda etkili olan proses parametrelerini ve bu parametrelerin etki değerlerini hesaplamıştır. Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili tahminler (estimation) ya da kestirimler (prediction) yapabilmek amacıyla kullanılır. Bu analiz tekniğinde iki (basit regresyon) veya daha fazla değişken(çoklu regresyon) arasındaki ilişkiyi açıklamak için matematiksel bir model kullanılır ve bu modele regresyon modeli denir.

Burada çoklu regresyon modeli oluştururken enter metodunu kullanılmıştır. Bu metotta tüm bağımsız değişkenler tek seferde girilmiş ve değerlendirilmiştir.

Yaptığımız regresyon analizinin güvenliğini tıpkı ANOVA testinde olduğu gibi katsayı değerlerinin verildiği tablodaki p (etkileşim yüzdesi) eğer 0,5 den küçük ise %95 lik anlamlılık değeri için bu denklem üzerinde etkilidir diyebiliriz. Şekil 5.45’de görülen Minitab Tablosunda her bir parametre için etkileşim yüzde değerini incelenmiştir. Ayrıca yine ANOVA testinde olduğu gibi kareler toplamı(R-seq) ve düzeltilmiş kareler toplamı (R-seq(adj)) değerinin 1’e yakın olması bulduğumuz regresyon modelinin gerçeğe yakınlığını göstermiştir.

Tablodan inceleyebileceğimiz gibi bu analizde kareler toplamı değerini %92,6 elde edilmiştir. Bu değer kabul edilebilir bir seviyede olduğu görülmüştür. Bunun anlamı elde edilen regresyon modeli, doğru bir modeldir.

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	9,36	1,12	8,36	0,000	
Cav_1	-0,0281	0,0112	-2,51	0,021	1,00
Cav_2	0,00452	0,00731	0,62	0,543	1,00
Core_1	-0,0126	0,0112	-1,13	0,273	1,00
Core_2	-0,0143	0,0112	-1,28	0,215	1,00
Pres_1	0,0226	0,0112	2,03	0,057	1,00
Pres_2	-0,07339	0,00558	-13,15	0,000	1,00
Pres_3	-0,03958	0,00558	-7,09	0,000	1,00

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,236827	92,57%	89,84%	84,01%

Şekil 5.44. Katsayılar tablosu, kareler toplamı ve düzeltilmiş kareler toplamı değeri.

Bu analiz sonucunda optimizasyon işleminde kullanacağımız deneysel modeli bulmuştur. Bir sonraki aşamada elde ettiğimiz bu modeli ve kısıtları kullanarak çarpılma problemini optimize edebilmek için genetik algoritma kullanılmıştır.

5.7. GENETİK ALGORİTMA TOOL İLE OPTİMİZASYON

Regresyon analizi sonucu elde ettiğimiz deneysel çarpılma modeli Denklem 5.16’da gösterilmiştir. Bu aşamada Genetik Algoritma ile optimum proses parametrelerini bulmaya çalışılmıştır. Bunun için kullanacağımız amaç fonksiyonu olarak, çarpılma için oluşturduğumuz regresyon modelini kullanılmıştır. Matlab programında optimizasyon

problemini çözerken, program tarafından sağlanan optimizasyon tool kullanılmıştır. Bunun için önce amaç fonksiyonunu ve Çizelge 5.14'deki alt ve üst sınır değerleri ve Çizelge 5.15'teki genel ve işlemci parametreleri girilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Çarpılma Miktarı} = & 9,36 - 0,0281 \times Cav_1 + 0,00452 \times Cav_2 - 0,0126 \times Core_1 \\ & - 0,0143 \times Core_2 + 0,226 \times Pres_1 - 0,07339 \times Pres_2 - 0,03958 \times Pres_3 \quad (5.16) \end{aligned}$$

Çizelge 5.14. Parametre alt ve üst sınır değerleri.

Parametre	Alt Sınır	Üst Sınır
Cav_1 (C°)	35	45
Cav_2 (C°)	25	40
Core_1 (C°)	35	45
Core_2 (C°)	60	70
Pres_1 (MPa)	20	30
Pres_2 (MPa)	45	65
Pres_3 (MPa)	45	65

Çizelge 5.15. Genetik algoritmaya ait genel parametreler ve işlemci parametreleri.

Değişken Sayısı	7
Alt Limit Değerleri	35,25,35,60,20,45,45
Üst Limit Değerleri	45,40,45,70,30,65,65
Popülasyon Türü	Double Vector
Popülasyon Büyüklüğü	50
Seçim Yöntemi	Rulet Çarkı

Çizelge 5.15 (devam). Genetik algoritmaya ait genel parametreler ve işlemci parametreleri.

Mutasyon Yöntemi	Uniform
Mutasyon Oranı	0,01
Çaprazlama Yöntemi	İki Noktalı
Jenerasyon Büyüklüğü	200

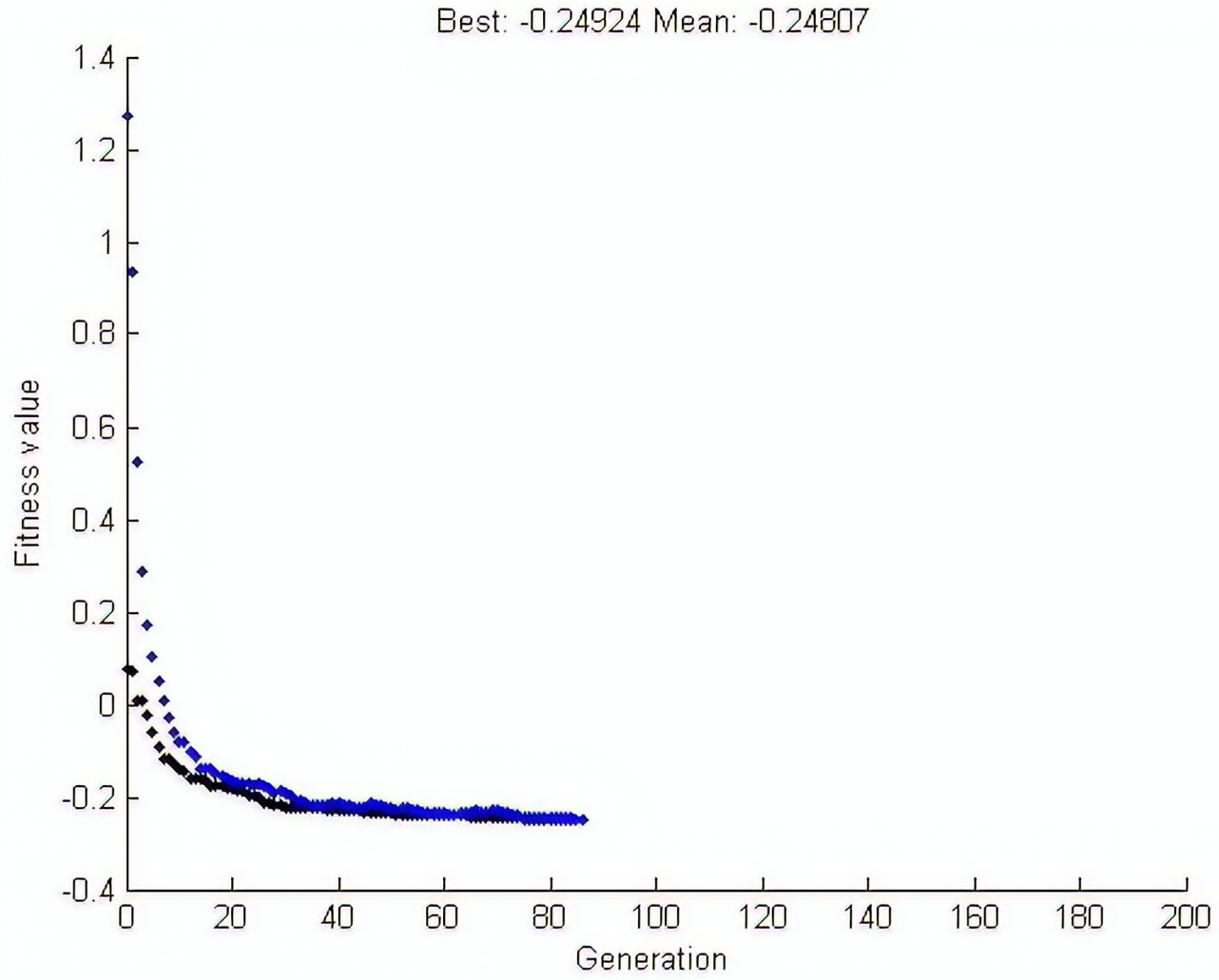
Bu parametrelere göre Genetik Algoritma Tool çalıştırıldığı zaman :

Çarpılma Değeri = 0.249 mm olarak bulunmuştur.

Bu değeri bulduğu optimum parametreler Çizelge 5.16'da gösterilmiştir. Tüm iterasyonlar ile bulunan çarpılma değeri Şekil 5.46'daki grafikte görülmektedir.

Çizelge 5.16. Optimum çarpılma için parametre değerleri.

Cav_1	Cav_2	Core_1	Core_2	Pres_1	Pres_2	Pres_3
C°	C°	C°	C°	MPa	MPa	MPa
44,98	25,01	44,98	69,9	20	64,9	64,9



Şekil 5.45. Hedef fonksiyonu için en iyi sonuç değişimi.

5.8. MONTE CARLO SİMÜLASYONU

Monte Carlo metodu, araştırılan değeri belirlemek için birçok rastgele denemenin oluşturulması esasına dayanmaktadır. Model girdilerindeki değişkenleri model çıktısına yaymak için spesifik olarak kullanımına örnektir. Simülasyon, girdileri tanımlayarak belirsizlikleri açıkça temsil etme sürecine dayanmaktadır. Monte Carlo simülasyonu, kolayca uygulanabilecek beş basit adımda gerçekleştirilir [13].

- Çarpılma modelinin oluşturulması

$$y=f(X_1,X_2,\dots,X_n)$$

Burada X_1,X_2,\dots,X_7 sırasıyla değişken parametreleri ifade eder.

(Cavity_1,Cavity_2,Core_1,Core_2,P1,P2,P3)

- Bir dizi rastgele girdinin üretilmesi

$$X_{i1},X_{i2},\dots,X_{i1000}$$

Burada $X_{i1},X_{i2},\dots,X_{i1000}$ adet üretilen rastgele parametre değerlerini ifade eder.

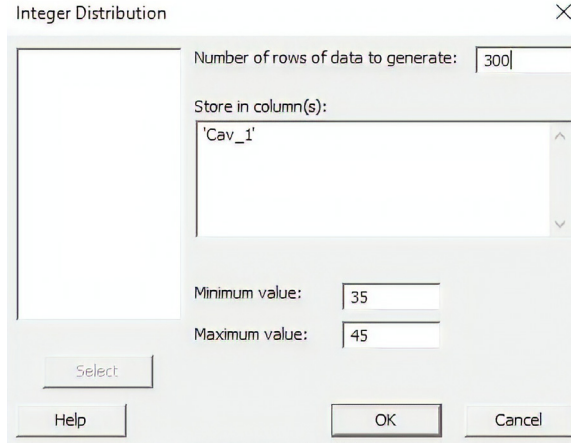
- Problemin her bir deterministik giriş için değerlendirilmesi.
- $i=1-n$ için 2. ve 3.adımların tekrarlanması
- Sonuçların analiz edilmesi.

Sayısal modelin olasılıksal olarak değerlendirilmesi için simülasyon yapılması gerekmektedir. Enjeksiyon kalıplama işleminde simülasyon sayısının düşük tutulması, işlem parametrelerinin ana sistem üzerindeki etkisini tanımlamak için uygulanabilecek bir yöntemdir.

Statik simülasyon modelleri deterministik veya olasılıksal (probabilistic) olabilir. Rassal değişken içermeyen modellerle yapılan simülasyon deterministiktir. Deterministik simülasyon modellerinde hiçbir rassal özellik yoktur. Bu nedenle, simülasyon sonuçları her denemede aynı sayısal değeri verir. Olasılıksal simülasyon modelinde bir ya da daha fazla sayıda rassal değişken bulunur. Rassal değişkenler üretilerek çalıştırılan olasılıksal simülasyon modellerinde deney sonuçları da rassal olur. Ölçülmek istenen performans göstergeleri için ise tahmini değerler elde edilir.

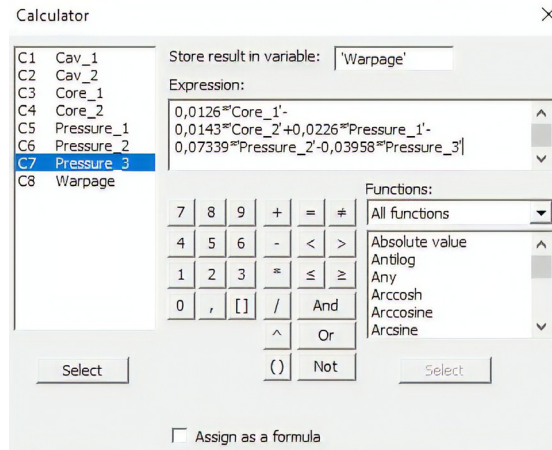
Çalışmanın bu bölümünde Minitab17 yazılımı kullanarak, daha önce elde ettiğimiz regresyon modelinden, ürettiğimiz rassal sayılar ile Monte Carlo Simulasyonu vasıtası ile minimum çarpılma değerini tahmin etmeye çalışılmıştır.

İlk olarak her bir değişken için daha önce belirlediğimiz alt ve üst limit değerlerini dikkate alarak rastgele (random) sayılar üretilmiştir. Şekil 5.47’de rastgele sayı üretmek için kullandığımız program ara yüzünü ve girdiğimiz limit değerleri görülmektedir.



Şekil 5.46. Rastgele sayı üretme ara yüzü.

Daha sonra programın sağladığı ara yüze regresyon denklemi girilmiştir. Elde edilen her bir rassal sayı için çarpılma değeri bu regresyon formülüne göre hesaplanmıştır. Şekil 5.48’de regresyon denklemini girdiğimiz ara yüz görülmektedir.



Şekil 5.47. Regresyon denkleminin girildiği program ara yüzü.

Minitab17 yazılımı kullanarak, daha önce elde ettiğimiz denklemden(13) , her bir proses parametresi için, alt ve üst limitler arasında ürettiğimiz 300’er adet rassal sayı ile tahmini

min. Çarpılma değerini hesaplanmıştır. Çizelge 5.17'de hesaplanan tahmini min. Çarpılma değeri ve bu değeri sağlayan rassal proses parametreleri görülmektedir.

Minimum arpılma Değeri

0,08229 mm

Çizelge 5.17. Minimum arpılma değeri ve bunu sağlayan parametreler.

Cav_1	Cav_2	Core_1	Core_2	Pres_1	Pres_2	Pres_3
43	35	44	63	20	65	62

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, seri üretim bir buzdolabı için üretilen, görsel bir plastik parçanın plastik enjeksiyon işlemiyle basılması sonucunda oluşan çarpılmaya etki eden en uygun enjeksiyon işlem parametrelerinin, Taguchi yöntemiyle belirlenmesi hedeflenmiştir. Plastik akış analizi, Ortogonal (L27) deneysel tasarım tekniği, S/N oranı, ANOVA, Genetik Algoritma ve Monte Carlo Simülasyonu en uygun enjeksiyon işlem parametrelerini elde etmek için birleştirilerek bir tasarım metodolojisi ortaya konulmuştur.

Çizelge 6.1’de kullanılan tüm yöntemler ile elde edilen min. Çarpılma değeri ve optimum proses parametreleri karşılaştırma amaçlı, toplu olarak gösterilmiştir. Her bir yöntem ile elde edilen değerler birbiri ile uyumlu gözükmemektedir. Minimum çarpılma sonucuna Monte Carlo simülasyonu ile ulaşılmıştır.

Çizelge 6.1. Çarpılma sonuçları karşılaştırma tablosu.

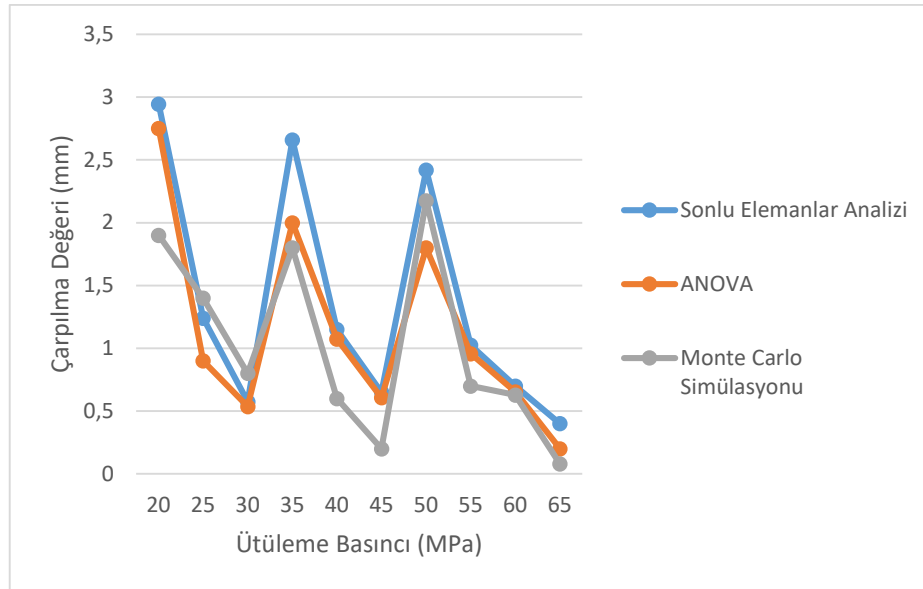
YÖNTEM	CAV_1 (C°)	CAV_2 (C°)	CORE_1 (C°)	CORE_2 (C°)	PRES_1 (MPa)	PRES_2 (MPa)	PRES_3 (MPa)	WARP (mm)
MF Akış Analizi	45	25	45	65	20	65	55	0,455
TAGUCHİ	40	25	45	65	20	65	65	0,14
MON.CARLO	43	35	44	63	20	65	62	0,08
GENETİK ALG.	44,98	25,01	44,98	69,9	20	64,9	64,9	0,08229

Optimize edilen proses parametre değerleri üretici firma ile paylaşılmıştır. Bu parametre değerleri kullanılarak üretilen parçalarda çarpılma değerinin tolerans içinde kaldığı saptanmıştır. Şekil 6.1’de yeni numuneler ile tekrar hazırlanan CMM raporu görülmektedir.

1.KALIP GÖZÜ							
Item-No.: Drawing	Nominal value	Upper allowed	Lower allowed deviation	Additional Information	Actual value (Supplier)		
Field:					1.NUMUNE	2.NUMUNE	3.NUMUNE
7/G10	0	0,7	0	Paralelism	0,6	0,45	0,36
8/E2	0	1	0	Straightness	0,9	0,84	0,4
9/H2	39,4	0,3	-0,3		39,2	39,64	39,42
70/A16	0	1,5	0	Straightness	1,2	0,8	0,65
2.KALIP GÖZÜ							
Item-No.: Drawing	Nominal value	Upper allowed	Lower allowed deviation	Additional Information	Actual value (Supplier)		
Field:					1.NUMUNE	2.NUMUNE	3.NUMUNE
7/G10	0	0,7	0	Paralelism	0,24	0,44	0,6
8/E2	0	1	0	Straightness	0,69	0,84	0,92
9/H2	39,4	0,3	-0,3		39,12	39,63	39,43
70/A16	0	1,5	0	Straightness	1,36	1,12	1,43

Şekil 6.1. Yeni numuneler ile hazırlanan CMM raporu.

Geliştirdiğimiz işlem tasarım metodolojisine göre sonuca en fazla etki eden parametrenin ütüleme basıncı olduğu görülmüştür. Tasarım metodolojisine eklediğimiz Monte Carlo simülasyonu ile optimum sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 6.2’de ki grafikte ilk üç yöntem ile elde edilen çarpılma değerleri ile ütüleme basınçları arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 6.2. Ütüleme basıncı-çarpılma değeri.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elde edilen bu bulgular ışığında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır :

1-Plastik enjeksiyon simulasyon sonucu elde edilen enjeksiyon ve ütüleme basınç değerlerinin enjeksiyon makinesinde kullanılabilmesi için korele edilmesi gerekmektedir. Bunun tersi için de aynı durum geçerlidir.

2-Bu korelasyon işlemi için vida çapı/silindir çapı oranı (basınç katlama oranı-intensification ratio) kullanımı basınç kayıplarının hesaplanması için doğru sonuçlar vermiştir.

3-Taguchi deney çalışması kullanılarak yapılacak optimizasyon çalışmaları öncesinde, kullanılacak değişken parametrelerin ve aralıklarının doğru belirlenmesi çalışmanın başarılı olabilmesi için çok önemlidir.

4-Proses optimizasyonu için, deneme yanılma yönteminin kullanılması tekrar sayısı sebebi ile oldukça pahalıdır. Bu nedenle deneme yanılma yönteminin yerine simülasyon ve sayısal yöntemler gibi mühendislik araçları kullanılmalıdır.

5-Ütüleme basınç değerlerinin (P2 (%69) ve P1(%19)) ,çarpılmayı etkileyen en önemli parametreler olduğu varyans (ANOVA) analizi ile görülmüştür.

6-Hesaplanan değerler ile doğrulama testinden elde edilen değerler arasındaki farkların % 95 güvenilirlik aralığı içinde olduğu görülmüştür. Bunun anlamı, çarpılma için oluşturulan sayısal modeller yeterlidir ve Taguchi yöntemi çarpılma problemi için başarılı bir biçimde uygulanabilir.

7-Akış simülasyonlarında, doğru sonuçlar elde edebilmek için sonlu elemanlar modelinin elverişli olması, sıcak ve soğuk yolluk, taşıyıcı ve soğutma kanallarının doğru modellenmesi gerekmektedir.

8-Bu örnekte olduğu gibi, sadece işlem parametrelerini optimize ederek, kalıp ve ürün tasarımında değişiklik yapmadan, kalite problemlerini gidermek mümkündür. Bu sayede kalıp ve dolayısı ile parça maliyetine gelecek ekstra fiyat farkları önlenmiş olur.

9-Plastik enjeksiyon işlemi gibi analitik olarak belirsiz mühendislik problemlerinde, optimizasyon için deterministik yerine olasılıksal simülasyon modelleri kullanmak doğru

sonuçlar elde etmemizi sağlayabilir. Bunun için Monte Carlo simülasyonu oldukça önemli bir araçtır.

10-Optimum parametre ayarlarının belirlenmesi, ürünün retilbilirliği, kalitesi ve maliyeti için yapılan en kritik çalışmalardan biridir. Mühendisler, optimal parametreleri belirlemek için Mühendislik optimizasyon araçlarını veya Taguchi süreç tasarım yöntemini kullanırlar. Ancak bu yöntemler bazı eksikliklere sahiptir ve tek başlarına kullanılmaları istenmeyen son optimal proses ayarlarının yapılmasına sebebiyet verebilir. Bu alışmada Mühendislik simülasyon sistemleri, taguchi deney tasarım yöntemi, genetik algoritma ve monte carlo simülasyonu gibi güçlü araçlar bir arada kullanılarak elde edilen sonuçların çok daha güvenilir olması sağlanmıştır.

Önerilen yaklaşım, mühendislere plastik enjeksiyon üretiminde çoklu yanıt kapsamında optimal proses parametrelerinin belirlenmesi için etkili bir şekilde yardımcı olabilir. Sonraki çalışmalarda, ürün ve kalıp tasarım kriterleri de problem içine dahil edilerek, bu tasarımların nihai ürün kalitesini nasıl etkilediği tespit edilebilir.



8. KAYNAKLAR

- [1] T.Singh, M. P. Singh, ve M. M. Alam, “ Taguchi and ANOVA analysis of shrinkage of injection moulded polypropylene component,” *International Journal of Scientific & Engineering Research*, c. 5, sayı 7, ss. 750-756, 2014.
- [2] S. Kamaruddin, Z. A. Khan, ve S. H. Foong, “Application of Taguchi method in the optimization of injection moulding parameters for manufacturing products from plastic blend,” *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, c. 2, Sayı 6, ss. 574-580, 2010.
- [3] H. Öktem ve F. Erzincanlı, “ Bir DVD-room ön kapağının plastik enjeksiyonla basılması sonucunda oluşan çekmeye etki eden en uygun işlem parametrelerinin Taguchi yöntemiyle belirlenmesi,” *3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 2012, ss. 431-441.
- [4] R. Pareek, ve J. Bhamniya, “ Optimization of injection moulding process using Taguchi and ANOVA,” *International Journal of Scientific & Engineering Research*, c. 4, Sayı 1, ss. 369-375, 2013.
- [5] A.Cellere, ve G.Lucchetta, “ Determination of robust conditions for injection moulding of recycled polypropylene,” *International Journal of Material Forming*, c. 1, Sayı 1, ss. 691-694, 2008.
- [6] K. Lee ve J.C. Lin, “ Optimization of injection molding parameters for lampshade,” *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, c. 37, Sayı 3, ss. 313-323, 2013.
- [7] M. S. Meiabadia, A. Vafaesefatb , ve F. Sharifi, “ Optimization of plastic injection molding process by combination of Artificial Neural Network and Genetic Algorithm,” *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, c.13, ss. 49-54, 2013.
- [8] D. Mathivanan, M. Nouby, ve R. Vidhya, “ Minimization of sink mark defects in injection molding process Taguchi approach,” *International Journal of Engineering, Science and Technology* , c. 2, Sayı 2, ss. 13-22, 2010.
- [9] Y. Özek ve C. Çelik, “ Plastik enjeksiyon kalıplarında enjeksiyon sürelerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi,” *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 23 , Sayı 1, ss. 35-42, 2011.
- [10] Y. Özek, C.Çelik, G. Gürgüze, “ Developing a new package program for manufacturing plastic injection moldings and cost calculation,” *Journal of New World Sciences Academy* , c. 5, Sayı 3, ss. 279-287, 2010.
- [11] T. Erzurumlu, ve B. Ozcelik, “ Comparison of the warpage optimization in the plastic injection molding using ANOVA, neural network model and genetic algorithm,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 171, Sayı 3, ss. 437-445, 2006.
- [12] K. M. B. Jansen , D. J. Van Dijk, ve M. H. Husselman , “ Effect of processing conditions on shrinkage in injection molding,” *Polymer Engineering and Science*, c. 38, Sayı 5, ss. 838-846, 1998.

- [13] H. S. Park, ve T. T. Nguyen, “ Optimization of injection molding process for car fender in consideration of energy efficiency and product quality, ” *Journal of Computational Design and Engineering*, c. 1, Sayı 4, ss. 256-265, 2014.
- [14] A. Akyürek, A. Keçe, A. Aksoy ve N. Öztürk, “ Termoplastik ürünlerin yeni ürün devreye alınma sürecinde bir yapay zeka yaklaşımı, ” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 14, Sayı 1, ss. 67-76, 2009.
- [15] V. Erdem, M. Belevi, ve C. Koçhan, “ Taguchi metodu ile plastik enjeksiyon parçalarda çarpılmanın en aza indirilmesi, ” *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c.12, Sayı 2, ss. 17-29, 2010.
- [16] M. V. Kavade, ve S. D. Kadam, “ Parameter optimization of injection molding of polypropylene by using Taguchi methodology, ” *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, c.4, Sayı 4, ss. 49-58, 2012.
- [17] S. Taghizaded, A. Özdemir, ve O. Uluer, “ Warpige prediction in plastic injection molded part using artificial neural network, ” *Transactions of Mechanical Engineering*, c. 37, Sayı M2, ss. 149-160, 2013.
- [18] C. G. Montgomery, C. Runger, ve N. F. Hubele, Çeviri Editörü : C. Özkan, “ Deney tasarımı , ” *Mühendislik İstatistiği*, 5. baskı, Ankara, Türkiye: Palme Yayıncılık, 2017, böl. 7, ss. 360-420.
- [19] C. Kubat, “ Matlab genetik algoritma araç kutusu, ” *Matlab Yapay Zeka ve Mühendislik Uygulamaları*, 2. baskı, İstanbul, Türkiye: Pusula Yayıncılık, 2014, böl. 23, ss. 711-727.
- [20] Autodesk, Fundamentals-practice , *Student Guide*, Germany , 2016.
- [21] Autodesk, Fundamentals-theory concepts , *Student Guide*, Germany, 2016.
- [22] H. Saruhan , Çok disiplinli tasarım optimizasyonu, *Ders Notu*, Düzce, 2015.
- [23] S. S. Rao, “ Taguchi approach, ” *Engineering Optimization Theory and Practice*, 4. baskı,U.S.A : John Wiley & Sons, Inc., 2009, böl.1, ss: 694-700.
- [24] S. Ertürk, Plastik malzemeler, *Şirket Eğitim Notu*, Bursa, 2013.
- [25] Ö. Karaaslan. (2007, 12 Mart). Mühendislik plastikleri ve karşılaştırmalı özellikleri. [Online]. Erişim: <https://www.turkcadcam.net/rapor/muh-plastikleri/index.html>.
- [26] M. S. Phadke. (2016, 18 Mart). Introduction to robust design (Taguchi method). [Online]. Erişim : <https://www.isixsigma.com/methodology/robust-design-taguchi-method/introduction-robust-design-taguchi-method>.
- [27] D. R. Anderson. (2014, 26 Nisan). Experimental design. [Online]. Erişim : <https://www.britannica.com/science/statistics/Experimental-design>.
- [28] Moldflow Synergy, *Bilgisayar Programı*, Autodesk, 2017.
- [29] Minitab 17, *Bilgisayar programı*, Minitab, 2013.
- [30] Matlab R2007b, *Bilgisayar Programı*, The MathWorks, 2007.

9. EKLER

9.1. EK 1: DETAYLI ANALİZ SONUÇLARI

9.1.1. Dolum,Akış ve Ütuleme Analizi

Summary of analysis inputs :

Solver parameters :

No. of laminae across thickness	=	12
Intermediate output options for filling phase		
No. of results at constant intervals	=	20
No. of profiled results at constant intervals	=	0
Intermediate output options for packing phase		
No. of results at constant intervals	=	20
No. of profiled results at constant intervals	=	0
Flow rate convergence tolerance	=	0.5000 %
Melt temperature convergence tolerance	=	0.0200 C
Number of threads for parallelization	=	Automatic
Initial number of threads used in the analysis	=	8
Mold-melt heat transfer coefficient		
Filling	=	5000.0000 W/m ² -C
Packing	=	2500.0000 W/m ² -C
Detached, cavity side	=	1250.0000 W/m ² -C
Detached, core side	=	1250.0000 W/m ² -C
Maximum no. of flow rate iterations	=	125
Maximum no. of melt temperature iterations	=	200
Nodal growth mechanism	=	Multiple
Juncture loss option	=	1

Material data :

Polymer : ELIX ABS P2H-AT : ELIX Polymers S L

pvT Model: 2-domain modified Tait

coefficients: b5 = 387.2000 K

b6 = 1.6780E-07 K/Pa

Liquid phase Solid phase

b1m = 0.0010 b1s = 0.0010 m³/kg

b2m = 5.7830E-07 b2s = 1.6170E-07 m³/kg-K

b3m = 1.3480E+08 b3s = 1.6260E+08 Pa

b4m = 0.0036 b4s = 0.0020 1/K

b7 = 0.0000 m³/kg

b8 = 0.0000 1/K

b9 = 0.0000 1/Pa

Specific heat (Cp) = 1800.0000 J/kg-C

Thermal conductivity = 0.1290 W/m-C

Viscosity model: Cross-WLF

coefficients: n = 0.2461

TAUS = 1.0238E+05 Pa

D1 = 4.2630E+12 Pa-s

D2 = 373.1500 K

D3 = 0.0000 K/Pa

A1 = 30.5850

A2T = 51.6000 K

Transition temperature = 95.0000 C

Juncture loss equation :

$$DPe = c1 * TAUW^{c2}$$

where $c1 = 2.5000E-05 \text{ Pa}^{(1-c2)}$

$$c2 = 2.0000$$

Mechanical properties data: $E1 = 2500.0000 \text{ MPa}$

$$E2 = 2500.0000 \text{ MPa}$$

$$\nu_{12} = 0.4000$$

$$\nu_{23} = 0.4000$$

$$G_{12} = 1100.0000 \text{ MPa}$$

Transversely isotropic coefficient of

thermal expansion (CTE) data: $\text{Alpha1} = 0.0000900 \text{ 1/C}$

$$\text{Alpha2} = 0.0000900 \text{ 1/C}$$

Residual stress model without CRIMS

Process settings :

Machine parameters :

Maximum machine clamp force = $4.0000E+02$ tonne

Maximum injection pressure = $1.8200E+02$ MPa

Maximum machine injection rate = $5.0000E+03$ cm³/s

Machine hydraulic response time = $1.0000E-02$ s

Process parameters :

Flow Rate = 100.0000 cm³/s

Stroke volume determination = Automatic

Cycle time = 40.0000 s

Valve gate controller name: VG1_SQ1

Opens and closes by: Time

Controller ID	Open	Close
---------------	------	-------

-----	-----	-----
2	0.0000 s	30.0000 s

Open/Close control = Instant

Valve gate controller name: VG2_SQ2

Opens and closes by: Time

Controller ID	Open	Close
---------------	------	-------

-----	-----	-----
4	3.0000 s	30.0000 s

Open/Close control = Instant

Valve gate controller name:

Opens and closes by: Time

Controller ID	Open	Close
---------------	------	-------

-----	-----	-----
3	3.0000 s	30.0000 s

Open/Close control = Instant

Filling phase: Status: V = Velocity control

P = Pressure control

V/P= Velocity/pressure switch-over

```
|-----|
| Time | Volume| Pressure | Clamp force|Flow rate|Status |
| (s) | (%) | (MPa) | (tonne) |(cm^3/s)| |
|-----|
| 0.001 | 0.03 |"VG1_SQ1" # 2 (Elem# 199872) opened.|
| 0.173 | 2.00 | 21.47 | 0.92 | 61.97 | V |
| 0.346 | 5.85 | 31.03 | 1.83 | 95.76 | V |
| 0.520 | 10.59 | 32.83 | 2.83 | 98.18 | V |
| 0.694 | 15.34 | 34.29 | 4.74 | 98.38 | V |
| 0.866 | 20.10 | 34.91 | 7.60 | 98.48 | V |
```

1.038 24.74 36.56 11.10 97.95 V
1.211 29.40 38.45 15.16 98.09 V
1.384 34.02 40.39 19.99 98.09 V
1.557 38.61 42.59 26.14 98.02 V
1.729 43.16 45.09 33.74 98.06 V
1.903 47.72 47.74 42.50 98.22 V
2.075 52.22 50.45 52.30 98.40 V
2.250 56.81 53.23 62.99 98.68 V
2.420 61.30 55.80 73.63 98.93 V
2.594 65.86 58.49 85.95 99.05 V
2.767 70.40 61.35 100.09 99.25 V
2.939 74.98 63.91 113.59 99.57 V
3.000 76.60 "VG2_SQ2" # 4 (Elem# 199970) opened.
3.000 76.60 "" # 3 (Elem# 200068) opened.
3.112 79.46 43.61 102.02 98.04 V
3.285 83.96 44.77 125.90 99.93 V
3.459 88.49 46.87 146.46 100.01 V
3.630 92.89 50.21 173.14 100.00 V
3.792 97.01 53.59 201.45 99.03 V/P
3.802 97.28 40.00 193.13 -32.50 P
3.803 97.29 40.00 191.96 -15.57 P
3.977 99.41 40.00 179.46 38.33 P
4.105 100.00 40.00 226.75 23.26 P
4.105 100.00 40.00 226.84 23.25 Filled

Execution time in Filling Phase = 23137.96 s

Packing phase:

Time	Packing	Pressure	Clamp force	Status
(s)	(%)	(MPa)	(tonne)	

4.105 1.01 40.00 226.91 P
4.496 2.26 20.00 243.61 P
4.701 2.91 20.00 209.81 P
6.201 7.72 20.00 81.34 P
7.701 12.53 20.00 25.06 P
8.692 15.70 65.00 94.26 P
9.351 17.81 64.06 272.42 P
10.851 22.62 61.92 298.88 P
12.351 27.43 59.77 256.30 P
13.851 32.23 57.63 209.69 P
15.601 37.84 55.13 166.61 P
15.692 Pressure released

15.692 38.13 53.90 164.59 P
15.704 38.17 0.00 154.15 P
18.601 47.45 0.00 116.00 P
21.851 57.87 0.00 98.35 P
24.851 67.48 0.00 87.13 P
27.851 77.09 0.00 79.00 P
30.101 84.14 "VG1_SQ1" # 2 (Elem# 199872) closed.
30.101 84.14 "VG2_SQ2" # 4 (Elem# 199970) closed.
30.101 84.14 "" # 3 (Elem# 200068) closed.
31.101 87.51 0.00 72.52 P
34.101 97.12 0.00 68.16 P
35.000 100.00 0.00 67.08 P

9.1.2. Soğuma Analizi

+-----+-----+-----+-----+-----+					
Inlet	Flowrate	Reynolds No.	Press. drop	Pumping	
node	in/out	range	over	power over	
			circuit	circuit	

	(lit/min)		(MPa)	(kW)	
100588	5.08		10000.0 - 12000.0		0.0056 4.752e-04
100582	3.38		10000.0 - 12000.0		0.0025 1.400e-04
100576	3.38		10000.0 - 12000.0		0.0025 1.400e-04
100570	3.38		10000.0 - 12000.0		0.0025 1.400e-04
100564	5.08		10000.0 - 12000.0		0.0056 4.752e-04
102271	3.38		10000.0 - 20000.0		0.0153 8.607e-04
102267	3.38		10000.0 - 20000.0		0.0153 8.621e-04
102969	2.45		10000.0 - 16000.0		0.0144 5.894e-04
102965	2.45		10000.0 - 16000.0		0.0144 5.900e-04
102263	3.38		10000.0 - 20000.0		0.0152 8.592e-04
101965	3.38		10000.0 - 20000.0		0.0152 8.592e-04
101969	3.38		10000.0 - 20000.0		0.0153 8.621e-04
101971	2.45		10000.0 - 16000.0		0.0144 5.894e-04
101975	2.45		10000.0 - 16000.0		0.0144 5.900e-04
101981	3.38		10000.0 - 20000.0		0.0153 8.607e-04

Coolant Temperatures

Inlet node	Coolant temp. range	Coolant temp rise. over circuit	Heat removal over circuit
100588	25.0 - 27.9	2.9 C	1.021 kW
100582	45.0 - 46.5	1.5 C	0.360 kW
100576	45.0 - 46.9	1.9 C	0.433 kW
100570	45.0 - 46.6	1.6 C	0.362 kW
100564	25.0 - 27.9	2.9 C	1.027 kW
102271	45.0 - 46.3	1.3 C	0.292 kW
102267	45.0 - 46.8	1.8 C	0.409 kW
102969	61.0 - 65.0	-4.0 C	-0.682 kW
102965	60.9 - 65.0	-4.1 C	-0.686 kW
102263	45.0 - 46.2	1.2 C	0.288 kW
101965	45.0 - 46.3	1.3 C	0.292 kW
101969	45.0 - 46.8	1.8 C	0.411 kW
101971	61.1 - 65.0	-3.9 C	-0.652 kW

101975	61.1 - 65.0	-3.9 C	-0.663 kW
101981	45.0 - 46.3	1.3 C	0.296 kW

Summary of Cavity Temperature Results

=====

Part surface temperature - maximum	= 86.6587 C
Part surface temperature - minimum	= 37.7134 C
Part surface temperature - average	= 64.0166 C
Cavity surface temperature - maximum	= 85.2687 C
Cavity surface temperature - minimum	= 34.5510 C
Cavity surface temperature - average	= 60.6912 C
Average mold exterior temperature	= 47.6228 C
Heat removal through the outer boundaries	= 0.5706 kW
Cycle time	= 40.0000 s
Maximum temperature	= 260.0000 C
Minimum temperature	= 25.0000 C

9.2. EK 2: PROSES PARAMETRELERİ

ALPLAS		YENİ KALIP DEVREYE ALMA FORMU									
PARÇA BİLGİLERİ / informations about the part											
Örün Kodu / Product Code No	9000944543	Deneme Tarihi / Trial Date									
Parça Adı / Product Name	Top panel Cover 860	Deneme Yeri / Trial Department	ALPLAS								
Hammadde /Alpllas Kodu Raw Material / Code (Alpllas)	9r1	Deneme Trial	Başlangıç Saati/Start Time								
Masterbatch Rengi / Kodu Masterbatch Color / Code			Bitiş Saati / End Time								
Net Parça Ağırlığı / (gr) Net Part weight (gr)		Denemeyi Yapan									
Yolluk Ağırlığı / (gr.)(Runner Weight /		Katılan									
Baskı Adedi / Sample Quantity											
KALIP İLE İLGİLİ BİLGİLER / informations about the mold											
Kalip Kodu Mold Code No	85493	Yolluk Giriş Tipi / Gate Type	Sic. yolluk								
Göz Adedi/Number of Cavity	2	Göz Başına Yolluk Giriş Sayısı Number of the Gate per Cavity									
Yolluk Sistemi (Runner System)		Kalip Çıkışı Running of the Mold	Tam. oto.								
İtici Sistemi Ejector System	aktif										
ENJEKSİYON ŞARTLARI / process parameters											
Enjeksiyon Makinesi / Injection Machine	400 Ton Jomason										
Sıcaklıklar / Temperatures(C)											
Kurutma / Pre Drying											
Zaman (h)											
Sıcaklık C											
HOT RUNNER TEMP (C)											
Zone1	Zone2	Zone3	Zone4	Zone5	Zone6	Zone7	Zone8	Zone9	Zone10	Zone11	Zone12
250	250	250	250	250	250						
BARREL TEMP (C)											
Nozzle	Cylinder 1	Cylinder 2	Cylinder 3	Cylinder 4	Cylinder 5	Cylinder 6	Cylinder 7	Cylinder 8	WATER TEMP (C)		
295	240	295	290	220					Dışı / cavity	Erkek/ore	
									Bu	35	
									Kalip	40	
Sekansiyel Valf											
Açma (sn)											
Kapanma (sn)											
Mal Alma Geri Bas. / Back Press.	1	2	3	Geri Emiş / suck back			1				
Mal Alma Basıncı / RetN Pressure	5						2				
Mal alma Hızı/ RetN speed	85						3				
Pozisyon/ RetN stroke	55						4				
							5				
Enjeksiyon Basıncı / Inj. Pres.	7	6	5	4	3	2	1				
Enjeksiyon Hızı / Inj. Vel.					95	95	95				
Enjeksiyon Pozisyonu / Inj. Pos.					35	35	35				
					10	20	75				
Üstleme Basıncı / Packing Pres.				4	3	2	1				
Üstleme Hızı / Packing vel.				45	35	35					
				10	10	10					

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hüseyin Çakmak
Doğum Tarihi ve Yeri : 18.02.1979
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : huseyin.cakmak.1980@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Met.ve Malz. Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2016
Lise	Fen Bilimleri	Orhangazi Lisesi	1997

YAYINLAR

H. Cakmak, ve O. Kayabasi, “ Yaklaşık çözüm tekniklerini kullanarak plastik enjeksiyon prosesinin tasarım metodolojisi, ” *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* , Yayınlanmak üzere gönderildi, 2019.

H.Cakmak, ve O. Kayabasi, “ Buzdolabında kullanılan plastik parçanın plastik enjeksiyon imalat sürecinin optimizasyon teknikleri kullanılarak optimize edilmesi, ” *4.Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 2019, ss. 733-743.