



**PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNELERİNDE
METASEZGİSEL ÇİZELGELEME
OPTİMİZASYONU: OTOMOTİV SEKTÖRÜ
ÖRNEĞİ**

Mithat Alper ERŞEN

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Fuat ŞİMŞİR
Doç. Dr. Özer UYGUN**

**PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNELERİNDE METASEZGİSEL
ÇİZELGELEME OPTİMİZASYONU: OTOMOTİV SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ**

Mithat Alper ERŞEN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Fuat ŞİMŞİR
Doç. Dr. Özer UYGUN**

**KARABÜK
Nisan 2022**

Mithat Alper ERŞEN tarafından hazırlanan “PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNELERİNDE METASEZGİSEL ÇİZELGELEME OPTİMİZASYONU: OTOMOTİV SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Fuat ŞİMŞİR

.....

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Özer UYGUN

.....

Tez Danışmanı, Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/04/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ÖZCAN (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Muharrem DÜĞENCİ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Fuat ŞİMŞİR (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Özer UYGUN (SAÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Tuğba TUNACAN (BAİBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mithat Alper ERŞEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNELERİNDE METASEZGİSEL ÇİZELGELEME OPTİMİZASYONU: OTOMOTİV SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ

Mithat Alper ERŞEN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Fuat ŞİMŞİR

Doç. Dr. Özer UYGUN

Nisan 2022, 105 sayfa

İşletmelerin öncelikli amaçlarından biri ürünün üretim sürecinin minimum maliyet ve sürede tamamlanması ve müşteri gereksiniminin istenilen zamanda yerine getirilmesidir. Birden daha fazla siparişin mevcut olduğu üretim sistemlerinde makine-iş atama çizelgeleri sırasında yüksek fire oranları, uzun hazırlık süreleri, sipariş gecikmeleri gibi bir takım sorunlar yaşanabilmektedir. Bu çalışma ile otomotiv aydınlatma sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın plastik enjeksiyon tezgahlarındaki makine-iş atama(çizelgeleme) problemlerinden birisi olan, hammadde değişiminden kaynaklanan ve geri dönüşümü olmayan yüksek fire oranlarının etkin çizelgeleme metodu ile minimize edilerek en uygun iş sırasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Plastik enjeksiyon ile mamul ve yarı mamul üretimi yapan fabrikada işlerin doğru bir şekilde önceliklendirilip, en uygun iş sırası oluşturularak hem fire maliyetlerinden tasarruf sağlanması hem de müşteri memnuniyetinin

sağlanması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda en uygun çizelgenin belirlenmesine etki eden sipariş(teslim) tarihi, sipariş büyüklüğü, müşteri önceliği ve fire miktarı kriteri göz önüne alınarak uygun çözüme ulaşmak amacıyla genetik algoritma kullanılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Plastik enjeksiyon, çizelgeleme, tek makine çizelgeleme, çok kriterli karar verme, genetik algoritma.

Bilim Kodu : 90602



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

META-HEURISTIC SCHEDULING OPTIMIZATION IN PLASTIC INJECTION MOLDING MACHINES: CASE OF THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Mithat Alper ERŞEN

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Industrial Engineering**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof.Dr. Fuat ŞİMŞİR

Assoc. Prof.Dr. Özer UYGUN

April 2022, 105 pages

One of the primary objectives of the enterprises is to complete the manufacturing of the product at minimum cost and time while fulfilling the customer's needs. In production systems where more than one order is in the process, some problems can be experienced during machine-job assignment scheduling such as high waste rates, long preparation times, and order delays. In this study, it is aimed to determine the most applicable work order using the effective scheduling method in order to minimize the high rates of non-recyclable wastes caused by the raw material change, which is one of the machine-work assignment (scheduling) problems in the plastic injection machines of a company in the automotive lighting industry. It is aimed to prioritize the works properly and to create the most appropriate work order in the factory, which produces finished and semi-finished products with plastic injection process, both to save on waste costs and to ensure customer satisfaction. For this purpose, genetic algorithm technique was used in order to reach the proper solution,

taking into account the order (delivery) date, order size, customer priority and waste amount criteria, which affect the determination of the most appropriate schedule.

Key Word : Plastic injection, scheduling, single machine scheduling, multi-criteria decision making, genetic algorithm.

Science Code : 90602



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Fuat ŞİMŞİR'e kıymetli katkılarından ötürü ikinci danışman hocam Doç. Dr. Özer UYGUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Manevi hiçbir yardımı esirgemediğim yanımda oldukları için sevgili eşime, kıymetli babama ve kardeşime, hayatımın her alanında sonsuz sevgisiyle hep yanımda olan rahmetli anneme ve hayata umutla bakmamı sağlayan canım kızıma tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2	3
ÜRETİM ÇİZELGELEME.....	3
2.1. ÇİZELGELEMENİN AÇIKLANMASI	3
2.1.1. Tek Makine Çizelgeleme.....	4
2.2. PLASTİK ENJEKSİYON ÇİZELGELEME.....	5
2.2.1. Plastik Enjeksiyon Üretim Sistemi	5
2.2.2. Plastik Enjeksiyon Makinelerinin Çizelgelenmesi	7
2.3. LİTERATÜR TARAMASI.....	9
2.4. ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI	18
2.4.1. Doğrusal Programlama	18
2.4.2. Tam Sayılı Programlama	19
2.4.3. Dinamik Programlama.....	20
2.4.4. Stokastik Programlama.....	21
2.4.5. Benzetim	21
2.4.6. Metasezgisel Yöntemler	22
2.4.6.1. Genetik Algoritmalar	23
2.4.6.2. Karınca Sistemleri.....	24
2.4.6.3. Tavlama Benzetimi	26
2.4.6.4. Yapay Sinir Ağları	27
2.4.6.5. Yapay Arı Kolonisi	29

BÖLÜM 3	32
GENETİK ALGORİTMA	32
3.1. GİRİŞ.....	32
3.2. GENETİK ALGORİTMA UYGULAMA ALANLARI.....	32
3.2.1. Genel Kullanım Alanları.....	33
3.2.1.1. Optimizasyon	33
3.2.1.2 Otomatik Programlama ve Bilgi Sistemleri	33
3.2.1.3 Mekanik Öğrenme	34
3.2.1.4. Ekonomik Modeller	34
3.2.2. İşletmelerdeki Kullanım Alanları	34
3.2.2.1. Finans	34
3.2.2.2. Pazarlama	35
3.2.2.3. Üretim	35
3.3. GENETİK ALGORİTMA'NIN TEMEL KAVRAMLARI.....	35
3.3.1. Gen.....	35
3.3.2. Kromozom	36
3.3.3. Başlangıç Populasyonu.....	36
3.3.4. Uygunluk Değeri ve Uygunluk Fonksiyonu.....	37
3.4. GENETİK ALGORİTMANIN ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	38
3.5. GENETİK ALGORİTMA UYGULANAN GENETİK İŞLEMLER	41
3.5.1. Kodlama.....	41
3.5.2. Başlangıç Populasyonunun Oluşturulması	43
3.5.3. Uygunluk Değerinin Hesaplanması	43
3.5.4. Çaprazlama	43
3.5.5. Mutasyon	46
3.5.6. Yeni Bireylerin Uygunluk Değerinin Hesaplanması	48
3.5.7. Seçim İşlemi	48
3.5.8. Algoritmanın Durdurulması.....	50
3.6. TAGUCHİ DENEY TASARIMI	50
3.6.1. Sistem Tasarımı	51
3.6.2. Parametre Tasarımı	51
3.6.2. Tolerans Tasarımı	51

3.6.3. Sinyal/Gürültü (S/N) Oranı.....	52
3.6.4. Ortogonal Dizi Seçimi	53
BÖLÜM 4	55
GELİŞTİRİLEN PLASTİK ENJEKSİYON ÇİZELGELEME SİSTEMİ.....	55
4.1. GİRİŞ.....	55
4.2. ÇALIŞMANIN YÜRÜTÜLDÜĞÜ FİRMANIN TANITILMASI.....	55
4.2.1. Aygersan A.Ş.'nin Tanıtılması	55
4.2.2. Aygersan A.Ş.'de Üretilen Ürünler	56
4.3. PROBLEMİN TANIMLANMASI.....	57
4.4. VERİLERİN TOPLANMASI	59
4.5. ÖNERİLEN MODELİN TANITILMASI.....	63
4.5.1. Çizelgeleme Parametreleri.....	64
4.5.2. Çizelgeleme Kabulleri	65
4.5.3. İş Önceliklendirme Kriterlerinin Ağırlıklandırması	65
4.5.4. Geliştirilen Genetik Algoritma	67
4.5.4.1. Genetik Algoritma Parametrelerinin Belirlenmesi	69
4.5.4.2. Parametre Kodlama	71
4.5.4.3. Başlangıç Populasyonunun Oluşturulması	72
4.5.4.3. Çaprazlama	74
4.5.4.4. Mutasyon	74
4.5.4.5. İşlerin Makinelere Atanması.....	74
4.5.4.6. Uygunluk Fonksiyonun Hesaplanması	75
4.5.4.7. Durma Kriteri.....	76
4.5.4.8. Seçim	76
BÖLÜM 5	77
DENEYSEL SONUÇLAR	77
5.1. GİRİŞ.....	77
5.2. MAKİNE 1'DEKİ OPTİMİZASYON SONUÇLARI	77
5.3. MAKİNE 2'DEKİ OPTİMİZASYON SONUÇLARI	82
5.4. MAKİNE 3'DEKİ OPTİMİZASYON SONUÇLARI	86
5.5. MEVCUT DURUM İLE GELİŞTİRİLEN MODELİN KİYASLANMASI .	89

BÖLÜM 6	95
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	105



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1. Plastik enjeksiyon makineleri	6
Şekil 2. 2. Plastik enjeksiyon makineleri hat düzeni	7
Şekil 2. 3. Karıncaların yiyecek kaynağına ulaşma ve yuvaya dönme hareketi	25
Şekil 2. 4. Yapay sinir ağlarında girdi çıktı arasındaki ilişki.....	28
Şekil 2. 5. Arıların besin kaynağı arama davranışları (Akay ve Karaboğa 2009)....	30
Şekil 3. 1. Gen ve Kromozom Gösterimi.....	36
Şekil 3. 2. Genetik Algoritma Akış Diyagramı.....	40
Şekil 3. 3. İkili Kodlama Kromozom Yapısı	41
Şekil 3. 4. Değer kodlama kromozom yapısı.....	42
Şekil 3. 5. Permütasyon kodlama kromozom yapısı	42
Şekil 3. 6. Tek nokta çaprazlama yöntemi.....	44
Şekil 3. 7. İki nokta çaprazlama yöntemi	44
Şekil 3. 8. Sıralı Çaprazlama Yöntemi(OX).....	46
Şekil 3. 9. Yerleştirme Mutasyonu	47
Şekil 3. 10. Kaydırma Mutasyonu	47
Şekil 3. 11. Değer Değiştirme Yöntemi.....	47
Şekil 3. 12. Karşılıklı Yer Değiştirme Yöntemi.....	48
Şekil 4. 1. Aygersan ürünleri	57
Şekil 4. 2. Genetik algoritma akış diyagramı	68
Şekil 4. 3. Taguchi Parametre Seviyeleri	71
Şekil 5. 1. 06-24 Makinesi en iyi sonuçlar.....	78
Şekil 5. 2. 06-24 makinesi 2. çalışma skor grafiği	79
Şekil 5. 3. 06-24 makinesi 8. çalışma skor grafiği	79
Şekil 5. 4. 06-24 makinesi 15. çalışma skor grafiği	80
Şekil 5. 5. 06-24 makinesi 23. çalışma skor grafiği	81

Şekil 5. 6. 06-24 makinesi skor-fire miktarı grafiği.....	82
Şekil 5. 7. 06-28 makinesi en iyi sonuçlar	83
Şekil 5. 8. 06-28 makinesi 6. çalışma skor grafiği	84
Şekil 5. 9. 06-28 makinesi 28. çalışma skor grafiği	84
Şekil 5. 10. 06-28 makinesi skor-fire miktarı grafiği.....	85
Şekil 5. 11. 06-19 makinesi en iyi sonuçlar	86
Şekil 5. 12. 06-19 makinesi 14. Çalışma skor grafiği	87
Şekil 5. 13. 06-19 makinesi skor-fire miktarı grafiği.....	89
Şekil 5. 14. Makinelerdeki iş sıraları(mevcut durum/önerilen durum).....	92
Şekil 5. 15. Mevcut durum ve yeni durum fire miktarları(kg).....	93
Şekil 5. 16. Toplam fire iyileştirme oranları(%)	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1. Benzetimin avantajları ve dezavantajları	22
Çizelge 3. 1. Ortogonal dizi seçim tablosu	54
Çizelge 4. 1. Ürünlere dair rota verileri	59
Çizelge 4. 2. 06-24 makinesi fire miktarları	60
Çizelge 4. 3. 06-28 makinesi fire miktarları	61
Çizelge 4. 4. 06-19 makinesi fire miktarları	61
Çizelge 4. 5. Genel veriler.....	62
Çizelge 4. 6. Algoritmanın çalıştırıldığı bilgisayar özellikleri.....	63
Çizelge 4. 7. İş önceliklendirme kriterleri.....	64
Çizelge 4. 8. Müşteri önem düzeyleri	64
Çizelge 4. 9. Kriter ağırlıklandırma yapan karar vericiler	66
Çizelge 4. 10. İş önceliklendirme kriterlerinin ağırlıkları.....	66
Çizelge 4. 11. Genetik işlemler ve kullanılan yöntemler	69
Çizelge 4. 12. Parametreler ve faktör seviyeleri	69
Çizelge 4. 13. Taguchi tekniği ile yapılan deneyler.....	70
Çizelge 4. 14. Genetik algoritma parametreleri	71
Çizelge 4. 15. Makinelerdeki işlerin harf dönüşümleri.....	72
Çizelge 4. 16. 06-24 makinesi başlangıç popülasyonu	73
Çizelge 5. 1. 06-24 makinesi algoritma sonucu istatistiki veriler	78
Çizelge 5. 2. 06-24 makinesi en iyi iş sırası.....	81
Çizelge 5. 3. 06-28 makinesi algoritma sonucu istatistiki veriler	83
Çizelge 5. 4. 06-28 makinesi en iyi iş sırası.....	85
Çizelge 5. 5. 06-19 makinesi algoritma sonucu istatistiki veriler	87
Çizelge 5. 6. 06-19 makinesi en iyi iş sırası.....	88
Çizelge 5. 7. Mevcut ve önerilen durum kıyaslaması	90

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

MPS : Master Planning Scheduling (Ana Üretim Çizelgesi)

FIFO: First In First Out (İlk Giren İlk Çıkar)

LPT: Longest Processing Time (En Uzun İşlem Süresi)

SPT: Shortest Processing Time (En Kısa İşlem Süresi)

SST: Shortest Setup Time (En Kısa Hazırlık Süresi)

EDD: Earliest Due Date (En Erken Teslim Tarihi)

WSPT: Weighted Shortest Processing Time (Ağırlıklı En Kısa İşlem Süresi)

LP: Linear Programming (Doğrusal Programlama)

GA: Genetik Algoritma

OX: Order crossover

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yıllık milyon dolar seviyelerinde cirosu olan otomotiv endüstrisi dünyada en fazla yatırım yapılan, en önemli sektörlerden biridir. Günümüzün rekabete dayalı ortamında, otomotiv şirketleri en düşük miktarda kaynak kullanarak, müşteri ihtiyaçlarına en hızlı cevap verebilecek tekniklerle en kaliteli ürün üretmeyi hedeflemektedirler. Bu yüzden çabuk değişen müşteri ihtiyaçları karşısında özellikle üretim planlarını en hızlı oluşturan şirketler rekabette bir adım öne geçmektedirler. İşletme sorunlarının büyük bir kısmını iş sıralama problemleri oluşturmaktadır. Bu durum bilinç dışında olabilmektedir. Adalet duygusu ve daha birçok etken bu bağlamda ön plana çıkmaktadır. Sıralama işlemi üretim, imalat, yönetim, bilgisayar bilimi ve bunun gibi birçok alanda kullanılan önemli bir süreçtir.

Rekabet şartlarında şirketlere avantaj sağlayacak diğer bir nokta ise üretimdeki hazırlık(setup) firelerini düşürmek suretiyle maliyetlerinin azaltılabilmesidir. Bu açıdan üretim maliyetlerinin azaltılması için gerekli olan ilk adım her türlü hazırlık firelerini(kayıplarını) en küçükleme yani minimize etmektir. Şirketlerde hazırlık firelerinin azaltılması iş yükleme problemlerine çözüm bulabilmek için de oldukça önemlidir. Hazırlık firelerinin azaltılabilmesi için, güçlü bir iş çizelgeleme çözümünün olmaması kaçınılmaz sorunlara sebep olmaktadır, çünkü etkili çizelgeleme, tüm yapılacak işlerin doğru sırada yerine getirilmesini sağlayan bir süreçtir.

Günlük yaşantımızda, kesin olduğunu düşündüğümüz fakat gerçekte kesin olmayan durumlarla karşılaşırız. Bu durumların sistematik bir biçimde öngörülebilmesi ancak bazı kabullerin yapılmasından sonra mümkün olabilmektedir. Pek çok sosyal, ekonomik ve teknik alanda da belirsizlik ve bir çok kriterden kaynaklı karmaşıklık bulunmaktadır. Bu belirsizliklerin analizi ve sonrasında gerekli ve yeterli çözümlerin

sunulabilmesi için kullanılan çok kriterli çözüm yöntemleri ve teknikleri bulunmaktadır. Bu çözüm yöntemlerinden ve tekniklerinden bir tanesi de genetik algoritma tekniğidir. Çok değişkenli ve kriterli sistemlerde etkili ve gelişimini sürdürmekte olan genetik algoritma yöntemi, araştırmacılar tarafından iş planların oluşturulmasında ve ortaya çıkan karmaşık problemlerin çözümünde uygulanmaktadır.

Plastik enjeksiyonla imalat yapan şirketlerde işin doğru çizelgelenmesi zamandan ve maliyetten tasarruf sağlamaktadır. Geç kalan iş sayısını ve hazırlık firelerini minimize etmeyi, makinelerin verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Çizelgeleme yapılırken önem derecesi daha fazla olan işe karar verilmesi gerekmektedir, bu kararlar verilirken sipariş tarihi, müşteri önceliği, parti büyüklüğü vb. birden çok kriter kullanılmaktadır. Çok kritere sahip, karar verilmesi güç olan bu çalışmadaki sıralama/çizelgeleme probleminin çözümü için genetik algoritma tekniğinin kullanılması uygun bulunmuştur.

Ele alınan bu yüksek lisans bitirme tezi çalışması, otomotiv sektöründeki üreticilere aydınlatma ürünleri üreten(far, stop lambası, iç aydınlatma vb.) Aygersan A.Ş. firmasının plastik enjeksiyon bölümündeki hammadde değişiminden kaynaklanan ve geri dönüşümü olmayan firelerin minimize edilmesini amaçlayarak, bir Endüstri Mühendisliği konusu olan “İş Sıralama ve çizelgeleme ” problemi üzerinde genetik algoritma yönteminin uygulanmasını içermektedir. Uygulamanın temel amacı, üretilecek ürünlerin sipariş tarihlerini, sipariş adetlerini, ürün geçişi esnasında yaşanacak setup firelerini ve müşteri önemlerini göz önüne alan en uygun çizelgenin oluşturularak, üretim maliyetlerinin minimize edilmesidir.

Çalışmanın 2. Bölümünde üretim çizelgeleme yöntemleri açıklanacak ve literatür araştırması verilecektir. 3. Bölümde ise çalışmadan uygulanan Genetik Algoritma yöntemi detaylıca aktarılacaktır. Bölüm 4’te geliştirilen çizelgeleme sistemi, Bölüm 5’te deneysel sonuçlar ve Bölüm 6’da ise sonuçlar ve öneriler aktarılacaktır.

BÖLÜM 2

ÜRETİM ÇİZELGELEME

Bu bölümde çizelgeleme kavramı, çizelgelemenin tarihsel gelişimi ve çizelgeleme problemlerine dair ortaya konulan çözüm yaklaşımlarına değinilmiştir.

2.1. ÇİZELGELEMENİN AÇIKLANMASI

Çizelgeleme, imalat ve servis endüstrilerinde çok önemli role sahip bir karar verme prosesidir. Bir firmada çizelgeleme fonksiyonu, matematiksel teknikler veya sezgisel yöntemler kullanarak sınırlı kaynakların görevlere tahsis edilmesi işlemini gerçekleştirir.

Çizelgeleme en genel tanımı ile kısıtlı kaynakların, işlemlere zamana dayalı olarak tahsis edilmesidir(Pinedo 1995) ve hem üretim hem de hizmet sektöründe faaliyet gösteren şirketler için hayati öneme sahip karar verme sürecidir. Şirketler, müşteri taleplerini, müşteriye verdikleri teslim tarihi içerisinde karşılamak zorundadır. Aynı zamanda faaliyetlerini kaynakları etkili kullanacak şekilde tahsis etmelidirler. Ayrıca şiddetli rekabet ortamı, etkili sıralama ve çizelgelemeyi şirketlerin sürdürülebilirliği açısından birincil öneme sahip kılmaktadır.

Çizelgeleme çalışmaları, 20. yüzyılın başlarında Henry Gantt öncülüğünde başlatılmasına rağmen bu konu ile ilgili yayınlar 1950'li yıllarda ortaya çıkmıştır (Johnson 1954; Jackson 1955; Smith 1956). 1960'lara gelindiğinde hatırı sayılır sayıda iş, dinamik programlama ve tam sayılı programlama ile çözülebilir hale gelmiştir. Karp (1972)'in komplekste teorisi üzerine yayımladığı meşhur makaleden sonra 1970'lerde araştırmalar çizelgeleme problemlerinin komplekste hiyerarşisi üzerine odaklanmıştır. 1980'lerde akademik ve endüstriyel alanda stokastik

izelgeleme problemleri ele alınmıştır. Yine aynı yıllarda kişisel bilgisayarların üretim tesislerine girmesi ile gerçek hayat çizelgeleme problemlerini çözecek sistemler geliştirilmeye başlanmıştır (Pinedo 1995). Günümüzde bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerleme çizelgeleme sistemlerini şirketlerin hemen her boyuttaki problemlerini çözme konusunda uygun hale getirmiştir.

Ele alınan problem her işin gerçekleştirileceği makinenin önceden belirli olduğu ve her makinede yalnızca bir işin yapılabildiği bir problem olmasından kaynaklı sıra bağımlı tek makine çizelgeleme örneğidir.

2.1.1. Tek Makine izelgeleme

Tek makine çizelgeleme işlerin sıralı bir şekilde işlem grdğu bir çizelgeleme problemidir. Bu tür problemlerde ilgili makinede işlerin hangi sırada yapılacağı belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu sıralama yapılırken ele alınan problem türüne ve kısıtlara göre sıra değişkenlik gösterir. Amaç genellikle toplam tamamlanma zamanının minimize edilmesidir(Ceylan vd. 2019). Tek makine çizelgeleme probleminde tek bir makinede işlerin hangi sıra ile ele alınacağını belirleyen kurallara öncelik kuralları denilmektedir. Literatüre bakıldığında en sık kullanılan öncelik kuralları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- 1) FIFO(First In First Out): İlk gelen işin ilk işlem grdğu nceliklendirme kuralıdır.
- 2) LPT(Longest Processing Time): Kuyruktaki işlerden en uzun işlem süresine sahip olan işin önceliklendirildiği yöntemdir.
- 3) SPT(Shortest Processing Time): Kuyruktaki işlerden en kısa işlem süresine sahip olan işin önceliklendirildiği yöntemdir.
- 4) SST(Shortest Setup Time): Kuyruktaki işlerden en kısa hazırlık süresine sahip olan işin önceliklendirildiği yöntemdir.
- 5) EDD(Earliest Due Date): Termin/teslim tarihi en erken olan işlerin önceliklendirildiği yöntemdir.
- 6) WSPT(Weighted Shortest Processing Time): Işlem görmek için bekleyen işlerin problemin amaç fonksiyonu baz alınarak ağırlıklandırdığı ve

makinede görecekları işlem süreleriyle oranlanarak kendi aralarında seçildiği yöntemdir.

Aynı anda birden fazla kısıtın olduğu sıralama ve çizelgeleme problemlerinde yukarıda verilen yöntemler kullanılarak optimuma yakın çözümler elde edilemeyebilir. Bu durumda en iyi çözüme ulaşabilmek için meta-sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Ele alınan yüksek lisans bitirme tezi kapsamındaki bu çalışmada da sıra bağımlı, toplam teslim tarihini ve iş geçişleri arasındaki fire miktarını minimize etmeyi amaçlayan bir tek makine çizelgeleme problemi için meta-sezgisel yöntemlerden birisi olan genetik algoritması tekniği ile bir çözüm sunulmuştur.

İlerleyen bölümlerde çizelgeleme yöntemleri ve uygulamada kullanılan genetik algoritma detaylıca anlatılacaktır.

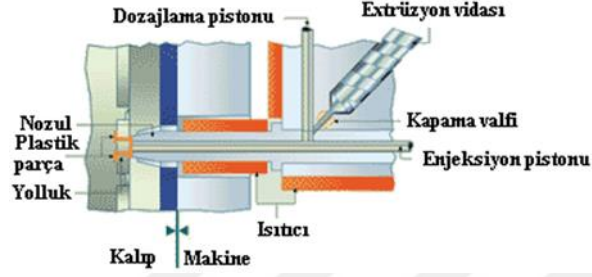
2.2. PLASTİK ENJEKSİYON ÇİZELGELEME

Yüksek lisans bitirme tezi kapsamında ele alınan çalışmanın bu kısmında, çalışmanın yürütüldüğü otomotiv yan sanayiinde faaliyet gösteren Aygersan A.Ş.'nin plastik enjeksiyon üretim sistemine ve plastik enjeksiyon çizelgeleme faaliyetlerine dair bilgiler verilecektir.

2.2.1. Plastik Enjeksiyon Üretim Sistemi

Plastik enjeksiyon üretim sistemi plastik hammaddelerin plastik enjeksiyon makinelerinde eritilmesi ve kalıplar kullanılarak enjeksiyonunun gerçekleştirilerek soğutma yöntemiyle şekil verilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Hayatın her alanında kullanılan plastik parçaların üretilebilmesi için plastik enjeksiyon üretim sistemi kritik öneme sahiptir. İlk olarak 1900'li yıllarda başlanan plastik enjeksiyon üretim sistemi günümüzde her geçen gün önemi artan bir sektör haline gelmiştir. Günlük hayatta sıkca kullanılan televizyon, telefon, mutfak eşyaları, beyaz eşyalar gibi birçok gereç için olduğu gibi otomotiv, savunma, inşaat gibi birçok sektörde de plastik ürünler vazgeçilmez hale gelmiştir.

Plastik enjeksiyon üretimi çeşitli tonajlara sahip enjeksiyon makinelerinde gerçekleştirilmelidir. Bu makineler günümüzde bilgisayarlar ile entegre şekilde çalışmakta olup kullanımı ve takibi kolaydır. Plastik enjeksiyon makineleri üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar mengene, enjeksiyon kısmı ve kalıp bölümüdür. Enjeksiyon makinelerinin kısımları Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2. 1. Plastik enjeksiyon makineleri

Plastik hammadde enjeksiyon makinesinin haznesinesi aracılığı ile makine içerisine alınır. Ardından elektrikli ısıtıcılar vasıtasıyla yüksek sıcaklık uygulanarak eriyik hale getirilir. Eriyik haldeki plastik hammadde iticiler ile mengene bölümündeki şekil verilecek olan kalıplara itilir. Kalıbın içi tamamen eriyik hammadde ile doldurulduktan sonra kalıp basma denilen basınç uygulama adımı yapılarak enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Eriyik hammaddenin kalıp içerisine doldurulması aşamasında kalıptan geriye doğru kaçmasını engellemek amacıyla tutma basıncı uygulanır. Eğer bu basınç doğru miktarda uygulanamazsa ürün üzerinde şekilsel bozukluklar meydana gelebilir. Eriyik durumdaki hammaddenin kalıptan kaçması engellendikten sonra da kalıpta soğutma işlemi uygulanarak hammadde sertleştirilerek istenen ürün elde edilir. Sonrasında ilgili robotik kol veya operator vasıtasıyla kalıpta şekil almış olan plastik parça kalıptan çıkarılır ve makine kapağı kapanarak yeni çevrim başlar.

Günümüz plastik enjeksiyon üretim sistemlerinde genel olarak hat düzeni şeklinde üretim yapılmaktadır. Paralel makineler ve sıralı operasyonlara yakın olacak şekilde makineler yerleştirilmektedir. Makine yerleşimi sonrası hammaddenin depolanacağı ve gerektiğinde makinelere beslenebileceği bir depo yeri belirlenir. Teknoloji ile bütünleşik hale gelmiş plastik enjeksiyon üretimi yapan fabrikalarda genellikle plastik hammadde borularla doğrudan enjeksiyon makinesinin haznesine beslenir.

Böylelikle hem proses akışı sağlanmış olunurken hem de daha ergonomik ve İSG açısından daha az riskli bir üretim fabrikasına ulaşılabilir. Şekil 2.2 de plastik enjeksiyon makinelerine ve hat düzenine dair örnek bir görsel verilmiştir.



Şekil 2. 2. Plastik enjeksiyon makineleri hat düzeni

Plastik enjeksiyonla parça üretimi yapan firmalar müşterilerine fonksiyonel ve görsel açıdan istenilen kriterlerde ürünler göndermekle sorumludurlar. Uygunsuz ürünlerin üretilmesi hem firmanın maliyet-karlılık dengesini bozacak hem de müşteri güvenini sarsacak bir durumdur. Bunun engellenebilmesi de ürüne uygun kalıp ve uygun tonajda uygun özelliklerde enjeksiyon makinesinin belirlenmesi ve operator eğitimleri ile gerçekleştirilmektedir.

2.2.2. Plastik Enjeksiyon Makinelerinin Çizelgelenmesi

Plastik parça üretimi yapan enjeksiyon makinelerinin çizelgeleme problemi literatürde çoğunlukla tek kademe paralel makine problemi şeklinde geçmektedir. Paralel enjeksiyon makinelerine sahip üretim sistemlerindeki çizelgeleme çalışmaları örneklerinde klasik paralel makine çizelgeleme problemlerinden farklı olarak işlerin makinelere atanmalarının yanı sıra üretilen ürünlerin kalıplarının da makinelere atanması gerekmektedir. Bir kalıbın plastik enjeksiyon makinesine bağlanabilmesi için kalıp en ve boyunun makinenin kolon aralığından küçük olması gerekmektedir. Ayrıca yine bir kalıbın bir makineye bağlanabilmesi için kalıp derinliğinin kalıp kapama aralığına uygun olması gerekmektedir. Sonuç itibari ile kalıplar her makineye bağlanamamakta olup, yalnızca teknik olarak uygun makinelere bağlanabilmektedir. Ek olarak aynı kalıp kullanılarak üretilen ürünlerin aynı anda farklı makinelerde üretilmeyeceği gibi bir kısıt da söz konusudur. Ayrıca işlerin fire

miktarı gibi kısıtlardan ötürü de bazı makinelere atanmak istenmeceği durumlar da söz konusu olabilmektedir(Saraç ve Sipahioğlu 2009).

Ele alınan bu yüksek lisans bitirme tezi çalışmasının yürütüldüğü firma üretimini gerçekleştirdiği plastik ürünlerin hangi makine tarafından üretileceğini çalışma öncesinde belirlemiştir. Çünkü farklı tonajlı enjeksiyon makinelerine sahip firmanın ürünleri üretmek için kullandığı kalıplar yalnızca bir makineye uyum sağlamaktadır. Bu sebeplerden ötürü literatürden farklı olarak bir plastik enjeksiyon makineleri çizelgeleme problemini ele alan bu çalışmadaki problem sıra bağımlı hazırlık zamanı ve fire miktarına bağlı tek makine çizelgeleme problemi olarak sınıflandırılmaktadır.

Enjeksiyonla plastik parça üretimi yapan birçok firma gibi çalışmanın yürütüldüğü firma da yan sanayi konumunda olup, ürünlerini sevk ettiği ana sanayi üretici konumundaki müşterilerinin plan ve programlarına uyması firma açısından çok kritiktir. Değişken müşteri isterleri ve siparişlerine hızlı cevap verebilmesi, dönemsel talep dalgalanmalarına ayak uydurabilmesi için üretim planlarının ve oluşturulan çizelgelerin sağlıklı olması çok önemlidir. Firmanın gerekli olan esnekliği sağlayabilmesi için çizelgelerin kısa vadeli periyotlarda yapılması daha sağlıklı olacaktır. Yan sanayi konumunda olan firmanın ana sanayi taleplerini zamanında karşılayamaması durumunda ana sanayi firmasında üretim duruşları yaşanabilecek ve bu durum yan sanayi firmasına hem ek maliyet olarak hem de müşteri güven kaybı olarak yansıyacaktır.

Müşteri taleplerinin dönemsel olarak değişkenlik göstermesi kaynaklı belirli dönemlerde makine yoğunluklarının kapasite üzerine çıkması durumları olabilmektedir. Bu dönemlerde müşteri talebini karşılayamama riskini en aza indirgeyebilmek için öngörülü üretim çizelgelerinin oluşturulması kritiktir. Bu tip riskleri minimize etmek amacıyla ana üretim çizelgesi(MPS) tabanlı çizelgeleme metodu sağlıklı bir yaklaşım olacaktır.

Ele alınan çalışmada ana gündem konularından birisi enjeksiyon makinelerindeki ürün geçişleri esnasında yaşanan firelerdir. Bir ürünün aylık talebinin bir kerede üretilmesi fire miktarlarını azaltırken tüm ürünlerin zamanında sevk edilmesi

gerekliliğinden ötürü uygulanamamaktadır. Enjeksiyon makinelerinde ürün geçişleri esnasında ürünlerin enjeksiyon kalıplarının değişmesi ve ürün renginin değişmesi durumunda makine boğaz temizliğinin yapılması gerekliliklerinden dolayı her üretim başlangıçlarında yeni bir hazırlık zamanı gerektirmektedir. Benzer ürünler arasında geçişte hazırlık süresi boğaz temizliği süresinin kısılmasından dolayı daha az olacaktır. Ayrıca benzer renkteki ürünler arasında yapılacak geçiş fire miktarının da az olacağını ifade etmektedir. Bu sebeple ortaya konulacak çizelgede benzer ürünlerin teslim tarihleri göz önünde bulundurularak mümkün olduğunca sıralı şekilde çizelgeye dahil edilmesi hem toplam tamamlanma zamanını en aza indirgenken hem de geçişler arası fire miktarlarını da minimize edecektir.

Tüm bu kısıtlar göz önüne alındığında çözümü zor ve karmaşık olan plastik enjeksiyon makinelerinin çizelgeleme problemin çözümü için geleneksel yöntemler yetersiz kalabilmektedir. En iyi çözüme en yakın sonuçlar elde edebilmek için literatürde de sıkça karşılaşılan bulanık ve meta-sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Yüksek lisans bitirme kapsamındaki bu çalışmada da meta-sezgisel yöntemlerden birisi olan genetik algoritma tekniğinden faydalanılmıştır. Genetik Algoritma detaylı bir şekilde Bölüm 3’de aktarılacaktır.

2.3. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde ele alınan çalışmanın ana konusu olan plastik enjeksiyon üretim çizelgeleme sistemi zve bu sistemin dahil olduğu problem olan tek makine çizelgeleme sistemi ile uygulanan yöntem olan genetik algoritma ile diğer metasezgisel yöntemler kullanılarak çözüme ulaştırılan çizelgeleme çalışmaları hakkında yapılan literatür taramasına yer verilmiştir.

Kolahan ve Liang(1998) çalışmalarında sıra bağımlı hazırlık sürelerinin söz konusu olduğu ve işlem sürelerinde azaltma ve arttırmanın doğrusal bir maliyet olduğu tam zamanında çizelgeleme problemi için bir yasaklı arama algoritması önermişlerdir. Amaç fonksiyonu, toplam ağırlıklı erken bitirme, gecikme ve toplam ağırlıklı işlem sürelerinde azaltma ve arttırma maliyetlerinin doğrusal bileşimi olarak sunulmuştur.

Ponnambalam vd.(2001) çalışmalarında atölye tipi üretim gerçekleştiren bir sistemin çizelgelenmesini ele almışlardır. Bu çalışmada probleme çözüm sağlayabilecek olan yöntem ve metotlar açılanmıştır. Bu yöntemler arasından genetik algoritma yöntemi seçilmiştir. Algoritmalar C++ diliyle yazılmıştır. Ve gerçek verilerle karşılaştırılarak geçerlilik düzeyi hesaplanmıştır.

Shin vd.(2002) makalelerinde işlerin maksimum gecikmesini en aza indirmek için N adet işi tek bir makineye atayan bir tabu arama algoritması geliştirmişlerdir. Çalışmalarında işlerin bekleme süreleri, bitiş tarihleri ve sıraya bağlı kurulum/hazırlık sürelerinin olduğunu varsaymışlardır. Orijinal tabu arama yöntemini, probleme uygun olacak şekilde değiştirmişlerdir. Çalışmada önerilen tabu arama algoritması iki bölümden oluşmaktadır: verimli bir başlangıç çözümü bulmak için bir MATCS (ayarlarla değiştirilmiş görünür gecikme maliyeti) kuralı ve ilk çözümden neredeyse daha optimal bir çözüm aramak için tabu arama yöntemi. Deneysel sonuçlar, tabu arama algoritmasının diğer algoritmadan daha hızlı daha iyi çözümler elde ettiğini göstermiştir.

Mosheiov ve Sidney(2003) çalışmalarında tek makinede maksimum tamamlanma süresi minimizasyonu probleminin ve toplam tamamlanma süresi minimizasyonu probleminin en kısa işlem süresi (shortest processing time - SPT) yöntemiyle optimum çözüme ulaşacağını göstererek, işe bağımlı öğrenme oranları kullanmışlardır.

Taner vd.(2004) plastik ürünler üreten bir plastik enjeksiyon fabrikasında yaptıkları çalışmada esnek atölye çizelgeleme tabanlı müşteri siparişlerinin sıralanması problemini ele almışlardır. Amacı geciken iş sayısını minimize etmek olan çalışmada plastik enjeksiyon makinelerindeki kalıp değişikliklerini azaltacak ve makine verimliliğini arttıracak şekilde bir çizelgenin ortaya konulması üzerine çalışılmıştır. Problemin çözümünde melez bir metasezgisel bir yöntem önermiştir. Ayrıca internet tabanlı çözüm yaklaşımı da önerilmiştir.

Dastidar ve Nagi(2005) çalışmalarında plastik enjeksiyon tarzı üretim yapan bir firmada parallel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmada

makinelerin farklı kapasitelere sahip oldukları, hazırlık zamanlarının ve maliyetlerin sıra bağımlı olduğu belirtilmiştir. Stok tutma, sonradan karşılama ve hazırlık zamanı maliyetleri en küçükleyerek müşteri siparişlerini siparişlerini karşılayacak en iyi çizelgenin ortaya konulması amaçlanmıştır. Ele alınan problemin çözümü için karma tamsayılı, doğrusal bir model ortaya konulmuştur. Karesel çoklu sırt çantası problemi şeklinde belirtilen önerilen modelde amaç, siparişlerin gecikmesini önleyecek hazırlık zamanlarını en aza indirmek amacıyla da benzer işlerin aynı makinelere atanmasını sağlayacak şekilde iş-makine atamalarının yapılmasıdır.

Choobineh vd.(2006) ele aldıkları sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme probleminde; son işin tamamlanma zamanı, geciken iş sayısı ve toplam gecikme amaçlarını dikkate almışlardır. Bir karma tamsayılı matematiksel model geliştirmişler ve problemin çözümü için çok amaçlı arama algoritması önermişlerdir.

Wang ve vd.(2008) yayınlamış oldukları bir çalışmada çok etmenli bir sistemin genel optimizasyon problemi ele alınmıştır. Bu optimizasyonu sağlamak için çizelgeleme çalışmaları yapılmıştır. Çizelgeleme çalışmasında ise genetik algoritma yaklaşımı kullanılmıştır. İlk olarak genetik algoritma yaklaşımından faydalanılarak sistemin bir modeli oluşturulmuştur. Ardından simülasyon tekniği yardımıyla bu modelin uygulanabilirliği ve etkinliği test edilmiştir.

Saraç ve Sipahioğlu(2009) çalışmalarında tek kademe paralel makine çizelgeleme tabanlı plastik enjeksiyon makinelerinin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Çalışmada farklı renklerde parça üretimi gerçekleştiren bir plastik enjeksiyon üretim fabrikasındaki işlerin toplam tamamlanma zamanının ve ürün geçişleri arasında geçen hazırlık sürelerinin en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Ele alınan bu çalışmada diğer makine çizelgeleme problemlerinden farklı olarak işlerin makinelere atanmasının yanında parçaların üretilmesinde kullanılan kalıpların da makinelere atanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Problemin çözümü için sırt çantası problemini temel alan bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen model GAMS paket çözücüsü kullanılarak çözülmüş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Molaei vd.(2010) çalışmalarında tek makine çizelgeleme problemine odaklanmışlardır. Çalışmada sıralanmak üzere bekleyen işlerin maksimum erken ve geç tamamlanma iş sayısının minimize edilmesi amacı ile dal sınır algoritması tekniği uygulanmıştır. Ayrıca çalışmada Moor algoritmasından da faydalanılmıştır.

Saraç (2011) yaptığı çalışmada NP-zor sınıfında yer alan sıra bağımlı hazırlık süreli, son işin tamamlanma zamanını ve toplam gecikmeyi en aza indirmeyi amaçlayan tek makine çizelgeleme problemini ele almıştır. Çalışmada problemin çözümü için ilk olarak, SST (en kısa hazırlık süresi) sıralama kuralının ağırlıklandırılmış hali olan yeni bir sıralama kuralı (WSST) önerilmiştir. Bu sıralama kuralı, literatürde yer alan EDD (en küçük teslim zamanı), SST ve ATCS (Apparent Tardiness Cost with Setups) sıralama kurallarıyla karşılaştırılmıştır. Cheng vd. (2011) çalışmalarında maksimum gecikmeyi ve hazırlık süresini en aza indirmek için işleri ve hazırlık sürelerini en aza indirgeyecek tek makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problemi çözmek için sıra bağımlı bir algoritma ortaya koymuşlardır. Hesaplamalı deneyler, algoritmanın bin işe kadar olan örnekleri makul sürede çözebileceğini göstermiştir. Kır (2011) çalışmalarında, sıra bağımlı hazırlık zamanlı tek makineli çizelgeleme problemlerinin, farklı teslim tarihli ve farklı erken ve geç bitirme cezalarının olduğu durumlar üzerinde çalışmışlardır. Problemden tek makine üzerinde çizelgelenmesi istenen işlerin her birinin hazırlık zamanları, kendisinden bir önceki işe bağlı olarak değişmektedir. Burada amaç yasaklı arama algoritmasının genetik algoritma için bir başlangıç çözümü oluşturması, genetik algoritmanın da bu çözümü iyileştirerek en iyiye en yakın nihai çözümü elde edebilmesidir. Bu aşamadan sonra, algoritmalar kodlanarak, en iyi çözümü bilinen küçük boyutlu problem verileriyle çeşitli testler yapılmıştır. Bu testlerin asıl amacı, algoritmanın çözüm performansını en iyiye çekebilecek parametreleri elde ederek, çözümü bilinmeyen büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanmaktır.

Kayacı ve Yiğit(2012) üretim planlamada önemli bir yer tutan çizelgeleme problemleri ile ilgili yaptıkları çalışmada işlerin işlem zamanları ve teslim tarihleri sabit kabul edilerek, NP-zor yapıda olan bir problemi çözmek için model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modeli bir örnek üzerinde uygulamışlardır. Çalışmada bulanık işlem zamanlı ve teslim tarihli öğrenme etkili tek makine

izelgeleme problemi ele alınmıştır. Karimi vd.(2012) alışmalarında esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri için değişken komşuluk arama algoritması ismini verdikleri bir algoritma önermişlerdir. Ortaya koydukları algoritmada tüm aramalar restgele olduğundan dolayı bilgi modülü kullanmışlardır Kullandıkları bilgi modülü sayesinde algoritmayı daha verimli hale getirmişlerdir. Birgina ve Ronconib(2012) alışmalarında farklı üretim sürelerine sahip işlerin teslim tarihi kısıtları altında çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Toplam tamamlanma zamanının minimize edilebilmesi için sezgisel bir yöntem önermişlerdir. Alvarez-Valdes vd.(2012) bir makinede işlem gören kuyruktaki işlerin erken ve geç tamamlanmalarının en küçüklenmesini amaçlamışlardır. Ele aldıkları problemin çözümü için iki kuadratik tam sayılı programlama modeli ortaya koymuşlardır.

Gholamia ve Sotskov(2013) yayınladıkları makalede özdeş ve paralel makineler arasında oluşan planlama ve zamanlama sorunlarını çözmek istemiştir. Sorunu çözmek için oluşturulan model önce tasarlanmış sonra geliştirilmiştir. Modelde oluşan uyumazlıklar için ağırlıklı karma grafik modeli kullanılmıştır. zmler önerdiği uyarlamalı algoritma örnekleri üzerinde test edilmiştir. Wang vd.(2013) ele aldıkları esnek atölye tipi çizelgeleme problemini çözmek amacıyla hibrit bir yapay arı kolonisi algoritması üzerine çalışmışlardır. alışmalarında Taguchi'nin deney tasarımı yönteminden faydalanarak parametre değerlerinin uygunluğunu test etmişlerdir. Mousakhani(2013) sıra bağımlı hazırlık süreli esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinde toplam gecikmeyi minimize eden bir çalışma ortaya koymuştur. Bu amaç için öncelikle karışık tam sayılı doğrusal programlama tabanlı bir matematiksel model önermiştir. Bu modelin etkinliğini literatürde yer alan diğer modellerle kıyaslayarak kanıtlamıştır. Ardından meta-sezgisel tabanlı yinelenen yerek arama metodu kullanan bir model daha önermiştir. Ve son olarak çalışmasında yaptėı kıyaslamalarda en iyi sonuçlara meta-sezgisel tabanlı algoritma ile ulaştığını belirtmiştir. Thammano ve Phu-ang(2013) ele aldıkları çalışmada bir üretim sisteminde yer alan işlerin üretim makinelerine atanması problem için yapay arı kolonisi algoritması ile yerel arama algoritmasının bnleşik halini sunmuşlardır. Ayrıca çalışmalarında tavlama benzetimi algoritmasını da kullanarak yerel optimum noktalara denk gelmemeyi amaçlamışlardır. Ortaya koydukları algoritmanın performansını geliştirmek amacıyla da çaprazlama operatörleri kullanmışlardır.

Demir ve İşleyen(2014) IEEE veri tabanında yayınladıkları makalede iş çizelgeleme sorunun bir uzantısı olan esnek iş çizelgeleme problemi(FJSP) metodu kullanarak makinelerinde oluşan yoğunluk ve gecikmeyle doğan maliyeti aza indirmeye çalışmışlardır. Yapılan çalışma iki adımda gerçekleştirilmiştir. Birinci adımda yeni bir matematiksel model kurulup geliştirilmiştir. İkinci adımda ise bir genetik algoritma metodu oluşturulmuş ve geliştirilmiştir. Kurulan iki model ve mevcut sistem arasında kıyaslamalar yapılmıştır. Önerilen modellerin mevcut sisteme göre daha az yoğunlukta ve daha az maliyetli olduğu gözlenmiştir. Hasanis vd. (2014) yayınladıkları makalede set-up süreleri ile ilgili paralel makine işlerinin bir dizi zamanlama sorununu dikkate almıştır. Amaç; boşa kalma sürelerini en aza indirmektir. Oluşturulan model karma tamsayılı programlama ile formüle edilmiştir ve sezgisel algoritma yöntemiyle çözülmüştür ve 100.000 örnekle test edilmiştir. Önerilen modelin mükemmel bir performans gösterdiği görülmüştür. Kaya(2014) çalışmasında işlerin toplam tamamlanma süresini en aza indirgeyen karma tam sayılı doğrusal programlama temelli bir model ortaya koymuştur. Kurduğu modelin çözümünde genetik algoritma kullanmıştır. Abdullah ve Nezhad(2014) çalışmalarında üretim sistemimde yer alan sıra bağımlı işlerin toplam tamamlanma zamanını minimize etmeyi amaçlayarak optimum çözüme en yakın çözümler üreten akıllı bir problem çözme tekniği önermişlerdir. Ortaya koydukları teknik sayesinde başlangıç popülasyonundan itibaren en iyi çözümü gözlemleme kabiliyetlerinin olduğunu belirtmişlerdir. Geliştirmiş oldukları tekniği çalışmalarında literatürde yer alan diğer algoritmalarla kıyaslamışlar ve optimum çözüme en yakın çözümü kendi geliştirdikleri algoritmanın verdiğini kanıtlamışlardır. Li vd.(2014) çalışmalarında bakım faaliyetlerinin tamamlanma zamanını, personel ve makinenin toplam iş yükünü minimize etmeyi amaçlayan bir model ortaya koymuşlardır. Tabu arama ve yapay arı kolonisi algoritmasını kullanarak ortaya koydukları çözümleri birbirleriyle kıyaslamışlardır.

Souissi, O. vd.(2016) çalışmalarında önleyici bakım arızaları hatalarını dikkate alan tek makine çizelgeleme problemini konu almışlardır. Bu yazıda, karma bir tamsayı programı ile iyi bilinen LPT (önce en uzun işlem süresi) buluşsal yöntemini bir araya getiren karma bir yaklaşım önerilmiştir. Stokastik başarısızlıkları ele almak için bir

simülasyon yaklaşımı da önerilmiştir. Özer ve Köksal (2016) çalışmalarında, elektroteknik ürünler üreten bir fabrikada yer alan enjeksiyon makinesinden alınan bir haftalık verilerle, tek makine için mevcut sıralama ve çizelgeleme metotlarının kullanımı ile hammadde ve renk matrisi oluşturularak yapılan bir çizelgelemenin sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışmada ele alınan problem sıra bağımlı ve hazırlık zamanlıdır. Metotlar arasındaki karşılaştırmalar LEKIN programından yararlanılarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda hammadde ve renge bağlı bir sıralama ve çizelgeleme yöntemi oluşturulmuştur. Ben-Yehoshua ve Mosheiov (2016) çalışmalarında işlerin toplam tamamlanma süresini minimize etmeyi amaçladıkları tek makineli çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problemin çözümü için dinamik programlama algoritması kullanmışlardır.

Che vd.(2017) çalışmalarında tek makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Kuyrukta bekleyen işlerin toplam tamamlanma zamanını minimize etmenin yanında makinenin harcadığı toplam enerji tüketimini de minimize etmeyi amaçlamışlardır. Ortaya koydukları problemi karma tam sayılı programlama ile modellemişlerdir. Çözümünde ise ϵ - yöntemini kullanmışlardır.

Perez-Gonzalez Frminan (2018) son işin tamamlanma süresini minimize etmeyi amaçladıkları çalışmalarında tek makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Karma tam sayılı programlama tekniğiyle modelledikleri problemin çözümü için sezgisel yöntemlere başvurmuşlardır. Arık ve Toksarı (2018) çalışmalarında bulanık ortamdaki tek makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Ortaya koydukları problemin çözümü için bulanık karma tamsayı doğrusal olmayan bir matematiksel model sunmuşlardır. Çalışmadaki işlem süreleri, öğrenme etkisi ve bozulma etkisi belirsiz oldukları için ortaya konulan modelde bulanık sayılar kullanılmıştır. Problemin çözümü için ise bulanık şans kısıtlı programlama tekniği kullanılmıştır.

Ceylan vd.(2019) çalışmalarında beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın boyahane bölümündeki işlerin en uygun şekilde sıralanmasını amaçlamışlardır. Sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme örneği olan bu problemde son işin tamamlanma zamanını ve toplam gecikme süresini en aza indirmeye çalışacak hedef programlama modeli geliştirilmiş ve GAMS/CPLEX

programında çözülmüştür. Çalışmada ortaya koydukları hedef programlama tabanlı model ile literatürde yer alan çizelgeleme de kullanılan önceliklendirme kuralları (SPT, LPT, EDD, FIFO) karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Toksarı ve Atalay (2019) çalışmalarında maksimum tamamlanma zamanı ve iş reddetme maliyeti minimizasyonlu ve toplam tamamlanma zamanı ve iş reddetme maliyeti minimizasyonlu olmak üzere iki amaç fonksiyonlu tek makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Ortaya koydukları matematiksel modeller LINDO programı ile çözmüşlerdir.

Saraç ve Bilgiçer(2020) çalışmalarında sıra bağımlı hazırlık sürelerinin olduğu tek makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Son işin tamamlanma zamanının, toplam gecikmenin ve toplam erken tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amaçlarıyla ortaya koydukları modelin çözümü için genetik algoritma ve NSGA-II algoritması önerilmiştir. Ek olarak literatürde yer alan önceliklendirme kurallarından bazıları da uyarlanarak algoritma başarısı arttırılmaya çalışılmıştır. Damayanti vd.(2020) çalışmalarında, otomotiv sektöründe bir vaka çalışması yapmışlardır. Montaj hattı dengeleme problemi için öncelik kural tabanlı sezgisel yöntem ve genetik algoritma kombinasyonu kullanarak çözüm aramışlardır. En iyi çözümü genetik algoritma ile elde ettikleri kanısına varmışlardır. Taştan ve Eker (2020) çalışmalarında sınav çizelgeleme problemine genetik algoritma ile çözüm bulmayı amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda sınav çizelgeleme problemini genetik algoritma yöntemiyle çözen bir web uygulaması geliştirmişlerdir. Problemin çözümünü ve uygulamanın geliştirilmesini basitleştirmek amacıyla sınavları belirli tarih aralığına atayan bir genetik algoritma oluşturmuşlar ve bu yerleştirilen sınavları sınıflara atayan ikinci bir genetik algoritma oluşturarak problemin iki aşamada çözülmesini sağlamışlardır. Elde edilen sonuçlar genetik algoritmanın sınav çizelgeleme problemini belirlenen kısıtları sağlayarak en kısa sürede başarılı bir şekilde çözebildiğini göstermiştir. Muştı (2020) çalışmalarında değişken işlem ve ayar sürelerinin olduğu iki farklı tek makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Öncelikle sıra bağımlı ayar süreleri ve pozisyona bağlı öğrenme etkisi olan toplam gecikme problemini tanımlamışlardır. Bu NP-zor problemin kesin çözümü için dalsınır algoritması, yaklaşık çözümleri için ise iki adet genetik algoritma, iki adet değişken komşu arama algoritması kullanmışlardır. Genetik algoritmanın uygunluk

fonksiyonuna tavlama benzetimindeki sıcaklık parametresi ve değişken komşu arama algoritmasının karıştırma operatörüne de baskınlık kuralları ilave ederek fonksiyonları artırılmıştır. Rastsal olarak üretilen problem örnekleri ile yapılan uygulamalar sonucunda, çözüm metotlarının performansları değerlendirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda dal-sınır algoritmasının küçük boyutlu problem örneklerini makul sürelerde çözebildiğini, genetic algoritmaların ise yaklaşık çözümleri elde etme konusunda daha başarılı olduğunu göstermişlerdir.

Bektur(2021) çalışmasında plastik parça üretimi yapan bir firmada tek makine çizelgeleme problemini ele almıştır. Çalışmada makine enerji tüketim miktarlarını ve geciken iş sayısını en küçükleme hedeflenmiştir. İşler sıra bağımlı hazırlık süresine sahip olup, bir işin hazırlık süresi kendinden önceki işe bağımlıdır. Ele alınan problemin çözümü için matematiksel model sunulmuştur. Ortaya konulan problemin çözümünde ϵ - kısıt yöntemi kullanılmıştır. İkinci bir yöntem olarak da çok amaçlı sezgisel bir algoritma önerilmiştir. Kılıç (2021) çalışmasında bir savunma sanayi fabrikasında tek modellen bir uçak komponenti montaj hattını ele almıştır. Yaptığı iş etüdü çalışması ile ele alınan tek modellen uçak komponenti montaj hattında gerçekleştirilecek operasyonların hangi sıra ile gerçekleşeceğini belirlemiştir. Operasyon sürelerinin,operatörün beceri düzeyi ile ilişkili olduğunu dikkate alarak problem için bütçe kısıtlı montaj hattı çevrim süresini en küçükleme amaçlayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Belirlenen kısıtlar ve varsayımları göz önüne alarak, görevler arası öncelik ilişkisi sağlanacak şekilde, çevrim süresini en küçükleme amaçlayan matematiksel modelin doğruluğu küçük ölçeklerdeki problem verileriyle GAMS programında en iyi çözüm elde edilmiştir. Büyük ölçekteki gerçek hayat verileri, Python programı aracılığıyla geliştirilen genetik algoritma ile en iyiçözüme ulaşılmıştır. Böylelikle en küçük çevrim süresi amaçlanan uçak komponenti montaj hattında, hangi istasyonda hangi operasyonunun yapılacağı ve hangi operasyonda hangi operatörün iş yapacağı belirlenmiştir. Çiçekli ve Zilci (2021) çalışmalarındada, endüstriyel ürün üretiminde faaliyet gösteren bir fabrikanın çok fonksiyonlu makinalardan oluşan üretim hattının optimizasyonu problemini ele almıştır.Bu çalışmada ilk olarak üretim modeli oluşturulmuş, sonrasında ise genetik algoritma kullanılarak oluşturulan optimizasyon modeli ile çizelgeleme problemi çözülmeye çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda planlama gerekinimleri hızlı şekilde

değişkenlik gösteren bir üretim hattında kullanılabilecek karar destek sistemi geliştirilmiş, üretim koşullarında hızlı karar alma ihtiyacı gerektiren durumlarda elle hazırlanabilecek planlardan daha hızlı ve kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. Dinçer, vd. (2021) çalışmalarında bir conta fabrikasındaki yeniden dolaşım ve makine uygunluk gibi sürece özgü kısıtların bulunduğu bir esnek atölye tipi çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmadatoplam enerji tüketimini ve toplam ağırlıklı tamamlanma zamanını en küçükleme için çok amaçlı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modelin performansı, GAMS/Cplex çözücüsünde küçük ölçekli test problemleri ve fabrikadaki gerçek hayat problemleri kullanılarak test edilmiştir.

Literatüre bakıldığında plastik enjeksiyon makinelerinin çizelgelenmesi ile ilgili az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmında plastik enjeksiyon makinelerini tek makine çizelgeleme sınıfında kabul ederek geleneksel yöntemler ile çözüm aranırken, bazı çalışmalarda ise plastik enjeksiyon çizelgeleme problemini çok makine çizelgeleme sınıfında kabul ederek metasezgisel yöntemler uygulanmıştır. Ele alınan bu çalışmanın literatürdeki diğer plastik enjeksiyon makineleri çizelgelenmesi çalışmalarından en temel farklı metasezgisel yöntemlerden genetik algoritma yöntemi kullanılmış olmasıdır. Çalışmanın bu özgünlüğünün yanı sıra literatüre plastik enjeksiyon makinelerinin ortaya çıkan fire miktarlarını minimize etmeyi amaçlayarak çizelgelenmesi yönü ile de bu alanda literatüre katkıda bulunduğu söylenebilir.

2.4. ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Doğrusal programlama, tam sayılı programlama, karışık tam sayılı programlama, doğrusal olmayan programlama, ağ modelleri, dinamik programlama ve sezgiseller bu yöntemlerin başlıcalarıdır.

2.4.1. Doğrusal Programlama

Optimize edilmesi gereken problemler karşısında kullanılan doğrusal programlama yöntemi 1948 yılında Dantzig tarafından askeri operasyonların planlanması çalışması

ile ortaya konulmuştur. Dantzig 2002 yılındaki çalışmasında da doğrusal programlama çalışmalarının kendisinden önce de yapıldığını ancak sistematik olarak ilk kendisinin ortaya koyabildiğini belirtmiştir.

Doğrusal programlama yöntemi problemler karşısında sunulan en basit ve en eski optimizasyon yöntemidir. Bu yöntemde minimizasyon veya maksimizasyon türü problemler için ilk olarak bir amaç fonksiyonu oluşturulmaktadır. Ardından bu amaç fonksiyonuna etki eden kriterler eşitlik veya eşitsizlikler şeklinde ortaya konulmaktadır. Doğrusal programlamada karar değişkenlerinin problemdeki kısıtları sağlaması gerekmektedir. Doğrusal programlama problemlerinde karar değişkenleri sadece pozitif bir değer alabilmektedir. Aşağıda örnek bir doğrusal programlama amaç fonksiyonu ve kısıtlarının yazılış şekli olan örnek bir model verilmiştir.

$$Z_{\text{enb/enk}} = \sum_m^t C_m * X_m$$

Kısıtlar,

$$\sum_m^t a_m * X_m \leq N$$

$$\sum_m^t b_m * X_m \geq K$$

$$X_m \geq 0$$

X_m karar değişkenlerini, C_m n değişkenin amaç fonksiyonu katsayısını, a_m ise ilgili kaynağın n değişkeni katsayısını ifade etmektedir.

2.4.2. Tam Sayılı Programlama

Problem türlerine göre bazen çözümün tam sayı olması gereken durumlar olabilmektedir. Bu durumlarda problem çözerken doğrusal programlama yerine tam sayılı programlama kullanılmaktadır. Tüm karar değişkenlerinin tam sayılı olması istenen durumlarda saf tam sayılı programlama, tam sayılı karar değişkenlerinin yanı sıra bir grup karar değişkenlerinin herhangi bir değer alması mümkün olan durumlarda ise karışık tam sayılı programlama yöntemi kullanılmaktadır. 1958 yılındaki çalışmalarıyla R.E. Gomory tam sayılı programlamayı literature kazandıran

isim olmuştur. Gomory gezgin satıcı problemi üzerine çalışmalar yapmıştır. 0 ve 1 lerden oluşan Tam sayılı programlama türüne ise ikili tam sayılı programlama denilmektedir. Dal sınır algoritması da pratikliği ve kullanışlı olması sebebiyle sık kullanılan bir tam sayılı programlama tekniğidir. Dantzig 2002 yılındaki çalışmasında dal sınır ve kesen düzlemler yöntemlerinden oluşan hibrit bir algoritmanın en etkin tam sayılı programlama yöntemi olduğunu ortaya koymuştur.

Bu tarz programlamada doğrusal programlamadan farklı olarak problemin modeline karar değişkenlerinin tam sayılı değer alabilmesi için de kısıtlar eklenmektedir. En yaygın kullanılan tam sayılı programlama yöntemi ise 0 ve 1 lerin oluşturduğu yöntemidir. Aşağıda örnek bir tam sayılı programlama modeli verilmiştir.

$$Z_{\text{enb/enk}} = \sum_n^t \cdot C_m * X_m$$

Kısıtlar,

$$\sum_m^t \cdot a_m * X_m \leq N$$

$$\sum_m^t \cdot b_m * X_m \geq Z$$

$$X_m \geq 0$$

- a. Saf tam sayılı programlamada;
 $X_m \geq 0$ ve tam sayı
- b. Karışık tam sayılı programlamada;
 $X_m \geq 0$ ve X_1, X_2 tam sayı
- c. 0-1 tam sayılı programlamada;
 X_m 0 veya 1

2.4.3. Dinamik Programlama

Fazla sayıda değişken içeren problemlerde doğrusal programlam ya da tam sayılı programlama yöntemi kullanılamamaktadır. Bu tip problemlerde büyük ve karmaşık problemler için küçük parçalara bölerek çözüme ulaştırılması amacıyla dinamik programlama kullanılmaktadır. Bu çözüm yönteminin dinamik adını almasının

başlıca sebebi problemdeki zaman değişkenini açık olarak ele almasıdır. 1954 yılında Richard Bellman tarafından yapılan çalışma, dinamik programlama yönteminin literatüre girmesini sağlayan çalışmalardandır.

Dinamik programlama isminden de anlaşılacağı üzere sisteme sürekli girdinin sağlanabildiği bir yöntemdir. Bu yöntem değişken talep altındaki problemlerde, yeniden siparişleme problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Dinamik programlama ileriye doğru yapılabileceği gibi geriye doğru da yapılabilmektedir. Her iki çözümde de her adımın optimum çözümü bir sonraki adıma taşınarak sonuca ulaşmak hedeflenir. Bu yöntemin kullanıldığı problemlerden bazıları şöyledir (Tütek ve Gümüsoğlu, 1994);

2.4.4. Stokastik Programlama

1959 yılında ortaya koydukları çalışma ile literature kattıkları stokastik programlama ile Charnes ve Cooper belirsizlik altındaki problemlerin çözümüne ulaşmayı amaçlamışlardır. Charnes ve Cooper çalışmalarında Gans kısıtını ortaya koyarak literatüre önemli bir katkı yapmışlardır.

Stokastik programlamada, amaç fonksiyonu ve kısıtlar rastgele değişkenlere bağlıdır. Bu programlamayla mevcut kısıtlar altında amaç fonksiyonunu en yüksek seviyede sağlayan değişkenin belirlenmesidir.

2.4.5. Benzetim

Benzetim yöntemi çözüme kavuşturulmak istenen sürecin modellenmesi ve sürecin takip edilebilmesini amaçlayan bir optimizasyon yöntemidir. Bu yöntemde kurulan modelde kolaylıkla değişiklik yapılabilmektedir. Benzetimle ele alınan sürecin geleceği ile ilgili öngörü bir model ortaya konulmaktadır. Bu açıdan bakıldığında özellikle de diğer optimizasyon yöntemleri ile model kurulamayan veya doğrudan çözüme ulaşılamayan problemler için oldukça önemli ve etkili bir yöntemdir.

Literatüre bakıldığında benzetim yönteminin diğer optimizasyon yöntemlerine kıyasla avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Benzetimin avantajları ve dezavantajları Çizelge 2.1’de verilmiştir(Law ve Kelton, 1991).

Çizelge 2. 1. Benzetimin avantajları ve dezavantajları

<i>Avantajları</i>	<i>Dezavantajları</i>
• Esnektir.	• Sonucu kesin değildir.
• Çok alternatifli durumlarda çözüm sunar.	• Masraflıdır.
• Birden fazla kriter dahil edilebilir.	• Belirsizlik içermeyen durumlarda kullanımı yoktur.
• Sorumlu kişini mutlak hakimdir.	

2.4.6. Metasezgisel Yöntemler

Metasezgisel kavramı, kelime anlamı itibariyle “Meta” ve “Sezgisel” kelimelerinin birleşiminden türetilen bir kavramdır. “Meta” Latince ya da Yunanca ‘da kullanıldığı bilinen ve birlikte, -den, ortasında, -den sonra anlamlarına gelen bir kelimedir. Sezgisel kavramı ise “Heuristic” olarak İngilizceye geçen Almanca kökenli bir kelime olup, keşfetme, bulma anlamını taşımaktadır. Bir arada kullanıldığında ise, kullanıcı tanımlı bir takım kurallar ya da prosedürler yardımıyla hesaplama yapabilen ve problem çözen yaklaşımlar bütünü olarak tarif edilebilmektedir. Birçok problem tipinde kullanılabilen metasezgisel yöntemler proje çizelgeleme alanında da kullanılabilir.

Son yıllarda, özellikle büyük çaplı teknik projeler; rekabetin güçleştiği, kar marjının çok fazla arttırılamadığı, üretim süreçleri olarak yapılanmaya başlamıştır. Buralarda sağlanacak iyileştirmeler; atölye tipi, akış tipi ya da proje tipi üretime benzetilebilmektedir (Merkle ve Middendorf 2000). Birçok faaliyetin es zamanlı olarak yürütüldüğü bu tip projelerin işlem zamanları ve kaynak kullanımları

bakımından meta sezgisel yöntemler kullanılarak optimize edilmesi, üzerinde çalışılan konulardandır (Brucker ve diğerleri 1999).

Bu tip optimizasyon problemleri NP-zor problemler olduğundan çok çeşitli sezgisel yöntemlerle çözülebilmektedir. Bu tür problemlerin bir öncelik ilişkileri sezgiseli ile çözümü üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalara ilişkin kıyaslamalar sezgisel yöntemler arasındaki benzerlik ve farklılıklar üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Hartmann ve Kolisch 2000).

İlk olarak karınca kolonilerinin incelenmesiyle bir takım meta sezgisel yöntemler bu tür problemlerde kullanılmaya başlanmıştır (Dorigo ve Di Caro 1999). Bu alanda çizelgeleme çalışmaları akış tipi, atölye tipi ve tek makine gecikme problemlerine uygulanmıştır (Bauer ve Diğerleri 1999).

Konuyla ilgili en etkili algoritmalar; Brucker, Demeulemeester, Mingozzi tarafından geliştirilen algoritmalar (Demeulemeester, ve Herroelen 1997). Yeni notasyonlarla düzenlenen çalışmalar yapılmıştır (Mingozzi ve diğerleri 1998).

Kullanılacak yöntemlerle elde edilen mümkün en iyi sonuçlar, ikili ve üçlü iyileştirmelerle lokal optimumların bulunmasına ve böylece global optimuma katkı sağlanması hedeflenmektedir. Pek çok proje ve üretim problemlerinin, optimize edilmesinde aşağıda sunulan meta-sezgisel yöntemler kullanılmaya başlamıştır.

2.4.6.1. Genetik Algoritmalar

Genetik Algoritmalar (GA) temel olarak evrimsel sürecin simülasyonudur. Eşeyli üreme sürecinde yeni birey, iki ayrı ebeveyn bireyden oluşur. Yeni birey (çocuk birey) ebeveynlerine hem benzer hem de farklıdır. Üreme sürecinde temel olarak iki ayrı mekanizma isler; çaprazlama ve mutasyon. Çaprazlama, yeni bireyin genetik özelliklerinin belirlenmesinde ebeveyn bireylerin etkili olmasıdır. Mutasyon ile yeni bireyin genetik özelliklerinde değişimler olur. Böylece yeni birey hem ebeveynlerinden farklı hem de onların bazı özelliklerine sahiptir. Yeni birey, ebeveynlerinden, yasama alanı için, iyi ve güçlü özellikler almışsa, kötü ve zayıf

özellikleri almış olan diğer bir çocuk bireye göre doğal olarak daha fazla yasama sansına sahip olacaktır. Yasama sansı fazla olan birey daha fazla ihtimalle üreme sürecine dâhil olacak ve özelliklerini çocuklarına aktaracaktır. Böylece popülasyon içerisinde iyi ve güçlü özelliklere sahip bireylerin sayısı artacaktır.

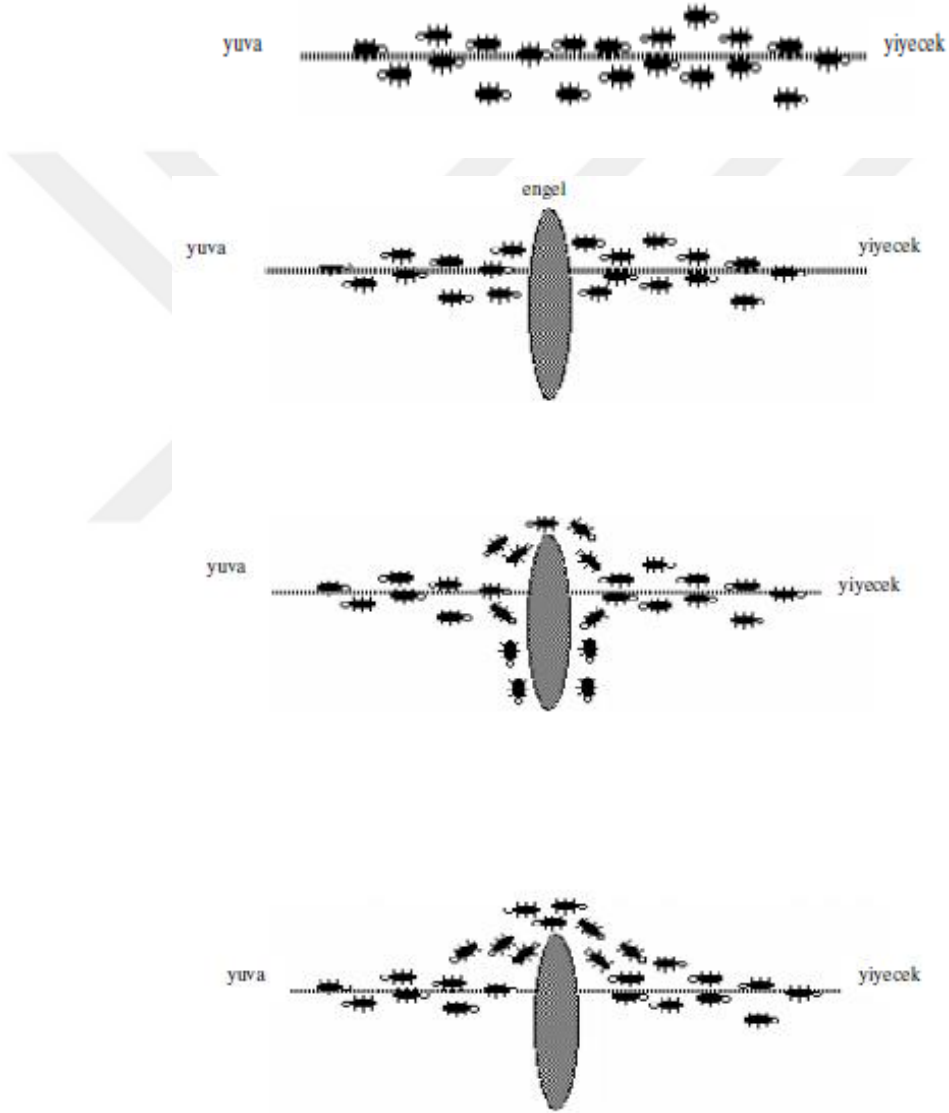
Evrimsel süreç ile Genetik Algoritmalar benzeşimi, optimizasyon alanında kullanılmak üzere ilk olarak J.H. Holland (Psikolog ve bilgisayar bilimleri uzmanı) tarafından 1975 yılında ortaya konmuştur. Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek oluşturulan ve evrimsel hesaplamanın bir parçası olan GA ile problem çözümü, problemin sanal olarak evrimden geçirilmesiyle sağlanmaktadır. GA geleneksel yöntemler ile çözümü zor veya imkansız olan, çözüm uzayının çok büyük olduğu problemlerde kullanılmaktadır. Çözüm uzayının taranması geleneksel metotlarla çok uzun sürebilmektedir. GA ile kısa bir sürede optimuma yakın ve kabul edilebilir sonuçlar bulunabilmektedir.

Genetik algoritma 3. Bölümde ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

2.4.6.2. Karınca Sistemleri

Kombinatorial optimizasyon problemlerine çözüm bulmak amacı ile karınca kolonilerini davranışlarının taklit edilmesi yaklaşımı Colorni ve diğerleri tarafından 1991 yılında ortaya konulmuştur. Çözüme ulaşmada karıncaların yiyecek bulma ve yuvaya dönme davranışları temel alınmıştır. Görme yetenekleri olmayan karıncalar yiyecek aramaya çıktıklarında öncelikle yuvalarının etrafında rastgele arama yapmaktadırlar. Karıncalardan biri yiyecek bulduğunda önce miktar ve kalite açısından yiyeceğin faydasını ölçer ve bir kısmını yuvaya taşır. Yuvaya dönüş yolunda karınca yiyeceğin faydasına bağlı oranda yola kimyasal bir iz bırakır. Bu iz diğer karıncalara aynı yiyeceğe ulaşmada rehberlik eder. Yiyeceğe ulaşan karınca miktarı arttıkça dönüş yoluna bırakılan iz miktarı da artar. Yuvaya yakın olan yiyeceklere daha çok karınca ulaşabileceğinden bu yiyecek kaynaklarının yolları üzerindeki iz miktarı da fazla olur. Karıncalar Seki 2.3 de gösterildiği gibi daha önce kullandıkları bir yol üzerinde yeni bir engel ile karşılaştıklarında engelin etrafından dolaşmayı denerler. Engel ile ilk karşılaşan karıncalar eşit olasılıkla engelin

sağındaki veya solundaki yolu tercih eder. Ancak kısa olan yolu tercih eden karıncalar engeli daha çabuk geçerek daha önce kullandığı yola ulaşacağından kısa yol üzerinde daha uzun yola göre daha fazla iz oluşur ve engelle yeni karşılaşan karıncalar da izler sayesinde yapılan bu olumlu geri besleme (autocatalytic) ile kısa yolu daha fazla olasılıkla tercih etmeye baslar. Sonuç olarak karıncalar yiyecek arama işlerinde bir optimizasyon sağlamışlardır.



Şekil 2. 3. Karıncaların yiyecek kaynağına ulaşma ve yuvaya dönme hareketi

Karıncalar kolonilerinin doğal davranışlarının incelenmesi neticesinde ortaya çıkan bulgular, Karınca Kolonileri Optimizasyonu meta-sezgiseli için doğal bir esin kaynağı olmuştur. Karınca Kolonileri Optimizasyonu karınca kolonilerinin bir

simülasyonu değil, yapay karıncaların bir optimizasyon aracı olarak kullanılmasıdır. Yapay karıncaların gerçeklerinden farklı nitelikleri; hafızaları olması ve tamamen kör olmamalarıdır (Dorigo, Maniezzo, ve Colorni 1996).

Karınca kolonileri optimizasyon yöntemini ilk defa kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde kullanan Merkle'dir. Seri çizelgeleme ve en geç bitiş zamanı öncelik kuralına dayanarak çözüm üreten bu yaklaşımda, feromon olarak bilinen kimyasal izler matrisi oluşturmuştur. Bu matriste iyi çözümler bulunduğunda kimyasal iz miktarı artırılmaktadır (Merkle, Middendorf ve Schmeck 2002).

2.4.6.3. Tavlama Benzetimi

Metallerin soğuyarak minimum enerjili kristal yapıda donmaları (tavlama süreci) olayından esinlenilerek ortaya konulmuş olan bir meta-sezgisel yöntemdir. Tavlama Benzetimi (TB) problem çözümünü tepelerin üzerinden zıplayarak vadiler arasında dolayan bir top mantığı ile ele alır. Sıcaklık yüksek olduğunda top yüksek tepelerin üzerinden zıplayabilir ve istediği vadiye ulaşabilir. Sıcaklık düştükçe topun dolaşma alanı küçülecektir çünkü etrafındaki tepeleri aşması için yeterli yüksekliğe zıplayamayacaktır. Geliştirme dağılımı olası keşfedilecek vadileri oluşturur. Kabullenme dağılımı ise keşfedilecek vadinin değeri ile daha önce keşfedilmiş olan en alçak vadinin değerlerini karşılaştırır. Kabullenme dağılımı yeni ulaşılan vadiye kalınmasına ya da zıplayarak vadinin terk edilmesine olasılıklı olarak karar verir. Geliştirme ve kabullenme dağılımları sıcaklığa bağlıdır. TB algoritması, birbirlerinden bağımsız olarak, Kirkpatrick, Gelatt ve Vecchi (1983) ile Cerny (1985) tarafından hemen hemen aynı yıllarda önerilmiş ve literatüre girmiştir.

Soğuma dikkatlice kontrol edilebildiğinde TB'nin global optimumu sonsuz zamanda bulabileceği ispatlanmıştır. Global optimumu uygun bir zaman içerisinde bulabilmek için Hızlı Tavlama (Fast Annealing), Çok Hızlı Tavlama Benzetimi (Very Fast Simulated Annealing – VFSA) ve Uyumlu Tavlama Benzetimi (Adaptive Simulated Annealing - ASA) metotları geliştirilmiştir.

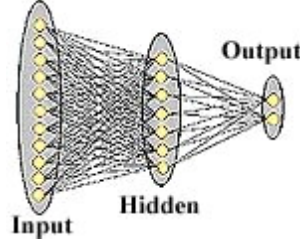
Tavlama Benzetimi, veri yapısının kaotik olduğu, çok fazla kısıt içeren yüksek dereceli doğrusal olmayan modellerde uygulanabilen genel ve güçlü bir metasezgiseldir. Kolay uyumludur (easily tuned) , yani makul zorluktaki doğrusal olmayan ve stokastik sistemlerin çözümü için kolaylıkla performansını arttırabilir. Bir algoritma için uyum gösterme önemli bir özelliktir, bu özellik sayesinde algoritmalar değişik problemlere çözüm bulmada kullanılabilir. Tavlama Benzetimi bir meta-sezgisel olduğundan bir algoritmaya dönüştürülebilmesi için bir çok tercih yapılır. Çözümlerin kalitesi ile hesaplama zamanı arasında net bir ilişki vardır. Tavlama Benzetiminde bulunan çözümlerin amaç fonksiyonu kullanılarak değerlerinin ölçülmesi gerekir. Bu ölçümlerin yapılması toplam hesaplama zamanı içinde yer aldığından bu ölçümlerin etkin bir şekilde yapılması gerekir. Bazı durumlarda kısıtları sağlamayan değişimlerin kabul edilmemesi ve sadece uygun çözümler uzayında yer alan çözümler üzerinde çalışılması önerilebilir ancak bu yaklaşım sistem içerisinde eşitlik kısıtları olabileceğinden ve daha da önemlisi kısıtlarla tanımlanmış olan uygun çözüm uzayının kesikli olması nedeniyle uygun çözümler arasında hareket etmek için uygun olmayan çözüm uzayından geçilmesi gerekeceğinden kabul edilemez. Kısıtları karşılamayan çözümler uygun bir ceza fonksiyonu ile çözüm uzayında yer almalıdır.

Tavlama benzetimi ile ilgili araştırmacılar arasında Bouleimen (Bouleimen ve Lecocq 2003)'nın tavlama benzetimini proje çizelgeleme problemlerine uyarlayan çalışmasının yanında öncelik ilişkilerini bir vektörle ifade eden öncelik ilişkilerinin öncelik listesinden alındığı Cho sayılabilir.

2.4.6.4. Yapay Sinir Ağları

Canlı organizmalar dış ortamda meydana gelen değişiklikleri duyu organlarıyla algılar, değişik duyu organlarından gelen binlerce bilgi ise sinir sistemi tarafından taşınır, işlenir ve tepki oluşturulur. Sinir hücresi (nöron) sinir ağının yapı taşıdır. Nöronlar birbirleriyle iletişim kurarak ve bu iletişim ile diğer nöronları etkileyerek çalışırlar. Nöronlar diğer nöronlardan ağırlıklandırılmış bağlar yoluyla bilgi (input) alır. Bu bilgiler nöron içerisinde bir fonksiyon tarafından değerlendirildikten sonra

diğer nöronlara gönderilir. Birbirleriyle karmaşık bir şekilde bağlanmış nöronlar bir nöron ağını (neural net) oluşturur. Yapay sinir ağı yapısı Şekil 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2. 4. Yapay sinir ağlarında girdi çıktı arasındaki ilişki

Sinir ağı (Neural Net-NN) içerisinde üç değişik tipte nöron bulunur. Girdi nöronları (input neurons) dış ortamdan kodlanmış bilgileri alır. Çıktı nöronları (output neurons), probleme cevap niteliğinde olan kodlanmış bilgiyi dış ortama gönderir. Saklı nöronlar (hidden neurons) ise girdi bilgilerini işleyerek çıktı bilgilerini oluşturur. Sinir ağlarında en fazla kullanılan model çok katlı algılama (Multi Layer Perceptron - MLP) modelidir. MLP hiyerarşik katmanlarda gruplanmış nöronlardan oluşur. Sinir ağı örnekler kullanılarak eğitilir. Kullanılan örneklere eğitim kümesi (training set) denir ve bu küme ile ilişkiler öğretilir. Eğitim kümesindeki örneklerin tüm kümeyi temsil edebilme özelliği Sinir ağının öğrenme düzeyini belirler. Nöronlar arasındaki bağlara, ağırlıklandırılmış bağ veya ağırlık denir. Başlangıçta ağırlıklar rastsal değerler olacaktır. Her turda her nöronun çıktı bilgileri hesaplanır ve eğitim kümesinde elde edilen çıktılar ile karşılaştırılır. Farka, eğitim hatası (training error) denir. Ağırlıklar değiştirilerek bu hatanın minimum düzeye indirilmesi amaçlanır. Stokastik bir yapıda proje çizelgeleme problemlerinin ele alınarak yapay sinir ağları ile çözümüne ilişkin Vaithyanathan tarafından bir öneri geliştirilmiştir(Vaithyanathan ve Ignizio 1992), Bu çalışmada öncelikle model çok boyutlu sırt çantası problemine dönüştürülmüştür. Daha sonra bu modelin eşlenik modeli yapay sinir ağları kullanılarak geliştirilmiştir. Hopfield ve tank ağları geliştirilerek orijinal modele bir çözüm yaklaşımında bulunulmuştur. Böylece çözümde oluşabilecek istikrarsızlık ve lokal minimuma yakalanma riski ortadan kaldırılmıştır. Belirli tip problemlerin çözümü için önerilen yaklaşım kaynak kısıtlı problemlerin dinamik türlerini çözmek için önerilmiştir.

Hopfield şebekelerini ve sinama tabanlı şebekeleri esas alan bir yaklaşımda Kartam tarafından önerilmiştir. Bu çalışmada kritik yol analizi ile elde edilen çözümler yapay sinir ağları kullanılarak elde edilmiştir. Sinir ağı iki katmana ayrılmıştır birinci katman girdi ve sinama katmanı diğer katman ise yapay düğüm matrislerinden oluşmaktadır. Çözüm mekanizması hareket eşitleme ve rekabetçi çözüm değerlendirmesi şeklinde yürütülmektedir. Hareket eşitleme faaliyetleri yer değiştirerek kaynak dağıtımını düzenlerken rekabetçi çözüm mekanizması ile en iyi çözüm aranmaktadır (Kartam ve Tongthong 1998).

2.4.6.5. Yapay Arı Kolonisi

Yapay arı kolonisi algoritması(ABC) 2005 yılında Prof. Dr. Derviş Karaboğa tarafından gerçek parametre optimizasyonu için ortaya konulmuş yapay zeka tabanlı bir optimizasyon algoritmasıdır. Doğadaki yiyecek arayan bal arılarından esinlenilerek ortaya konulan bu algoritma son yıllarda özellikle sıralama ve çizelgeleme problemlerinde sıkça kullanılan sürü zekası tabanlı optimizasyon yöntemlerinden biridir (Akay ve Karaboğa, 2009).

- a) Besin Kaynakları: Arıların yaşam döngülerini devam ettirebilmek adına aradıkları besinlerin kaynaklarıdır. Bu besinler nektar, polen veya bal olabilir. Bu noktada besin kaynağının yuvaya olan uzaklığı, besin zenginliği, besine ve kaynağa ait özellikler kolaylık açısından tek unsur olarak düşünülebilmektedir (Akay ve Karaboğa, 2009).
- b) Görevi Belirli İşçi Arılar: Bu arılar daha önce kaşif arılar tarafından keşfedilen besin kaynaklarından yuvaya/kovana besin taşımakla sorumludurlar. Aynı zamanda ziyaret etmiş oldukları besin kaynağından elde edilen bilgilerin kovanda bekleyen diğer arıları aktarılması görevini de üstlenirler (Küçüksille ve Tokmak, 2011).
- c) Görevi Belirsiz İşçi Arılar: Bu arılar ise besin elde edebilecek olan kaynakları araştırma görevini üstlenirler. Kendi aralarında kaşif arı ve gözcü arı olarak ikiye ayrılırlar. Kaşif arılar doğada rastgele besin kaynağı aramakla görevlilerken, gözcü arılar kovanda gözlemler yaparak işçi arılardan gelen

- 1) Yalnızca kaynaktan yuvaya besin taşıyabilir. Bu durum EF2 ile ifade edilmiştir.
- 2) Kaynaktan yuvaya döndükten sonra kaynak hakkındaki bilgileri yapacağı danslarla diğer arılara aktarır onların da kaynağa yönelmelerini sağlayabilir. Bu durum da EF1 ile gösterilmiştir.
- 3) Şekil UF ile gösterilmiş son durumda ise besin kaynağına tekrar dönmeyerek dans alanında gözcü arı olabilir (Akay ve Karaboğa 2009).

Yapay arı kolonisi algoritmasının uygulama adımları aşağıdaki sırada gerçekleşmektedir. Algoritma başlangıç besin kaynağının belirlenmesi ile başlayıp algoritma çevrim sayısının belirlenmesi ile son bulmaktadır.

- 1) Başlangıç besin kaynağı bölgelerinin(başlangıç çözümü) rastgele şekilde oluşturulması.
- 2) İşçi arıların başlangıç besin kaynaklarına yönelmesi ve besin kaynaklarındaki besin miktarlarının hesaplanması.
- 3) İşçi arılardan gelen besin kaynaklarına dair bilgilerin gözcü arıların kaynak seçiminde kullanabilmesi için hesaplanması.
- 4) Gözcü arıların hesaplanan olasılık değerlerine istinaden besin kaynağı bölgesini seçmeleri.
- 5) Besin kaynaklarında ne kadar arama yapılacağını(limit) belirlenmesi ve kaşif arıların üretilmesi.
- 6) Algoritma çevrim sayısının ortaya konulması(Akay ve Karaboğa 2009, Küçüksille ve Tokmak, 2011)

BÖLÜM 3

GENETİK ALGORİTMA

3.1. GİRİŞ

Genetik algoritma, evrim esasına dayanan metasezgisel optimizasyon yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, canlılarda bulunan genetik kod öğelerini kullanarak sezgisel olarak en iyi çözüm veya en iyi çözüme en yakın çözümü elde etmeyi hedeflemektedir. Genetik algoritmanın temeli ilk olarak 1975 yılında John Holland tarafından atılmıştır. Holland, “Adaptation in Natural and Artificial Systems” adlı kitabında ilk olarak Genetik Algoritma kavramını ortaya atmıştır. Mekanik öğrenme konusunda çalışan Holland, Darwin’in evrim teorisinden esinlenerek canlılarda yaşanan genetik süreci bilgisayar ortamında gerçekleştirmeyi amaçlamıştır(Mizutani, 1997).

Mevcut çözüm kümelerinin arasında çok yönlü ve küresel arama ortaya koyan Genetik Algoritma çok fazla matematiksel verilere gereksinim duymadan her çeşit amaç fonksiyonlarını ve kısıtları ele alabilmektedir. Genetik Algoritmanın bu özellikleri nedeniyle çok ölçütlü optimizasyon problemleri çözümlerinde oldukça etkilidir. Genetik algoritmalar, doğal seçim yöntemlerini esas alarak sisteme optimum düzeyde uyum sağlayan canlıların hayata devam edebilmesi ve uyum sağlayamayanların elenmesi ile yapay sistemler oluşturmaktadır.

3.2. GENETİK ALGORİTMA UYGULAMA ALANLARI

Genetik algoritmanın uygulandığı alanlar genel olarak iki başlık altında incelenmektedir. Bu alanlardan birincisi genel kullanım alanı ikincisi ise işletme kullanım alanlarıdır.

3.2.1. Genel Kullanım Alanları

Genel kullanım alanları kendi içerisinde optimizasyon, otomatik programlama ve bilgisistemleri, mekanik öğrenme ve ekonomik modeller olmak üzere dört grupta incelenmektedir.

3.2.1.1. Optimizasyon

Genetik algoritma uygulanan optimizasyon problemleri, birleşim ve fonksiyon optimizasyonları olarak ayrılmaktadır. Genetik algortima, diğer yöntemlere göre süreksiz, karmaşık problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Süreksiz fonksiyonlara ait ilgili noktalarda türev alınamayacağından türev ve türeve dayalı yöntemler kullanılamamaktadır. Genetik algoritma bu gibi durumlarda türev alma gereksinimi duymadığından tercih edilebilmektedir.

Birleşim optimizasyon problemleri ise, istenen hedeflere ulaşmak için, sınırlı kaynakların etkin atanmasıyla ilgilenmektedir. Bu problemde, değişken sayısı artırıldığında çözüme ulaşılma zamanında da üstsel bir artış olmaktadır. Bunun gibi bir durumda, çözüm uzayının bütününe tarayan klasik yöntemde çözüme ulaşılırken değişken sayısının çoğalması bu taramayı imkansız duruma getirebilmektedir(Sara, 2019).

3.2.1.2 Otomatik Programlama ve Bilgi Sistemleri

Genetik algoritmalar özel amaçlı bilgisayar programlarının geliştirilmesinde, hücrel hareketlikler, ders programlanması ve ağ sıralanması gibi hesap gerektiren yapıların tasarımında kullanılmaktadır.

3.2.1.3 Mekanik Öğrenme

Mekanik öğrenmenin model kurma amacı iki temel amaçtan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi, gözlenmiş bir veri takımını anlayabilmek ve yorumlayabilmek, ikincisi ise görülmemiş nesnelerin özelliklerini tahmin edebilmektir. Kullanılan metotların neredeyse tamamı dağılımdan bağımsız metotlardır ve çok büyük veri takımlarıyla çalışmaktadır. Sınıflama sistemi, genetik algoritmaların mekanik öğrenme alanında bir uygulamasıdır. Basit dizi kurallarını öğrenen bir mekanik öğrenme sistemi olan sınıflama sisteminin kural ve mesaj sistemi, özel bir üretim sistemi olarak adlandırılabilir. Bu üretim sistemi eğer-sonra kural yapısını kullanmaktadır. Bu üretim kuralı, “eğer” yapısından sonra belirtilen durum sırasında, “sonra” yapısından sonra gelen faaliyetin gerçekleştirilmesini içermektedir.

3.2.1.4. Ekonomik Modeller

Genetik algoritmalar yenilik süreçlerinin modellenmesinde, teklif verme stratejilerinin geliştirilmesinde ve ekonomik pazarların geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılan algortimalardır.

3.2.2. İşletmelerdeki Kullanım Alanları

Genetik algoritmalar işletmelerde genel olarak üç ana alanda sık tercih edilen bir yöntemdir. Bu üç ana alan finans pazarlamave üretim olarak sınıflandırılmaktadır. Bunların yanı sıra kaynak atama, atölye çizelgeleme, ağ tasarımı gibi farklı alanlarda da kullanılmaktadır.

3.2.2.1. Finans

Finans problemleri genellikle, amaç fonksiyonlarını tahmin etme yeteneğine veya bir karşılaştırma sonucuna göre elde edilen verilerdeki gelişmeleri içermektedir. Genetik algoritmalar da amaç fonksiyonu odaklı olduğu için finansal modellemede

kullanılması uygundur. Finans problemlerinde genetik algoritma ile birlikte bulanık mantık ve yapay sinir ağları da kullanılmaktadır(Alavipour, 2019).

3.2.2.2. Pazarlama

Pazarlama sürecinde, tüketicilere ait veriler analiz edilerek tüketici profilleri çıkarılıp ona göre bir strateji belirlenmektedir. Tüketici profilini belirleyebilmek için, çok büyük veri tabanlarını hızlı ve etkin bir şekilde kullanabilmek için veri madenciliği tekniği kullanılmaktadır. Veri madenciliği, çok büyük ölçekli veriler içinden bilgiye ulaşmaktır. Genetik algoritmalar veri madenciliğinde kullanılan bir yöntemdir(Chand, 1986).

3.2.2.3. Üretim

Genetik algoritmanın en çok kullanıldığı alan üretimdir. Yaygın kullanılan üretim problemleri; montaj hattı dengeleme, çizelgeleme, tesis yerleşimi ve gezgin satıcı problemleridir.

Üretim alanine örnek problemlerden bazıları; istasyonlarındaki toplam işlem zamanlarının en küçüklenmesi, belirli olan termin tarihleri ve işlem süreleri ile işlerin çizelgelenmesi, süreç planlama problemleri, daha önceden belirlenmiş kriterler doğrultusunda en iyi performansı sağlayacak yerleşim yeri karar destek sistemleri ve en kısa zamanda alınacak maksimum yol problemleridir.

Genetik algoritmalar tüm bunların dışında araç rotalama, minimum yayılan ağaç, taşıma, sistem güvenilirliği, atama, hücreli üretim gibi çizelgeleme problemlerinde de kullanılmaktadır.

3.3. GENETİK ALGORİTMA'NIN TEMEL KAVRAMLARI

3.3.1. Gen

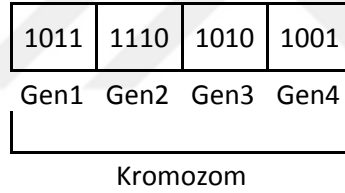
Doğada bulunan canlının kalıtsal özelliklerini taşıyan yapılar gen olarak adlandırılmaktadır. Bu yapılar bir araya gelerek kromozomları oluşturmaktadırlar.

Kromozomlara dizilmiş belirli bir pozisyonda bulunan genler birey olarak ifade edilmektedirler ve değişkenin değerini ifade etmektedir. Karar değişkenlerinin her birine ait sayısal değer, bir geni göstermektedir. Problemlere ait ne kadar karar değişkeni varsa aynı sayıda da gen bulunmaktadır(Koza, 1995).

3.3.2. Kromozom

Bir dizilim halinde sıralanan genlerin oluşturduğu genler dizisi kromozom adlandırılmaktadır. Genetik algoritmada elde edilen her bir kromozom probleme dair çözümlerden biridir. Genetik işlemler aşamalarıyla elde edilen en iyi kromozom optimal çözümü sunmaktadır. Temsil ettiği çözüme ait bilgileri içeren tüm kromozomlar ve bilgiler bir dizi halinde kodlanmaktadır.

Kromozom kodlamalarında genellikle ikili sayı sistemi kullanılmaktadır. Fakat problemde karar değişkeni sayısı fazla ise ve değişkenin ikili sistemdeki karşılığı uzun ise onlu kodlama tercih edilmektedir.



Şekil 3. 1. Gen ve Kromozom Gösterimi

3.3.3. Başlangıç Populasyonu

Çözüme ait bilgileri içeren kromozomların bir araya gelmesi ile oluşan topluluk *populasyon (yığın)* olarak adlandırılmaktadır. Populasyondaki kromozom sayısı çoğunlukla sabit tutulur. Genetik algoritmada kromozom sayısı ile alakalı genel bir kural yoktur. Populasyon ne kadar büyük ise problemin çözüm süresi o kadar uzamaktadır. Populasyondaki kromozom sayısı fazlalaştıkça çözüme ulaşma süresi (iterasyon sayısı) da artacaktır. Populasyondaki kromozom sayısı az olduğunda çözüme ulaşılamamasına sebep olur. Populasyon büyüklüğü problemin başında problemin özelliklerine göre doğru bir biçimde seçilmelidir(Emel, 2002).

3.3.4. Uygunluk Değeri ve Uygunluk Fonksiyonu

Popülasyonda yer alan her bir bireye ait çözümün hesap değeri uygunluk değeri olarak adlandırılmaktadır. Bu değer belirlenebilmesi için bir fonksiyona gereksinim duyulur. Örnek olarak, bir maksimizasyon problemi için, i. bir bireyin uygunluk değeri $f(i)$, genellikle o amaç fonksiyonunun değeridir. Uygunluk fonksiyonları türev ve benzer analitik işlemlere gereksinim duymadan istenilen biçimde oluşturulabilmektedir.

Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar fazla ise, yaşama ve çoğalma şansı da o kadar yüksektir ve bir sonraki kuşakta temsil edilme oranı da o kadar fazladır.

Uygunluk değeri genetik algoritmalarda amaç fonksiyonunun oluşturulması esnasında belirlenmektedir ve bireye sonraki nesillerde yaşama şansı sunmaktadır.

Genetik algoritmanın işleyişinde kullanılan semboller ve anlamları aşağıdaki gibidir.

n: Bir yığındaki toplam kromozom sayısı

gen: Bir kromozomdaki her bir hücre

f_i : Yığındaki i. kromozomun uzunluğu

f: Yığının toplam uygunluk değeri

fort: Yığının ortalama uygunluk değeri

C^* : Yığındaki en iyi birey

U_{max} : Verilen bir parametrenin üst sınırı

U_{min} : Verilen bir parametrenin alt sınırı

Gmax: Max iterasyon sayısı

F: Amaç fonksiyonu

Çokluma problemi için başarı ölçütü çoğu zaman uygunluk fonksiyonu olarak tercih edilmektedir. Fakat çizelgeleme problemleri çoğunlukla azaltma problemleri olduğu için uygunluk fonksiyonu farklı bir yöntem ile bulunabilir. C_{max} en son işin tamamlandığı sürenin en küçüklenmesi probleminde uygunluk değeri şu şekilde bulunabilir.

İlk olarak yığındaki bütün diziler için C_{max} değeri bulunur. Sonrasında en büyük C_{max} değerinin en büyük C_{max} değerinden sapması o dizinin uygunluk değeri olarak hesaplanmaktadır. Böylece $s_i(t)$; t . nesildeki i . dizi, $C(s_i(t))$; $s_i(t)$ nin en fazla tamamlanma zamanı ve $f(s_i(t))$; $s_i(t)$ nin uygunluk değeri olarak hesaplanabilmektedir.

3.4. GENETİK ALGORTİMANIN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Croce' a göre genetik algoritmada çözme ulaşılrken izlenmesi gereken adımlar şu şekildedir:

Adım1: Tüm potansiyel çözümlerin bir dizi olarak kodlandığı bir çözüm kümesi oluşturulur. Bu diziye *kromozom* adı verilir ve bu diziyi oluşturan her bir eleman *gen* olarak adlandırılır. Çözüm kümesi ise populasyon olarak ifade edilir. Problemin çeşitine göre değişik kodlama şekilleri bulunmaktadır.

Adım2: Başlangıç yığını olarak seçilecek olan çözüm kümesi gelişigüzel seçilir.

Adım3: Çözüm kümesindeki her bir dizinin uygunluk değerine göre ne kadar iyi olduğu belirlenmektedir. Bu değere göre en iyi sonucu veren kromozomlar yeni populasyon için seçilmektedir. Uygunluk değeri populasyonun kalitesini ifade etmektedir.

Adım4: Belirli bir olasılık değerine göre bir grup dizi rastgele seçilir ve çoğalma gerçekleşmektedir.

Adım5: Yeni dizilerin uygunluk değerleri hesaplanmaktadır ve çaprazlama, mutasyon gibi genetik işlemler uygulanır.

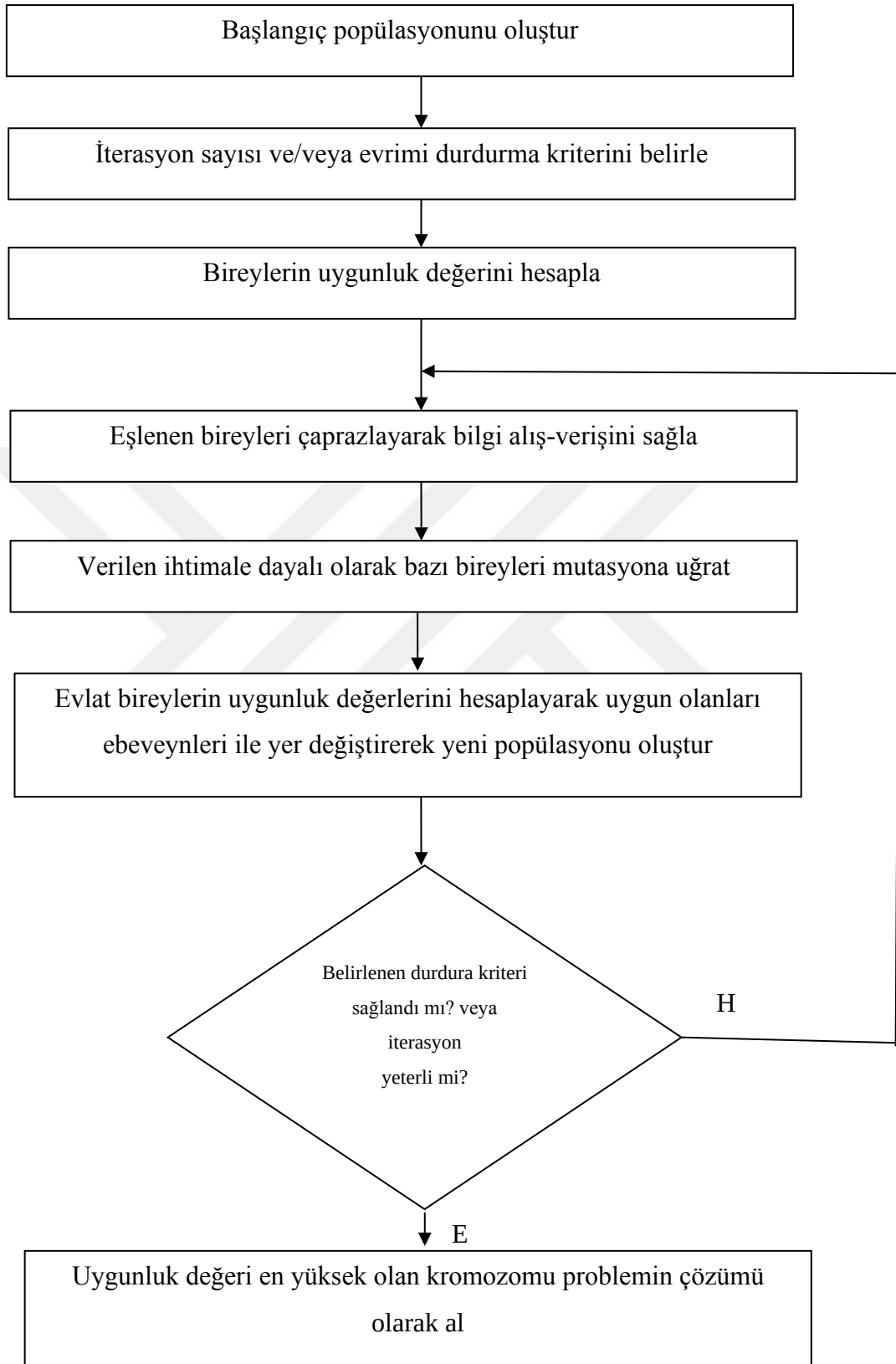
Adım6: Önceden belirlenen nesil sayısına ulaşınca ya da durdurma kriterleri sağlanınca kadar belirtilen işlemlere devam edilir (Adım3'e git).

Adım7: Nesil sayısı elde edildiğinde veya durdurma kriteri sağlandığında, oluşan yeni nesildeki en iyi uygunluk değerine sahip olan kromozom çözüm olarak seçilmektedir.

Genetik algoritmada parametre kodlama, üreme, çaprazlama ve değişim operatörleri kullanılmaktadır. Bunlara ilave olarak problem çeşitine göre tamir

(düzeltme) operatörü de kullanılmaktadır. Tamir operatörü, atölye çizelgeleme problemlerinde kesnlikle kullanılmalıdır çünkü çaprazlama ve değişim operatörlerinden sonra meydana gelen yeni dizideki gen yapıları gerçekte olmayan yapılara dönüşmektedir. Döngü boyunca bu işlemi tekrarladığımızda genetik algortime yeterli çalışmayacak ve git gide bireyler yok olacaktır. Elde edilen çözüm ise muhakkak ne istenen koşulları yerine getirebilecek ne de dizi yapısına bağlı kalacaktır. Genetik algortimanın akış diyagramı Şekil 3.2’ de verilmiştir.





Şekil 3. 2. Genetik Algoritma Akış Diyagramı

3.5. GENETİK ALGORİTMA UYGULANAN GENETİK İŞLEMLER

Genetik Algoritmayı ortaya koyabilmek için geliştirilmesi planlanan modelin kodlanması gerekmektedir. Problemin türüne göre Genetik Algoritmanın kodlama yöntemi de değişkenlik göstermektedir. Son yıllarda problem türlerine göre bir çok kodlama metodu geliştirilmiştir.

3.5.1. Kodlama

Genetik Algoritma'da genlerin birleşmesiyle kromozomlar oluşmaktadır. Bu kromozomların uygun bir şekilde kodlanması da Genetik Algoritmanın başarıya ulaşabilmesi için oldukça kritiktir. Ortaya konulan modelin hızlı ve etkin sonuçlar verebilmesi için en doğru şekilde kodlanması gerekmektedir. Bu bölümde verilecek olan kodlama yöntemleri problemin türüne göre değişkenlik göstermektedir.

İkili Kodlama

Genetik Algoritmada en sık kullanılan kodlama yöntemlerinin başında ikili kodlama yöntemi gelmektedir. Litaratüre bakıldığında en fazla parametre kodlama sezgisellerinin ikili kodlama yöntemi kullanılarak geliştirildiği görülmektedir. Bunun sebebi de Genetik Algoritmadaki ilk çalışmalarda bu yöntemin kullanılmış olması ve basit bir yöntem olmasıdır. Ancak bu yöntem günümüzde bir çok problem türüne uygun olmamasından dolayı çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra düzeltmeler gerektirir. Bu kodlama yönteminde her kromozom 0 ve 1'lerden oluşmaktadır. 1975 yılında Holland iki farklı kodlama tekniği kullanarak bu iki tekniği kıyaslamıştır. Deneylerinin ilkinde az miktarda gen ve uzun diziler kullanmış ikinci deneyinde ise çok miktarda gen ile kısa diziler kullanmıştır. Bu iki deneyi kıyasladığında ise ilk deneyin daha uygun bir paralellik gösterdiğini belirtmiştir. İkili kodlama yöntemindeki kromozom yapısı Şekil 3.3 ile gösterilmektedir.

Kromozom-1	11001110010
Kromozom-2	10110001110

Şekil 3. 3. İkili Kodlama Kromozom Yapısı

Değer Kodlama

İkili kodlama yönteminin uygulanamadığı karmaşık sayılar gibi değerlerden oluşan problemler söz konusu olabilmektedir. Bu tip problemlerde değerler ile kodlama yapılabilmektedir. Bu kodlama yöntemi de literatürde değer kodlama yöntemi olarak geçmektedir. Şekil 3.4’de de görüldüğü gibi kromozomu oluşturan genleri problemdeki gerçek değerler oluşturmaktadır. Değer kodlama karmaşık problemler için etkili bir yöntemdir. Bu kodlama yönteminde problemler için özel çaprazlama ve mutasyon yöntemlerinin geliştirilmesi gerekebilmektedir.

Kromozom-1	5.6055 1.7855 4.5277 3.2315
Kromozom-2	Yukarı, Aşağı, Doğu, Batı

Şekil 3. 4. Değer kodlama kromozom yapısı

Permütasyon Kodlama

Permütasyon kodlama yöntemi son dönemde literatürde sıkça yer alan ve iş sıralama, çizelgeleme, gezgin satıcı gibi problemler için kullanımı kolay bir yöntemdir. Bu yöntemde kromozomların genleri işleri temsil eden sayı veya harflerden oluşmaktadır. Şekil 3.5’de permütasyon kodlama tekniğine ait bir kromozom yapısı örneği paylaşılmaktadır.

Kromozom-1	A F G E T Z S G M C
Kromozom-2	1 8 10 2 5 3 4 6 7 9

Şekil 3. 5. Permütasyon kodlama kromozom yapısı

Ağaç Kodlama

Ağaç kodlama program ve nesneler ortaya koyarak ağaç yapısı oluşturulması yöntemine dayanan bir kodlama yöntemidir. Kromozomlar nesnelerden ve bu nesnelerin birbirine bağlantılarından oluşan ağaçlardan oluşmaktadır.

3.5.2. Başlangıç Populasyonunun Oluşturulması

Genetik algoritmada topluma dahil edilecek birey sayısının belirlendiği aşamadır. Başlangıç populasyonu problemin türüne göre değişkenlik göstermektedir. Başlangıç populasyonu rasgele olarak oluşturulmaktadır.

3.5.3. Uygunluk Değerinin Hesaplanması

Rastgele olarak oluşturulan başlangıç populasyonundaki her bir kromozomun uygunluk değerleri hesaplanmaktadır. Kromozomların uygunluk değerleri bir sonraki nesle hangi kromozomun aktarılacağı kararının verilebilmesi için çok önemlidir. Bir kromozomun uygunluk değeri ne kadar yüksekse bir sonraki nesle aktarılma olasılığı da o kadar yüksektir. Genetik algoritmanın en iyi çözüme ulaşmadaki başarısı uygunluk değeri fonksiyonunun etkin çalışmasıyla doğrudan ilgilidir.

3.5.4. Çaprazlama

Genetik algoritmada seçim işlemi tamamlandıktan sonra yeni çözümler üretebilmek için çaprazlama tekniği kullanılır. Çaprazlama metodu kromozomların kendi aralarındaki gen transferi yapma işlemidir. Çaprazlama ile ebeveyn kromozomlardan yeni türetilen kromozomlara genetik bilgi transferi sağlanmış olur. Bu sayede ulaşılmak istenen çözümün başarısının artırılması amaçlanmaktadır. Problemin türüne ve algoritmanın amacına göre literatürdeki çaprazlama oranı %50 ile %90 arasında değişebilmektedir. Çaprazlama oranının artması algoritmanın çözüme ulaşma süresini kısaltmaktadır. Literatüre bakıldığında problem türlerine göre çaprazlama yöntemleri geliştirildiği görülmektedir.

Tek Nokta Çaprazlama Yöntemi

Karşılıklı olarak eşleştirilen kromozomlardan rastgele olarak iki nokta seçilir. Burada rastgele olarak noktalar seçilirken ilk ve son genin seçilmemesi gerekmektedir. Kromozomlardaki seçilen noktalardan sonra gelen genlerin karşılıklı olarak yerleri

değiştirilir. Bu işlemin yapılabilmesi için kromozomlarda yer alan gen sayılarının birbirine eşit olması gerekmektedir. Tek nokta çaprazlama yöntemine dair bir örnek Şekil 3.6 daki gibidir.

Ebeveyn 1					Yeni Birey1				
1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Ebeveyn 2					Yeni Birey2				
1	1	0	1	1	1	1	1	0	1

Şekil 3. 6. Tek nokta çaprazlama yöntemi

İki Noktalı Çaprazlama Yöntemi

İki nokta çaprazlama yönteminde de tek nokta çaprazlamada olduğu gibi kromozom üzerinde ilk ve son genler hariç tutularak noktalar seçilir. Tek nokta çaprazlamadan farklı olarak kromozom üzerinde iki nokta seçilir. Ardından seçilen iki nokta arasındaki genler karşılıklı olarak yer değiştirilir. Şekil 3.7de iki nokta çaprazlama örneği verilmiştir.

Ebeveyn 1							Yeni Birey1						
1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
Ebeveyn 2							Yeni Birey2						
1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0

Şekil 3. 7. İki nokta çaprazlama yöntemi

Çok Noktalı Çaprazlama Yöntemi

Çok nokta çaprazlama yöntemi iki nokta çaprazlama yöntemine benzemekte olup kromozomlarda birden fazla nokta seçilerek noktalar arasında kalan genler karşılıklı olarak yer değiştirilmektedir. Bu yöntemle oluşturulan elde edilecek olan yeni kromozomların tamamı yeni nesle aktarılabileceği gibi restgele aralarından bazıları seçilerek de yeni nesil oluşturulabilmektedir.

Tek Düze(Uniform)  aprazlama Yöntemi

Tekdüze  aprazlama yönteminde karşılıklı olarak çaprazlanacak olan eşit gen sayısına sahip kromozomlara ek olarak maske ismi verilen 1 ve 0 lardan oluşan ara bir kromozom oluşturulur. Çaprazlama sonrası oluşturulacak yeni bireylerden ilki maske üzerinde 1 olan genlere birinci ebeveynin o sıradaki geni 0 olan genlere ise ikinci ebeveynin o sıradaki genleri gelecek şekilde oluşturulur. İkinci yeni birey ise aynı yöntem uygulanarak maskedeki 1 olan genlere ikinci ebeveynin o sıradaki geni, masked 0 olan genlere ise birinci ebeveynin o sıradaki geni gelecek şekilde oluşturulur. Literatürdeki  alı malar tek düze çaprazlamanın tek ve çok noktalı çaprazlamaya göre daha başarılı bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Sıralı  aprazlama(OX) Yöntemi

Sıralı  aprazlama (order crossover) yönteminde eşit gen sayısına sahip iki kromozom seçilir. Ardından kromozomlar üzerinde rastgele ikişer nokta belirlenir. Ve bu noktalar arasında kalan genler yeni birey kromozomların aynı sıralarına karşılıklı olarak yer de i tirerek yazılır. Ardından birinci yeni bireyin kalan kromozomlarını belirlemek için birinci ebeveydeki genlerden ikinci ebeveynden yeni birey için seçilmiş yani iki nokta arasında kalmış genler ile aynı olanlar silinir. Kalan genler boşluklara sırası ile yazılır. İkinci yeni birey ise ikinci ebeveyndeki birinci ebeveynden yeni birey için iki nokta arasında kalarak seçilmiş olan genler ile aynı olanlar silinir ve kalan genler boşluklara sırası ile yazılacak şekilde oluşturulur(Davis, 1985). Sıralı  aprazlama yönteminin görsel gösterimi  ekil 3.8'deki gibidir.

Sıralı  aprazlama yöntemi(OX)  zellikle sıralama problemlerinde kullanışlı olması, hızlı ve başarılı sonuçlar vermesinden dolayı sıkça kullanılan bir yöntemdir.

Ebeveyn 1								
1	2	8	4	3	6	7	5	9
Ebeveyn 2								
9	2	7	5	4	6	3	1	8
Yeni Birey1								
1	2	8	5	4	6	3	7	9
Yeni Birey2								
9	2	5	4	3	6	7	1	8

Şekil 3. 8. Sıralı Çaprazlama Yöntemi(OX)

3.5.5. Mutasyon

Genetik algortmada kullanılan mutasyon diğer deyişle değişim, kromozomlar içerisinde yer alan genlerin bir yada bir kaçının değiştirilmesiyle yeni kromozomlar elde edilmesi yöntemidir. Bu yöntemdeki amaç kromozoma zenginlik kazandırmaktır. Genetik algoritmanın etkin bir şekilde çalışmasında kritik olan mutasyonda kromozomlardaki gen sayılarında herhangi bir değişiklik yapılmamaktadır. Algoritma içerisinde yer alan kromozomlardan kaç tanesinin mutasyona uğrayacağı çaprazlamada olduğu gibi algoritma çalışmadan önce belirlenmektedir. Doğadaki mutasyon sıklığının küçük olmasından dolayı Genetik Algoritmada da mutasyon oranı çözüm uzayının çok farklılaşmasını da engellemek için genellikle küçük oranda seçilir. Ancak bu seçim problemin türüne göre değişkenlik gösterebilmektedir. Mutasyon oranının yüksek olması algoritmanın en iyi çözümüne ulaşmasını zorlaştıran bir faktördür. Problem türlerine göre birçok mutasyon yöntemi vardır. İş sıralama ve çizelgeleme problemlerinde başarılı sonuçlar elde etmesinden dolayı genellikle karşılıklı yer değiştirme, değer değiştirme, kaydırma ve yerleştirmeye (araya ekleme) yöntemleri kullanılmaktadır.

Yerleştirme (Araya ekleme) Yöntemi

Yerleştirme diğer bir deyişle araya ekleme yönteminde kromozomdaki bir gen seçilerek başka bir konuma yerleştirilir. Yani özetle kromozom içerisindeki bir genin yeri değiştirilmiş ve diğer genlerin arasına taşınmış olur (Şekil 3.9).

8	6	9	5	3	2	4	1	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---

8	6	9	3	2	4	5	1	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 3. 9. Yerleştirme Mutasyonu

Kaydırma Yöntemi

Kaydırma yöntemi yerleştirme yönteminde olduğu gibi kromozom içerisindeki genlerin sıra içerisinde başka bir konuma yerleştirilmesidir. Ancak kaydırma yönteminde birden fazla gen seçilir ve yeni konumuna taşınır (Şekil 3.10).

8	6	9	5	3	2	4	1	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---

8	5	3	2	4	6	9	1	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 3. 10. Kaydırma Mutasyonu

Değer Değiştirme Yöntemi

İkili kodlama yöntemiyle kodlanmış bir genetik dizideki genin seçilerek 1 ise 0, 0 ise 1 yapılarak mutasyona uğratılması yöntemidir (Şekil 3.11).

1	0	0	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---

1	0	0	0	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---

Şekil 3. 11. Değer Değiştirme Yöntemi

Karşılıklı Yer Değiştirme Yöntemi

Kromozomda yer alan genlerden iki tanesi rastgele olarak seçilerek kendi arasında yer değiştirmesi yöntemi karşılıklı yer değiştirme mutasyonu olarak adlandırılmaktadır (Gen,1995) (Şekil 3.12).

8	7	9	3	5	1	4	2	6
8	7	2	3	5	1	4	9	6

Şekil 3. 12. Karşılıklı Yer Değiştirme Yöntemi

3.5.6. Yeni Bireylerin Uygunluk Değerinin Hesaplanması

Genetik algorithmada çaprazlama ve mutasyon işlemlerinin yapılmasının ardından yeni nesil oluşabilmesi adına yeni bireylerin hangisinin seçileceğine karar verilmesi gerekmektedir. Bu karar yeni oluşturulan bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak verilir.

3.5.7. Seçim İşlemi

Genetik Algoritma çalışma sistemi Darwin'in doğal seleksiyon prensibine dayanmaktadır. Genetik Algorithmada kodlama yöntemi belirlendikten sonra çaprazlama ve mutasyon işlemleri uygulanır. Sonrasında oluşan yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır. Sonrasında en uygun kromozomlar yeni nesle aktarılmaktadır. Yeni neslin oluşturulabilmesi için kriterler doğrultusunda en uygun kromozomların belirlenmesi işlemi seçim diğer bir deyişle üreme olarak adlandırılmaktadır. Seçim işleminde aslanan yetenekli koromozomlara öncelik vermek ve en iyi kromozomlarla yola devam etmektir.

Algoritma kriterleri doğrultusunda en uygun kromozomlar seçilmesi için literatürde uygulanan bir çok yöntem mevcuttur. Rulet çarkı, elitizm ve turnuva seçim yöntemleri en sık kullanılan seçim yöntemleridir.

Rulet Çarkı Yöntemi

Literatüre bakıldığında sıralama ve çizelgeleme problemlerinde en sık kullanılan Genetik Algoritma seçim yöntemi uygunluğu ve hızlılığından dolayı rulet çarkı yöntemidir. Bu yöntemde popülasyondaki tüm bireylerin uygunluk değerleri

hesaplanır ve toplanarak popülasyonun uygunluk değeri bulunmuş olur. Ardından bireylerin uygunluk değerleri popülasyonun uygunluk değerine oranlanarak seçilme olasılıkları belirlenir. Seçilme olasılıkları oranında rulet çarkından pay alan bireyler arasından en yüksek orana sahip bireyin seçilme şansı en yüksek olur. Çünkü rulet çarkı her döndüğünde çarktan en çok pay alan birey en yüksek olasılıkla seçilecektir.

Elitizm Yöntemi

Elitizm yöntemi en yüksek uygunluk değerine sahip bireyin bir sonraki nesle aktarılamamasını engellemek için uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde bir önceki nesildeki en iyi birey yeni oluşan nesildeki en düşük uygunluk değerindeki bireyle veya rastgele bir bireyle yer değiştirilir. Böylelikle yüksek uygunluk değerindeki bireyin kaybolması engellenmiş olur.

Turnuva Seçim Yöntemi

Turnuva seçim yönteminde popülasyondan rastgele olarak iki adet birey seçilir ve uygunluk değerleri hesaplanır. Uygunluk değeri en yüksek olan birey seçilerek yeni nesle aktarılır. Bu yöntem ile amaçlanan oluşturulan yeni toplumun bir önceki toplumdaki kötü diğer bir deyişle en az uygunluk değerine sahip bireylerden arındırılmasıdır. Bu yöntemde seçilen bireyler yerine geri konulabileceği gibi geri konulmadan da seçim yapılabilir. Tekrar yerine konulan yöntemde aynı birey sonraki iterasyonlarda tekrar seçilebilmektedir. Turnuva seçim yöntemi de kullanım kolaylığı ve hızlılığı açısından yaygın bir Genetik Algoritma seçim yöntemidir.

Sabit Durum Yöntemi

Nesilde birkaç bireyin yer değiştirdiği seçim yöntemidir. Genel olarak düşük uygunluk değerine sahip bireyler çaprazlama ve mutasyon yöntemleriyle tekrar üretilir ve yeni nesile dahil edilirler.

3.5.8. Algoritmanın Durdurulması

Genetik algorithmada durdurma işlemleri algoritma çalışmaya başlamadan önce belirlenmiş iterasyon sayısına veya durdurma kriteri olan çözüm noktasına yani hedeflenen amaç fonksiyonuna ulaştıktan sonra gerçekleşir. Bunlara ek olarak algoritma daha iyi bir çözüm bulamadığı zamanda durdurulabilir. Yani belirlenecek bir minimum iyileşme kriterine göre de algoritma durdurulabilmektedir.

3.6. TAGUCHİ DENEY TASARIMI

1940'lı yıllarda Deming ödüllü Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilmeye başlanan ve 1980'li yıllarda dünyada geniş kullanım alanlarına yayılan bir metod olarak Taguchi deney tasarımı metodu süreç veya ürün maliyetlerinin düşürülmesi ve kalite düzeylerinin artırılmasını hedeflemektedir.

Japon bir mühendis olan Genichi Taguchi'nin ortaya koyduğu deney tasarımı yöntemi ile çok uzun sürelerde ve daha yüksek maliyetlerde gerçekleştirilebilecek olan deneyler çok daha kısa bir sürede ve çok daha düşük bir maliyetle gerçekleştirilebilmektedir. Literatüre bakıldığında geleneksel deney tasarımı yöntemlerine kıyasla özellikle yüksek parametre ve seviyeli deneylerde daha az maliyetli ve çok daha hızlı bir şekilde çözüme ulaşılmasını sağladığı için Taguchi Deney Tasarımı yöntemi tercih edilmektedir. Bu yöntemin en önemli avantajlarından birisi az sayıda deneyle ulaşmak istenen hedefe çok daha yakın etkili sonuçlar vermesidir.

Taguchi ürün kalitesinin tasarım aşamasında başladığı ifade etmiş ve kalite kontrolün sağlanabilmesi için çevrimiçi ve çevrimdışı olmak üzere iki kalite kontrol sürecinden bahsetmiştir. Taguchi çevrimiçi kalite kontrol süreci ile üretim sırasındaki ve üretim sonrasındaki kalite faaliyetlerine değinirken çevrimdışı kalite kontrol sürecinde ise ürünün üretimi öncesi pazar araştırmasından tasarımına kadar ki süreçlerin kalite faaliyetlerine değinmiştir. Taguchi çevrimdışı kalite kontrol sürecini iki aşamada açıklamıştır. Bunlar ürün tasarımı ve proses tasarımıdır. Ürün tasarımı müşteri istekleri ve beklentilerini karşılayacak olan ürünün tasarlanması sürecini kapsarken,

proses tasarımı ise bu ürünün ortaya konulabilmesi için gerekli olan proseslerin geliştirilmesi sürecidir. Taguchi çevrimdışı kalite kontrol sürecinin altında aktardığı her iki aşama için de kaliteyi sağlayabilmek adına üç yaklaşım ortaya koymuştur. Bu yaklaşımlar system tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır (Üstündağ 2018).

3.6.1. Sistem Tasarımı

Müşteri istekleri ve beklentileri doğrultusunda üretilmesi planlanan ürünle ilgili prototip geliştirme aşamasıdır. Taguchi yönteminin ilk aşamasıdır. Üretilmek istenen ürün için pazarın tanımlanması, literatürde yer alan teknik ve buluşların ortaya konulduğu aşama sistem tasarımı aşamasıdır. Bu bölümde elde edilen tüm teknik ve çevresel bilgiler değerlendirilerek kullanılabilirliği ve uygunluğu değerlendirilir.

3.6.2. Parametre Tasarımı

Taguchi ortaya konulması planlanan ürünün kalitesinde belirleyici etkiye sahip olan ürün tasarımı ve proses tasarımı için parametre tasarımı aşamasının çok kritik bir öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Parametre tasarımıyla amaç ürün kalitesi üzerinde değişkenliğe sebep olan ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini en aza indirgeyebilmek adına kontrol edilebilen faktörlerin en iyi olanlarını seçmektir. Parametre tasarım aşaması bu özelliğinden dolayı Taguchi deney tasarımı yönteminin temel adımı olarak belirtilir (Özcan 2019).

3.6.2. Tolerans Tasarımı

Bu aşamada parametre tasarımı sonrası ulaşılmak istenen hedef değerden yaşanan sapmalar belirlenerek kayıpların en aza indirgenmesi amaçlanır. Tolerans tasarımı hedeften sapmalar yaşandıkça yapılan ürün maliyetlerinin artmasına sebep olan bir aşamadır. Bu yüzden asıl hedef parametre tasarımıyla en uygun sonuca ulaşmak değildir. Ancak genel itibarıyla hedeften sapmalar olduğu için aslında düzeltme adımı olarak düşünülen tolerans tasarımı parametre tasarımından sonra gelen bir aşamadır. Ürün maliyetlerinin en aza indirgenmesi her zaman amaçlardan birisi

olacağı için tolerans tasarımı ne kadar az yapılırsa o kadar iyidir denilebilir (Üstündağ 2018).

Müşteri istekleri düzeyinde ve istenilen kalitede ürünler ortaya koymak ve bu ürünleri üretirkende en uygun sürecin tasarımını yapabilmek için literatürde yer alan geleneksel deney tasarım yöntemlerine kıyasla çok daha başarılı ve hızlı sonuçlar veren Taguchi deney tasarımında, başarılı çözümlere ulaşabilmek adına sistematik bir plan ve adımlar çerçevesinde ilerlemek gereklidir. Taguchi yönteminde etkili sonuçlara ulaşabilmek adına izlenen adımlar aşağıda verilmiştir (Yalçındağ, 2021).

- 1) Probleme dair parametrelerin ortaya konulması
- 2) Parametrelere dair seviyelerin ortaya konulması
- 3) Değerlendirilecek ortogonal dizinin ortaya konulması
- 4) Ortogonal dizi baz alınarak sonuçların yöntem üzerinde uygulanması
- 5) Deneyin yapılması
- 6) Sonuçların değerlendirilmesi
- 7) En iyi seviyenin belirlenmesi
- 8) Sonuçların doğruluğunun yapılması

3.6.3. Sinyal/Gürültü (S/N) Oranı

Taguchi deney tasarımı yönteminde bir faktörün ürün kalitesinde istenilen bir değişime yol açması S ile gösterilen sinyali ifade etmektedir. Ürün kalitesinde çevresel faktörlerin oluşturduğu etki ise N ile ifade edilen gürültü olarak ifade edilmektedir (Yalçındağ, 2021). Taguchi deney tasarımı yönteminde performans kriteri olarak sinyal değerinin gürültü değerine oranından oluşan S/N değeri kullanılmaktadır. S/N oranı “en yüksek en iyi”, “en düşük en iyi” ve “nominal en iyi” olmak üzere üç farklı durumda farklı sonuç vermektedir. Bu üç farklı durumun hesaplanma formülleri aşağıdaki verilmiştir.

3.1 numaralı eşitlik ile “en yüksek en iyi” hesaplama formülünü, 3.2 numaralı eşitlik “en düşük en iyi” hesaplama formülünü ve 3.3 numaralı eşitlik ise “nominal en iyi” hesaplama formülünü ifade etmektedir.

$$S/N = -10 \times \log[\sum(1/y_i^2)/n] \quad 3.1$$

$$S/N = -10 \times \log[y_i^2/n] \quad 3.2$$

$$S/N = -10 \times \log[y_i^2/S^2] \quad 3.3$$

Yüksek lisans bitirme tezi kapsamında ele alınan bu çalışmada amaç fonksiyonu fire miktarı, sipariş büyüklüğü, teslim tarihi ve müşteri önemi kriterlerini göz önüne alarak çalışan algoritmanın ortaya çıkardığı skoru en aza indirmek olduğundan deneyler “en düşük en iyi” durumuna göre yapılmıştır.

3.6.4. Ortogonal Dizi Seçimi

Birden fazla faktör ve seviyeden oluşan durumlarda deney tasarımı için tüm kombinasyonların denenmesine gerek kalmadan kaç adet deney yapılarak en iyiye en yakın sonuca ulaşılabilceği ortogonal dizi seçim tabloları ile belirlenmektedir. Çizelge 3.1 ile ortogonal dizi seçim tablosu verilmiştir.

Çizelge 3. 1. Ortogonal dizi seçim tablosu

Seviye Sayısı								
Parametre Sayısı	2		3		4		5	
	P=2, S=2	L4	P=2,S=3	L9	P=2,S=4	L16	P=2,S=5	L25
	P=3, S=2		P=3,S=3		P=3,S=4		P=3,S=5	
	P=4, S=2		P=4,S=3		P=4,S=4		P=4,S=5	
	P=5, S=2	L8	P=5,S=3	L18	P=5,S=4		P=5,S=5	
	P=6, S=2		P=6,S=3		P=6,S=4	P=6,S=5		
	P=7, S=2		P=7,S=3		P=7,S=4	P=7,S=5		
	P=8, S=2	L11	P=8,S=3	L27	P=8,S=4	L32	P=8,S=5	L50
	P=9, S=2		P=9,S=3		P=9,S=4		P=9,S=5	
	P=10, S=2		P=10,S=3		P=10,S=4		P=10,S=5	
	P=11, S=2		P=11,S=3				P=11,S=5	
	P=12, S=2	L16	P=12,S=3	L36			P=12,S=5	
	P=13, S=2		P=13,S=3					
	P=14, S=2		P=14,S=3					
	P=15, S=2	P=15,S=3						
	P=16, S=2	L32	P=16,S=3					
	P=17, S=2		P=17,S=3					
	P=18, S=2		P=18,S=3					
	P=19, S=2		P=19,S=3					
	P=20, S=2		P=20,S=3					
	P=21, S=2		P=21,S=3					
	P=22, S=2		P=22,S=3					
	P=23, S=2		P=23,S=3					
	P=24,S=2							
	P=25,S=2							
	P=26,S=2							
	P=27,S=2							
	P=28,S=2							
	P=29,S=2							
	P=30,S=2							
	P=31,S=2							

Ele alınan çalışmadaki Genetik algoritma parametrelerinin belirlenmesi Bölüm 4 de detaylı bir şekilde aktarılacaktır. Dört adet parametre (P=4) ve üç adet seviye(S=3) olmasından dolayı “L9” ortogonal dizisine denk geldiği belirlenmiş ve 9 adet deneyin yapılması yeterli bulunmuştur.

BÖLÜM 4

GELİŞTİRİLEN PLASTİK ENJEKSİYON ÇİZELGELEME SİSTEMİ

4.1. GİRİŞ

Üretim faaliyeti sürdüren birçok firma ve tesisin önemli problemlerinden birisi üretim maliyetlerinin kontrol edilememesi olmuştur. Genellikle makine bazlı üretim yapan firmaların sıkça karşılaştıkları bir problem olan engellenemeyen üretim fireleri bahse konu kontrol edilemeyen üretim maliyetleri arasında yer almaktadır. Ancak bu fireler tam olarak yok edilemese de bazı mühendislik teknikleri ile minimize edilebilmektedir.

Yüksek lisans bitirme tezi kapsamında ele alınan bu çalışma ile de otomotiv sektöründe yer alan büyük araç üreticilerine aydınlatma ürünleri üreten Aygersan A.Ş.'nin plastik enjeksiyon makinelerindeki verimsizliklere sebep olan, üretim maliyetlerine önemli etkisi olan ürün geçişlerinde ortaya çıkan hammadde firelerinin(kütük) minimize edilmesi amaçlamaktadır.

4.2. ÇALIŞMANIN YÜRÜTÜLDÜĞÜ FİRMANIN TANITILMASI

Yüksek lisans bitirme tezi olarak ele alınan bu çalışma Ankara'nın Kahramankazan ilçesinde yer alan ve otomotiv aydınlatma sektöründe faaliyet gösteren Aygersan Aydınlatma Gereçleri Sanayii A.Ş. bünyesinde yürütülmüştür.

4.2.1. Aygersan A.Ş.'nin Tanıtılması

Aygersan A.Ş. 1971 yılında genel aydınlatma amaçlı ürünler üretmek amacıyla kurulmuş olup, takip eden yıllarda otomotiv sektöründe far, stop ve sinyal imalatına geçerek ana faaliyet alanını belirlemiştir. 1970' li yıllarda iç piyasada üretilen traktörler ve otomobillerin far aksamalarının yanı sıra mekanik motor aksamalarının da

üretimini gerçekleştirmiştir. 1980' li yıllarda artan otomobil sayısına paralel olarak ürün çeşitliliği de artmış, imalat kabiliyetleri genişlemiştir. Aygersan A.Ş. 1987 yılında Bayraktarlar Holding bünyesine katılmış ve bu vesile ile faaliyet alanını daha geniş müşteri gamına sunmuştur.

Aygersan A.Ş. otomotiv sanayiinde faaliyet gösteren Mercedes, Ford, Renault, TOGG, Toyota, Otokar, BMC, Türk Traktör gibi ana sanayi müşterileri ve bayileri aracılığıyla ulaştığı piyasa müşterileri için Far, Stop lambası, Sinyal vb. ürünler üretmektedir. Aygersan A.Ş. gerçekleştirdiği üretimin yanı sıra, Bayraktarlar Holding bünyesinde yer alan FARBA, ULO ve AYGERSAN markalı otomotiv yedek parçalarının pazarlama ve satış görevini de üstlenmektedir.

Firma vizyonunu “Otomotiv aydınlatma sektöründe, tüm paydaşların beklentilerini aşarak, küresel bir şirket standardına ulaşmak” şeklinde, misyonunu ise “Otomotiv aydınlatma sektöründe, çevre bilinci ile kaliteli, rekabetçi üretim ve satış yaparak, Aygersan’ın tanınabilirliğini arttırmaktır” şeklinde tanımlamıştır.

Firmada Ocak ve Haziran aylarında yapılan stratejik planlama süreçleri ile gelecek firma vizyonu sürekli güncellenerek müşteri portföyü, pazar payı, yatırım kararları şekillendirilmektedir.

4.2.2. Aygersan A.Ş.’de Üretilen Ürünler

Aygersan A.Ş. üretim faaliyetlerini far, arka stop ve sinyal olmak üzere üç ana grupta ürünler üreterek sürdürmektedir.

Far: Far aracın çok önemli bir parçası olmakla beraber, teknik görevlerinin dışında, aracın tasarımı konusunda büyük rol üstlenmektedir. Aracın dış kısmında bulunarak, karanlıkta görüş mesafesini, gün ışığında ise görünebilmeyi sağlar. Farlar içerisinde aynı zamanda uzun farlar, park lambaları ve kısa huzmeli lamba da bulunmaktadır. Araç tipine göre sinyal ışıkları da yine farlara entegre şeklinde tasarlanabilmektedir.

Stop lambası: Otomobil, otobüs, kamyon, tır, traktör gibi araçların arkasının iki yanında bulunan ve frene basılınca yanan lambadır. Arkadan gelen araç ve insanların otomobili fark etmesi ve otomobilin fren yaptığını veya geri yönde gideceğini anlamasını sağlar.

Sinyal lambası: Araç seyir halinde iken şerit değişiklikleri ya da sağ-sola dönüşlerde diğer sürücülere dönüş yönünü bildirmeyi ve böylelikle sürüş güvenliğini sağlayan uyarıcılardır.

Aygersan A.Ş.'de üretilen ürünlerden bazıları Şekil 4.1 ile verilmiştir.



Şekil 4. 1. Aygersan ürünleri

4.3. PROBLEMİN TANIMLANMASI

Aygersan A.Ş.'de üretim üç ana prosesten oluşmaktadır. Bu prosesler plastik enjeksiyon, kaplama (yüzey işlem) ve montajdır. Ek olarak led üretim faaliyetine de başlayan Aygersan A.Ş.'nin PCB (elektronik kart) üretim atölyesi de bulunmaktadır. Plastik enjeksiyon üretim prosesi; granül halinde tedarik edilen plastiğin, enjeksiyon makineleri vasıtasıyla şekil aldığı aşamadır.

Kaplama (yüzey işlem) prosesi; plastik enjeksiyonda şekil alan plastik parçaların(yarımamul) alüminyum vakum makineleri vasıtasıyla yüzeylerinin alüminyum kaplandığı aşamadır. Plastik enjeksiyonda üretilen her plastik parça kaplama prosesine tabi değildir. Ön far ve arka stop lambası ürünlerinde ürünün ışığı yansıtmasını sağlamak amacıyla kullanılan reflektörler kaplama prosesine girmektedir.

Montaj prosesi; plastik enjeksiyon ve kaplama prosesleri sonrası üretilen yarımamul ve tedarik edilen malzemelerin sıcak kaynak, ultrasonik kaynak ve vibrasyonik

kaynak metotları ile birleştirildiği aşamadır. Montaj işlemi sonrası elde edilen bitmiş ürün/mamul yakma ve sızdırmazlık testlerine tabi tutulduktan sonra paketlenerek üretim aşamaları tamamlanmış olur.

Firma bünyesinde yer alan 12 montaj hattının aktif olarak çalışabilmesi için plastik enjeksiyon bölümünden beklenen yarımamullerin üretilmiş olması gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında firmanın en kritik bölümünün plastik enjeksiyon bölümü olduğu düşünülmektedir.

Aygersan A.Ş.'de plastik enjeksiyon üretimi 16 farklı enjeksiyon makinesi ve her ürüne özel enjeksiyon kalıpları kullanılarak yapılmaktadır. Her makinenin tonaj ve kalıp basma büyüklükleri farklıdır. Üretilen ürünler genellikle önceden belirlenmiş makinelerde üretilmektedir. Bu çalışmada ürünlerin üretildiği makineler sabit kabul edilmiştir. Enjeksiyon kalıpları ürünlere özel imal edildiği için yalnızca tek çeşit (bazen de sağ-sol takım/set olarak) ürün üretiminde kullanılmaktadır.

Aygersan A.Ş. plastik enjeksiyon makinelerinde çok çeşitte ürün üretilmektedir. Bu ürünler çeşitli özellik, marka ve renkte plastik hammadde kullanılarak üretilmektedir. Her yeni ürünün üretim başlangıcında makinede üretilen bir önceki ürünün hammaddesi aynı değil ise öncelikle makinenin boğaz ismi verilen hammadde haznesi temizlenmelidir. Bu işlem ek bir işçilik ve hazırlık(setup) süresine sebep olmaktadır. Ayrıca bu çalışmanın asıl konusu olan her ürün geçişlerinde hammadde tür ve renk farklılıklarından kaynaklanan kütük ismi verilen hammadde fireleri ortaya çıkmaktadır. Bu kütükler geri dönüşümü olmayan doğrudan hurdaya ayrılan makinenin boğaz temizliği sebebiyle ortaya çıkan hammadde kayıplarıdır.

Özellikleri bakımından sıra bağımlı tek makine çizelgeleme problemini ele alan bu çalışma, Aygersan A.Ş. plastik enjeksiyon makinelerindeki ürün geçişleri esnasında ortaya çıkan kütük oranlarını minimize ederken müşteri önceliği, teslim tarihi ve sipariş büyüklüğü kriterlerini de göz önüne alan en iyi çizelgenin ortaya konulmasını amaçlamaktadır. Doğru iş geçiş sırasının ortaya konulması durumunda ürün geçişleri sırasında yaşanan kütük(fire) miktarı azalacaktır.

4.4. VERİLERİN TOPLANMASI

Çalışmanın yürütüldüğü Aygersan A.Ş. plastik enjeksiyon üretim bölümünde 16 farklı plastik enjeksiyon makinesinde 984 farklı türde yarımamul üretimi yapılmaktadır. Bu yarımamullere dair ürün reçetesi, ürün ağacı ve rota bilgileri firmanın kullanmakta olduğu ERP sisteminde mevcuttur. ERP sisteminde kayıtlı bazı yarımamullere dair üretildikleri makine, çevrim süresi ve saatlik üretim kapasitesi bilgileri Çizelge 4.1.de verilmiştir.

Çizelge 4. 1. Ürünlere dair rota verileri

Ürün Kodu	Ürün Tanımı	Makine Kodu	Makine Tanımı	Setup Süresi (Dk)	Çevrim Süresi	Saatlik Kapasite
60050	Far Tip-1	06-13	NB 250 PLS. ENJ. MAK.	60	1.19	50.42
60051	Far Tip-2	06-13	NB 250 PLS. ENJ. MAK.	60	1.19	50.42
60055	Far Tip-3	06-31	HAİTİAN 900 PLS ENJ MAK	45	0.59	101.69
60056	Far Tip-4	06-31	HAİTİAN 900 PLS ENJ MAK	45	0.59	101.69
60060	Far Tip-5	06-26	NB 150 PLS ENJ MAK	60	0.72	83.33
.	.	.	.		.	.
.	.	.	.		.	.
.	.	.	.		.	.
60565	Far Tip-222	06-24	HAİTİAN PLS. ENJ. MAK. 1600	60	0.26	230.77
61179	Far Tip-671	06-28	HAİTİAN 10800 PLS ENJ MAK	75	0.87	68.97
61185	Far Tip-677	06-19	HAİTİAN PLS. ENJ. MAK. 3800	90	0.42	142.86
.	.	.	.		.	.
.	.	.	.		.	.
.	.	.	.		.	.
61672	Far Tip-977	06-25	HAİTİAN PLS. ENJ. MAK. 2500	60	0.27	222.22
61673	Far Tip-978	06-25	HAİTİAN PLS. ENJ. MAK. 2500	60	0.27	222.22
61676	Far Tip-981	06-28	HAİTİAN 10800 PLS ENJ MAK	75	0.88	68.18
61677	Far Tip-982	06-28	HAİTİAN 10800 PLS ENJ MAK	75	0.88	68.18
61678	Far Tip-983	06-28	HAİTİAN 10800 PLS ENJ MAK	75	0.83	72.29
61679	Far Tip-984	06-28	HAİTİAN 10800 PLS ENJ MAK	75	0.83	72.29

Firma gizliliği sebebiyle gerçek ürün isimleri verilmeyerek Far Tip-1...984 şeklinde verilmiştir. Ayrıca firmanın kullanmakta olduğu ürün kodu hiyerarisi de değiştirilerek verilmiştir.

Çizelge 4.1’de verildiği üzere Aygersan A.Ş.’de kullanılmakta olan plastik enjeksiyon makinelerinin teknik kabiliyetlerine göre hazırlık süreleri(setup) değişkenlik göstermektedir.

Ele alınan bu çalışma Aygersan A.Ş. de yer alan 16 plastik enjeksiyon makinesinin en yoğun ve en çok fire miktarına sahip 3 makinesi üzerinde yürütülmüştür. Çalışmanın yürütüldüğü makineler olan 06-24, 06-28 ve 06-19 makinelerinden 6 aylık sürede toplanan veriler analiz edilerek, ürünler arası geçişler kaynaklı ortaya çıkan firelere dair matrisler oluşturulmuştur.

Çizelge 4.2 ile 06-24 makinesinde üretilen 10 adet ürünün birbirleri arasında geçiş esnasında ortaya çıkan ortalama fire verileri sunulmuştur.

Çizelge 4. 2. 06-24 makinesi fire miktarları

Fire Miktarları (Kg)	60565	61169	61168	61007	60881	60537	61227	60857	60867	60856
60565	0	15,8	12,8	23,85	12,8	18,7	12,8	14,5	12,8	23,85
61169	14,15	0	4,6	11,25	14,6	6,75	7,6	12,2	9,6	11,25
61168	13,85	14,8	0	5,8	0,5	4,25	12,78	8,2	1,89	15,8
61007	17,2	11,8	4,7	0	4,7	8,7	4,7	6,45	4,7	0,77
60881	13,85	24,8	1,2	5,8	0	4,25	1,78	8,2	3	5,8
60537	15,7	15,8	2,8	13,85	2,8	0	2,8	24,5	2,8	13,85
61227	8,85	4,8	2,7	5,8	1,8	4,25	0	8,2	1,65	5,8
60857	13,75	26,7	9	11,5	9	8,1	9	0	9	11,5
60867	23,85	14,8	1,7	5,8	2,2	14,25	0,8	8,2	0	5,8
60856	17,2	16,8	8,7	2,1	4,7	5	9,7	16,45	4,7	0

Çizelge 4.3 ile 06-28 makinesinde üretilen 10 adet ürünün birbirleri arasında geçiş esnasında ortaya çıkan ortalama fire verileri sunulmuştur. Sunulan matraste ürünlerin devam eden işlerde herhangi bir geçiş yaşanmadığı için fire miktarı 0 ile ifade edilmiştir.

Çizelge 4. 3. 06-28 makinesi fire miktarları

Fire Miktarları (Kg)	60251	60940	61004	61016	61032	61079	61091	61179	61183	61187
60251	0	17,5	8,5	22,4	8,6	8,4	25,6	9,5	27,4	31
60940	12,8	0	9,5	15	19,5	25,6	29,4	14,5	16	22,3
61004	5,78	7,8	0	10,2	7,5	13,2	29,3	12,5	12,5	16
61016	18,2	12,8	8,8	0	14,5	18,7	23,2	14,5	17,2	1,2
61032	10,5	20,3	6,89	15,9	0	2,5	5,4	4,6	7,5	10,2
61079	15,9	23,4	17,8	11,2	5,8	0	9,3	4,6	8,4	4,6
61091	21,2	31,1	21,5	14,6	8,9	14,7	0	22	17,5	9,3
61179	7,9	16,7	19,5	21,5	12,4	9,6	18	0	8,7	12,6
61183	33,8	14,7	27,8	7,9	9,2	12,5	25	12,7	0	33
61187	24,6	24,8	41,5	2,4	17,6	8,6	14,9	22,6	17,8	0

Çizelge 4.4 de ise 06-19 makinesinde üretilen 10 adet ürünün birbirleri arasında geçiş esnasında ortaya çıkan ortalama fire verileri sunulmuştur.

Çizelge 4. 4. 06-19 makinesi fire miktarları

Fire Miktarları (Kg)	60201	60586	60596	60598	60722	61236	61250	61185	61410	61670
60201	0	6,4	12,7	7,8	25,2	3,5	35,5	25,5	12	15,5
60586	5,6	0	45,5	12,5	6,4	23,5	5,7	14,7	35	4,6
60596	7,8	34,5	0	24,4	12,5	14,5	30,5	31,2	15,6	7,8
60598	12,6	8,9	12,7	0	2,4	2,5	12,5	17,8	10,5	15,5
60722	22,5	2,4	25,6	4,8	0	3,5	18,8	24,5	41,5	8,5
61236	4,8	47,6	8,5	6,9	4,7	0	50,5	14,5	35,4	14,5
61250	28,9	25,8	22,7	25,7	3,5	24,5	0	12,8	4,7	12,5
61185	32,4	4,7	25,6	15,6	17,8	36,9	2,5	0	35,5	14
61410	7,9	23,9	5,5	27,6	26,7	41,7	3,8	28,5	0	45
61670	20,7	7,8	3,4	20,8	1,8	21,5	6,7	35,5	52	0

Çalışmada çizelgemenin yapıldığı 3 farklı plastik enjeksiyon makinesinde üretilen 30 ürüne dair üretildiği makine, müşteri önemi, toplam sipariş adeti, setup(hazırlık)

süresi, çevrim süresi (1 adet in üretimi için gerekli süre), toplam üretim süresi, termin süresi ve gecikme süresi bilgileri Çizelge 4.5 ile verilmiştir. Çizelgede termin süresi(gün) ve termin süresi(saat) sütunları 0 olan işlerin geciktiğini yani sevk tarihini aştığını ifade etmektedir. Gecikme süresi(saat) ile ifade edilen sütunda da bu geciken işlerin ne kadar geciktikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4. 5. Genel veriler

Ürün	Makine	Müşteri Önerisi	Sipariş Adetleri	Setup Süresi (Dk)	Ürün Çevrim Süresi (Dk)	Üretim Süresi (Dk)	Toplam Süre (Dk)	Termin Süresi (Gün)	Termin Süresi (Saat)	Gecikme Süresi (Saat)
60565	06-24	1	480	60	0.26	125	185	0	0	8
61169	06-24	2	1000	60	0.50	500	560	1	9	0
61168	06-24	2	400	60	0.50	200	260	5	45	0
61007	06-24	3	600	60	0.41	246	306	10	90	0
60881	06-24	1	440	60	0.37	163	223	3	27	0
60537	06-24	2	650	60	0.38	247	307	13	117	0
61227	06-24	2	600	60	0.68	408	468	7	63	0
60857	06-24	1	1600	60	0.79	1264	1324	4	36	0
60867	06-24	2	600	60	0.79	474	534	0	0	12
60856	06-24	3	800	60	0.42	336	396	0	0	30
60251	06-28	2	500	75	0.83	415	490	2	18	0
60940	06-28	2	550	75	0.60	330	405	9	81	0
61004	06-28	3	400	75	0.66	264	339	0	0	24
61016	06-28	1	900	75	0.59	531	606	5	45	0
61032	06-28	1	250	75	0.77	193	268	0	0	7
61079	06-28	3	1200	75	1.08	1296	1371	8	72	0
61091	06-28	2	800	75	0.90	720	795	0	0	22
61179	06-28	2	600	75	0.87	522	597	5	45	0
61183	06-28	1	200	75	0.80	160	235	3	27	0
61187	06-28	3	100	75	0.78	78	153	0	0	15
60201	06-19	1	1000	90	0.98	980	1070	0	0	17
60586	06-19	2	300	90	0.49	147	237	2	18	0
60596	06-19	2	200	90	0.79	158	248	1	9	0
60598	06-19	3	800	90	1.02	816	906	1	9	0
60722	06-19	3	400	90	0.41	164	254	0	0	23
61236	06-19	1	700	90	0.51	357	447	11	99	0
61250	06-19	1	600	90	0.70	420	510	0	0	2
61185	06-19	3	800	90	0.53	421	511	7	63	0
61410	06-19	1	900	90	0.61	549	639	0	0	12
61670	06-19	2	600	90	0.27	162	252	4	36	0

Çizelge 4.5 mevcut müşteri siparişlerine istinaden çalışmanın yürütüldüğü anlık durumu göstermektedir. Bu çizelge planlama periyoduna göre güncel siparişlere istinaden güncellenecektir.

4.5. ÖNERİLEN MODELİN TANITILMASI

Otomotiv sektöründeki plastik enjeksiyon makinelerinde yapılan bu genetik algoritma ile iş sıralama ve çizelgeleme optimizasyonu Rstudio programında data.table ve ExcelFunctionsR kütüphaneleri kullanılarak ele alınan probleme özgü olarak herhangi bir hazır paket kullanılmadan fonksiyonlar kullanılarak sıfırdan yazılarak yapılmıştır. Modelin kurulmasına ilk olarak çizelgeye dahil edilecek işlerin belirlenmesi ile başlanmıştır. Çizelge 4.5’de verildiği üzere üç makine için yapılması gereken işler ve bu işlere dair algoritmaya dahil edilecek bilgiler firma ERP sisteminden ve fiili saha ölçümlerinden elde edilmiştir.

Geliştirilen model ile mevcutta haftalık olarak üretim planı yapılan ve üretim birimleri ile paylaşılan firmanın plastik enjeksiyon üretim hatları için planların günlük olarak yapılmasına geçilmesi önerilmektedir. Tek vardiya usulü çalışan firmada üretim planlama ekibi veya plastik enjeksiyon planlama mühendisinin her gün 14.00-16.00 saatlerinde algoritmayı çalıştırması ve sisteme yeni veri girişleri neticesinde güncellenen yeni çizelgeyi ilgili üretim birimi ile paylaşılması önerilmektedir.

Bağımsız üç plastik enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilen bu çizelgeleme çalışmasının Genetik Algoritma modelinin çalıştırıldığı bilgisayara ait bilgiler, algoritma performansı ve hızı çalıştırılan bilgisaya göre değişim gösterebildiği için Çizelge 4.6’de verilmiştir.

Çizelge 4. 6. Algoritmanın çalıştırıldığı bilgisayar özellikleri

Özellik Türü	Bilgisayar Özellikleri
İşlemci	Intel® Core™ i7-6500U CPU @ 2.50 GHz
RAM	8 GB
Sistem Türü	64 bit İşletim Sistemi, x64 tabanlı işlemci
Modelin Çözüldüğü Program	Rstudio

4.5.1. Çizelgeleme Parametreleri

Ortaya konulan çizelgeleme optimizasyonu modelinde geliştirilen algoritma sonucuna etki eden sistem girdileri yani kriterler söz konusudur. Bu iş önceliklendirme kriterlerinin ağırlık seviyelerinin ne şekilde belirlendiği sonraki bölümlerde detaylıca verilecektir. Çalışmanın yürütüldüğü üç plastik enjeksiyon makinesinde de en iyi iş sırasının oluşturulmasında belirleyici olan sistem girdileri(kriterler) Çizelge 4.7’da verilmiştir.

Çizelge 4. 7. İş önceliklendirme kriterleri

No	İş Önceliklendirme Kriteri	İş Önceliklendirme Kriteri Açıklaması
1	Fire Miktarı	Ürün geçişleri arası(parça değişim) fire miktarı az olan işler arka arkaya sıralanır.
2	Sipariş Büyüklüğü	Sipariş büyüklüğü çok olan iş önce seçilir.
3	Teslim Tarihi	En erken teslim tarihi olan iş önce seçilir.
4	Müşteri Önceliği	Önem sırası yüksek olan müşteri siparişi önce plana alınır.

Müşteri önceliği kriteri firmanın ürünlerini sevk ettiği müşterilerini stratejik bir kararla önem sırasına koymasını ifade etmektedir. Çalışmanın yürütüldüğü firma 3 farklı müşteri grubu belirlemiştir. Bunlar 1 ile ifade edilen ana sanayii müşterilerini yani en kritik müşteri grubunu, 2 ile ifade edilen servis müşterilerini yani en kritik ikinci müşteri grubunu, 3 ile ifade edilen müşteri grubu ise piyasa müşterilerini yani daha eski model ürünler sevk edilen en az öneme sahip müşterilerdir. Müşteri öncelikleri Çizelge 4.8 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4. 8. Müşteri önem düzeyleri

Müşteri Önem Düzeyi	Müşteri Önem Açıklaması
1	Yüksek Önem Düzeyine Sahip Müşteri
2	Orta Önem Düzeyine Sahip Müşteri
3	Düşük Önem Düzeyine Sahip Müşteri

4.5.2. Çizelgeleme Kabulleri

Çizelgeleme modeli geliştirilirken çalışmanın yürütüldüğü üretim sistemine dair belirli kabuller yapılmıştır. Bu kabuller şirketin üretim planlama departmanı ile görüşmeler neticesinde belirlenmiştir. Geliştirilen çizelgeleme modelindeki kabuller aşağıdaki gibidir.

- Her üretim parçasının ayrı üretim süreleri vardır.
- Her bir parçanın kendine ait sadece tek bir kalıbı vardır.
- Başlayan iş bitirilmelidir (iptal edilemez).
- Her ürünün üretileceği makine bellidir.
- Makine aynı anda birden fazla iş yapamaz.
- Makine hiç bozulmaz. Sürekli elverişlidirler.
- İşlem süreleri biliniyor ve sabittir.
- Hazır olma zamanları (setup) biliniyor ve sabittir.
- Parça değişim fireleri bir sonraki işe(hammaddesine) göre değişkenlik göstermektedir.
- Parça değişim fireleri biliniyor ve sabittir.
- Çalışılan genetik algoritma modeli üretim sistemine ait kriterler ve kabuller baz alarak geliştirilmiştir.

4.5.3. İş Önceliklendirme Kriterlerinin Ağırlıklandırması

Çalışmada ulaşılmak istenen en iyi çözüme etki eden sistem girdileri olarak ifade edilmiş olan kriterlerin algoritmaya olan etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kriterlerin geliştirilen algoritmaya olan etkilerini belirleyebilmek için de her bir kriterin hangi ağırlıkta etki edeceği yani önceliklendirileceği ortaya konulmuştur. Kriterlerin ağırlıklandırılması çalışmanın yürütüldüğü firmanın planlama ekibi ve fabrika müdürü ile yapılmıştır. Kriterlerin ağırlıklandırmalarının yapıldığı ekip Çizelge 4.9. ile gösterilmiştir.

Çizelge 4. 9. Kriter ağırlıklandırma yapan karar vericiler

No	Karar Verici
1	Fabrika Müdürü
2	Planlama Müdürü
3	Planlama Şefi
4	Planlama Mühendisi
5	Planlama Mühendisi

Karar verici ekip algoritmaya etki eden kriterlerin hangilerinin şirket stratejileri gereği daha kritik olduğuna karar vererek kurulan algoritmaya belirledikleri ağırlıklarda etki etmesi gerektiğini belirtmiştir. Karar verici ekibin belirlemiş olduğu kriterler ve algoritma sonucu üzerindeki ağırlıkları Çizelge 4.10 da gösterilmektedir.

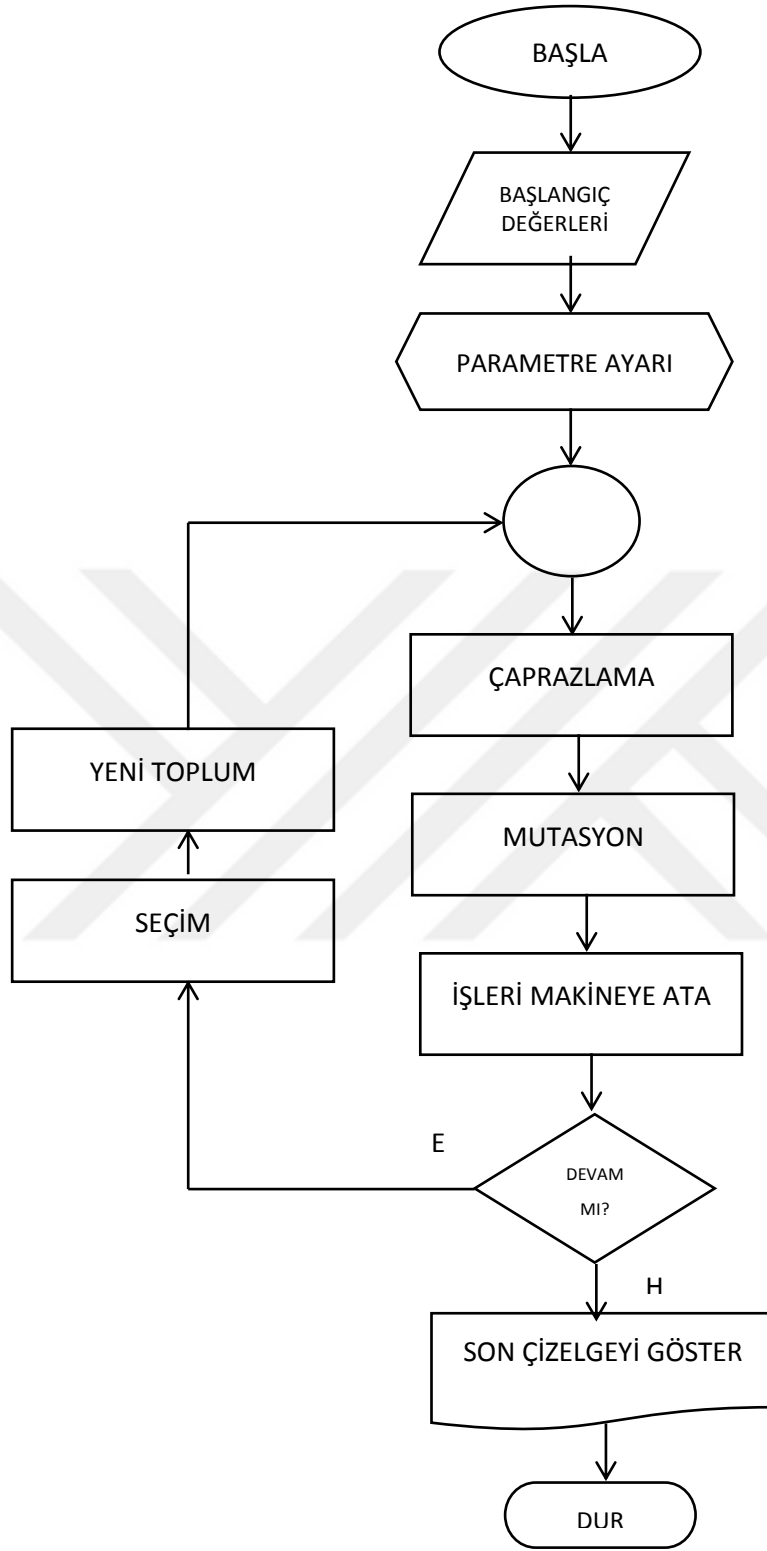
Çizelge 4. 10. İş önceliklendirme kriterlerinin ağırlıkları

No	Kriter	Ağırlık
1	Fire Miktarı	0.5
2	Sipariş Büyüklüğü	0.1
3	Teslim Tarihi	0.2
4	Müşteri Önceliği	0.2

Ele alınan çizelgeleme optimizasyon çalışmasının asıl amacının ortaya çıkan fire miktarını minimize etmek olduğu daha önce anlatılmıştı. Bu amaç doğrultusunda çizelgeleme yapılırken göz ardı edilemeyecek olan ve sonucu doğrudan etkileyen diğer kriterler fire miktarına göre daha az ağırlıklandırılmıştır. Toplamları 1 olan ağırlıklardan en çok ağırlık 0.5 ile fire miktarı ardından teslim tarihi (sevk tarihi) ve müşteri önceliği 0.2 ile son olarak en düşük ağırlık ise 0.1 ile sipariş büyüklüğüne verilmiştir. Ele alınan çalışmada sipariş büyüklüğü üretimin daha az kesinti ile parti büyüklüğü çok olan işe öncelik vermesini sağlayan bir kriter olarak diğer kriterlerle kıyaslandığında en az öneme sahip kriter olarak belirlenmiştir. Teslim tarihi (sevk tarihi) ve müşteri önceliği ise eşit olarak ağırlıklandırılmıştır.

4.5.4. Geliştirilen Genetik Algoritma

Ortaya konulan plastik enjeksiyon makineleri çizelgeleme sisteminde tanımlaması yapılmış olan işlerin öncelik kurallarına göre çalışan algoritma sonucunda ortaya çıkan skor'dan en küçük olan en iyi sonuca en yakın sonucu ifade etmektedir. Geliştirilen Genetik Algoritma modelinde öncelikle başlangıç popülasyonunun oluşturulmasının ardından, türetilmiş olan genlerden oluşan kromozomlar üzerinde çaprazlama ve mutasyon işlemleri gerçekleştirilerek birçok kromozom meydana getirilmektedir. Ardından meydana gelen bu kromozomların mevcut kısıtlara verilen ağırlıklara istinaden ortaya çıkan skorları kıyaslanmaktadır. En düşük skora (ceza puanına) sahip iki kromozomla yeni birey oluşturma işlemi devam ettirilmektedir. Ve önceden belirlenen sayıda iterasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra yeni kromozom oluşturma işlemi durdurulmaktadır. Türetilen bu yeni nesillerden en düşük skor (ceza puanı) değerine sahip kromozom seçilerek sistem çizelgelenmektedir. Geliştirilen Genetik Algoritma Akış Diyagramı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 2. Genetik algoritma akış diyagramı

Optimizasyon modelinde genetik algoritma adımları olan doğal seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri uygulanmıştır. Bu işlemler uygulanırken kullanılan yöntemler Çizelge 4.11 ile verilmiştir.

Çizelge 4. 11. Genetik işlemler ve kullanılan yöntemler

Genetik İşlem	Kullanılan Yöntem
Kodlama	Permütasyon Kodlama (Permutation-coded)
Seçilim	Rulet Çarkı Yöntemi (Roulette wheel method)
Çaprazlama	Sıralı Çaprazlama Yöntemi (Order Crossover-OX)
Mutasyon Yöntemi	Karşılıklı Yer Değiştirme Yöntemi (Reciprocal Exchange)
Durdurma Kriteri	İterasyon Sayısı

4.5.4.1. Genetik Algoritma Parametrelerinin Belirlenmesi

Rstudio programı ile bu problem özgü olarak geliştirilen R dilindeki genetik algoritma modelinde kullanılan parametrelerin belirlenebilmesi için Bölüm 3.6’da detaylı bir şekilde anlatılmış olan Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır. En iyi parametre değerlerini belirleyebilmek için 06-24 nolu makine verileriyle 9 adet deney yapılmıştır. Bu deneylerde kullanılan parametrelere ait faktör seviyeleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4. 12. Parametreler ve faktör seviyeleri

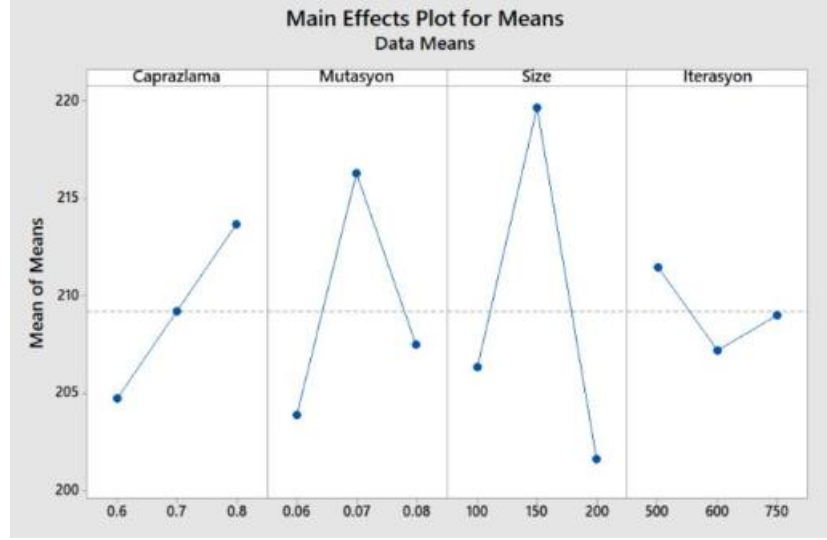
Parametreler	Faktör Seviyesi		
	1	2	3
Çaprazlama	0.60	0.70	0.80
Mutasyon	0.06	0.07	0.08
Populasyon Boyutu(Size)	150	200	250
İterasyon	500	600	750

Genetik algoritma modelindeki çaprazlama, mutasyon, populasyon büyüklüğü(size) ve iterasyon sayısından oluşan dört adet parametre(P=4) ve üç adet seviye(S=3) olmasından dolayı Taguchi “L9” ortogonal dizisine denk geldiği belirlenmiş ve dokuz adet deneyin yapılması yeterli bulunmuştur. Yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4. 13. Taguchi tekniği ile yapılan deneyler

Deney No	Caprazlama	Mutasyon	Populasyon Boyutu(Size)	Iterasyon	Sonuç
1	0.60	0.06	100	500	198.7258949
2	0.60	0.07	150	600	220.2701106
3	0.60	0.08	200	750	195.176565
4	0.70	0.06	150	750	214.0864699
5	0.70	0.07	200	500	210.9504781
6	0.70	0.08	100	600	202.6328
7	0.80	0.06	200	600	198.7258949
8	0.80	0.07	100	750	217.7145616
9	0.80	0.08	150	500	224.6802326

Çizelge 4.13 ile verilmiş olan deneylerin sonuçlarına göre Minitab programının deney tasarımı toolbox’ı kullanılarak modelde kullanılması uygun olan genetik algoritma parametreleri belirlenmiştir. Minitab programında yer alan parametrelere dair grafik Şekil 4.3 ile gösterilmiştir.



Şekil 4. 3. Taguchi Parametre Seviyeleri

Minitab deney tasarımı ile yapılan Taguchi çalışması sonrası bulunan genetik algoritma parametreleri Çizelge 4.14 ile verilmiştir.

Çizelge 4. 14. Genetik algoritma parametreleri

GA Parametreleri	Parametre Değeri
Çaprazlama Olasılığı	0.6
Mutasyon Olasılığı	0.06
Populasyon Boyutu	200
İterasyon Sayısı	600

Yapılan deneyler sonucu belirlenen parametreler çizelgeleme yapılacak her üç makine için de kullanılmıştır.

4.5.4.2. Parametre Kodlama

GA'ların başarısında potansiyel çözümlerin genetik olarak kodlanması kritik bir rol oynar. Goldberg'e göre GA'da probleme ilişkin kodlama yapısının seçilmesinde göz önünde bulundurulması gereken iki temel prensip aşağıdaki şekildedir:

- Kodlama yapısı problemin anlaşılması açısından kısa ve basit kurallara sahip olmalıdır.

- Problemin doğal yapısını ifade edebilecek kabiliyete sahip bir kodlama yapısı oluşturabilen en küçük boyutlu alfabe seçilmelidir.

Çizelgeleme ve iş sıralama gibi problemlerde genel olarak genetik algoritma kromozom zincirlerinin kodları permütasyon kodlama tekniği ile yapılmaktadır. Ele alınan bu çizelgeleme çalışmasında da permütasyon kodlama yöntemi kullanılmıştır.

4.5.4.3. Başlangıç Populasyonunun Oluşturulması

Populasyon büyüklüğünün genetik algoritma parametrelerinin belirlenmesi bölümünde nasıl belirlendiği anlatılmıştı. Populasyon büyüklüğü işlerin karmaşıklığı ve yapılan aramanın derinliği açısından önemlidir. Büyüklüğü belirlenmiş olan populasyon rastgele olarak oluşturulmaktadır.

Oluşturulan modelde, kromozomları oluşturan her bir gen makinelerde yapılacak olan işleri temsil etmektedir. Populasyon büyüklüğü 200 olarak belirlendiği için üç makine için de ayrı ayrı çalıştırılan algorithmada 10 iş arasından 200 farklı sıralama çözümü elde edilecek şekilde bir başlangıç populasyon matrisi oluşturulacaktır. Populasyon büyüklüğü ve problemdeki iş sayısı populasyon matrisinin boyutlarını belirlemektedir. Bu parametrelere göre de her üç makine için 200x10 boyutunda bir başlangıç matrisi oluşacaktır.

Genetik algoritma modelinin yazılması ve çözüm süresinin kısaltılabilmesi amacıyla çizelgeleme yapılan üç makinedeki işler A ile I arasındaki harflerle gösterilmiştir. Her üç makinede yer alan işlerin harf gösterimleri Çizelge 4.15 da verilmiştir

Çizelge 4. 15. Makinelerdeki işlerin harf dönüşümleri

Makineler	İşlerin harf gösterimleri									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	I
1. Makine (06-24)	60565	61169	61168	61007	60881	60537	61227	60857	60867	60856
2. Makine (06-28)	60251	60940	61004	61016	61032	61079	61091	61179	61183	61187
3. Makine (06.19)	60201	60586	60596	60598	60722	61236	61250	61185	61410	61670

Genlerin yanyana dizilmesi ile kromozomlar oluşturulmaktadır. Toplum büyüklüğü kadar kromozom oluşturulduktan sonra başlangıç popülasyonu tamamlanmış olmaktadır. 06-24 nolu makine için oluşturulan başlangıç popülasyonu matrisine ait bir kesit Çizelge 4.16 ile gösterilmektedir.

Çizelge 4. 16. 06-24 makinesi başlangıç popülasyonu

Kromozom No	Gen No									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	G	J	H	I	E	F	A	B	C	D
2	A	I	E	C	F	G	J	D	H	B
3	F	J	E	A	B	C	I	G	D	H
4	A	H	B	G	I	C	E	J	D	F
5	B	H	I	C	F	G	E	A	D	J
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
196	J	E	H	B	G	F	C	I	D	A
197	H	D	E	G	B	F	C	I	A	J
198	C	E	H	B	F	I	G	A	D	J
199	B	C	D	I	E	F	G	A	J	H
200	D	H	B	A	I	E	C	F	G	J

Rasgele olarak üretilen başlangıç popülasyonundaki kromozomların her biri ayrı bir çözümü ifade etmektedir. Birinci kromozoma göre 06-24 makinesindeki üretim G harfi ile ifade edilen 61227 kodlu iş ile başlayıp D harfi ile ifade edilen 61007 kodlu iş ile bitmiştir.

4.5.4.3. Çaprazlama

Genetik algoritma tekniğindeki kromozomların karşılıklı olarak eşleşerek çiftleşme işlemi çaprazlama olarak ifade edilir. Bir sonraki neslin üreyebilmesi için Genetik Algoritmanın en önemli adımlarından birisidir.

Çaprazlama işleminde kromozomlar için rastgele sayılar seçilir ve eğer seçilen bu sayı çaprazlama oranıyla kıyaslandığında daha düşük bir sayı ise kromozom çaprazlama operatörüne tabi tutulur. Ardından çaprazlanması gereken kromozomlar karşılıklı olarak rastgele şekilde eşleştirilir ve çalışmada kullanılan çaprazlama operatörüne göre çaprazlama yapılır. Ele alınan bu çalışmada Sıralı Çaprazlama(OX) operatörü kullanılmıştır.

4.5.4.4. Mutasyon

Mutasyon işlemi kromozom zincirinde bulunan genlerin rassal olasılıklar atanarak başlangıçta belirlenmiş olan mutasyon oranı ile kıyaslanarak kendi içerisinde değişiklik yapılmasıdır. Mutasyon işleminde Genetik Algoritma yöntemindeki kromozomlar bazında işlem yapılan diğer adımlardan farklı olarak gen bazında işlem yapılmaktadır. Mutasyon işlemi sonrasında oluşturulan nesil yeni popülasyonu ifade etmektedir. Genetik Algoritma modelinde devam eden iterasyonlarda her başlangıç popülasyonu bir önceki iterasyonda oluşturulan yeni popülasyon olmaktadır. Algoritmanın her iterasyonunda başlangıç popülasyonu güncellenerek iterasyon sayısı tamamlanıncaya kadar devam etmektedir. Ele alınan bu Genetik Algoritma optimizasyon modeli çalışmasının mutasyon adımı Karşılıklı Yer Değiştirme (Reciprocal Exchange) operatörü kullanılmıştır.

4.5.4.5. İşlerin Makinelere Atanması

Ortaya konulan tek makine üzerinde çalışan Genetik Algoritma optimizasyon modelinde 3 makinede yer alan toplam 30 işin yapılabileceği makineler çalışma başında belirlenmiş durumdadır. İşlerin makinelere atanmasıyla ilgili bilgi algoritma çalışmaya başlamadan önce hazır veriler şeklinde sisteme dahil edilmiştir. Burada

kritik olan 3 makine içinde işlerin atanmış oldukları makinelerde en iyi ortaya konulan kısıtlar altında en iyi çözümü verecek şekilde sıralanmalarıdır. İşlerin makine atamaları çalışma öncesinde belirli olması ve çalışmanın bir tek makine optimizasyonu olmasından kaynaklı olarak algoritma her 3 makine için de ayrı ayrı çalıştırılmıştır.

4.5.4.6. Uygunluk Fonksiyonun Hesaplanması

Genlerin birleşimiyle oluşan kromozomların çalışmanın amaçladığı çözüme hangi ölçüde yaklaştığını belirten fonksiyon hedef fonksiyon olarak ifade edilmektedir. Bu fonksiyon vasıtasıyla kromozomlar çözülerek diğer kromozomların çözümleriyle kıyaslanarak seçilme ihtimali belirlenebilecektir.

Ortaya konulan modelde amaç en düşük skora diğer bir deyişle ceza puanına sahip kromozoma ulaşmaktır. Bu sebepten ötürü düşük skora sahip kromozomların seçilme olasılığı, yüksek skora sahip kromozomların seçilme olasılığına göre daha yüksek olmaktadır. Genetik algoritma uygunluk fonksiyonu değeri aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

W_{ij} : i. işten j. işe geçerken ortaya çıkan fire miktarı

O_i : i. işin sipariş miktarı

D_i : i. işin teslim süresi

V_i : i. işin müşteri önemi

P_i : i. işin üretim süresi

CO_i : i. işin sipariş miktarı ceza puanı

CV_i : i. işin müşteri önemi ceza puanı

CD_i : i. işin teslim süresi ceza puanı

AO: Sipariş miktarı kriter ağırlığı

AD: Teslim süresi kriter ağırlığı

AV: Müşteri önemi kriter ağırlığı

AW: Fire miktarı kriter ağırlığı

S_i : i. işin uygunluk değeri

nW_{ij} : Normalize edilmiş i. işten j. işe geçerken ortaya çıkan fire miktarı

nCO_i : Normalize edilmiş i. işin sipariş miktarı ceza puanı

nCV_i : Normalize edilmiş i. işin müşteri önemi ceza puanı

nCD_i : Normalize edilmiş i. işin teslim süresi ceza puanı

$CO_i = (i. \text{ işin sipariş miktarına göre gelmesi gereken sıra-başlangıç popülasyonundaki sırası}) \times 100$

$CV_i = (i. \text{ işin müşteri önemine göre gelmesi gereken sıra - başlangıç popülasyonundaki sırası}) \times 100$

$CD_i = D_i - P_i$

$$nW_{ij} = \frac{W_{ij} - W_{min}}{W_{maks} - W_{min}}$$

$$nCO_i = \frac{CO_i - CO_{min}}{CO_{maks} - CO_{min}}$$

$$nCV_i = \frac{CV_i - CV_{min}}{CV_{maks} - CV_{min}}$$

$$nCD_i = \frac{CD_i - CD_{min}}{CD_{maks} - CD_{min}}$$

$$S_i = (nW_{ij} \times AW) + (nCO_i \times AO) + (nCV_i \times AV) + (nCD_i \times AD)$$

Modelde seçilen operatöre göre seçilen bireyler yani kromozomlar durma kriteri sağlanana kadar yeni nesile aktarılarak algoritma çaprazlama adımı ile çalışmaya devam eder.

4.5.4.7. Durma Kriteri

Genetik algoritma modelinde durma kriteri iterasyon sayısı olarak belirlenmiştir. 3 makine içinde ayrı ayrı çalıştırılan algoritma için Taguchi metodu kullanılarak belirlenmiş olan 600'er adet iterasyon uygulanmıştır. Her 3 makine için de 600 iterasyon tamamlandığında algoritma sona ermiş ve iterasyonlar arasından en iyi çözüme ulaşılmıştır.

4.5.4.8. Seçim

Genetik algoritma optimizasyon modelinde seçim operatörü olarak literatürde sıkça yer alan rulet çarkı yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada amaçlanan en düşük puanlı çözüme ulaşmak olmasından ötürü en düşük skora sahip kromozom rulet çarkında ters orantılı olarak en büyük payı alacaktır. Yani seçilme olasılığı diğer kromozomlara göre daha fazla olacaktır.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde geliştirilen genetik algoritma tabanlı tek makine çizelgeleme optimizasyon modelinin çalışmanın yürütüldüğü firma olan Aygersan A.Ş.'de uygulanmasının ardından ortaya çıkan sonuçlar ve bu sonuçların firmanın mevcut üretim planındaki iş çizelgesi ile karşılaştırması aktarılacaktır.

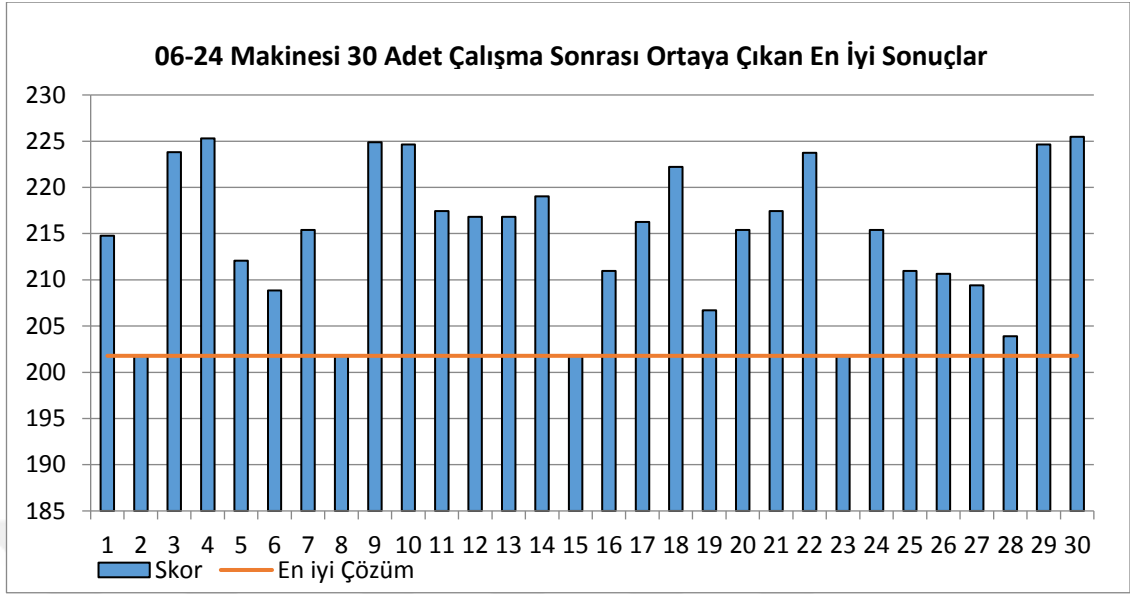
5.1. GİRİŞ

Firmanın bağımsız (eşlenik olmayan) 3 adet plastik enjeksiyon makinesinde yürütülen çalışmada ortaya konulan genetik algoritma modeli her makinedeki 10 adet iş için 600 iterasyon ile 30'ar kez çalıştırılmıştır. Bu bağlamda her makinede en iyi çözüme ulaşmak amacıyla 18.000(30*600) defa model optimize edilerek en iyi çözüme ulaşılmıştır.

Bundan sonraki bölümlerde 3 makineye dair optimizasyon sonuçları paylaşılacaktır.

5.2. MAKİNE 1'DEKİ OPTİMİZASYON SONUÇLARI

Çalışma ilk olarak firmanın 06-24 kodlu plastik enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilmiştir. 06-24 makinesinde gerçekleştirilen 600'ar iterasyonda 30 adet çalışmadaki ortaya çıkan en iyi skorlar diğer bir deyişle toplam fayda fonksiyon değerleri Şekil 5.1 ile gösterilmiştir.



Şekil 5. 1. 06-24 Makinesi en iyi sonuçlar

Şekil 5.1'e bakıldığında 600 ar yeni kromozom oluşan 30 adet çalışmada en iyi skora sahip çalışmaların ele alınan problemdeki amaç fonksiyonunun minimizasyon olmasından dolayı 2. çalışma, 8. çalışma, 15. çalışma ve 23. çalışma olduğu görülmektedir. Her dört çalışmanın da 06-24 makinesi için en iyi skoru 201.78 olarak sonuçlanmıştır.

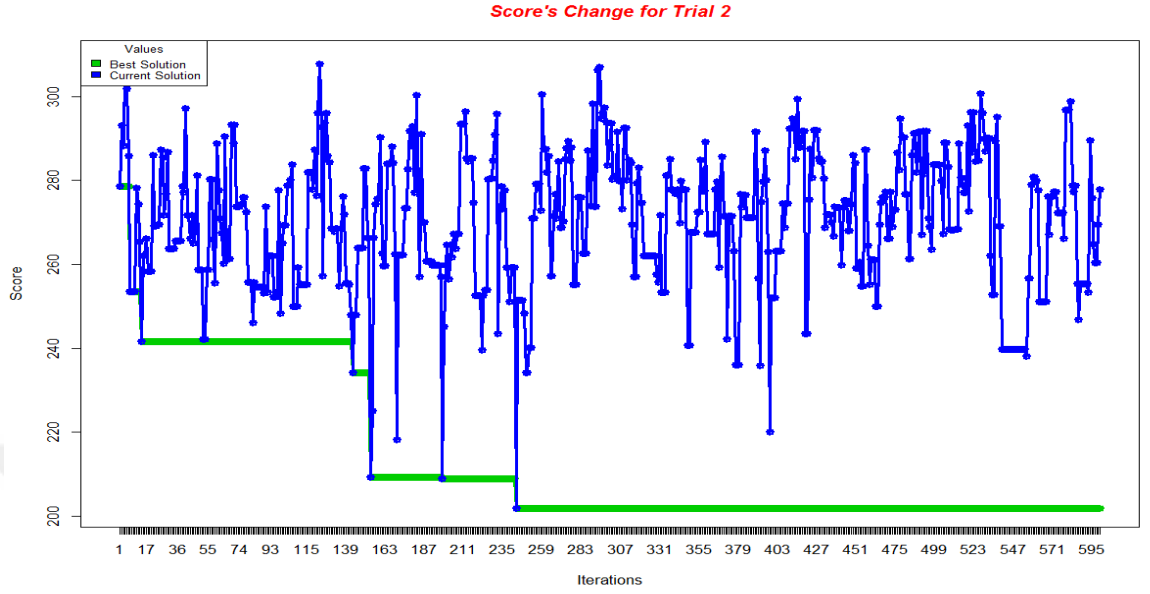
06-24 makinesindeki 30 adet çalışmanın verdiği sonuçların istatistiki verileri ise Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5. 1. 06-24 makinesi algoritma sonucu istatistiki veriler

Aritmetik Ortalama($\bar{X}$)	Standart Sapma (S)
214.669	7.789

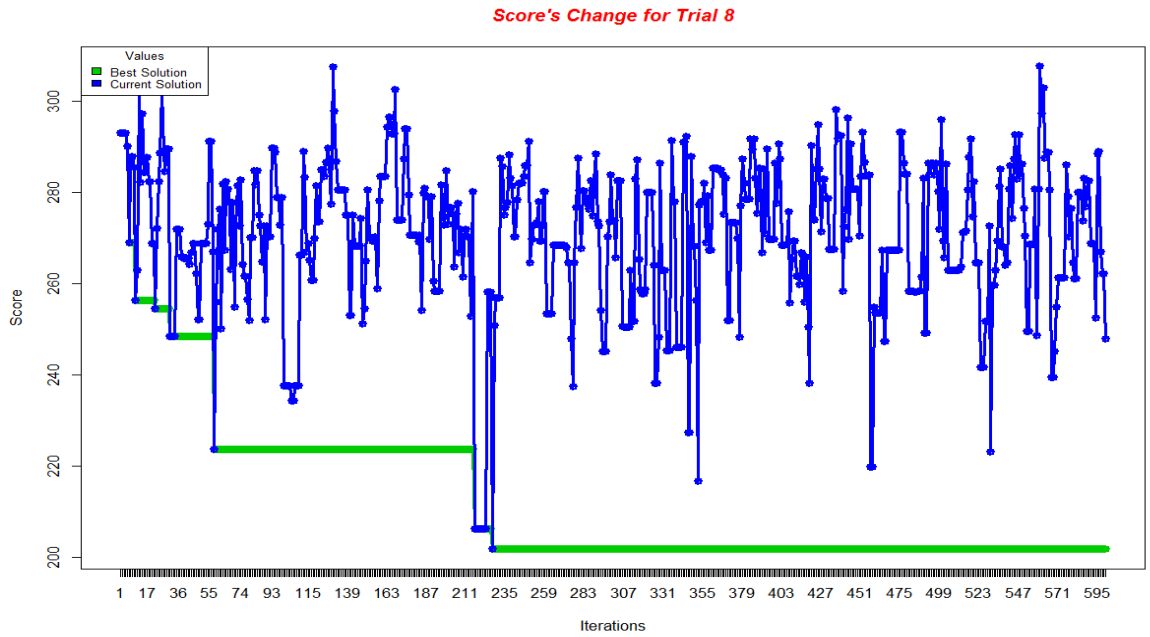
Çizelgeye bakıldığında algoritma sonucu 06-24 makinesinde ortaya çıkan 30 adet sonucun aritmetik ortalaması 214.669 olarak gerçekleşmiştir. Çözümlerin ortalamaya olan yakınlık derecelerinin bir ifadesi olan standart sapma ise 7.789 olarak gerçekleşmiştir.

En iyi skorun üretildiği ilk çalışma olan ikinci çalışmadaki 600 kromozoma dair skor verileri de Şekil 5.2 de gösterilmektedir.



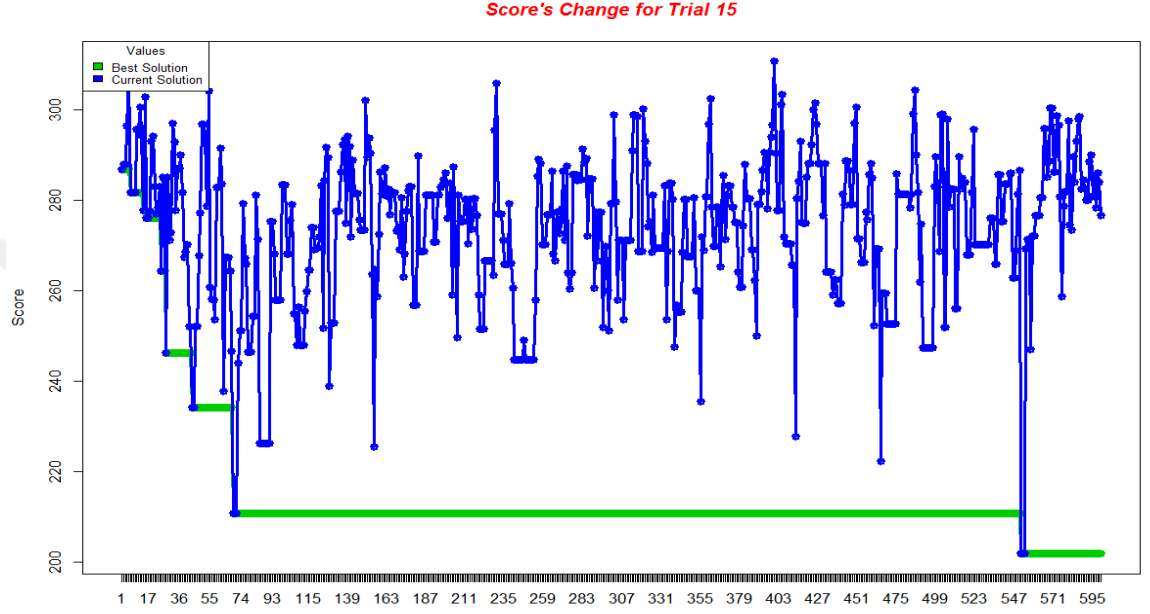
Şekil 5. 2. 06-24 makinesi 2. çalışma skor grafiği

5.2 nolu şekle bakıldığında ikinci çalışmada 243. iterasyonda algoritmanın en iyi skora ulaştığı söylenmektedir. En iyi skorun üretildiği bir diğer çalışma olan sekizinci çalışmadaki 600 kromozoma dair skor verileri de Şekil 5.3 de gösterilmektedir.



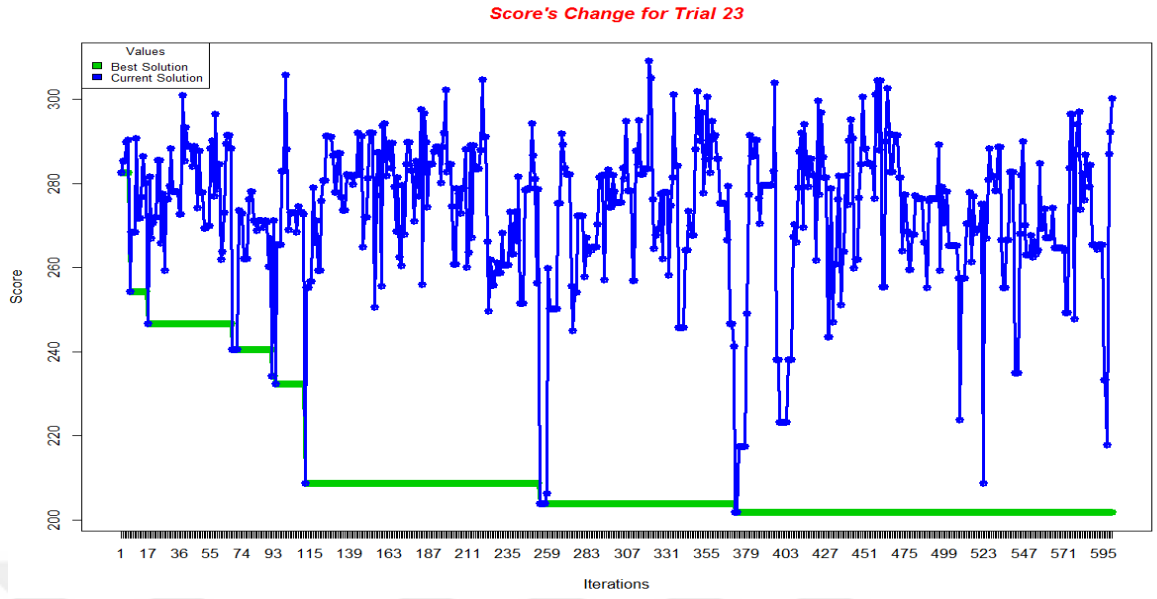
Şekil 5. 3. 06-24 makinesi 8. çalışma skor grafiği

06-24 makinesindeki 8. çalışmada da algoritma en iyi skora 227. iterasyonda ulaşmıştır. En iyi skorun üretildiği bir diğer çalışma olan 15. çalışmadaki skor verileri de Şekil 5.4 deki gibidir.



Şekil 5. 4. 06-24 makinesi 15. çalışma skor grafiği

15. çalışmadaki 600 kromozom arasından en iyi çözümü veren kromozomun 551. sıradaki kromozom olduğu Şekil 5.4 görülmektedir. 06-24 makinesindeki en iyi çözümü veren 4 çalışmadan sonuncusu olan 23. çalışmaya ait skor verilerini gösteren grafik de Şekil 5.5 ile verilmektedir.



Şekil 5. 5. 06-24 makinesi 23. çalışma skor grafiği

Optimizasyon modelinin çalıştırıldığı ilk makine olan 06-24 makinesindeki en iyi çözüme ulaşılan son çalışma olan 23. Çalışmaya ait skor grafiğine bakıldığında da en iyi skoru 372. kromozomun ürettiği görülmektedir.

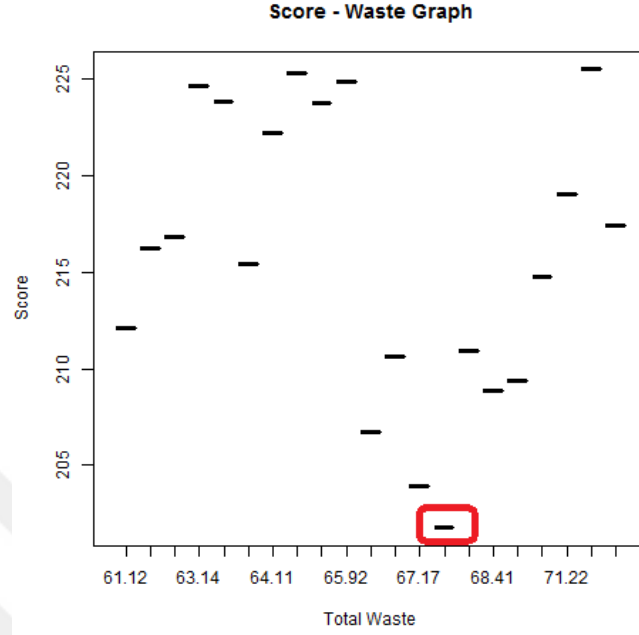
Mevcut algoritma kısıtları altında 06-24 makinesindeki 2.,8.,15, ve 23. çalışmalardaki kromozomlara ait iş sıralaması/çizelgesi geliştirilen optimizasyonun sonucu olarak en iyi çözümü ifade etmektedir. En iyi çözüme ait kromozomun gen dizilimi diğer bir ifadeyle makinedeki en iyi iş sırası Çizelge 5.2 ile gösterilmektedir.

Çizelge 5. 2. 06-24 makinesi en iyi iş sırası

06-24 En İyi İş Sırası	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Kromozom	A	E	H	B	F	I	G	C	D	J
Firma Kodları Gösterimi	60565	60881	60857	61169	60537	60856	61227	61168	61007	60867

En iyi iş sırasına bakıldığında 06-24 nolu makinede ilk olarak 60565 kodlu iş ile başlanacak ve son olarak 60867 kodlu iş ile çizelge sonlanacaktır. Ele alınan çalışmanın asıl amaçlarından birisi olan ortaya çıkan minimize edilmeye çalışılan fire

miktarı ise toplam 67.32 kg olarak gerçekleşmiştir. Optimizasyon modeli sonucu skor değerleri ile toplam fire miktarlarının kesiştiği noktalar Şekil 5.6 daki gibidir.



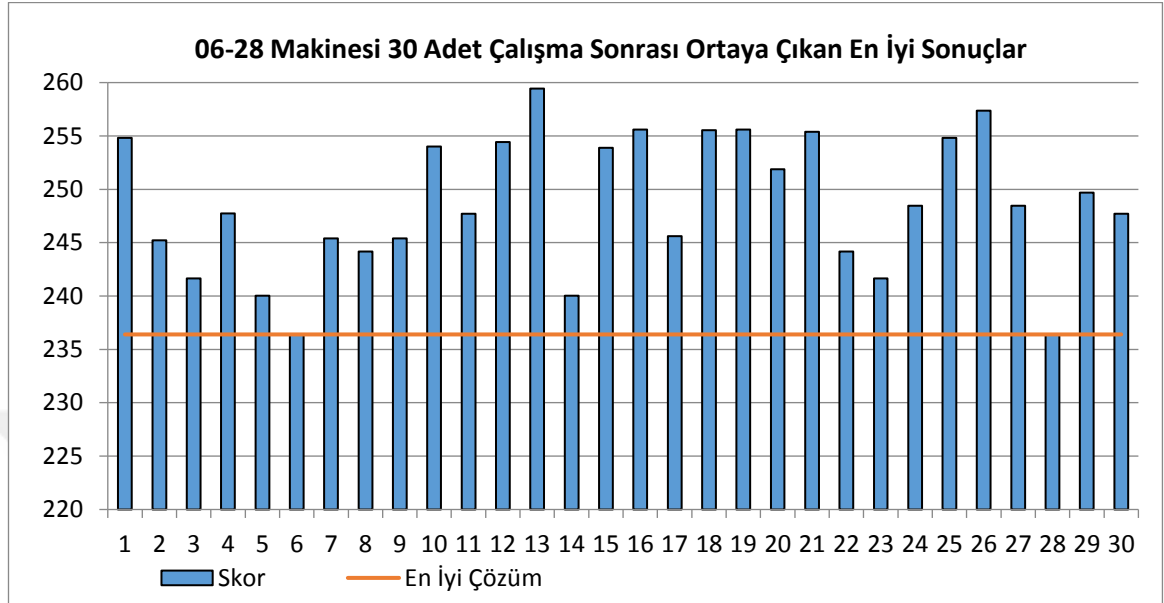
Şekil 5. 6. 06-24 makinesi skor-fire miktarı grafiği

Şekle bakıldığında optimizasyon modelinde 201.78 ile en iyi skorun karşılığında fire miktarı 67.32 kg olarak gerçekleşmiştir. Algoritmada daha yüksek skor değerlerinde daha düşük fire miktarlarına ulaşılmış ancak modelin amaç fonksiyonunun minimizasyon olması ve 4. bölümde açıklandığı üzere algoritmaya etki eden ağırlık katsayısı en yüksek kısıtın fire miktarı kısıtı olmasına rağmen tek kısıtın olmamasından dolayı en iyi sonucun ürettiği toplam fire miktarı 67.32 kg olarak gerçekleşmiştir. Algoritmanın amacı fire miktarını minimize etmeye çalışırken diğer yandan da sevk tarihi, müşteri önemi ve sipariş büyüklüğü gibi kısıtları da göz önünde bulunduran en iyi iş sırasının ortaya konulmasıdır.

5.3. MAKİNE 2'DEKİ OPTİMİZASYON SONUÇLARI

Ele alınan Genetik Algoritma optimizasyon çalışması ikinci olarak firmanın 06-28 kodlu plastik enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilmiştir. 06-28 makinesinde de yine çalışmanın yapıldığı ilk makine olan 06-24 makinesindeki gibi gerçekleştirilen 600'ar iterasyonla 30 adet çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda

ortaya çıkan en iyi skorlar diğer bir deyişle toplam fayda fonksiyon değerleri Şekil 5.7 ile gösterilmiştir.



Şekil 5. 7. 06-28 makinesi en iyi sonuçlar

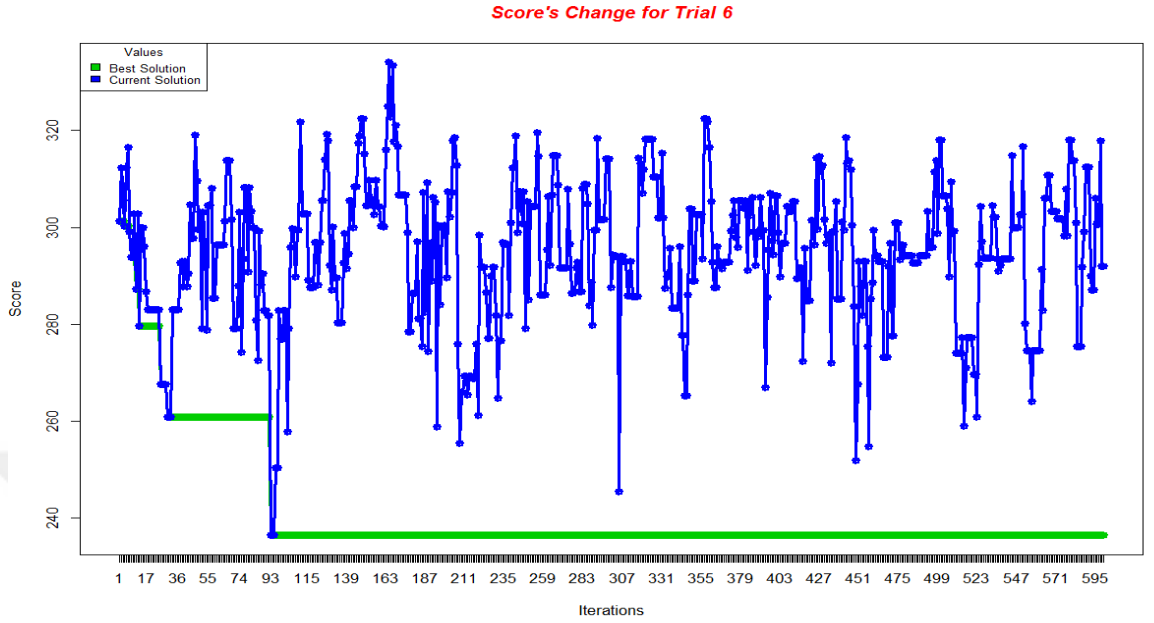
Şekil 5.7'ye bakıldığında 600 ar yeni kromozomun olduğu 30 adet çalışmada en iyi skora sahip çalışmaların ele alınan problemdeki amaç fonksiyonunun minimizasyon olmasından dolayı 6. çalışma ve 28. çalışma olduğu görülmektedir. Her iki çalışmanın da 06-28 makinesi için en iyi skoru 236.401 olarak sonuçlanmıştır. 06-28 makinesindeki 30 adet çalışmanın verdiği sonuçların istatistiki verileri ise Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5. 3. 06-28 makinesi algoritma sonucu istatistiki veriler

Aritmetik Ortalama($\bar{X}$)	Standart Sapma (S)
248.621	6.408

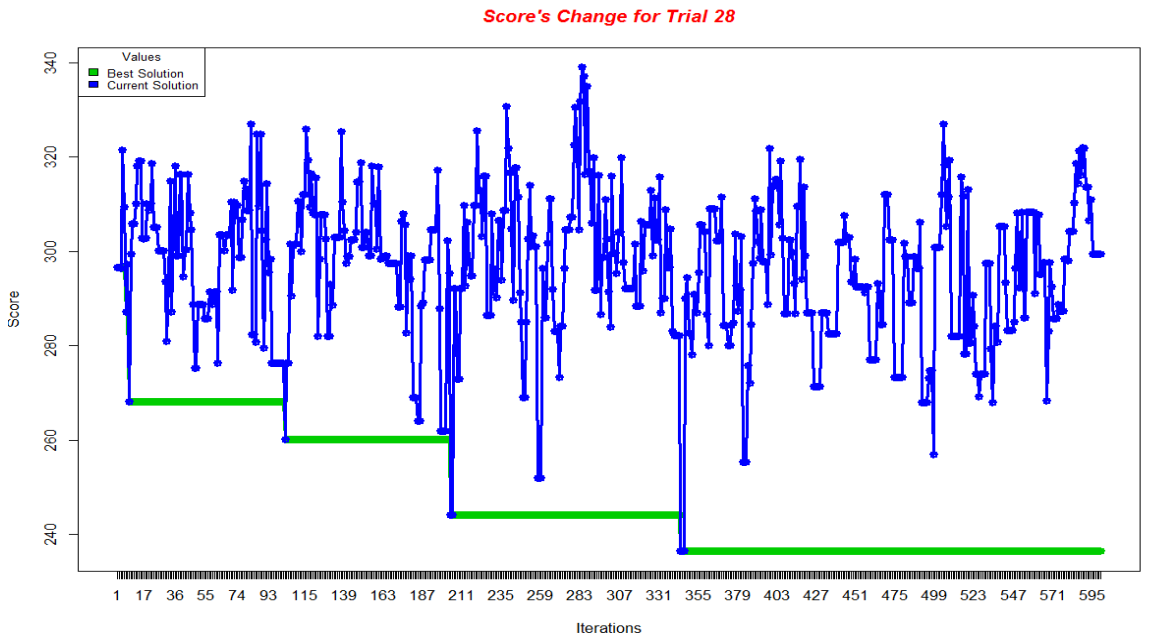
Çizelgeye bakıldığında algoritma sonucu 06-28 makinesinde ortaya çıkan 30 adet sonucun aritmetik ortalaması 248.621 olarak gerçekleşmiştir. Çözümlerin ortalamaya olan yakınlık derecelerinin bir ifadesi olan standart sapma ise 6.408 olarak gerçekleşmiştir.

En iyi skorun üretildiği ilk çalışma olan 6. çalışmadaki 600 kromozoma dair skor verileri de Şekil 5.8 de gösterilmektedir.



Şekil 5. 8. 06-28 makinesi 6. çalışma skor grafiği

06-28 makinesinde 6. çalışmadaki 600 kromozom arasından en iyi çözümü veren kromozomun 93. sıradaki kromozom olduğu Şekil 5.8 de görülmektedir. 06-28 makinesindeki en iyi çözümü veren iki çalışmadan diğeri olan 28. çalışmaya ait skor verilerini gösteren grafik de Şekil 5.9 ile gösterilmektedir.



Şekil 5. 9. 06-28 makinesi 28. çalışma skor grafiği

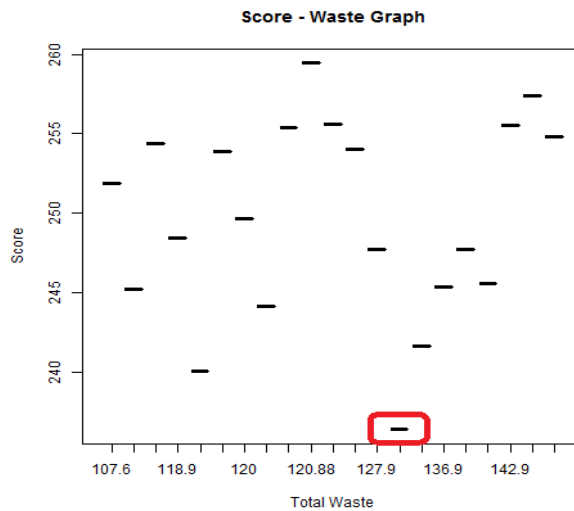
Optimizasyon modelinin çalıştırıldığı ikinci makine olan 06-28 makinesindeki en iyi çözüme ulaşılan ikinci çalışma olan 28. çalışmaya ait skor grafiğine bakıldığında en iyi skoru 344. kromozomun ürettiği görülmektedir.

Mevcut algoritma kısıtları altında 06-28 makinesindeki 6. ve 28. çalışmalardaki kromozomlara ait iş sıralaması/çizelgesi geliştirilen optimizasyonun sonucu olarak en iyi çözümü ifade etmektedir. En iyi çözüme ait kromozomun gen dizilimi diğer bir ifadeyle makinedeki en iyi iş sırası Çizelge 5.4 ile gösterilmektedir.

Çizelge 5. 4. 06-28 makinesi en iyi iş sırası

06-28 En İyi İş Sırası	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Kromozom	E	I	D	B	A	H	G	J	C	F
Şirket Kodları Gösterimi	61032	61187	61016	60940	60251	61179	61091	61183	61004	61079

06-28 nolu makinedeki en iyi çizelgeye bakılacak olursa ilk olarak 61032 kodlu iş ile başlanacak ve son olarak 61079 kodlu iş ile çizelge bitecektir. Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasının amaçlarından birisi olan minimize edilmeye çalışılan fire miktarı ise toplam 132.5 kg olarak gerçekleşmiştir. Optimizasyon modeli sonucu skor değerleri ile toplam fire miktarlarının kesiştiği noktalar Şekil 5.10 daki gibidir.

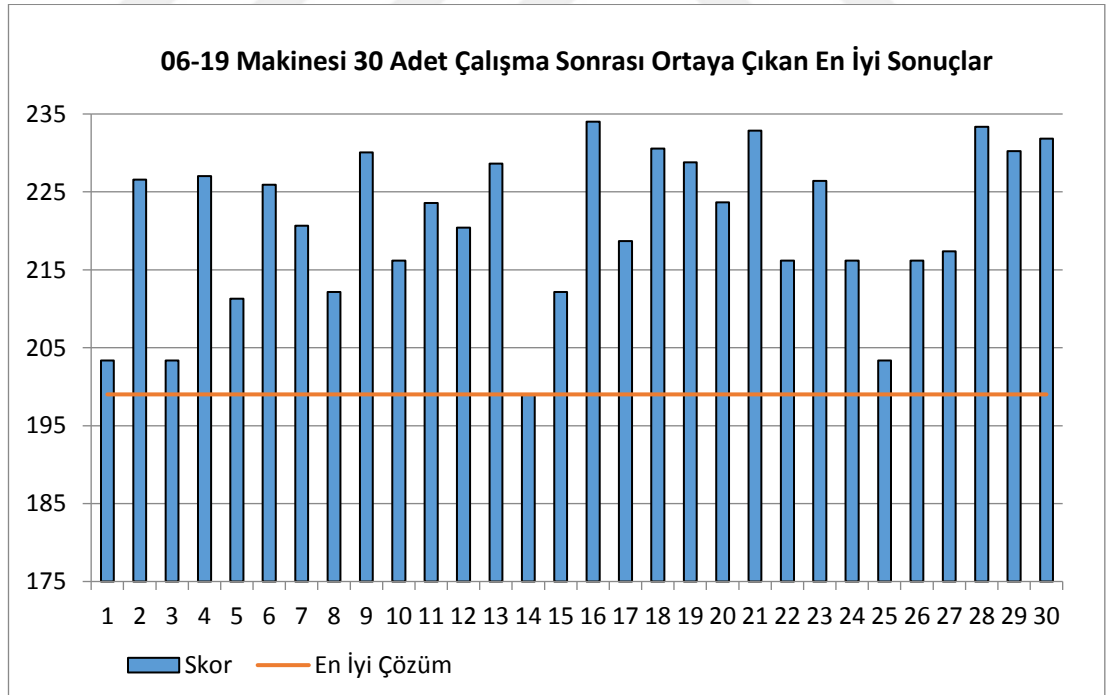


Şekil 5. 10. 06-28 makinesi skor-fire miktarı grafiği

Şekle bakıldığında optimizasyon modelinde 236.401 olarak bulunan en iyi algoritma skorunun karşılığında fire miktarı 132.5 kg olarak gerçekleşmiştir. Algoritmada daha yüksek skor değerlerinde daha düşük fire miktarlarına ulaşılmış ancak modelin amaç fonksiyonunun minimizasyon olması ve algoritmaya etki eden ağırlık katsayısı en yüksek kısıtın fire miktarı kısıtı olmasına rağmen tek kısıtın olmamasından dolayı en iyi sonucun ürettiği toplam fire miktarı 132.5 kg olarak gerçekleşmiştir.

5.4. MAKİNE 3'DEKİ OPTİMİZASYON SONUÇLARI

Geliştirilen Genetik Algoritma tabanlı tek makine çizelgeleme optimizasyon modeli son olarak firmanın 06-19 kodlu plastik enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilmiştir. 06-19 makinesinde de yine çalışmanın yapıldığı ilk makine olan 06-24 ve ikinci makine olan 06-28 makinelerindeki gibi gerçekleştirilen 600'ar iterasyonla 30 adet çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda ortaya çıkan en iyi skor değerleri Şekil 5.11 ile gösterilmiştir.



Şekil 5. 11. 06-19 makinesi en iyi sonuçlar

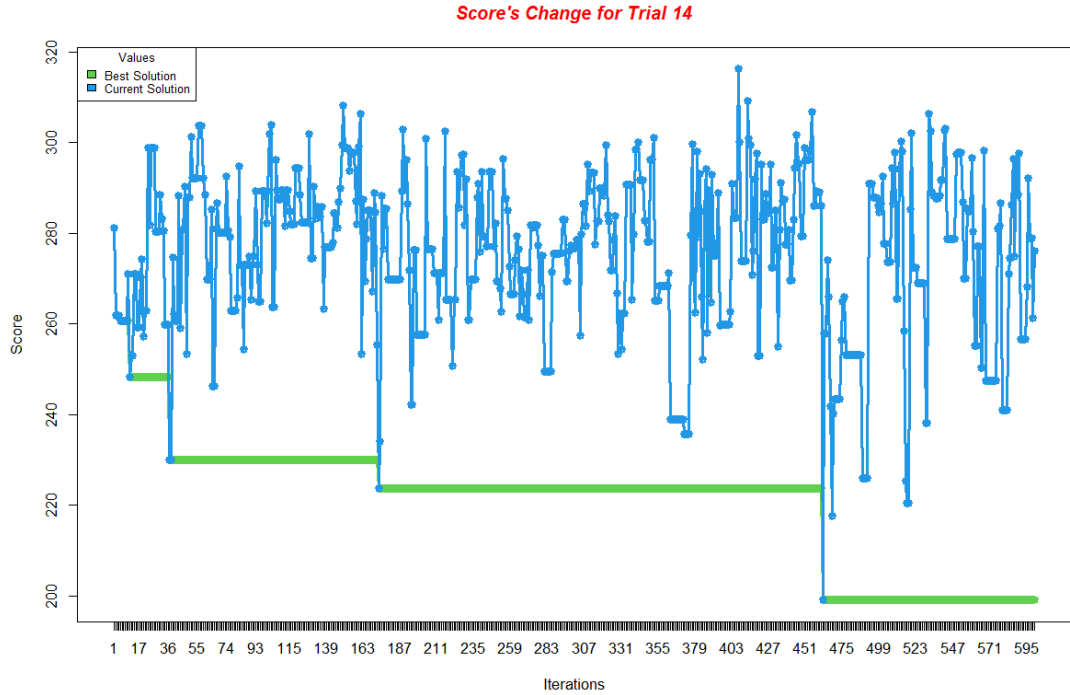
Şekil 5.11'ye bakıldığında 600 ar yeni kromozomun oluştuğu 30 adet çalışmada en iyi skora sahip çalışmanın ele alınan problemdeki amaç fonksiyonunun minimizasyon olmasından dolayı 14. çalışma olduğu görülmektedir. 06-19 makinesindeki 30 adet çalışma arasından en iyi çözüm skoru 199.01 olarak sonuçlanmıştır. 06-28 makinesindeki 30 adet çalışmanın verdiği sonuçların istatistiki verileri ise Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5. 5. 06-19 makinesi algoritma sonucu istatistiki veriler

Aritmetik Ortalama($\bar{X}$)	Standart Sapma (S)
220.670	9.950

Çizelgeye bakıldığında algoritma sonucu 06-19 makinesinde ortaya çıkan 30 adet sonucun aritmetik ortalaması 220.670 olarak gerçekleşmiştir. Çözümlerin ortalamaya olan yakınlık derecelerinin bir ifadesi olan standart sapma ise 9.950 olarak gerçekleşmiştir.

En iyi skorun üretildiği çalışma olan 14. çalışmadaki 600 kromozoma dair skor verileri de Şekil 5.12 de gösterilmektedir.



Şekil 5. 12. 06-19 makinesi 14. Çalışma skor grafiği

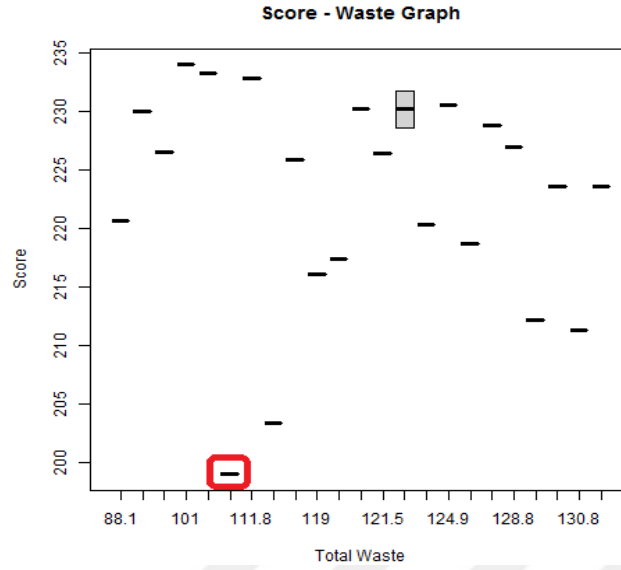
Modelin çalıştırıldığı son makine olan 06-19 makinesindeki en iyi çözüme ulaşılan çalışma olan 14. çalışmaya ait skor grafiğine bakıldığında en iyi skoru 462. kromozomun ürettiği görülmektedir. Bundan sonra üretilen kromozomlarda daha iyi bir sonuç elde edilememiştir.

Mevcut algoritma kısıtları altında 06-19 makinesindeki 14. çalışmadaki kromozomlara ait iş sıralaması/çizelgesi geliştirilen optimizasyonun sonucu olarak en iyi çözümü ifade etmektedir. En iyi çözüme ait kromozomun gen dizilimi diğer bir ifadeyle makinedeki en iyi iş sırası Çizelge 5.6 deki gibidir.

Çizelge 5. 6. 06-19 makinesi en iyi iş sırası

06-19 En İyi İş Sırası	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Kromozom	F	G	I	A	B	J	C	E	D	H
Şirket Kodları Gösterimi	61236	61250	61670	60201	60586	61410	60596	60722	60598	61185

06-19 nolu makinedeki en iyi çizelgeye bakılacak olursa ilk olarak 61236 kodlu iş ile başlanacak ve son olarak 61185 kodlu iş ile çizelge son bulacaktır. Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasının amaçlarından birisi olan minimize edilmeye çalışılan fire miktarı ise toplam 106.8 kg olarak gerçekleşmiştir. Optimizasyon modeli sonucu skor değerleri ile toplam fire miktarlarının kesiştiği noktalar Şekil 5.13 daki gibidir.



Şekil 5. 13. 06-19 makinesi skor-fire miktarı grafiği

Şekle bakıldığında optimizasyon modelinde 199.01 olarak bulunan en iyi algoritma skorunun karşılığında fire miktarı 106.8 kg olarak gerçekleşmiştir. Algoritmada daha yüksek skor değerlerinde daha düşük fire miktarlarına ulaşılmış ancak modelin amaç fonksiyonunun minimizasyon olması ve algoritmaya etki eden ağırlık katsayısı en yüksek kısıtın fire miktarı kısıtı olmasına rağmen tek kısıtın olmamasından dolayı en iyi sonucun ürettiği toplam fire miktarı 106.8 kg olarak gerçekleşmiştir. Algoritmanın amacı fire miktarını minimize etmeye çalışırken diğer yandan da sevk tarihi, müşteri önemi ve sipariş büyüklüğü gibi kısıtları da göz önünde bulunduran en iyi iş sırasının ortaya konulmasıdır.

5.5. MEVCUT DURUM İLE GELİŞTİRİLEN MODELİN KIYASLANMASI

Geliştirilen Genetik Algoritma tabanlı çizelgeleme modelinin firmaya katkısı ve mevcutta kullanılan iş sıralama ve çizelgeleme sürecindeki değişim beş farklı şekilde sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma planlama departmanının mevcutta kullandığı iş çizelgeleme yöntemi ile geliştirilen yöntem, departmanda kullanılan program ve modelde kullanılan program, çizelgeleme sonucu fire miktarı ölçümü, üretim ekibi ile üretim planı paylaşabilme sıklığı ve plan revizyon metodu şeklinde yapılmıştır. Yapılan sınıflandırmaya göre gerçekleştirilen değişim ve yenilikler Çizelge 5.7 de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 7. Mevcut ve önerilen durum kıyaslaması

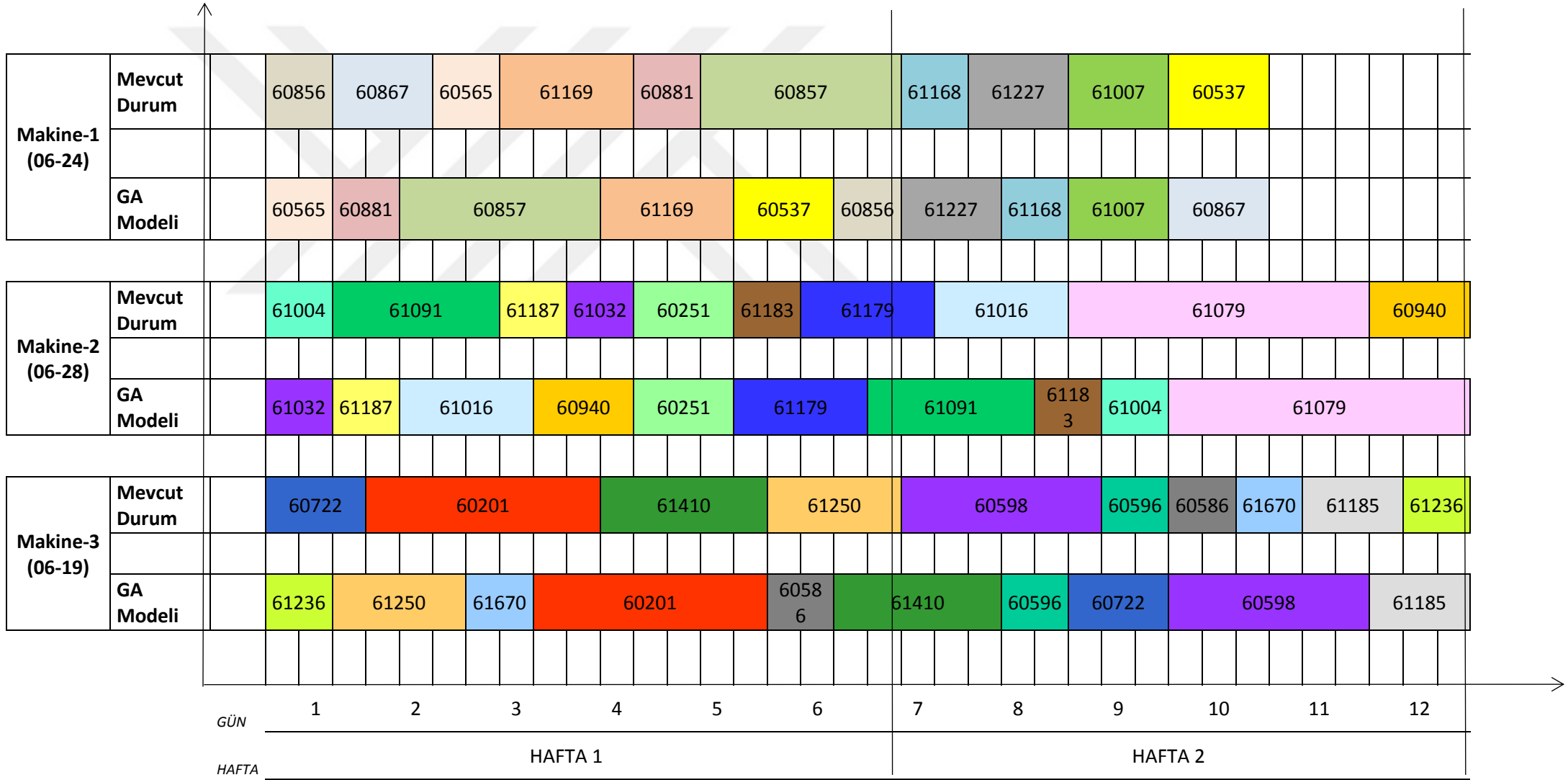
Karşılaştırma Metodu	Mevcut Durum	Önerilen Durum
Çizelgeleme Yöntemi	Kişisel fikirler, öngörüler, tecrübeler	GA Optimizasyonu
Kullanılan Çizelgeleme Programı	Excel	RStudio
Fire Ölçümü	Yapılamıyor	Günlük takip edilebiliyor.
Üretim Planı Paylaşım Frekansı	Haftada bir	Günlük paylaşılabilir.
Plan Revizyon Metodu	Excel'e ekleme çıkarma(takibi yok)	Revize işlemi sonrası algoritma yeniden çalıştırılarak performans kriterleri takip edilebilir.

Çizelge 5.7’de de görüldüğü üzere firma mevcut sisteminde üretim planlama departmanı çizelgelemeyi çalışanların kişisel fikir, öngörü ve bu işteki geçmiş tecrübelerine dayanarak yapmaktadır. Önerilen Rstudio programında yazılmış GA modeli ile anlık olarak tüm kriterler algoritmaya girdi edilerek en uygun çizelge elde edilebilecektir. Genellikle işlerin teslim tarihlerine göre yapılan mevcut durum iş sırasında fire miktarları takip edilemediği ve çizelgeleme sistemine dahil edilemediği için firmanın mevcut durumda yüksek fire değerleri mevcuttur. Mevcut durumda üretim planlama departmanı çalışanları müşterilerden gelen siparişleri hafta başında ERP sisteminden çekip her hafta Perşembe günü makineler bazından haftalık plan yapmakta ve gerekli departmanlar ile paylaşmaktadırlar. Ancak önerilen yeni modelde tüm girdileri eksiksiz olacak olan algoritma her gün 14.00 ile 16.00 saatleri arasında çalıştırılarak bir sonraki günden itibaren tüm müşteri siparişlerini baz alarak istenilen gün aralığında üretim çizelgeleme işini yapabilmekte gerekli olan revizyonları gerçekleştirebilmektedir. Böylelikle firmanın müşteri siparişlerine karşı olan esnekliği de arttırılmaktadır.

Tüm bu sistemsal iyileştirmelerin yanında bu çalışmanın ana amaçları içerisinde yer alan ve firmanın geri dönüşümünü sağlayamadığı, makinelerdeki iş geçişleri esnasında ortaya çıkan toplam fire miktarlarının mevcut üretim çizelgesi ile geliştirilen model sonucunda ortaya konulan yeni üretim çizelgesi kıyaslanarak GA

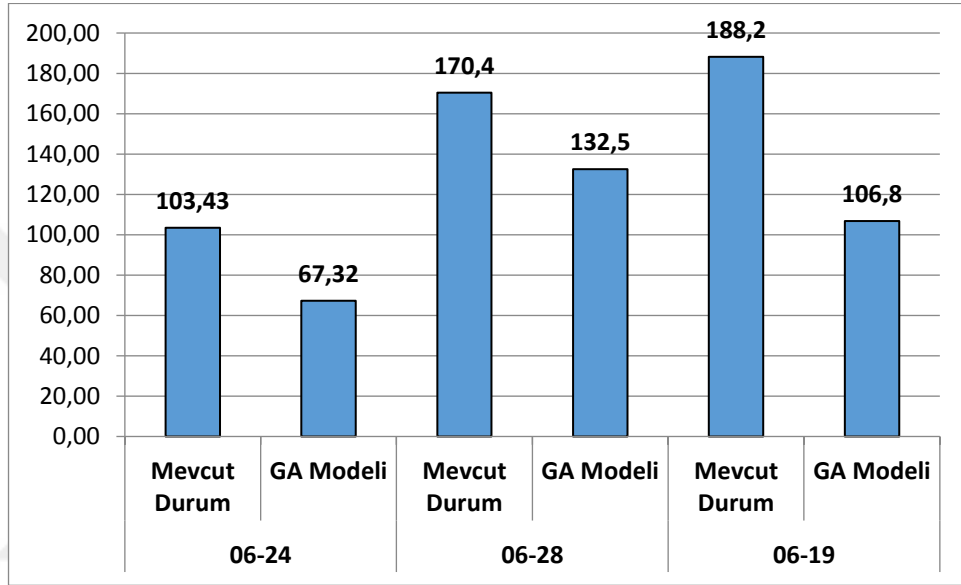
modelinin etkinliği test edilmiştir. Optimizasyon modelinin uygulandığı 06-24, 06-28 ve 06-19 makinelerindeki mevcut durum üretim çizelgesi şekil 5.14 deki gibidir.

şekil 5.14’de verildiği üzere 06-24 makinesi için mevcut durumda çizelge 60856 kodlu iş ile başlayıp 60537 kodlu iş ile tamamlanmaktadır. Geliştirilen Genetik Algoritma modeli ile bulunan en iyi iş sırası ise 60565 kodlu iş ile başlayıp, 60867 kodlu iş ile bitmektedir. 06-28 makinesi için ise mevcut durumda çizelge 61004 kodlu iş ile başlayıp 60940 kodlu iş ile tamamlanmaktadır. Geliştirilen Genetik Algoritma modeli ile ortaya konulan yeni iş sırası ise 61032 kodlu iş ile başlayıp, 61079 kodlu iş ile bitmektedir. Son olarak 06-19 makinesindeki duruma bakılırsa da mevcut durumda algoritma 60722 kodlu iş ile başlayıp, 61236 kodlu iş ile bitmektedir. Algoritma ile önerilen yeni iş sırası ise 61236 kodlu iş ile başlayıp 61185 kodlu iş ile tamamlanmaktadır.



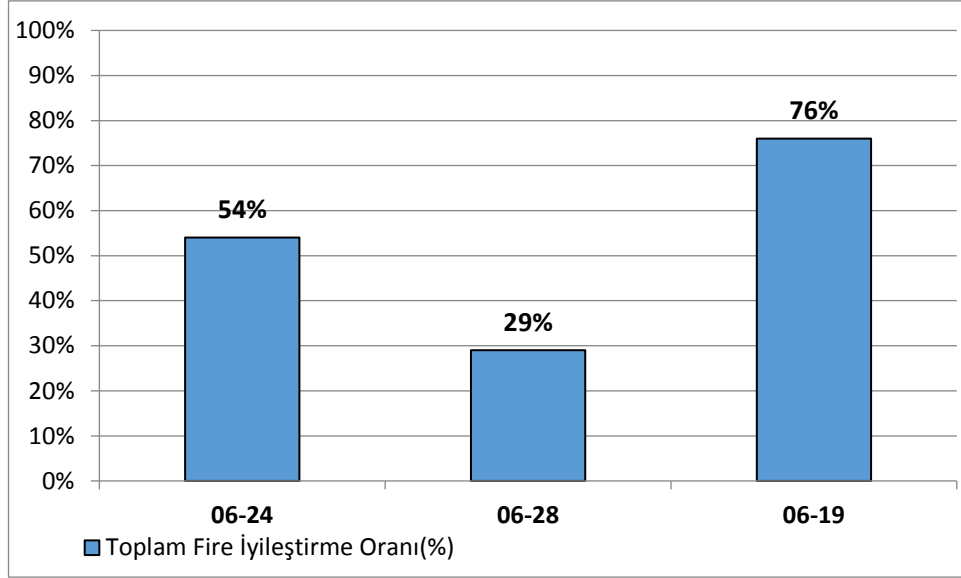
Şekil 5. 14. Makinelerdeki iş sıraları(mevcut durum/önerilen durum)

Geliştirilen Genetik Algoritma çizelgeleme modeli ile çalışmanın yürütüldüğü 06-24, 06-28 ve 06-19 makinelerinin iş sıraları değiştiği için makinelerde ortaya çıkan toplam fire miktarları da değişmiştir. Her üç makineye ait mevcut durum iş çizelgesi ile yeni durum iş çizelgesi sonucu ortaya çıkan toplam fire miktarları Şekil 5.15’deki gibidir.



Şekil 5. 15. Mevcut durum ve yeni durum fire miktarları(kg)

Şekil 5.15 incelendiğinde geliştirilen model ile her üç makinede de toplam fire miktarlarında azalma gerçekleştiği görülmektedir. 06-24 makinesinde mevcut durumda 103.43 kg olan fire yeni çizelge ile 67.32 kg’ye düşmüştür. 06-28 makinesinde mevcut durumda 170.4 kg olan toplam fire ise yeni iş sırası ile 132.5 kg’ye düşürülmüştür. 06-19 makinesine bakıldığında ise 188.2 kg olan fire miktarı yeni durumda 106.8 kg’ye düşmüştür. Ortaya konulan yeni iş çizelgeleri ile toplam fire miktarlarında yapılan iyileştirme oranları Şekil 5.16’deki gibidir.



Şekil 5. 16. Toplam fire iyileştirme oranları(%)

Şekil 5.16 de görüleceği üzere 06-24 makinesindeki toplam fire miktarında %54 oranında 06-28 makinesindeki toplam fire miktarında %29 oranında ve 06-19 makinesindeki toplam fire miktarında ise %76 oranında bir iyileştirme sağlanmıştır.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüz firmalarında üretim sistemlerinin hedeflerine ulaşmasındaki en önemli koşullardan birisi maliyet minimizasyonudur. Yüksek üretim maliyetlerine sahip işletmeler ya karlılıklarından ya da müşteri memnuniyetlerinden feragat etmek durumundadırlar. Bu çalışma ile toplam üretim maliyeti içerisinde önemli bir paya sahip olan hammadde değişimi kaynaklı ortaya çıkan hazırlık firelerinin minimize edilerek toplam üretim maliyetlerinin azaltılması amacı ile çalışmanın yürütüldüğü otomotiv sektöründe faaliyet gösteren Aygersan A.Ş.'nin üç plastik enjeksiyon makinesinde en uygun iş sırası belirlenerek üretim çizelgesi oluşturulmuştur.

Çalışmanın yürütüldüğü otomotiv aydınlatma sektöründe yer alan Aygersan A.Ş.'de mevcut durumda üretim çizelgeleme faaliyetleri manuel olarak Excel kullanılarak her üretim hattının sorumlu planlama mühendisi tarafından yapılmaktadır. Müşteri siparişleri ilgili planlama mühendislerine müşteri portallarından veya mail aracılığıyla Excel ile gelmektedir. Müşteri siparişleri hafta başında gelebileceği gibi hafta ortasında revizyonlar şeklinde de gelebilmektedir. Firmanın çizelgeleme sistemi yapay zeka temelli bir sistem olmaması ve yalnızca sorumlu planlama mühendisinin tecrübelerine dayanmasından dolayı, firmada aktif en iyi üretim çizelgesinin belirlenmesi ve sonuçlarının takibinin yapılabilmesi söz konusu değildir. İş geçişleri esnasında yaşanan firma için önemli bir gider kalemi olan geri dönüşümü mümkün olmayan firelerinde takibi yapılamamaktadır. Tüm bu sorunlardan yola çıkılarak öncelikle gerekli verileri elde edebilmek adına firmanın plastik enjeksiyon makineleri gözlemlenmiş ve en uygun referans makineler seçilmiştir(24-28-19 nolu makineler). Seçilen makinelerden 4 aylık bir süreçte günlük olarak hazırlık firesi verileri toplanmıştır. Yapılan gözlemler ve alınan veriler neticesinde hammadde geçiş matrisi ve ürün geçiş matrisleri oluşturularak ürünler arasında geçiş yapıldığında ortaya çıkacak fire oranları ortaya konulmuştur. Meta-sezgisel tekniklerden birisi olan ve iş sıralama, üretim çizelgeleme problemlerinde uygulanabilirliği yüksek olan ve başarılı sonuçlar elde edilebilen genetik algoritma

kullanılarak en iyi çözüme yakın sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen model sayesinde haftalık üretim planlama sisteminden günlük üretim planlama sistemine geçilebileceği ve böylece müşteri taleplerini karşılamada daha esnek bir konuma gelinebileceği sunulmuştur. Bu esnekliğin yanında firmanın önemli maliyet kalemlerinden olan plastik enjeksiyon makinelerindeki fire miktarlarını minimize edecek bunu yaparken müşteri önemi, sipariş büyüklüğü ve sevk tarihlerini göz önüne alacak en iyi iş sırasının günlük olarak sisteme dahil edilebilen güncel veriler ışığında yapılabilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen model ile sorumlu planlama mühendisi mevcut müşteri siparişlerini bir gün sonradan başlayacak şekilde mevcut şartlar ve kriterler altında üretim çizelgesine dahil ederek en iyi iş sırasını belirleyebilecek ve günlük olarak üretim ekipleriyle paylaşabilecektir. Böylelikle firmanın plastik enjeksiyon makinelerinde kapasite kullanım oranları belirlenebilecek ve olası iş fırsatları için de olanak sağlanabilecektir. Tüm bu bilgiler ve iyileştirme önerileri ışığında geliştirilen genetik algoritma tabanlı üretim çizelgeleme optimizasyonu modeli ile hem işletme hem de müşteri memnuniyetinin artırılması amaçlanmıştır.

İlerde bu konu üzerine yapılması ön görülen çalışmalarda özdeş ve özdeş olmayan makinelerden oluşan plastik enjeksiyon üretim sistemlerinde benzer çalışma yapılarak bu çalışmanın güvenilirliği kanıtlanabilir. Ek olarak söz konusu problem için literatürde yer alan diğer meta-sezgisel yöntemler uygulanarak sonuçları genetik algoritma ile elde edilen sonuçla ve mevcut durum ile kıyaslanarak en iyi çözüme daha fazla yaklaşma imkanı sağlanabilir.

KAYNAKLAR

Abdullah, S. ve Nezhad M. A., “Fuzzy job-shop scheduling problems: A review”, *Information Sciences*, 278, 380-407 (2014).

Alvarez-Valdes, R., Crespo, E., Manuel Tamarit, J. ve Villa, F., “Minimizing weighted earliness–tardiness on a single machine with a common due date using quadratic models” *TOP*, 20(3): 754-767, (2012).

Arık, O. A. ve Toksarı D., “Bulanık bozulma ve öğrenme etkileri altında tek makine erken/geç tamamlanma probleminin bulanık şans kısıtlı programlama tekniği ile incelenmesi” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2): 652-662 (2018).

Alavipour S. M. R., ArditiD., “Time-Cost Tradeoff Analysis with Minimized Project Financing Cost”, *Automation in Construction*, 98, 110-121,(2019).

Balas, E., “An additive algorithm for solving linear programs with zero-one variables”, *Operations Research*, 13(4), 517-546 (1965).

Bauer, A., “An Ant Colony Optimization Approach For The Single Machine Total Tardiness Problem”, *Proceedings Teh Evolutionary Computation*, 1445 (1999).

Bektur, G., “Enerji etkin ve sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme problemi için tavlama benzetimi algoritması tabanlı hibrit sezgisel çözüm önerisi”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* : 407-420 (2021).

Bellman, R., “The theory of dynamic programming”, *Rand Corp*, 550 (1954).

Ben-Yehoshua, Y., & Mosheiov, G., “A single machine scheduling problem to minimize total early work”, *Computers & Operations Research*, 73, 115-118 (2016).

Birgina, E. G. ve Ronconib D. P., “Heuristic methods for the single machine scheduling problem with different ready times and a common due date”, *Engineering Optimization*, 44(10): 1197-1208 (2012).

Brucker, P., Drexl A., Möhring R., Neumann K. ve Peschi E., “Resource-Constrained Project Scheduling: Notation, Classification, Models, And Methods”, *European Journal Of Operational Research* 112, 3 (1999).

Ceylan, Z., Karan R. E., Bakırcı Ç. ve Sabuncu S., “Sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme problemi: beyaz eşya sektöründe bir uygulama”, *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*: 14 – 21 (2019).

Charnes, A., ve Cooper, W. W., “Chance-constrained programming”, *Management science*, 6(1), 73-79 (1959).

Che, A., Wu, X., Peng, J., ve Yan, P., “Energy-efficient biobjective single-machine scheduling with power-down mechanism”, *Computers & Operations Research*, 85, 172-183 (2017).

Cheng, Y., LUO L., LI Y., “A MIP Based Surgery Scheduling Model”, *IEEE* 987-1-61284-311-7/11/. (2011).

Cheng F., Tijun F., Dandan F. ve Shanling L., “The Prediction of Oil Price Turning Points with Log-Periodic Power Law and Multi-Population Genetic Algorithm”, *Journal of Energy Finance & Development*, 2018, 72(C), 341-355 (2018).

Chand S., Schneeberger H., “A Note on The Single-Machine Scheduling Problem with Minimum Weighted Completion Time and Maximum Allowable Tardiness”, *Naval Research Logistic*, 33(3), 551-557, (1986).

Choobineh, F.F., Mohebbi, E., ve Khoo, H., “A multi-objective tabu search for a single-machine scheduling problem with sequence-dependent setup times”, *European Journal of Operational Research*, (2006).

Çelik S. “Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemleriyle Optimum Konumu Belirlenen Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Simülasyon ile Kapasitesinin Planlanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2020).

Çiçekli U., Zilci S., “Değişken Ayar Sürelerine Sahip Bir Üretim Hattının Çizelgeleme Optimizasyonu”, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 207-226, (2021).

Dantzig, G. B., “Linear programming”, *Operations Research*, 50(1), 42-47 (2002).

Dantzig, G. B., “Programming in a linear structure”, Washington, DC. (1948).

Dastidar, S.G., Nagi, R., “Scheduling Injection Molding Operations with Multiple Resource Constraints and Sequence Dependent Setup Times and Costs”, *Computers & Operations Research*, 32, 2987-3005 (2005).

Davis, L., “Applying adaptive algorithms to epistatic domains”, *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 162,4, (1985).

Demeulemeester, E. ve Herroelen, W., “New Benchmark Results for the Resource Constrained Project Scheduling Problem”, *Management Science*, 43, 1485 (1997).

Dorigo M. ve Di Caro G. “The ant colony optimization meta-heuristic”, New Ideas in Optimization, *McGraw-Hill*, 11 (1999).

Dorigo, M., Maniezzo, V., ve Coloni, A “The Ant System: Optimization By A Colony Of Cooperating Agents”, *IEEE Transactions On Systems, Man, & Cybernetics*, 26, 1, 8 (1996).

Emel G. G., Taşkın Ç., “Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları”, *Uludağ Üniversitesi İİBF Dergisi*, 21(1), 129-152, (2002).

Gen, M., Cheng, R., “Genetic Algorithms and Engineering Design”, **John Wiley & Sons Inc.**, New York, (1997).

Gholamia, O. ve Sotskov, Y.N., “Solving Parallel Machines Job-Shop Scheduling Problems By An Adaptive Algorithm”, *Islamic Azad University Computer Engineering Department* (2013).

Gomory, R. E., “Outline of an algorithm for integer solutions to linear programs” *Bulletin of the American Mathematical Society*, 64(5), 275-278 (1958).

Hartmann S. ve Kolisch R. “Experimental Evaluation Of State-Of-The-Art Heuristics For The Resource-Constrained Project Scheduling Problem”, *European Journal of Operational Research* 127, 394 (2000).

Holland, J.H., “Adaptation In Natural And Artificial Systems”, *University Of Michigan Press*, Ann Arbor (1975).

Jackson, J.R., “Scheduling a Production Line to Minimize Maximum Tardiness” *Management Science Research Project, University of California* (1955).

Johnson, S. M., “Optimal Two and Three-Stage Production Schedules with Setup Times Included”, *Naval Research Logistics Quarterly*, 1, 61–67 (1954).

Karaboğa, D. “Yapay zeka optimizasyon algoritmaları”, *Nobel*. (2014).

Karaboğa, D., Akay, B., “A comparative study of artificial bee colony algorithm”, *Applied Mathematics And Computation*, 214 (1), 108-132 (2009).

Karimi, H., Rahmati, S. H. A. ve Zandieh, M., “An efficient knowledge-based algorithm for the flexible job shop scheduling problem”, **Knowledge-Based Systems**, 36, 236-244 (2012).

Kartam, N. ve Tongthong, T. “An artificial neural network for resource leveling problems”, **Artif. Intell. Eng. Des. Anal. Manuf.** 12, 3, 273 (1998).

Kaya, S., “A genetic algorithm for the resource constrained project scheduling problem having a single machine with sequence dependent setup times” (2014).

Kayacı, M., Yiğit, V., “Üretim çizelgeleme problemlerine bulanık yaklaşım”, **Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi** , 26 (3-4) , 287-296 (2012).

Kolahan, F., Liang, M., “An adaptive TS approach to JIT sequencing with variable processing times and sequence-dependent setups”, **European Journal of Operational Research**, 109 (1), 142-159 (1998).

Koza J.R., “Two Ways of Discovering The Size and Shape of A Computer Program to Solve A Problem”, **Proceedings of the Sixth International Conference on Genetic Algorithm**, USA, (1995).

Kılıç İ. “ Bir Savunma Sanayii Firmasında Uçak Komponenti Montaj Hattı Dengeleme ve İş Gücü Atama Problemi için Genetik Algoritma Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, **TOBB Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2021).

Küçüksille, E. U., ve Tokmak, M., “Yapay Arı Kolonisi Algoritması Kullanarak Otomatik Ders Çizelgeleme”, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 203-210, (2011).

Law, A. M., Kelton, W. D., ve Kelton, W. D., “Simulation modeling and analysis”, **McGraw-Hill**, New York (1991).

Li, J. Q., Pan, Q. K. ve Tasgetiren, M. F., “A discrete artificial bee colony algorithm for the multi-objective flexible job-shop scheduling problem with maintenance activities”, **Applied Mathematical Modelling**, 38 (3), 1111-1132 (2014).

Merkle, D. ve Middendorf, “An Ant Algorithm With A New Pheromone Evaluation Rule For Total Tardiness Problems. In proceedings of the Evo Workshops”, **Springer Verlag**, 287 (2000).

Merkle, D. ve Middendorf, M ve Schneck, H. “Ant colony optimization for resource constrained Project scheduling”, **IEEE Transaction on Evolutionary Computation**, 6, 333-346 (2002).

Mingozi, A., Maniezzo Ricciardelli, S. ve Bianco, L., “An Exact Algorithm For The Resource Constrained Project Scheduling Problem Based On A New Mathematical Formulation”, **Management Science**, 714 (1998).

Mizutani E., JangJ.S.R., Sun C.T., Neuro–Fuzzyand Soft Computing: A Computational Approach to Learning andMachine Intelligence ,**1stedition**, **PrenticeHall**, USA, (1997).

Molaei, E., Moslehi, G. ve Mohammad, R., “Minimizing maximum earliness and number of tardy jobs in the single machine scheduling problem”, **Computers & Mathematics With Applications**, 60, 2909-2919 (2010).

Mosheiov, G., Sidney, J. B., “Scheduling with general job-dependent learning curves”, **European Journal of Operational Research** 147 (3), 665-670 (2003).

Mousakhani, M., “Sequence-dependent setup time flexible job shop scheduling problem to minimise total tardiness”, **International Journal of Production Research**, 51 (12), 3476-3487, (2013).

Okur E., Atlas M., “Araç Rotalama Probleminin Genetik Algoritma Ile Çözümü”, **Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi**, 20 (3), 227-254, (2020).

Özcan, S., “Demir çelik sektöründe bakım çizelgeleme problemine zeki bir yaklaşım: Kardemir ray ve profil haddehanesi uygulaması”, Doktora Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük (2019).

Perez-Gonzalez, P., ve Framinan, J. M., “Single machine scheduling with periodic machine availability”, **Computers & Industrial Engineering** (2018).

Pinedo, M., “Scheduling Theory”, **Algorithms and Systems. Prentice-Hall**, 378 (1995).

Ponnambalam, S. G., Aravindan, P. ve Sreenivasa, R. “Comparative evaluation of genetic algorithms for job-shop scheduling”, **Production Planning & Control** 560-574 (2001).

Saraç, T. ve Bilgiçer, N., “Çok amaçlı permütasyon akış tipi çizelgeleme problemi için bir nsga-II algoritması”, **Journal of Industrial Engineering**: 105-121, (2020).

Saraç, T. ve Sipahioğlu, A., “Plastik enjeksiyon makinalarının çizelgelenmesi problemi”, **Endüstri Mühendisliği Dergisi**: 2-14, (2009).

Smith, W.E., “Various optimizers for single stage production”, **Naval Research Logistics Quarterly**, 3, 59-66 (1956).

Souissi, O., Benmansour, R., ve Artiba, A., “An accelerated MIP model for the single machine scheduling with preventive maintenance”, **IFAC-Paper sOnLine**, 49(12), 1945-1949 (2016).

Tanev, I. T., Uozumi T., Morotome Y. “Hybrid Evolutionary Algorithm-based Real-World Flexible Job Shop Scheduling Problem: Application Service Provider Approach”, **Applied Soft Computing**, 5, 87-100 (2004).

Taştan S., Eker H., “Genetik Algoritma İle Sınav Çizelgeleme”, *Journal of Economics and Administrative Sciences*, 47-68, (2020).

Thammano, A. ve Phu-ang, A., “A hybrid artificial bee colony algorithm with local search for flexible job-shop scheduling problem”, *Procedia Computer Science*, 20, 96-101, (2013).

Toksarı, D., ve Atalay, B., “Pozisyon tabanlı öğrenme ve doğrusal olmayan bozulma etkisi altında iş reddetmeli tek makine çizelgeleme problemi”, *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 797-805 (2019).

Tütek, H., ve Gümüsoğlu, Ş., “Sayısal Yöntemler”, *Yönetmelik Yaklaşım*, İstanbul (1994).

Üstündağ, S., “Denim kumaşlara uygulanan kaplama proseslerinin Taguchi metodu ile incelenmesi”, Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri (2018).

Vaithyanathan, S. ve Ignizio, J. P., “A stochastic neural network for resource constrained scheduling” *Comput. Oper. Res.* 19, 3-4, 241 (1992).

Vakhania, N., Hernandez, J. ve Werner, F. “Scheduling Unrelated Machines With Two Types Of Jobs”, *Science Faculty, UAEM*, Cuernavaca, Mexico (2014).

Wang, L., Zhou G., Xu, Y. ve Liu, M., “A hybrid artificial bee colony algorithm for the fuzzy flexible job-shop scheduling problem”, *International Journal of Production Research*, 51 (12), 3593-3608, (2013).

ÖZGEÇMİŞ

Mithat Alper ERŞEN İlkokulu Kamil Ocak İ.Ö.O.'da, liseyi Esenevler Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. Lisans öğrenimini Karabük Üniversite Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. 2016 yılında mezun olduktan sonra 2 yıl enerji sektöründe Ayen Enerji A.Ş. firmasında Planlama Uzmanı olarak görev yaptı. Ardından 2018 yılında otomotiv sektöründe faaliyet gösteren Aygersan A.Ş. firmasına geçiş yaptı ve 3 yıl kadar da Aygersan A.Ş.'de Uzman Planlama Mühendisliği yaptı. 2021 yılında ise savunma sanayii'ne geçiş yaparak Şubat 2021 ile Şubat 2022 tarihleri arasında Nurol Holding grup şirketlerinden Nurol Teknoloji A.Ş.'de Üretim Planlama Ekip Liderliği görevini üstlendi. Şuanda yine savunma sanayiinde faaliyet gösteren Makine ve Kimya Endüstrisi A.Ş.'de Planlama ve Metot Mühendisi olarak görevine devam etmektedir. Evlidir ve bir kız çocuğu vardır.