

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TEK MAKİNELİ ÇOK ÖLÇÜTLÜ İŞ SIRALAMA VE
ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA İLE
ÇÖZÜLMESİ: ALÜMİNYUM SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI**

DENİZ MERVE SARA

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEK MAKİNELİ ÇOK ÖLÇÜTLÜ İŞ SIRALAMA VE
ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA
İLE ÇÖZÜLMESİ: ALÜMİNYUM SEKTÖRÜNDE
UYGULANMASI

DENİZ MERVE SARA

Dr. Öğretim Üyesi Yıldız ŞAHİN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Pınar YILDIZ KUMRU
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Didem YILMAZ
Jüri Üyesi, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 08.02.2019


.....

.....

.....

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

İşletmelerdeki üretim planlama ve kontrol süreçlerinin işleyişi kritik önem düzeyine sahiptir. Birçok sürece ait bütünleşik kısıtları, öncelikleri içerisinde barındırır. Üretim planlama ve kontrol süreçleri tüm bu bütünleşik yapıya ait kritik karar verme aşamalarını içerisinde barındırır.

Yapılan bu tez çalışmasında alüminyum sektörüne ait gerçek hayat problemi ele alınmıştır. Ele alınan problemde birden fazla iş sıralama öncelikleri bulunmaktadır. Bu bağlamda, iş sıralama ve çizelgeleme probleminin çözümlenmesinde öncelikle işletmeye ait kritik amaçlar belirlenerek her bir amaca ait önem derecesi belirlenmiş, algoritmaya ait parametreler optimize edilerek genetik algoritma yaklaşımı ile problem çözülmüştür.

İçerisinde birden fazla konuyu ele alan ve çeşitli alanlara çıktı sağlayan bu çalışmamda baştan sona desteğini sürdüren, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca her konuda yardımlarını esirgemeyen, bilgilerini ve tecrübelerini paylaşan canım hocam Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Öğretim Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Yıldız ŞAHİN'e teşekkürü borç bilirim. Ayrıca yüksek lisans öğrenimim boyunca en başından en sonuna kadar desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli eşim Mesut Sara'ya ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Şubat - 2019

Deniz Merve SARA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
GİRİŞ	1
1. ÜRETİM SİSTEMLERİ VE TARİHİ GELİŞİMİ.....	4
1.1. Üretim Sistemlerine Giriş	4
1.2. Üretim Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi	5
1.2.1. Mekanik üretim tesislerinin uygulanması	6
1.2.2. İşlerin bölümlenmesi ve elektrik ile seri üretime geçiş.....	6
1.2.3. Üretim süreçlerinin otomasyonu	7
1.2.4. Dördüncü endüstri devrimi	8
1.3. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması	10
1.4. Tek Tezgâhlı Üretim Sistemleri	11
1.5. Atölye Tipi Üretim Sistemleri.....	13
2. ÜRETİM ÇİZELGELEME	15
2.1. Üretim Planlama ve Çizelgeleme Hakkında Genel Bilgiler	15
2.2. Çizelgeleme Sınıflandırılması	20
2.3. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri	23
2.4. Çok Ölçütlü Çizelgeleme Problemleri Hakkında Yapılan Çalışmalar.....	25
2.4.1. Deterministik problemlere ait yapılan çalışmalar	26
2.4.2. Diğer çalışmalar	40
2.5. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözüm Zorluğu	42
3. GENETİK ALGORİTMA	44
3.1. Genetik Algoritma Hakkında Genel Bilgiler	44
3.2. Genetik Algoritma Kullanım Alanları	45
3.2.1. Genel kullanım alanları	45
3.2.1.1. Optimizasyon	45
3.2.1.2. Otomatik programlama ve bilgi sistemleri.....	46
3.2.1.3. Mekanik öğrenme	46
3.2.1.4. Ekonomik modeller.....	46
3.2.2. İşletmelerdeki Kullanım Alanları.....	47
3.2.2.1. Finans	47
3.2.2.2. Pazarlama	47
3.2.2.3. Üretim	47
3.3. Genetik Algoritma Tarihsel Gelişimi.....	48
3.4. Genetik Algoritma Özellikleri.....	55
3.5. Genetik Algoritma Yöntemine Ait Temel Kavramlar	56
3.5.1. Gen	56
3.5.2. Kromozom	56

3.5.3. Başlangıç popülasyonu	57
3.5.4. Uygunluk değeri (Fonksiyonu)	57
3.6. Genetik Algoritmada Uygulanan Genetik İşlemler.....	57
3.6.1. Kodlama	58
3.6.1.1. İkili kodlama yöntemi	58
3.6.1.2. Permütasyon kodlama	59
3.6.1.3. Değer kodlama	59
3.6.1.4. Ağaç kodlama.....	59
3.6.2. Üreme (Seçme-Seçilim) İşlemi	59
3.6.2.1. Elitizm yöntemi.....	60
3.6.2.2. Rulet çarkı yöntemi	60
3.6.2.3. Rastgele seçim yöntemi	61
3.6.2.4. Turnuva seçim yöntemi.....	61
3.6.3. Çaprazlama.....	62
3.6.3.1. Tek noktalı çaprazlama yöntemi	62
3.6.3.2. Çift noktalı çaprazlama yöntemi	63
3.6.3.3. Çok noktalı çaprazlama.....	63
3.6.3.4. Tekdüze (uniform) çaprazlama	63
3.6.3.5. Sıralı kodlama düzeninde çaprazlama.....	64
3.6.4. Mutasyon.....	67
3.6.4.1. Değer değiştirme yöntemi	68
3.6.4.2. Kaydırma yöntemi.....	68
3.6.4.3. Yerleştirme yöntemi.....	68
3.6.5. Algoritmanın Sonlandırılması.....	69
3.7. Genetik Algoritma Yöntem Adımları	69
4. KRİTERLERİN AĞIRLIKLANDIRILMASI	71
4.1. Kriter Ağırlıklandırma Hakkında Genel Bilgiler	71
4.2. Max 100 Yöntemi	72
4.3. Eşit Ağırlıklandırma Yöntemi.....	73
4.4. Saaty'nin İkili Karşılaştırma Yöntemi	73
4.5. Swara Yöntemi.....	78
5. İŞ SIRALAMA ve ÇİZELGELEME PROBLEMİ UYGULAMA	81
5.1. Uygulamaya Konu Olan Üretim Tesisi ve Üretim Faaliyetleri	81
5.1.1. Ekstrüzyon üretimi	82
5.1.2. Mevcut üretim planlama sistemi	84
5.2. Uygulama Problemi	85
5.2.1. Problem tanımı	85
5.2.2. İş sıralama parametreleri	86
5.2.3. Genetik algoritma parametreleri	88
5.3. Kriter Ağırlıklandırma Aşaması.....	89
5.3.1. Eşit ağırlıklandırma yöntemi.....	90
5.3.2. Max 100 yöntemi	91
5.3.3. Saaty'nin İkili Karşılaştırma Yöntemi	92
5.3.4. Swara Yöntemi.....	97
5.4. Genetik Algoritma Uygulama Modeli	103
5.4.1. Çizelgelenecek işlerin belirlenmesi	104
5.4.2. Genetik algoritma ve çizelgeleme parametreleri.....	106
5.4.3. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması.....	107
5.4.4. Uygunluk fonksiyonu yardımcı elemanlarının hesaplanması	107

5.5.4.1. AA1: Toplam geciken iş sayısı minimizasyonu.....	109
5.5.4.2. AA2: Ortalama gecikme süresi minimizasyonu	115
5.5.4.3. AA3: Ortalama akış süresi minimizasyonu	116
5.5.4.4. AA4: Ortalama ceza maliyetleri minimizasyonu.....	117
5.5.4.5. AA5: Toplam hazırlık zamanı minimizasyonu	118
5.4.5. Uygunluk(toplam fayda) fonksiyonunun hesaplanması.....	118
5.4.6. Genetik işlemler: Doğal seçim.....	120
5.4.7. Genetik işlemler: Çaprazlama	121
5.4.8. Genetik işlemler: Mutasyon	123
5.4.9. Algoritmanın iterasyona sokulması ve en iyi çözüm	125
5.5. Deney Tasarımı ile algoritma parametrelerinin optimizasyonu.....	127
5.5.1. Problemin tanımlanması.....	128
5.5.2. Faktör ve seviyelerin belirlenmesi	128
5.5.3. Probleme uygun ortogonal dizinin seçilmesi	133
5.5.4. Faktörlerin kolonlara atanması ve deneylerin gerçekleştirilmesi.....	135
5.5.5. Deney sonuçlarına göre optimum parametrelerin belirlenmesi	135
5.6. Gerçek problem optimizasyonu	138
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	141
KAYNAKLAR	148
EKLER	156
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	170
ÖZGEÇMİŞ	171

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Üretim sistemi ve üretim süreci	5
Şekil 1.2. Endüstriyel devrim aşamaları	5
Şekil 1.3. Dördüncü sanayi devrimi yapısı	9
Şekil 1.4. Üretim sistemleri sınıflandırması.....	10
Şekil 2.1. Üretim planlama aşamaları	15
Şekil 2.2. Üretim çizelgeleme sınıflandırılması.....	20
Şekil 3.1. Rulet çarkı ve bireylerin dağılımı	61
Şekil 3.2. Genetik algoritma yöntem adımları	70
Şekil 5.1. Alüminyum profil üretim tesisi operasyon birimleri ve iş akışı	81
Şekil 5.2. Ekstrüzyon üretimi şematik gösterimi	83
Şekil 5.3. Ekstrüzyon prosesi sınıflandırılması.....	83
Şekil 5.4. İterasyonlar boyunca toplam fayda fonksiyonu değişim grafiği.....	126
Şekil 5.5. Minitab18 ile faktör ve düzeylerin tanımlanması	133
Şekil 5.6. Minitab18 ile faktör ve düzey detayları	133
Şekil 5.7. Minitab18 ile probleme uygun ortogonal dizi belirlenmesi.....	134
Şekil 5.8. Minitab18 ile S/N oranı seçimi	134
Şekil 5.9. Ortalamalara göre ana etki plot grafikleri.....	136
Şekil 5.10. S/N oranlarına göre ana etki plot grafikleri	136
Şekil 6.1. Probleme ait çözümleme adımları	141
Şekil 6.2. Taguchi deneme sonuçlarına ait normal dağılım grafikleri	144

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Geleneksel ve çağdaş üretim sistemleri karşılaştırılması	11
Tablo 2.1. Üretim planlama sistemine ait girdi ve çıktılar.....	17
Tablo 3.1. A ve B bireyelerine ait ikili kodlama örneği	58
Tablo 3.2. A ve B bireyelerine ait permütasyon kodlama örneği	59
Tablo 3.3. A ve B bireyelerine ait değer kodlama örneği	59
Tablo 3.4. A ve B bireyelerine ait tek noktalı çaprazlama örneği	62
Tablo 3.5. A ve B bireyelerine ait çift noktalı çaprazlama örneği.....	63
Tablo 3.6. A ve B bireyelerine ait pozisyona dayalı çaprazlama.....	64
Tablo 3.7. A ve B bireyelerine ait pozisyona dayalı çaprazlama örneği-2	65
Tablo 3.8. Pozisyona dayalı çaprazlama sonucunda türetilen yeni nesiller.....	65
Tablo 3.9. Sıraya dayalı çaprazlama örneği	65
Tablo 3.10. Kısmi çaprazlama A ve B bireyleri.....	66
Tablo 3.11. BK B ve YN 1 dizisine ait diziler	66
Tablo 3.12. YN 1' ve YN 1'' alt dizisi	66
Tablo 3.13. A ve B bireyelerine ait dairesel çaprazlama örneği	67
Tablo 3.14. A bireyine ait değer değiştirme yöntemi örneği	68
Tablo 3.15. A bireyine ait kaydırma yöntemi örneği	68
Tablo 3.16. A bireyine ait yerleştirme yöntemi	68
Tablo 3.17. A bireyine ait karşılıklı değişim yöntemi örneği	69
Tablo 4.1. Saaty'nin ölçek skalası	73
Tablo 4.2. Kriter sayıları ve RI değer karşılıkları	77
Tablo 4.3. SWARA yöntemi yapılan çalışmalar.....	78
Tablo 5.1. Ekstrüzyon presleri ve pres basma kabiliyetleri	85
Tablo 5.2. Probleme ait öncelik kuralları.....	87
Tablo 5.3. Çizelgeleme modeline ait kabuller	87
Tablo 5.4. Öncelik kuralları doğrultusunda hedeflenen amaçlar	88
Tablo 5.5. Genetik işlemler ve kullanılan yöntemler.....	88
Tablo 5.6. Genetik algoritma parametreleri	89
Tablo 5.7. Probleme ait uzman karar verici ekibi	90
Tablo 5.8. Eşit ağırlıklandırma yöntemiyle hesaplanan ölçüt önem ağırlıkları	90
Tablo 5.9. Max 100 yöntemine göre karar verici puanları.....	91
Tablo 5.10. Karar vericilere ait kriter ağırlıkları	91
Tablo 5.11. Toplam kriter puanları	92
Tablo 5.12. Max 100 yöntemiyle hesaplanan kriter ağırlıkları	92
Tablo 5.13. K.V.1 ikili karşılaştırma puanları	93
Tablo 5.14. K.V.1'e ait normalize değerler ve kriter ağırlıkları	93
Tablo 5.15. K.V.2 ikili karşılaştırma puanları	93
Tablo 5.16. K.V.2'ye ait normalize değerler ve kriter ağırlıkları	94
Tablo 5.17. K.V.3 ikili karşılaştırma puanları	94
Tablo 5.18. K.V.3'e ait normalize değerler ve kriter ağırlıkları	94
Tablo 5.19. K.V.4 ikili karşılaştırma puanları	95
Tablo 5.20. K.V.4'e ait normalize değerler ve kriter ağırlıkları	95
Tablo 5.21. K.V.5 için ikili karşılaştırma puanları	95

Tablo 5.22. K.V5'e ait normalize değerler ve kriter ağırlıkları	96
Tablo 5.23. Karar verici değerlendirmelerine ait CR oranları	96
Tablo 5.24. İekli karşılaştırma yöntemine göre kriter ağırlıkları.....	97
Tablo 5.25. Swara yöntemine ait kriter sıralamaları	97
Tablo 5.26. Swara yöntemine ait kriter önem farkları	98
Tablo 5.27. Swara yöntemine ait kriter katsayıları K.V.1	98
Tablo 5.28. Swara yöntemine ait kriter katsayıları K.V.2	98
Tablo 5.29. Swara yöntemine ait kriter katsayıları K.V.3	99
Tablo 5.30. Swara yöntemine ait kriter katsayıları K.V.4	99
Tablo 5.31. Swara yöntemine ait kriter katsayıları K.V.5	99
Tablo 5.32. Swara yöntemine ait ortalama kriter ağırlıkları	100
Tablo 5.33. KV1 için yöntem sonuçları	101
Tablo 5.34. KV2 için yöntem sonuçları	101
Tablo 5.35. KV3 için yöntem sonuçları	102
Tablo 5.36. KV4 için yöntem sonuçlar	102
Tablo 5.37. KV5 için yöntem sonuçlar	102
Tablo 5.38. Yöntemlere ait kriter önem ağırlıkları	103
Tablo 5.39. Çizelgelenecek işlere ait ürün grupları	105
Tablo 5.40. Ürün gruplarına ait hazırlık matrisi	105
Tablo 5.41. Müşteri öncelik düzeyleri	106
Tablo 5.42. Genetik algoritma parametreleri ve matlab kod değişkenleri.....	106
Tablo 5.43. Genetik işlem parametreleri ve matlab kod değişkenleri.....	107
Tablo 5.44. Başlangıç popülasyonu	107
Tablo 5.45. Sıralanacak işlere ait bilgiler	108
Tablo 5.46. Alt amaç fonksiyonları ve matematiksel ifadeleri	109
Tablo 5.47. İşlerin PRES D' de tamamlanma zamanları	111
Tablo 5.48. İşlerin hazırlık zamanları dâhil PRES D' de tamamlanma zamanları	113
Tablo 5.49. Siparişlerin PRES D' de tamamlanması gereken termin tarihleri	114
Tablo 5.50. İşlere ait gecikme gün sayıları	115
Tablo 5.51. AA1 uygunluk matrisi elemanları	115
Tablo 5.52. AA2 uygunluk matrisi elemanları	115
Tablo 5.53. Kromozom zincirlerine ait kümülatif işlem süreleri.....	116
Tablo 5.54. Çözüm kromozomlarına ait toplam ve ortalama akış süreleri	116
Tablo 5.55. AA4 uygunluk matrisi elemanları	117
Tablo 5.56. AA5 uygunluk matrisi elemanları	118
Tablo 5.57. Alt amaç fonksiyon ve değişken karşılıkları.....	119
Tablo 5.58. Çizelgeleme senaryosuna ait alt amaç fonksiyon ağırlıkları	119
Tablo 5.59. Toplam fayda fonksiyonu sonuçları	120
Tablo 5.60. Bireylere ait hayatta kalma olasılıkları ve kümülatif olasılıklar.....	120
Tablo 5.61. Doğal seçilim sonrası oluşan ara popülasyon matrisi elemanları.....	121
Tablo 5.62. 3 ve 4 nolu ara popülasyon kromozomları ve alt diziler.....	122
Tablo 5.63. Çaprazlanmış K-3 ve K-4 zincirleri.....	123
Tablo 5.64. Çaprazlanmış ara popülasyon matrisi elemanları	123
Tablo 5.65. Her bir gen için üretilen rassal olasılıklar.....	124
Tablo 5.66. Üretilen yeni nesil popülasyon matrisi elemanları	125
Tablo 5.67. İterasyonlara ait toplam fayda fonksiyon değerleri	125
Tablo 5.68. Yeni nesil kromozomlarının toplam fayda değerleri	126
Tablo 5.69. En iyi çözüme ait kromozom zinciri.....	127
Tablo 5.70. En iyi çözüme ait saat bazlı üretim çizelgeleme.....	127

Tablo 5.71. Popülasyon büyüklüğü ve toplam fayda fonksiyonu değişimi	129
Tablo 5.72. İterasyon sayısı ve toplam fayda fonksiyonu değişimi	130
Tablo 5.73. Çaprazlama oranı ve toplam fayda fonksiyonu değişimi.....	130
Tablo 5.74. Mutasyon oranı ve toplam fayda fonksiyonu değişimi.....	131
Tablo 5.75. Ağırlıklandırma yöntemi ve toplam fayda fonksiyonu değişimi	132
Tablo 5.76. Taguchi deney tasarım problem bilgileri	132
Tablo 5.77. Yapılması gereken deney kombinasyonları	135
Tablo 5.78. Yapılan deney sonuçlarına ait S/N oranları	137
Tablo 5.79. Optimum parametre düzeyleri	137
Tablo 5.80. Probleme ait optimum iş sırası	138
Tablo 5.81. En iyi çözüme ait amaç fonksiyon değerleri.....	139
Tablo 6.1. Yapılan çalışma öncesi ve sonrası durum karşılaştırması	145
Tablo 6.2. Mevcut durum ve geliştirilen algoritma sonrası iş sıralamaları.....	146
Tablo 6.3. Mevcut durum ve algoritma karşılaştırılması	146
Tablo 6.4. Çalışma süresince kullanılan bilgisayar ve program özellikleri	147

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	Makine sayısı
β	İş sayısı
γ	Performans ölçütleri
λ	Temel Değer Katsayısı

Kısaltmalar

AA	Alt Amaç Fonksiyonu
A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
BK	Birey Kromozom
CI	Consistency Indicator (Tutarlılık Göstergesi)
CR	Consistency Ratio (Tutarlılık Oranı)
CX	Cycle Crossover (Dairesel Çaprazlama)
EDD	Earliest Delivery Date (En Erken Teslim Tarihi)
FCFS	First Come First Serve (İlk Gelen İlk Hizmet Alır)
FIFO	First In First Out (İlk Giren İlk Çıkar)
G	Gen
GA	Genetik Algoritma
GPU	Graphics Processing Unit (Grafik İşleme Ünitesi)
K	Kromozom
K.V.	Karar Verici
LCFS	Last Come Last Serve (Son Gelen İlk Hizmet Alır)
Max	Maksimum
Ort.	Ortalama
OBX	Order Based Crossover (Sıraya Dayalı Çaprazlama)
Ö	Ölçüt
PBX	Position Based Crossover (Pozisyona Dayalı Çaprazlama)
PLC	Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantık Denetleyici)
PMX	Partially Matched Crossover (Kısmi Eşlemeli Çaprazlama)
RI	Random Indicator (Rastgele Gösterge)
sa	Saat
SPT	Shortest Processing Time (En Kısa İşlem Zamanı)
vd.	Ve Diğerleri
YN	Yeni Nesil

TEK MAKİNELİ ÇOK ÖLÇÜTLÜ İŞ SIRALAMA VE ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜLMESİ: ALÜMİNYUM SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI

ÖZET

Yapılan bu çalışmada, alüminyum sektöründe üretim faaliyeti gösteren bir firmaya ait tek makinalı çok ölçütlü çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Amaç, mevcut sistemdeki karmaşıklığı minimuma indirerek, müşteri ihtiyaçları ve üretim gerekliliklerinin doğurduğu bir takım öncelik kuralları ve kısıtların eş zamanlı değerlendirilerek firma hedefleri ve stratejileri doğrultusunda hazırlanmış en iyi ve esnek üretim çizelgesi elde etmektir.

Çalışma kapsamında belirlenen öncelik kuralları doğrultusunda oluşturulan amaç fonksiyonları, işletme strateji ve hedeflerine en uygun iş sırasını elde etmek için ağırlıklandırılarak her bir amaç fonksiyonuna ait önem ağırlık puanları belirlenmiştir. Genetik algoritma ile oluşturulan modele ait belirlenen parametreler deney tasarımı metodolojisiyle optimize edilmiştir. Optimize edilen parametreler doğrultusunda oluşturulan genetik algoritma modeli çalıştırılarak mevcut koşullara uygun en iyi iş sıralaması ve üretim çizelgesi elde edilmiştir. Tüm bu çıktılarına göre üretim çizelgeleme de öncelik kurallarının ve algoritmada bulunan parametrelerin optimizasyonunun değerlendirilmesi yapılmıştır. Problem, belirgin parametrelere sahip olmasından dolayı deterministik, aynı zamanda belirli bir planlama periyodu altında optimize edilen statik bir yapıya sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Çok Ölçütlü Çizelgeleme, Parametre Optimizasyonu, Sezgisel Algoritma, Tek Makine Çizelgeleme.

THE SOLUTION OF THE MULTI-SIZE WORK SEQUENCING AND SCHEDULING PROBLEM OF SINGLE MACHINE WITH GENETIC ALGORITHM: APPLICATION IN THE ALUMINIUM SECTOR

ABSTRACT

In this study, single-machine multi-criteria scheduling problem of a manufacturing company in aluminum industry is discussed. The goal is to achieve the best and flexible production schedule prepared in line with the company's goals and strategies by simultaneously reducing the complexity of the current system and by concurrently evaluating a number of priority rules and constraints caused by customer needs and production requirements.

In order to obtain the most appropriate job sequence for the business strategy and objectives, the purpose weight, which is formed in line with the priority rules determined within the scope of the study, is weighted. The determined parameters of the model generated by the genetic algorithm are optimized by the experimental design methodology. According to the optimized parameters, the genetic algorithm model is created and the best work order and production table according to the current conditions are obtained. According to all these outputs, the optimization of the priority rules in the production scheduling and the parameters in the algorithm were evaluated. The problem has a static structure that is deterministic, but also optimized under a specific planning period due to its significant parameters.

Keywords: Multi-Criteria Scheduling, Parameter Optimization, Heuristic Algorithm, Single Machine Scheduling.

GİRİŞ

Günümüz şartlarında, ülkemizde ve dünyada işletmelerin pazar içerisindeki rekabetini etkileyen az miktarda kaynak kullanımı, üretim teknolojileri, ürün kalitesi vb. faktörlerin yanında müşterilere ihtiyaçlarını talepleri doğrultusunda en kısa sürede ulaştırabilmek, firmaların sahip olması gereken olmazsa olmaz bir yetenek haline gelmiştir. Üretim ve teslimat hızı, bir işletmeye ait en önemli rekabet faktörüne dönüşmüş durumdadır. Bu bağlamda sürekli değişkenlik gösteren müşteri taleplerine en kısa sürede cevap verebilen işletmeler, kendilerini rekabet ortamlarında üst sıralara taşıyabilmektedirler.

İşletmelerde yer alan ve oldukça kritik öneme sahip planlama departmanları bu esnek ve hızlı karar verme sürecini yönetmektedirler. Esnek ve dinamik değişimi yakalayabilmek için ise, işletmelerin anlık olarak değişen rekabet ortamlarına, müşteri taleplerine, teknolojiye ve bunlar gibi birçok parametrelere en kısa sürede cevap verebilmesini sağlayacak üretim planlama sistematiğine sahip olmaları gerekmektedir. Yapılan üretim çizelgeleri, siparişlerin alınmasından zamanında üretilip teslim edilmesi süreçlerini kapsayacak ve bu süreçlerin akışına paralel yapılmalıdır. Gelen müşteri taleplerinin yönetilmesinde genel kısıtlar üretim kapasitesi, üretim yönetimi, stok yönetimi, depoların etkin şekilde kullanımı gibi birçok kısıttan oluşmaktadır.

Firmalar, her geçen gün ürün gamlarındaki çeşitliliklerini arttırmaktadırlar. Müşteriler ise bu ürünlerden ihtiyaç duydukları miktarda ve zamanlarda talep etmektedirler. Bu talepler doğrultusunda hangi siparişin hangi sırada, ne zaman, ne miktarda, hangi makinede üretilip sevk edileceği konuları altında çalışılan problemler “Müşteri Siparişlerinin Çizelgelenmesi Problemi” olarak adlandırılmaktadır [1]. Yapılan bir çalışmada bu problemlerin önemi bir örnek ile açıklanmıştır: “Bir firma, siparişlerinin %98’ini zamanında gönderdiğini düşünürken, yapılan ankette müşteriler bu siparişlerin %50’sinden tatmin kaldıklarını belirtmiştir. Yapılan ayrıntılı araştırmalarda, firmanın bazı siparişlerini bir birim eksik gönderdiği ve bu bir birimi sonraki sevkiyatla tamamladığı saptanmıştır. Müşteri ise siparişi, eksik olan bir birim

nedeniyle tümüyle başarısız olarak nitelendirmiştir.” Bu nedenle yazarlar, makalelerinde müşteri tatmini açısından iş odaklı performans göstergelerinin, sipariş odaklı performans göstergelerinden daha başarısız olduğunu vurgulamışlardır [2].

Üretim çizelgeleme problemleri, firmalar için kritik ve ekonomik olarak çok önemli olan ancak problem yapısı gereği en iyiye optimize edilmesi oldukça zor olan bir süreci kapsamaktadır. Bu çizelgeleme süreci firmanın müşteri taleplerine değer katan tüm işlemleri ve süreçleri kapsadığı düşünüldüğünde çizelgeleme alanında yapılacak her türlü iyileştirme ve geliştirme sürece ait ve süreçten etkilenen birçok uygulama alanına da olumlu yönde etki sağlayacaktır. Yapılan çalışma doğrultusunda, işletmeye ait üretim ve çizelgeleme sistemi incelenmiş ve firma içerisindeki en fazla darboğaza sahip bölüm içerisindeki tek makineli üretim sistemine ait çizelgeleme modeli geliştirilmiştir.

Tek tezgâhlı çizelgeleme problemleri, sıralanacak olan işlerin işlem sürelerinin deterministik ve baştan belli olduğu durumda temel çizelgeleme problemlerinden birini oluşturmaktadır. Üretim sistemlerinde çizelgeleme probleminin çözümü için kullanılan yöntemler eniyileme ve sezgisel yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Eniyileme teknikleri, en iyi çözümü garanti ederken büyük boyutlu problemlerde çözüme ulaşması çok uzun süre alan tekniklerdir. Sezgisel teknikler ise en iyi çözümü garanti edemezler fakat eniyileme tekniklerine nazaran çok daha kısa sürede en iyi ya da en iyiye yakın çözümler sunmaktadırlar. Çalışmada çizelgeleme optimizasyonunun modellenmesinde ise metasezgisel yöntemlerden olan genetik algoritma kullanılmıştır. Genetik algoritma metodolojisi, belirli bir görevi yerine getirmek ya da bilgiyi öğrenmek amacıyla ortamla etkileşim halindedir. Bu etkileşim, genetik programlama ile oluşturulan bilgi, kural veya yapının ortama uygulanması ve uygulama sonucu ortamın sisteme gönderdiği geri besleme ile olur. Bu geri besleme sayesinde genetik programlama uyguladığı bilgi, kural veya yapıların iyi ya da kötü olduğunu anlar ve onları geliştirmeye çalışır. Genetik algoritmanın asıl amacı ortamdaki geri beslemeyi mümkün olduğu kadar iyileştirmektir.

Bu çalışmada ele alınacak olan problem ikiden fazla işe, birden fazla ölçütlere sahip olduğu için “NP-Zor” problem olarak sınıflandırılmaktadır. Aynı zamanda problem, çizelgeleme işlemi başlamadan işlem görecektir bütün işlerin önceden bilinmesinden

dolayı statik ve bütün parametrelerin bilinmesi nedeniyle de deterministik bir çizelgeleme problemidir. Mevcut çok ölçütlü çizelgeleme problemini karmaşıklıktan çıkarmak amacı ile algoritma içerisinde bulunan kurallar işletme amaç ve stratejik hedeflerine en yakın çizelgenin elde edilmesi amacıyla dört farklı ağırlıklandırma yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bu yöntemlerle sıralamayı optimize edecek kuralların önem ağırlıkları belirlenmiştir. Aynı zamanda öncelik ölçütlerinin ağırlıklarındaki değişimin ve genetik algoritma parametrelerinin optimizasyon modeline etkisi de gözlemlenmiş ve değerlendirilmiştir.



1. ÜRETİM SİSTEMLERİ VE TARİHİ GELİŞİMİ

1.1. Üretim Sistemlerine Giriş

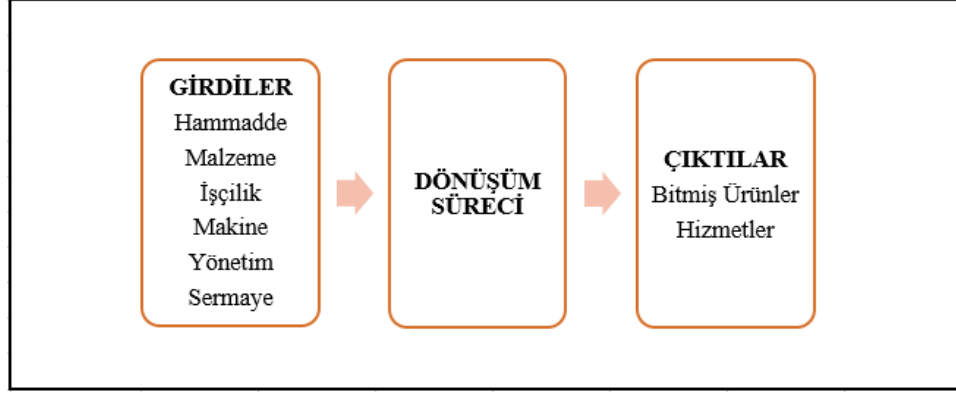
Üretim, yarar sağlamak amacıyla hizmet veya ürün ortaya koyma işlemidir. Üretim, sadece bir ürün veya hizmetin ortaya çıkarılması veya oluşturulması değil, mevcut ürün veya hizmetin değerini arttırmak, değer katıyor olmak amacıyla sürdürülen faaliyetler için de kullanılmaktadır. Üretim başlıca dört yolla gerçekleşmektedir;

Şekil değişikliği yöntemi ile (ağaçtan masa vb.); sisteme ait girdilerin finansal, fiziksel, kimyasal ya da bunların bileşimi ile söz konusu olan varyasyonlar ile fayda elde edilir. Yer değişikliği yoluyla (nakliye); ürün veya hizmetlerin yeterli olduğu bölgelerden yetersiz olduğu bölgelere ve yerlere ulaştırılması ile yer faydası sağlanır.

Zaman değişikliği yoluyla (soğuk hava depoculuğu vb.); ürün veya hizmetlerin yetersiz olduğu zamanlarda pazara sunulması amacıyla depolanması ile ilgili faaliyetlerle zaman faydası sağlanır.

El değiştirme yoluyla; ürün veya hizmetlerin sahipliğinin değiştirilmesiyle fayda sağlanır.

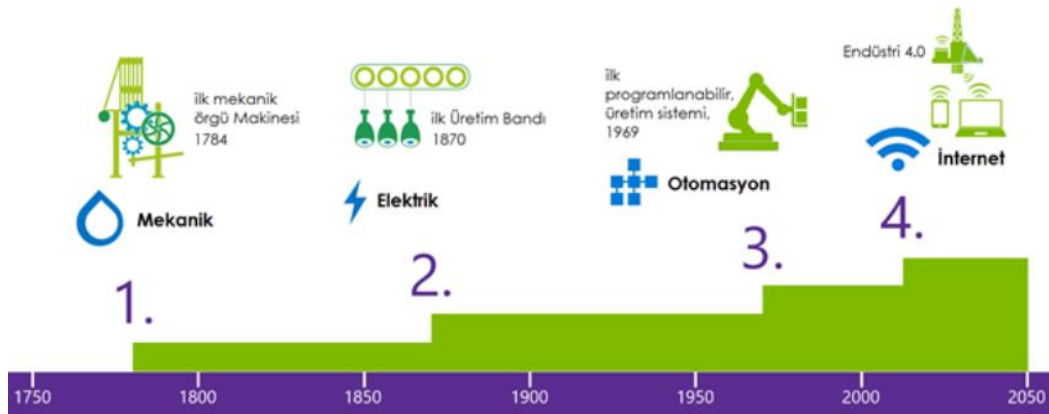
Üretim sistemi yukarıda sıralanmış olan tüm işlemlerin gerçekleştiği yerdir. Üretim süreci ise, bu faaliyetlerin malzeme, sermaye, iş gücü, makine ve yönetim bilgisi kaynaklarının işleyerek ürün veya hizmete dönüşümü olarak tanımlanır. Üretim sistemi açık bir sistemdir. Üretim sisteminin temel ögeleri; sisteme ait girdiler, kaynakların mal ve hizmetlere çevrilme işlemi olan çevrim süreci, çevrilen ürünlerin elde edilmesi yani çıktılar ve sistemde ki kusurların anlık olarak tespit edilip müdahale edilmesiyle oluşan geri bildirim sürecidir. Şekil 1.1’de üretim sistemi, sisteme ait girdi ve çıktılar ve üretim süreci verilmiştir.



Şekil 1.1. Üretim sistemi ve üretim süreci

1.2. Üretim Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

İnsanoğlu, varoluşundan bu yana yüzyıllardır küçük atölyelerde üretim faaliyeti gerçekleştirmektedirler. Bu faaliyetleri gösteren kişiler eski çağlarda zanaatkârlar olarak bilinmektedir. Üretim sistemlerinin temelinde bu zanaatkârların oluşturduğu zanaat tipi üretim oluşturmaktadır. Zanaat kelimesi “el emeği gerektiren ve büyük ölçüde öğrenimle birlikte beceri ve deneyime dayanarak gerçekleştirilen küçük ölçekli üretim” olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde, endüstriyel devrimlerin ardından değişim gösteren üretim anlayışı içinde çoğu zaman zanaatkârlık, geçmiş zamana ait bir üretim tipi olarak algılanmaktadır. Bu algıyı destekleyen kök sebep ise, günümüzde fabrikalaşmış üretim sistemlerinin çıktısı tek tip ürünlerin pazardaki hâkimiyetidir [1]. Üretim sistemlerindeki gelişme 18. yüzyıldan günümüze değin çok önemli aşamaları geride bırakmış ve günümüzde de gelişmeye devam etmektedir. Endüstriyel devrim süreci geçmişten günümüze dört önemli aşamaya uğramıştır. Şekil 1.2’de bu dört ana aşama gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Endüstriyel devrim aşamaları [81]

1.2.1. Mekanik üretim tesislerinin uygulanması

Endüstriyel devrimin ilki ve endüstri 1.0 olarak da adlandırılan, buhar makinesinin ortaya çıkmasıdır. Bu devrim, insan ve hayvan gücü üzerine kurulu üretim anlayışından, makine gücünün hâkim olduğu üretim tarzına geçiş sürecini kapsamaktadır [2]. Su ve buhar gücüne dayalı bu sistem endüstrinin temelini oluşturmaktadır. Buhar makinalarının temel ilkesi, sıvı ve buhar halindeki su arasındaki basınç farkının kinetik enerjiye dönüştürülmesidir. Sıvı halde bulunan su, kömür, odun, petrol vb. malzemeler ile ısıtılarak kızgın buhar haline getirilir, bu buhar bir odacığa toplanır, hızla soğutulan bu odacıқта sıcaklıkla birlikte basınç da düşer ve vakum oluşur. Bu vakumun gücü kinetik enerjiye dönüşür ve piston sistemini tetikler. Buhar makinesi, 1760 yılında İngiliz James Watt tarafından bulunmuştur. Bu buluş sayesinde buhar ve suyun gücü buhar makinesiyle üretime aktarılmış ve el emeğiyle yapılan birçok üretimin yerini mekanik üretim almıştır. Buhar gücüyle çalışan makinelerin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte sanayi ve fabrika kavramları da ortaya çıkmıştır. Bu devrim insanlık için ve mekanizasyona geçişte dev bir aşamadır. Aynı zamanda Adam Smith uzmanlaşma teorisiyle işlerin küçük parçalara bölünmesini sağlayarak işçilerin her birinin yalnızca bir tek işi gerçekleştirdiğinde, daha etkili çalışabileceğinin mümkün olduğunu savunmuştur. Charles Babbage ise iş bölümü olgusunu uzmanlaşma doğrultusunda daha da geliştirmiştir.

1.2.2. İşlerin bölünmesi ve elektrik ile seri üretime geçiş

Genellikle seri imalat dönemi olarak bilinen endüstriyel devrimin ikinci aşaması endüstri 2.0'da bilim adamları tarafından yapılan fizik ve kimya alanlarındaki keşifler teknolojiye aktarılarak birinci sanayi devrimindeki mekanik aletlerin yerini daha karmaşık makineler almıştır. Elektriğin fabrika ve kentlerde kullanılmasının ardından makinelere aktarılmasıyla seri üretim gerçekleştirilmiştir. Aynı dönemde, ikame edilebilir parça (standardizasyon-interchangeability) kavramı geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu tip parçaların üretildiği yer fark etmeksizin, kullanıldığı yerde istenen fonksiyona elverişli olan parçalardır. Böylelikle herkes kendi parçasını kendi üretmesi yerine, parçaların belirli yerlerde büyük ölçülerde ve çok daha az maliyetli üretilebilir duruma gelmiştir. Gereksinimi olanlar, bu parçaları satın alarak kendi üretimlerinde doğrudan kullanmaya başlamışlardır. 20. yüzyıl başlarında Henry Ford,

geliştirmiş olduğu montaj hatlarıyla beraber kitle üretimine (mass production) geçilmiştir. Gerçekleşen bu değişimler, hızlandırılmış üretim, düşük fiyata sahip ürünler ve daha geniş toplumlar tarafından elde edilebilen ürünler oluşmasına olanak sağlamıştır.

İlk olarak, 1908 yılında Ford'a ait T modeli üretilmiş, 1913 yılında Ford'a ait fabrikalarda ilk montaj hattı olarak kullanılmıştır. İkame edilebilir parçaların üretimi, o zamana göre büyük oranda hızlandırmış ve usta tipi nitelikli operatörden daha ucuz işgücü ile elde edilmesi sağlamıştır. Ucuz işgücü geçişi ile beraber dikiş makinelerinde, kol saatlerinde ve tarım makinelerinde de kullanım hedeflenmiştir. Örneğin 1846'da dikiş ve 1847'de A.B.D.'de tarım makinalarında, 1848'de A.B.D.'de kol saatlerinin üretiminde ikame edilebilen parçaların kullanılmasına başlanmıştır. Aynı dönemlerde Frederic W. Taylor tarafından üretim yönetimi kavramı geliştirilmiştir. Taylor, işçileri çalışma başında en ince ayrıntısıyla gözlemlemesiyle bilimsel yönetimin temel taşını ortaya koymuştur. Gilbreht ailesi tarafından hareket ekonomisi ilkeleri ortaya konmuş ve mikro hareketler (therblig) tanımlanmıştır. H. Lee Gantt ise iş çizelgelerinde kullanılmak üzere Gantt şemasını geliştirmiştir.

1.2.3. Üretim süreçlerinin otomasyonu

1970'lerde başlamış ve günümüze değin devam eden aşamaya üçüncü endüstri devrimi olarak kabul edilmektedir. Elektronik, bilgi ve iletişim teknolojilerinin ikinci dünya savaşı sonrası gelişimiyle beraber üretimin otomasyonu sağlandı. İlk endüstri devrimi üretimin makineleşmesi, ikinci endüstri devrimi seri üretime geçilmesi şeklinde ifade edilirken, üçüncü endüstri devrimi ise üretimin otomasyonu ve sayısallaşması şeklinde ifade edilmiştir. Programlanabilir mantıksal denetleyici olarak geçen PLC'lerin gelişmesiyle üretim alanlarında otomasyon ileri aşamalara taşınmaya başladı. Üretimin yönü ve şekli, dönem boyunca bilgisayar, mikro elektronik, fiber optik, lazer gibi teknolojilerin, telekomünikasyon, nükleer, biyotarım ve biyogenetik gibi bilimlerin gelişiminden etkilenmiştir. İletişim ve ulaşımdaki gelişmelerle, ticari ve endüstriyel globalleşme gerçekleşmiştir [3]. Terim olarak otomasyon, Ford firmasının içerisinde kurulan birim ile birlikte yaygınlaşmıştır. Mekanik, hidrolik, pnömatik, elektrik, elektronik, bilgisayar vb. farklı cihazların ve ara yüzlerin birleşimi ile otomasyon kavramı meydana gelmiştir [4]. Bu süreç boyunca gerçekleşen en

önemli gelişmelerden birisi ise mevcut yeryüzü kaynaklarının hızla tükenmesi ve bu doğrultuda gündeme gelmiş olan sürdürülebilirlik kavramıdır. Enerji kaynakları olarak birinci endüstri devriminde tüketilen kömür, buhar gücü ve su iken, ikinci endüstri devriminde elektrik ve petrol kaynakları ön plandaydı. Ancak üçüncü endüstri devriminde, yenilenemez kaynaklardaki problemler ve çevresel endişeler ile güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları önemli hale geldi. Bütün bu gelişmelerin, daha önce mümkün olmayan yeniliklere imkân tanınmasının yanı sıra, siber-fiziksel sistemler, nesnelerin ve hizmetlerin ağı gibi etkenlerin de tesiriyle, içinde bulunduğumuz dördüncü endüstri devrimi başladı [3].

1.2.4. Dördüncü endüstri devrimi

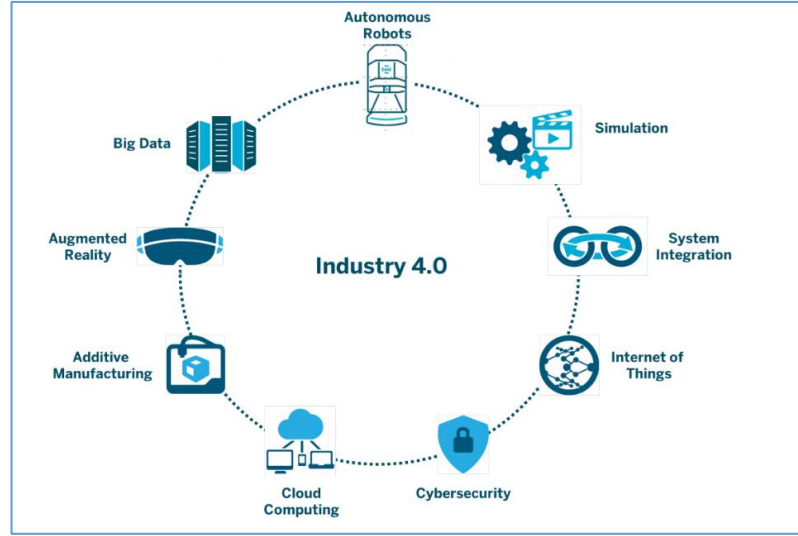
Dördüncü endüstriyel devrim, değer zinciri organizasyonlarının ve teknolojik gelişmelerin ortaklaşa birliğidir. Bu devrim, nesnelerin ağına, hizmetlerin ağına ve siber fiziksel düzenekler ile ilgilidir. Bu yapıların akıllı fabrika vizyonlarının meydana gelmesinde önemli yarar sağlamaktadır. Dördüncü sanayi devrimini temelde aşağıda verilmiş olan üç yapı meydana getirmektedir.

Nesnelerin Ağı

Hizmetlerin Ağı

Siber Fiziksel Düzenekler

Dördüncü sanayi devrimi ile parçalı yapıları akıllı fabrikalar kapsamında, fiziksel operasyonları siber-fiziksel düzenekler ile izliyor olmak, fiziksel evrenin sanal ortamda bir kopyasını oluşturmak ve merkezi olmayan kararların verilmesi amaçlanmaktadır. Nesnelerin ağı ile siber-fiziksel düzenekler kendi içlerinde ve insanlarla gerçek zamanlı haberleşerek işbirliği içinde çalışabilecektir. Hizmetlerin ağı ile hem iç hem de karşılıklı örgütsel hizmetler sunulacak ve değer zincirinin kullanıcıları vasıtasıyla değerlendirilecektir. Şekil 1.3'te dördüncü sanayi devrimine ait yapı verilmiştir [5].



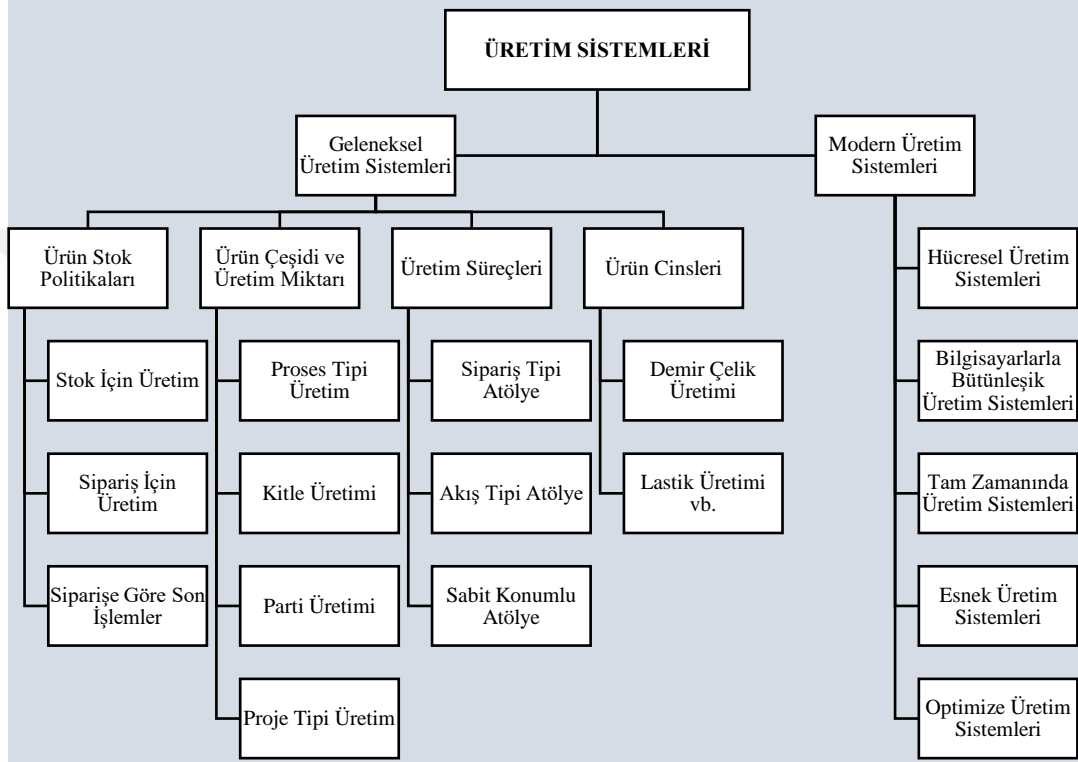
Şekil 1.3. Dördüncü sanayi devrimi yapısı [82]

Dördüncü sanayi devrimi, altı ilkedен oluşmaktadır [5];

- 1) Karşılıklı Çalışabilirlik: Siber fiziksel düzeneklerin kabiliyetiyle (ör. iş parçası taşıyıcıları, montaj istasyonları ve ürünleri) nesnelereğin ağı ve hizmetlerin ağı üzerinden insanların ve akıllı fabrikaların birbirleriyle haberleşebilmesini içerir.
- 2) Sanallaştırma: Bu yapı akıllı fabrikaların sanal bir kopyasıdır. Sistem, sensör bilgilerinin sanal kuruluş ve benzetim modelleri ile bağlanmasıyla meydana gelir.
- 3) Özerk Yönetim: Siber-Fiziksel düzeneklerin akıllı fabrikalar içinde kendi kararlarını kendi verme kabiliyetidir.
- 4) Gerçek-Zamanlı Kabiliyet: Bilgileri toplama ve çözümleme kabiliyetidir. Bu yapı düşüncenin seri bir biçimde uygulanmasını sağlar.
- 5) Hizmet Oryantasyonu: Hizmetlerin ağı vasıtasıyla siber-fiziksel düzenekler, insanlar ve akıllı fabrika servisleri sunulmaktadır.
- 6) Modülerlik: Bireysel modüllerin değişim gösteren gereklilikleri için akıllı fabrikalara esnek adaptasyon sistemi sağlar.

1.3. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması

Üretim sistemlerini; üretim yöntemi, mamul cinsi, mamul miktarı veya üretim akışı kriterlerine göre farklı biçimlerde sınıflandırmak mümkündür. Üretim sistemleri endüstrinin tarihsel gelişimi de göz önüne alınarak iki temel ayrıma göre Şekil 1.4'teki gibi sınıflandırılmıştır [6].



Şekil 1.4. Üretim sistemleri sınıflandırması [6]

Var olan üretim sistemine ait planlama yapabilmenin ilk aşaması üretim sistemini tanıyarak olabilmektir. Üretim sisteminin biliniyor olması üretimin planlanmasının temel kuralıdır. Üretim sistemlerine ait sınıflandırmalar Şekil 1.4'te şema halinde açıklanmıştır. Şekilden de görüldüğü üzere geleneksel ve çağdaş üretim sistemleri arasında birçok özelliklere göre farklılıklar bulunmaktadır. İki üretim sisteminin karşılaştırılmasına ilişkin bilgiler Tablo 1.1'de verilmiştir [7].

Tablo 1.1. Geleneksel ve çağdaş üretim sistemleri karşılaştırılması [7]

Özellikler	Geleneksel Üretim Sistemleri	Çağdaş Üretim Sistemleri
Üretim Prensipleri	İtme sistemi	Çekme sistemi
Teknoloji	Düşük teknoloji ve otomasyon	Yüksek teknoloji ve otomasyon
İşgücü	Direkt etkisi yüksek	Direkt etkisi az
Üretim Süreci Faaliyetleri	Birbirini takip eden süreçler	Eş zamanlı çalışan süreçler
Yatırım Maliyet Yönetimi	Önemi Düşük	Önemi Yüksek
Üretim Tipi	Benzer ürünler yığınlar halinde	Daha küçük yoğunlukta parti üretimleri
Ürün Çeşitliliği	Sınırlı	Sınırsız
Kalite Faaliyetleri	Üretim sürecinin sonrasında	Üretim sürecinin her aşamasında
Etki ve Yoğunluk Alanı	Üretim Süreci	Üretim öncesi, üretim ve üretim sonrası süreçler

Yapılan uygulama problemi kapsamında tek tezgâhlı üretim sistemleri ve atölye tipi üretim sistemlerine değinilmiştir.

1.4. Tek Tezgâhlı Üretim Sistemleri

Çalışma kapsamında ayrıca tek tezgâhlı ve atölye tipi üretim sistemlerinden ayrıca bahsedilmiştir. Üretim sistemlerinin temelini, tek tezgâhlı/makinelı üretim sistemleri oluşturmaktadır. İşletmelerdeki makine sayılarının artması, ürüne ait işlem akışları ve makine yerleşimleri yeni üretim sistemlerini doğurmaktadır. Üretim sistemlerinde bir parçanın üretimi için farklı makinelerde farklı işlemler uygulanabilir. Bu işlemlerin sırasını ve nerede yapılacağını belirleyen rota kavramıdır. Tek tezgâhlı bir üretim sisteminde bütün işler zorunlu tek bir makineden geçerken, birde fazla tezgâha sahip olan sistemlerde parçalar birden fazla rotaya sahip olabilirler. Bir üretim sistemi çizelgeleme probleminin çözüm uzayı, problemdeki tezgâh ve iş sayılarının yanı sıra problemin çözümünde yapılan varsayımlara (işlerin tamamlanmadan tezgâhtan ayrılabilmesi, tezgâhların boş kalmasına izin verilmesi, bir tezgâhta aynı anda sadece bir iş yapılabilmesi vb.) bağlı olarak değişmektedir.

Üretim, bir fayda yaratmak amacıyla yeni bir fiziksel ürün veya hizmetin ortaya konması faaliyetidir. Üretim süreci ise malzeme, sermaye, iş gücü, makine ve yönetim bilgisinin ürün ve/veya hizmete dönüşümüdür. Üretim sistemleri birçok şekilde sınıflandırılabilir. Üretim sistemleri üretimin akış tipine göre kesikli veya sürekli olmak üzere ikiye ayrılırlar. Kesikli üretim, siparişe göre üretim ya da partiler şeklinde üretim yapan sistemlerdir. Sürekli üretimde ise belirli bir tür ürün çok miktarda belirli bir akış hızında seri biçimde üretilir. Üretim sistemlerini bir diğer sınıflandırma şekli ise çizelgeleme ortamına göre sınıflandırmadır. Üretim sistemleri çizelgeleme ortamına göre statik ve dinamik olarak sınıflandırılır. Eğer çizelgelenecek bütün işler, çizelgeleme işlemi başlamadan önce biliniyor, sistemde mevcut ve zaman içinde elimizdeki mevcut işlere yeni işler eklenmiyorsa, statik üretim sistemi statik olarak adlandırılır. Eğer zaman içinde yeni işlerin gelmesine olanak veriliyorsa, buna dinamik üretim sistemi denir. Ayrıca üretim sistemleri belirli (deterministik) ve olasılıklı (stokastik) olarak da sınıflandırılmaktadır. Problem, parametrelerin belirli, işlere ait sürelerin bilindiği ve sabit ise deterministik, değil ise olasılıklı (stokastik) veya bulanıktır (posibilistik). Üretim sistemlerinin en temel hali tek tezgâhlı üretim yapılan sistemlerdir. Genel olarak, tezgâh sayısının artması, üretimin akış tipi ve tezgâh yerleşimine bağlı olarak diğer üretim sistemleri (akış tipi, atölye tipi vb.) ortaya çıkmaktadır. Üretim sistemlerinde bir parçanın üretimi için çeşitli tezgâhlarda çeşitli üretim aşamaları (rota) gereklidir.

Tek tezgâhlı bir üretim sisteminde bütün işler zorunlu olarak bir tek tezgâhtan geçerken, birden fazla tezgâhlı üretim sistemlerinde parçalar birden fazla rotaya sahip olabilmektedir. Yani her parça üretilmek için aynı sıra ile aynı tezgâhlardan geçmeyebilir. Bu sebepten dolayı atölye ortamının herhangi bir andaki durumunu tam olarak izlemek veya kontrol etmek daha güçtür. Bir üretim sistemi çizelgeleme probleminin çözüm uzayı, problemdeki tezgâh ve iş sayılarının yanı sıra problemin çözümünde yapılan varsayımlara (işlerin tamamlanmadan tezgâhtan ayrılabilmesi, tezgâhların boş kalmasına izin verilmesi, bir tezgâhta aynı anda sadece bir iş yapılabilmesi vb.) bağlı olarak değişmektedir.

1.5. Atölye Tipi Üretim Sistemleri

Üretim planlamanın önemli aşamalarından birisi atölye çizelgelemesidir. Atölye çizelgeleme atölyeye gelen işlerin zaman unsuru da dikkate alınarak makinelere atanması işlemidir. Ana üretim planlama aşamasında yapılan planlar ve buna göre hazırlanan çizelgeler çoğunlukla atölye koşulları dikkate alınmadan yapılmaktadırlar. Bu nedenle ana üretim planlama aşamasında hazırlanan çizelgeler atölye ortamında birebir takip edilemezler. Oluşan bu sorunu önlemek ve çizelgeleme sürecini iyileştirmek ancak çizelgeleme ile planlamanın ilgili diğer aşamalarını bütünleştirmek mümkündür. Çizelgeleme problemleri arasında atölye tipi problemleri, sınıflandırma bakımından en karmaşık yapıya olanıdır. Çünkü belirli bir siparişe (işe) ait işlem sayısı hakkında hiçbir kısıtlama yoktur ve alternatif olarak kabul edilecek birçok üretim rotaları da bulunur. Atölye tipi çizelgelemede her sipariş farklı makinelerde işlenmek üzere kendine özgü işlem ve işlem sıralarına sahiptir. Atölye tipi çizelgelemede ana unsur makineler ve bunlar üzerindeki işlerdir. Makinede işin işlenmesine operasyon denir. Her bir operasyon belli bir zaman uzunluğuna sahiptir. Bu zamanın içinde; makineyi ayarlama ve hazırlama (setup time), işi makineye taşımak için geçen sürede dâhil edilmektedir. Pinedo'nun ifadesiyle, eğer bir çizelgeleme problemini en iyi çözecek polinomsal bir zaman algoritması yoksa bu problemler NP-Zor olarak adlandırılır [8]. Genel atölye tipi çizelgeleme problemi NP-Zor problem sınıfına girer. Atölye tipi üretim üretim sistemlerinde çok fazla ürün çeşitliliği bulunduğu için, genelde siparişe göre üretim yapan işletmelerde uygulanmaktadır. Atölye tipi üretim sistemlerinde genel amaç, genellikle tüm işlerin tamamlanma süresini en küçükmektir. İş listesinin sürekli ve rastgele değiştiği, siparişe göre üretim yapan atölyelerde işlerin tamamlanma sürelerini en küçükleterek çözüme ulaşmak için farklı teknikler kullanmak gerekmektedir. Bu tekniklerden biri de öncelik kurallarına göre sıralama yapmaktır [9].

Klasik atölye tipi çizelgeleme problemlerinde kabuller bulunmaktadır. Bunlardan bazıları;

Her bir iş bütündür; iş farklı operasyonlardan oluşmuş olsa bile aynı işin iki operasyonu hiçbir şekilde aynı anda işlenmez.

Bir operasyon işlem anında kesilemez, bölünemez. Başlamış olan operasyon o makinede diğer operasyon başlatılmadan önce tamamlanmalıdır.

Her iş, bir makinede bir tane olmak üzere m tane operasyona sahiptir. İşin aynı makinede iki defa işlem görme olasılığı hesaba katılmaz.

İş iptali söz konusu değildir.

Bütün işler, işlem süreleri ve makinelere ait bilgiler tam olarak bilinmeli ve sıfır anında çalışmaya hazır olmalıdır.

İşlem süreleri çizelgeden bağımsızdır.

Hazırlık ve taşıma süreleri işlem sürelerine dâhil edilmiştir.

Makineler çizelgelenmeye başlarken boştur, asla bozulmazlar ve çizelgeleme periyodu boyunca kullanıma hazırdır.

Hiçbir makine aynı anda birden fazla operasyonu işleyemez.

Her makine tipinden sadece bir tane vardır.

Teknolojik kısıtlar önceden belirlenmiş ve sabittir.

İşlerin sayısı bilinir ve sabittir.

Makinelerin sayısı bilinir ve sabittir.

İşlem zamanları bilinir ve sabittir.

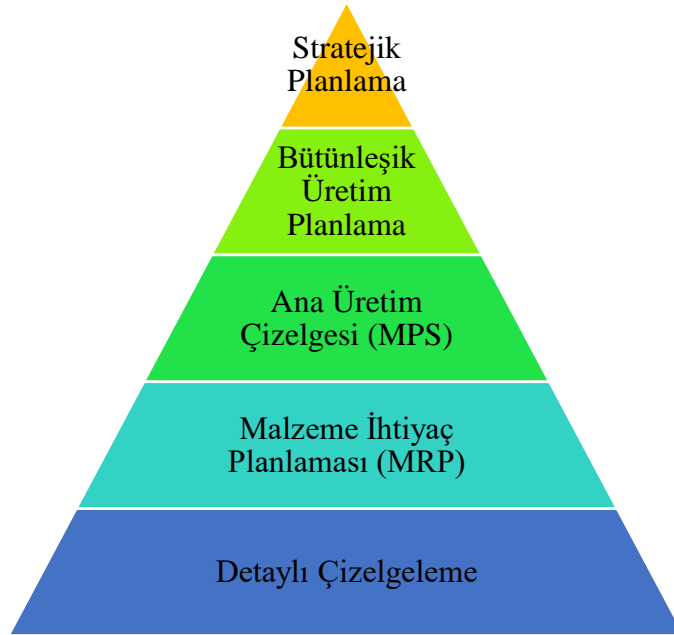
Hazırlık zamanları bilinir ve sabittir.

Belirli bir problemi tanımlamak için gereken her türlü nicel değerler bilinir ve sabittir.

2. ÜRETİM ÇİZELGELEME

2.1. Üretim Planlama ve Çizelgeleme Hakkında Genel Bilgiler

Üretim planlama ve kontrol, üretimi gerçekleştirilecek ürünün veya sunulacak hizmetin belirlenmesi, ihtiyaç duyulan donanım gereksinimlerinin ölçülmesi, ürünlerin ve sunulacak hizmetin talep edilen maliyet ve kalitede, talep edilen sürede, talep edildiği miktarlarda ve doğru zamanlarda meydana gelmesini amaçlayan ve hedefleyen çalışmaların bütünüdür. Üretim planlama ve kontrol, planlama ve kontrol olacak şekilde iki temel işlevden oluşur. Bu işlevlerden üretim planlama, ne kadar miktarda, nerede, ne zaman ve hangi imkânlar ile üretimin gerçekleşeceği konularını kapsıyor iken, kontrol ise gerçekleşen işlevlerin önceden hazırlanmış olan planla orantılı olup olmadığını kontrol eder ve olan eksiklikleri ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Şekil 2.1’de üretim planlama aşamaları uzun dönemden kısa döneme doğru üçgen piramit ile gösterilmiştir. Planlama aşamaları yukarıdan aşağıya, uzun dönemden kısa dönemli planlamalar şeklinde sıralanmıştır.



Şekil 2.1. Üretim planlama aşamaları

Üretim planlama faaliyetleri birbirinden farklı zaman aralıklarında ve farklı organizasyon düzeylerinde gerçekleştirilmektedir. Bir firmada bulunan en üst düzey organizasyonlarda planlama faaliyetleri olarak uzun dönemi gözlemleyecek kapasite plan çalışmalarını kapsamaktadır. Uzun dönemleri kapsayan bu kapasite çalışmaları genellikle pazarlar, fabrikalar ve üretim hatları ile alakalı olup yıllık periyotlarda çalışmalar sürdürülmektedir. Üst düzeyden sonraki bir alt düzeyde ise orta dönemli planlama faaliyetleri gerçekleştirilir. Bu faaliyetleri gerçekleştirenler genellikle operasyonel işlevlerden sorumlu departmanlara ait yöneticileridir. Yapılan orta dönemli planlamalar, ürünlere ait detay planlara istinaden genellikle ilgili dönemi kapsayan toplam üretim miktar bilgilerini kapsamaktadır. Bir sonraki dönem planları olan kısa dönemli planlamalar ise, her bir fabrika seviyesinde oluşturulmakta ve üretimi gerçekleştirilecek ürünlere ait detaylı bir şekilde, üretilmesi gereken zaman, miktarları içinde barındırmaktadır. Kısa dönemli üretim planları genellikle aylık veya haftalık şeklinde yapılmaktadır. Tablo 2.1’de bir üretim planlama sistemine ait planlama aralıkları ve her bir vade için planlama sistemine ait girdiler, süreçte yapılması gereken hesaplamalar, alınması gereken karar ve sisteme ait çıktılar detaylıca verilmiştir.

Üretim çizelgeleme, kısa vadeli planlama döneminin bir çıktısı olarak üretim planlarının geliştirilmiş ve ilgili ürün ve kaynaklar için özelleşmiş bilgileri içerisinde bulunduran çalışmalardır. Aynı zamanda çizelgeler, planlara göre daha detaylı ve kısa sürelidir. Çizelgeleme temel olarak üç öğeye sahiptir. Bu öğeler, zaman, kaynaklar ve üretimdir. Sürdürülen çizelgeleme faaliyetleri ile yapılacak işlerin hangi zaman diliminde, hangi kaynaklar ile gerçekleştirilmesi gerektiğinin belirlenmesi sağlanır. En geniş anlamda üretim çizelgeleme, yapılacak işlerin, belirlenmiş hedef ölçütü doğrultusunda, (minimum geciken iş sayısı, hazırlık ve ayar süresi kayıplarını minimumda tutmak vb.) sistemdeki kısıtları da hesaplama katılarak, kaynaklara iş sıralama ve atama işlemlerini gerçekleştirip, bu işlerin başlangıç ve bitiş zamanlarının da belirlenmesidir. Bu bağlamda çizelgeleme “hangi iş hangi makinede hangi sıra ile yapılmalı” sorusuna cevap aramayı amaçlamaktadır.

Tablo 2.1. Üretim planlama sistemine ait girdi ve çıktılar [6]

Planlama Aralığı	Girdiler	Hesaplamalar ve kararlar	Planlar/Çizelgeler	Çıktılar
Uzun Vade	Uzun Vadeli Talep Tahminleri Sermaye Durumu ve İşyeri Analizi Kapasite Verileri ve Analizi		Uzun Vadeli Kapasite Planı	1- Üretim faaliyetleri planı 2- Majör Tedarikçi Planı 3- Majör işleme, proses geliştirme planları (uzun dönem planlama için stratejik teknoloji, dizayn ve geliştirme ve seçme stratejileri)
Orta Vade	Orta Vadeli Talep Tahminleri	Kapasite Kısıtları	Toplu Üretim Planı	1- İş gücü planları 2- Malzeme tedarikleri ile ilgili konular 3- Faaliyet değişiklik planları 4-Stok Planları
Kısa Vade	Kısa Vadeli Talep Tahminleri Eldeki Siparişler Diğer Siparişler Tedarikçilerin Malzeme Yeterliliği	İş Merkezi Kapasite Kısıtları Stok Durumu Kısa Vadeli Bitmiş Madde Talep Tahmini İş Merkezi Yükleme Çizelgesi İş Merkezi Çizelgeleme Kararları Stok Durumu (parçalar) Malzeme Durumu	Ana Üretim Planı Kapasite İhtiyaç Planlaması Malzeme İhtiyaç Planlaması	1- Kısa vadeli bitmiş parça çizelgesi 2- Her iş merkezinde üretilecek kısa vadeli parça, alt montaj, montaj parçaları 3- İş merkezindeki üretim çizelgesini destekleyecek malzeme planı 4-İş merkezleri için gerekli olan kısa vadeli atölye planları (partilerin hareketleri, ayar planları vs.)

Çizelgeleme problemlerinin üç temel hedef bulunmaktadır. Birinci hedefi, çizelgelenen işlerin müşteriye teslim edilmesi gereken tarihler ile ilgili olup, siparişlerin gecikmemesini amaçlar. İkinci hedefi, işlerin akış zamanlarını içerir ve iş rotaları doğrultusunda işlem zamanlarını en kısa sürede tamamlamayı hedefler. Üçüncü hedefi ise, iş yerlerinin kullanılması üzerine, makine, donanımlar ve iş gücü açısından iş yerlerini en verimli şekilde kullanılmasını hedefler. Bu hedefler ve temel unsurlar doğrultusunda gerçekleştirilmiş olan üretim çizelgesinin de başarılı olabilmesi için kritik başarı faktörleri bulunmaktadır. Bu kritik başarı faktörleri; kapasite, yeterlilik, işlerin ihtiyaçları, ölçüm standartlarıdır.

İşletmeler, mevcut kapasitelerinin ne olduğu hakkında bilgi sahibi olmaları gerekmektedir. Mevcut kapasiteyi aşan, ekonomik yönden hedeflere paralel olmayan işlerin çizelgelenmesi işletmeye yarar sağlayamayacaktır. Yeterlilik bağlamında işçiler ve makineler arasındaki çalışma hızı ve kapasitesinin işlerin hangi makine ve işçiye atanacağı aşamasındaki karar mekanizmasında dikkate alınması gerekmektedir. Çizelgelenen işlere ait olması gereken maliyet düzeyi, kalite standardı, işin bitirilmesi gereken en geç tarih, işin rotası vb. iş gereksinimleri önceden biliniyor olmalıdır. Üretim sistemine ait kapasite, maliyet, zaman ve kalite ile ilgili mevcut duruma ait standartlar oluşturulmalıdır.

Çizelgeleme problemlerinde birden fazla performans ölçütünü optimize etmede kullanılan öncelik kuralları vardır. Bu öncelik kuralları, gerçekleştirilecek olan işlere öncelik değeri atayan işlem öncelik kuralları ve işlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan üretim araçlarına öncelik değeri atayan kaynak öncelik kuralları olmak üzere iki kısımda incelenir. İşlem öncelik kuralları, Bir makinde işlenecek işlerin özelliklerine göre, belli bir işin tamamlanmasından sonra, üretimin hangi makinedeki hangi iş ile devam edeceğini belirleyen kurallardır. Çizelgeleme problemlerinde en çok kullanılan işlem öncelik kuralları;

İlk gelen önce işlenir (FCFS): Sisteme ilk gelen önce çizelgelenir. Siparişler geliş sırasına göre servis görür. Sistem birinci sipariş ile başlar ve son siparişe kadar sırasıyla çizelgelenir.

Son gelen önce işlenir (LCFS): Çizelgelemede sisteme gelen son işin ilk önce çizelgelenmesi gerekir. Yani sisteme geliş sıralarının tersine doğru bir sıralama yapılmalıdır.

En kısa işlem süresi (SPT): Bu kural, makinelere gelen işlerin, işlem sürelerinin kısalığı ile doğru orantılı bir ilişki kurarak sıralama yapmayı önermektedir. Makineye gelen işler arasında en kısa işlem süresine sahip olan işlerin önceliklendirildiği bu kural ile üretim sisteminin çıktısı en çoklanmakta ve geciken işlerin oranı azalmaktadır [9].

En erken teslim zamanı (EDD): İşlem görmek için sırada olan işlerin gecikmelerini en küçükleme amacıyla olan bu kurala göre sisteme gelen işler arasından en erken teslim tarihine sahip olan iş ilk olarak yapılmaktadır [9]. Böylelikle teslim kabiliyetinin artması ve müşteri memnuniyetinin yükselmesi beklenir.

Maliyeti en fazla iş önce işlenir: Makineye gelen işler maliyetlerinin fazlalığı ile doğru orantılı olacak şekilde sıralanır. Böylelikle genel olarak maliyetlerde azalma olacaktır.

Bolluk zamanı en az olan iş önce işlenir: Bu kurala göre, işler sistemdeki bolluk zamanına göre azdan-çoğa doğru orantılı bir şekilde yapılmaktadır.

En kısa hazırlık zamanı olan işi önce işle: Üretime girmeyi bekleyen işler hazırlık zamanlarının kısalığına göre doğru orantılı bir şekilde sıralanır. En kısa hazırlık zamanına sahip olan işlere öncelik verilmesiyle gecikme zamanı azaltılabilir.

Kaynak öncelik kuralları işlem öncelik kuralları kadar önemlidir. Bu kurallar işlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan üretim araçlarına öncelik değeri atamaktadır.

Çizelgeleme problemlerinde en çok kullanılan kaynak öncelik kuralları ise sırasıyla;

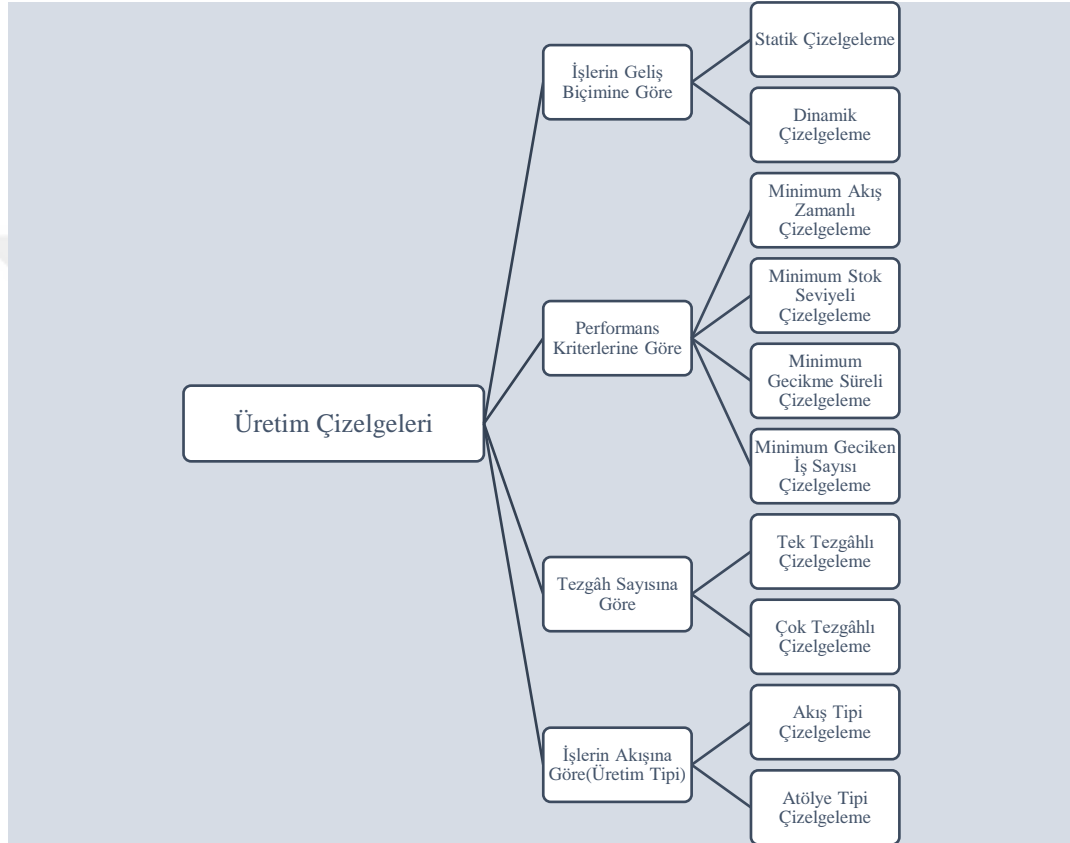
Minimum ayar süresi: Bu kurala göre, en az hazırlık süresine sahip olan kaynak seçilmelidir.

En erken bitiş zamanı: Bu kuralda, işi en erken bitirecek olan kaynak seçilmelidir. Bu kural ile işlerin tamamlanma zamanları azaltılmaya çalışılır.

En erken başlama zamanı: Bu kuralda, işi en erken başlatabilecek olan kaynak seçilmelidir. Bu kuralla üretim kaynaklarının boş kalma süreleri azaltılabilmekte fakat işlerin akış zamanları uzayabilmektedir.

2.2. Çizelgeleme Sınıflandırılması

Üretim çizelgeleri genel olarak dört farklı etkene göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar sırasıyla; işlerin gelme yolu, bulunan tezgâh sayısına göre, işlerin akışına göre ve performans kriterlerine göre sınıflandırılır. Şekil 2.3'te üretim çizelgelerinin sıralanan bu dört etkene göre sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 2.2. Üretim çizelgeleme sınıflandırılması

İşlerin geliş şekline göre çizelgeleme problemleri, statik ve dinamik çizelgeleme olmak üzere iki farklı şekilde değerlendirilmektedir. Statik çizelgeleme problemlerinde, iş listesinin tamamı belli bir dönem için bilinmekte ve işler hemen işlenmek için düzenli olarak boşta olan iş merkezine gelmektedir. Statik çizelgelemede, çizelgenecek işlerde değişiklik meydana gelmez. Eğer çizelgenecek işler zamanla değişkenlik gösteriyorsa ve iş merkezine düzensiz bir şekilde gelmekte ise, problem dinamik çizelgeleme olarak isimlendirilir. Bu tür problemlerde, herhangi bir zamanda gelebilecek olan işin sahip olduğu özellikler nedeniyle sıralamanın sürekli değişmesi gerekebilir. Statik modeller dinamik

modellere göre daha kolay kontrol edilebilir bir yapıya sahiptir ve daha geniş bir çalışma alanına uygulanmıştır.

Tezgâh sayılarına göre çizelgeleme problemleri, iş merkezinde yer alan tezgâh sayısına göre tek tezgâhlı ve çok tezgâhlı olmak üzere iki farklı şekilde ayrılmaktadır. Tek tezgâhlı çizelgeleme probleminde iş merkezine gelen işler tek bir işleme ihtiyaç duymakta ve işlerin hangi sırada yapılacağı belirlenmektedir. Tezgâh sayısı arttıkça çizelgeleme problemlerinin çözümü de zorlaşmaktadır.

Performans ölçütlerine göre ise, atölye performansını değerlendirmek için, aynı çizelgeleme probleminde çizelgelemenin bazı şartları değiştirilecek veya farklı öncelik kuralları kullanılarak birkaç kez yapılması gerekmektedir. Kullanılan bu performans ölçütü çizelgeleme için önemli bir rol oynamaktadır. Bu performans ölçütlerinde, en önemliler ve en çok kullanılanlara aşağıda yer verilmiştir [9].

- Ürünlerin, üretim ve bekleme zamanlarını içeren akış zamanı,
- Geciken işlerin, toplam işlere oranı,
- Bekleyen işlere göre belirlenen hammadde, yarı mamul, mamul stok seviyeleri,
- İşlerin tezgâhlarda bekleme süreleri,
- İşlerin maksimum bekleme süreleri,
- İşlerin maksimum tamamlanma zamanları,
- Geciken iş sayısı,
- Ortalama iş hacmi,
- Siparişlerin gecikme süreleri,
- Tezgâh hazırlama zamanı kayıpları,
- Tezgâh ve işgücü kullanım oranları,
- Bu ölçütlerin ortalama ve standart sapmaları gibi istatistiksel ölçümleri.

Bu problemlerde önemli olan tüm işlerin işlenme süresini ifade eden yayılma süresini en küçükmektir. Örneğin, M makine sayısı ve N iş sayısını gösterebiliriz. Bu durumda yayılma süresinin formülü Denklem (2.1) ile hesaplanmaktadır.

$$Enb\{ij(j=1, 2, 3, \dots, M), (i=1, 2, 3, \dots, N)\} \quad (2.1)$$

Temel çizelgeleme modellerini sınıflandırmadan önce, kaynakların ve işlerin konfigürasyonunu nitelendirmek gereklidir. Örneğin, bir model tek tür ya da çok sayıda tür kaynak içerebilir. Eğer model tek bir kaynak türü içermiyorsa işler genellikle tek aşamalıdır. Çok kaynaklı modeller ise çoğunlukla çok aşamalı veya paralel işler içerir.

Üretim tipine göre çizelgeleme faaliyetleri, üretim sistemlerinin farklı tiplerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Genel olarak atölye tipi üretim sistemi ve akış tipi üretim sistemi olmak üzere iki tipi üretim sistemine göre çizelgeleme faaliyetleri farklılaşmaktadır [9]. Akış tipi çizelgeleme, birbirinden farklı m makine ve n işin bulunduğu, her bir işin m operasyondan oluştuğu, her bir operasyonun farklı makinelerde yapıldığı ve bütün işlerin operasyonlarının aynı sıra ile yapıldığı çizelgeleme problemleridir [10].

Akış tipi üretim sistemlerinde, tek bir ürün veya birbirine benzeyen birkaç ürün vardır, yani ürün çeşitliliği çok azdır. Makineler ürünün üretimi için gerekli işlemlere göre oluşturulmuştur. Makineler malzeme akışına göre sıralanmış olup, oldukça düzgün ve hızlı bir malzeme akışı bulunmaktadır. Bu düzgün ve hızlı iş akışı ile üretim içi stok miktarları azalmakta, dolayısıyla çizelgeleme çalışmaları kolaylaşmaktadır. Genel olarak üretim sistemlerinde bu iki tip çizelgelemenin bir karışımı görülmektedir.

Üretim planlama ve çizelgeleme uygulanmadan, üretim tipine göre değişiklik gösterebilir. Ürün çeşidi ve sayısı üretimin sürekliliğini ve statik-dinamik yapısını etkilemektedir. Üretim çizelgelemede işlerin geliş biçimleri zamana bağlı değişebilmektedir. Statik işlere ait süreçler zamana bağlı değişmezler. Dinamik işler ise zamana ve müşteri taleplerine bağlı olarak değişebilmekte yani artma veya azalma söz konusudur. Yapılan çizelgelemelerin işletmeye ait stratejik hedeflerine göre değişkenlik gösteren amaç fonksiyonları bulunmaktadır. Çizelgeler bu birbirinden farklı amaç fonksiyonlarına göre de sınıflandırılmaktadır. Bu amaç fonksiyonlarına diğer örnekler ise; işlerin ortalama gecikme süresi, geciken işlerin yüzdesi, tezgâh ve işgücü kullanım oranları olarak genişletilebilir.

Üretim çizelgeleme iki farklı yol ile yapılabilir. Bunlar ileriye ve geriye doğru çizelgelemedir. İleriye doğru çizelgelemede işe ait gereksinimlerin belirlendiği en kısa zamanda işin başlaması üzerine çizelge yapılır. Bu metot ile oluşturulmuş çizelgede son

teslim tarihinin karşılanamaması söz konusudur. Bu yöntemle oluşturulan çizelge son teslim tarihini karşılamayabilir. Bu nedenle bu yöntem genellikle müşteri siparişi üzerine başlayan, en kısa sürede teslim edilmesi gereken işlerde kullanılır. Geriye doğru çizelgelemede ise işe ait son teslim tarihinden başlayarak geriye doğru işi oluşturan her faaliyetin zamanlamasının belirlenmesidir. En son faaliyetten başlayarak çizelge hazırlanır ve faaliyetlerin başlaması gereken zamanlar elde edilir. Bu yöntemde çizelgelenen iş için gerekli kaynaklar elde olmayabilir.

2.3. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri

Çizelgeleme problemleri; problemin yapısı, makine ve/veya üretim biçimleri, performans ölçütleri, iş özellikleri, çözüm yöntemleri ve ölçüt sayısına bağlı olarak farklılıklar gösterir. Çizelgeleme problemleri $\alpha / \beta / \gamma$ şeklinde üç parametrelili bir gösterimle ifade edilir. Bu gösterimdeki α parametresi problem dâhilinde ele alınan iş sayısını göstermekte olup, β parametresi probleme ait makine sayısını, γ parametresi ise problemdeki performans ölçütünü ifade eder [11].

Genel atölye tipi çizelgeleme problemi NP-Zor problem sınıfına girmektedir. Atölye tipi üretim üretim sistemlerinde çok fazla ürün çeşitliliği bulunduğu için, genelde siparişe göre üretim yapan işletmelerde uygulanmaktadır. Atölye tipi üretim sistemlerinde genel amaç, genellikle tüm işlerin tamamlanma süresini en küçüklemektir. İş listesinin sürekli ve rastgele değiştiği, siparişe göre üretim yapan atölyelerde işlerin tamamlanma sürelerini en küçükleyerek çözüme ulaşmak için farklı teknikler kullanmak gerekmektedir. Bu tekniklerden biri de öncelik kurallarına göre sıralama yapmaktır [9]. Yapılan bu çalışmada da mevcut üretim sistemine ait plan öncelikleri belirlenmiş ve ağırlıklandırma yöntemleri kullanılarak optimizasyona etkileri belirlenmiştir.

Atölye çizelgeleme problemlerinde her işin kendine özgü bir operasyon sırası varsa bu çizelgeleme karışık iş akışlı çizelgeleme problemidir (job-shop problem). Tüm işlerin aynı operasyon sırasına sahip olma zorunluluğu yoktur. Tüm işlerin aynı teknolojik kısıtlara sahip olması durumunda problem seri akışlı probleme (flow-shop problem) dönüşmektedir. Çizelgeleme problemlerinin çoğunda makine ve iş sayısının sonlu olduğu varsayılmaktadır. Çizelgeleme problemlerinin ifade edilmesinde iş sayısı n , makine sayısı m , iş ve makineler için sırasıyla j , i indisleri kullanılmaktadır.

Çizelgeleme problemlerine ait diğer ifade şekilleri ve en iyileme ölçütleri aşağıdaki gibidir:

İşlem süresi (p_{ij}): j. işin, i. makedeki tamamlanma süresidir.

Hazırlık süresi (r_j): j işinin en erken işlemeye başlanacağı zamanı gösterir. j işi hazırlık süresinden önce başlayamaz.

Ayar süresi (s_{jk}): İki iş olan j ve k arasındaki sıraya bağlı ayar süresini gösterir.

Teslim tarihi (d_j): j işinin tamamlanma veya müşteriye sevk edilme zamanını gösterir.

İşlerin teslim tarihinden sonra bitirilmesine izin verilebilir fakat bu gecikmenin bir ceza maliyeti söz konusudur.

Tamamlanma zamanı (C_{ij}): j. işin i. makedeki operasyonunun tamamlanma zamandır. Tamamlanma zamanı hesaplaması Denklem (2.2) ile hesaplanmaktadır.

$$C_i = r_i + \sum_{k=1}^m (w_k + p_{ij}(k)) \quad (2.2)$$

$$i=1,2,3,\dots,n$$

Gecikme zamanı (L_j): j. işine ait gecikme süresini ifade etmektedir. j. işi geç tamamlandığında pozitif, erken tamamlandığında ise negatif değerler almaktadır.

Akış zamanı (F_j): j. işinin, işlem görmek için hazır olduğu andan tamamlanmasına kadar geçen zamandır. Denklem (2.3) ile hesaplanmaktadır.

$$F_{ij} = C_j - r_j \quad (2.3)$$

Ağırlık (W_j): j. işinin diğer işlere göre önem düzeyini belirten bir ölçüttür. Bu ağırlık elde bulundurma maliyeti veya stok maliyeti gibi işe yüklenmesi veya yüklenecek olan bir maliyet olabilir.

Çizelge zamanı (makespan- C_{\max}): Son işin tamamlanma zamanına eşit olan çizelge zamanı, aynı zamanda tüm n işin tamamlanması için gerekli süredir. C_j bir j. işinin tamamlanma zamanı olmak üzere Denklem (2.4) ile hesaplanan sürede tamamlanır.

$$C_{\max} = \max(C_1, C_2, \dots, C_n) \quad (2.4)$$

Toplam pozitif geç kalma ($\sum T_j$): İşin tamamlanma zamanı ile teslim tarihi arasındaki farkların pozitif olanlarının toplamıdır.

2.4. Çok Ölçütlü Çizelgeleme Problemleri Hakkında Yapılan Çalışmalar

Çizelgeleme literatürü; parametrelerin deterministik (belirli) olduğu durumdan belirsiz (stokastik) olduğu duruma, tek makineli çok makineliliye, geliş sürecinin durağandan (statikten) dinamiğe değiştiği çeşitli problem türlerini içine almaktadır [12]. Tek ölçütlü problemlere nazaran çok ölçütlü problemler daha karmaşık bir yapıya sahip olduklarından dolayı geçmişte yapılan çalışma sayısı azdır. Uygulamaların çoğunda çizelgenin birbirinden farklı ölçütlere göre uygun olup olmadığının analiz edilmesi yararlıdır. Çözümler arasından en iyilerine ulaşamadığı anlarda, karar vericiye farklı alt en iyi çözümleri sunmak esneklik kazandırır. Geçmiş yıllarda yapılan çizelgeleme optimizasyonu çalışmalarında kullanılan temel girdilerden, kısıtlardan, değişkenlerden ve ölçütlerden oluşan Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Geçmiş çalışmalarda uygulanan girdiler ve değişkenler [12]

Girdiler	n	İş sayısı	
	p_i	i işine ait operasyon süresi	
	d_i	i işine ait teslim süresi	
	s_i	i işine ait istenen başlangıç süresi	
	r_i	i işine ait operasyon hazır olma zamanı	
	F_i	i işine ait toplam akış süresi	
Değişkenler	C_i	i işine ait tamamlanma süresi	
	E_i	i işine ait önceden tamamlanma süresi	
	L_i	i işine ait toplam gecikme	
	T_i	i işine ait geç tamamlanma süresi	
	U_i	i işine ait gecikme	
	n_T	Gecikmiş iş sayılarının toplamı	
Ölçütler	C_{max}	Maksimum tamamlanma süresi	$C_{max} = \max_{i=1, \dots, n}(C_i)$
	L_{max}	Maksimum gecikme süresi	$L_{max} = \max_{i=1, \dots, n}(L_i)$
	L_{min}	Minimum gecikme süresi	$L_{min} = \min_{i=1, \dots, n}(L_i)$

Tablo 2.2. (Devam) Geçmiş çalışmalarda uygulanan girdiler ve değişkenler [12]

Ölçütler	T_{\max}	Maksimum geç tamamlama	$T_{\max} = \max_{i=1, \dots, n}(T_i)$
	E_{\max}	Maksimum erken tamamlama	$E_{\max} = \max_{i=1, \dots, n}(E_i)$
	\bar{F}	Ortalama akış süresi	$\bar{F} = \sum_{i=1}^n F_i/n$
	$w\bar{F}$	Ortalama ağırlıklı akış süresi	$w\bar{F} = \sum_{i=1}^n wF_i/n$
	\bar{T}	Ortalama geç tamamlama	$\bar{T} = \sum_{i=1}^n T_i/n$
	$w\bar{T}$	Ortalama ağırlıklı geç tamamlama	$w\bar{T} = \sum_{i=1}^n wT_i/n$
	\bar{E}	Ortalama erken tamamlama	$\bar{E} = \sum_{i=1}^n E_i/n$
	$w\bar{E}$	Ortalama ağırlıklı erken tamamlama	$w\bar{E} = \sum_{i=1}^n wE_i/n$
	\bar{U}	Ortalama geciken iş	$\bar{U} = \sum_{i=1}^n U_i/n$
	$w\bar{U}$	Ortalama ağırlıklı geciken iş	$w\bar{U} = \sum_{i=1}^n wU_i/n$

Geçmiş yıllara ait çalışmalar genellikle deterministik ve stokastik olacak şekilde iki ayrı kısımda taranmaktadır. Deterministik ve stokastik problemler de kendi içlerinde baz alınan ölçütlere göre sınıflandırılmaktadır.

2.4.1. Deterministik problemlere ait yapılan çalışmalar

Yapılan çalışmalar incelendiğinde deterministik problemlerde kendi içlerinde kullanılan ölçütlere göre gruplanabilmektedir. Tablo 2.3'te akış zamanının ortalaması ve en fazla geç tamamlama alanında yapılan önemli çalışmalar ve problem türleri verilmiştir.

Tablo 2.3. Ort. akış zamanı ve max geç tamamlanma ile ilgili literatür araştırması

Çalışma Sahibi	Problem	Geliştirilen/Kullanılan Ölçütler ve Kısıtlar
Smith	$n/1/\bar{F}/T_{\max}$	-
Roberts, Heck	$n/1/\bar{F}/T_{\max}$	$\sum_{i=1}^n p_i - d_k \leq T_{\max}$
Gelders, Van Wassenhove	$n/1/\bar{F}/T_{\max}$	$d_i = d_i + \Delta$
Smith	$n/1/\bar{F}/T_{\max} = 0$	$n/1/\bar{F}/T_{\max}$
Nelson vd.	$n/1/\bar{F}/T_{\max}$	-
John	$n/1/\bar{F}/T_{\max}$	-
Liao vd.	$n/1/\bar{F}/T_{\max}$	-
Baker, Van Wassenhove	$n/1/\bar{F}/T_{\max}$	-
Van de Velde, Hoogeveen	$n/1/\bar{F}/T_{\max}$	-
Köksalan	\bar{F}/T_{\max}	-

Ortalama akış süresi ve maksimum geç tamamlama alanında önemli çalışmalardan ilki Smith tarafından yapılmıştır [13]. Smith, tek makine ve n iş sayısı için problemi çözümlenmiştir. Heck ve Roberts, aynı problem üzerinde çalışırken, Smith tarafından geliştirilen algorithmadan yararlanmışlardır. Maksimum geç tamamlanmanın sıfır olması kısıtı yerine maksimum geç kalma sınırını dâhil etmişlerdir [14]. Üretim çizelgelemede etkili çözüm kavramını ilk olarak Van Wassenhove ve Gelders aracılığıyla ortaya konulmuştur [5].

Tek makine, n iş ortalama akış zamanı ve maksimum geç tamamlanma problemini çözümlenmede öncelikle tüm işlere ait teslim tarihlerinde mevcuttakiler yerine yeni teslim tarihlerin kullanarak çözümlenmişlerdir. Teslim tarihlerinin değiştirilmesinde kullanılan “ Δ ” değeri işlem sırası en küçük olan (SPT) kuralına göre tanımlanan çizelgedeki maksimum geç tamamlanma değerinden (tüm aktif çözümler içerisindeki en büyük T_{\max}), EDD kuralına göre belirlenen çizelgedeki maksimum geç tamamlanma değerine (tüm etkin çözümler içerisindeki en küçük T_{\max}) kadar düşürülerek belirlenmektedir.

Sen ve Gupta, hedef fonksiyonu maksimum gecikme ve ortalama akış zamanlarının doğrusal bir birleşiminin yer aldığı problem üzerinde çalışma yapmışlardır [15]. Çalışılan problemde, EDD ve SPT sırası aynı ise bu sıra en iyisidir. SPT ve EDD dizilimleri birbirinden değişik olduğu durumlarda problemin çözümü için Sen ve Gupta'nın geliştirdiği model, Townsend tarafından geliştirilen tek ölçütlü çizelgeleme algoritmasına benzerdir.

Nelson ve diğerleri, ortalama akış ve maksimum geç tamamlanma süresi problemine özgü Van Wassenhove ve Gelders algoritmasına benzeyen bir algoritma geliştirmişlerdir [16]. Modelin öncekilerden farklılığı, Δ değerinin azalmasına bağlıdır. Van Wassenhove ve Gelders algoritmalarında Δ değerini birer birim eksiltirken bu algoritmada Δ değeri bir bir ϵ değişkeni kadar eksiltilmektedir. Bütün p_i ve d_i değerleri tamsayı değer ise $\epsilon \leq 1$ değer almakta, aksi takdirde $\epsilon \leq 0.1$ olmaktadır. John, akış zamanı ve maksimum gecikmeyi en küçükleme problemini ödünleşim eğrisiyle çözmüştür [17]. Yaptığı çalışmada probleme ait çıktıları 150 iş sayısına kadar incelemiştir. Liao ve diğerleri de, ortalama akış ve maksimum geç tamamlanma süresi problemi üzerinde çalışmışlardır. Problemde Van Wassenhove ve Baker tarafından öne sürülmüş modeli geliştirerek, 100 işe sahip bir problemi çözüme kavuşturmuşlardır. Hoogeveen ve Van de Velde, eş problemin polinom zamanda çözülebileceğini öne sunmuştur [18]. Köksalan, toplam akış zamanı ve maksimum gecikme problemini çözmek için sezgisel bir yaklaşım geliştirmiş ve 100 işli 450 problemi çözümlenerek çıktıları paylaşmıştır [19]. Ortalama akış zamanı ve maksimum geç bitirme problemlerinin ardından Tablo 2.4'te ağırlıklı ortalama akış zamanı ve maksimum geç bitirme ölçütleri alanında yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Tablo 2.4. Ağırlıklı ort. akış zamanı ve maksimum geç bitirme ile ilgili literatür araştırması

Çalışma Sahibi	Problem	Geliştirilen/Kullanılan Ölçütler ve Kısıtlar
Burns	$\sum_{i=1}^n w_i C_i$	$\sum_{j=1}^i p_j - d_i \leq T$
Miyazaki	$\bar{F}_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i F_i$	$\sum_{j=1}^i p_j - d_i \leq T^*, T^* \geq \min T_{\max}(S)$

Tablo 2.4. (Devam) Ağırlıklı ort. akış zamanı ve maksimum geç bitirme ile ilgili literatür araştırması

Shanthikumar ve Buzacott	$n/1/w \bar{F}:T_{\max}=0$	-
Chand ve Schneeberger	$\sum_{i=1}^n w_i C_i$	$C_i - d_i \leq T$
Potts ve Van Wassenhove	$n/1/w \bar{F}:T_{\max}=0$	-

Burns çalışmalarını ağırlıklı tamamlanma problemlerinin, maksimum gecikme zamanı kısıtı etkisinde olduğu problemler üzerinde çalışmalar yapmıştır [20]. Problem çözümlerinde Smith, Heck ve Roberts yaklaşımlarından faydalanmışlardır. Bansal, $n/1/w \bar{F}:T_{\max}$ probleminin çözümünü daha kolay duruma getirmek için birkaç eleme kurallarından faydalanarak salt en iyi çözüme ulaştıran bir dal sınır modeli öne sürmüştür.

Miyazaki, $n/1/w \bar{F}:T_{\max}=0$ problemin incelemiştir [20]. Burada T^* , T_{\max} 'ın önceden belirlenmiş bir değerin üzerine çıkılmaması kısıtı altında problemi analiz ederek yerel en iyi çözümü elde eden gerek bir koşul gösterip, bu taban üzerinde salt en iyi çözüme ulaşmayı sağlayan etkili modeli Smith algoritmasını da geliştirerek problemi 15 iş sayısına kadar çözümlenmiş ve sonuçları paylaşmıştır. Shanthikumar ve Buzacott, geniş kapsamlı bir çizelgeleme problemini, iki veya daha fazla küçük boyutlu problemlere ayırabilecek bir şart gösterip, bu ayrıştırma yaklaşımının çizelgeleme problemleri için uygulanabilir olduğunu $n/1/w \bar{F}:T_{\max}=0$ problemi üzerinde kanıtlamışlardır [21]. En iyi çizelgeyi elde etmek için bu ayrıştırma ilkesini birleştiren bir dal sınır algoritması geliştirmiştir. Geliştirilen bu algortmada orjinal problemlerdeki her bir işin teslim tarihi d_i , yeni teslim tarihi d_i' ile yer değiştirerek $d_i'=d_i+T_{\max}$, $n/1/w \bar{F}:T_{\max}$ probleminin çözümünü gerçekleştirilmiştir.

Aynı problem, Potts ve Van Wassenhove tarafından tekrar incelenerek, Bansal'ın dal sınır algoritmasında kullandığı alt sınırdan hesaplama açısından daha iyi olan bir alt sınır ile ek bir baskınlık kriterleri bularak, Bansal'ın bulduğu eniyileme metodunu geliştirmişlerdir [22-23]. Posner, bu problem doğrultusunda mevcut işlerin birbirleri içerisinde öncelik ilişkilerini de göz önünde bulundurmuş, bu özellikleri ve daha dar bir alt sınırı, dal sınır metodunda birleştirmiştir [24]. Chand ve Schneeberger,

$n/1/w\bar{F}:T_{\max}\leq T$ problemini yeniden modellemişlerdir [25]. Smith algoritmasını değerlendirerek, bu algoritmanın en iyi çözümü garanti ettiği problemin üç özel durumunu analiz etmişlerdir. Ayrıca Smith algoritmasının en kötü durum değerlendirmesini yaparak hedef fonksiyonu değerindeki nispi artışın en kötü durumda sınırlanmadığını göstermişlerdir. Bagchi ve Ahmedi, Posner tarafından işlerin bölünmesi ile ilgili belirlenen kuralı düzenleyerek Posner'in sınırını geliştirmişlerdir [26].

Ortalama akış zamanı ve geciken iş sayısı alanında yapılan çalışmalarda ise Emmons, geciken iş sayısının en az olması kısıtı altında toplam akış zamanını en küçükleme problemi üzerinde çalışmışlardır. Emmons, önce erken tamamlanacak işlerin bir seti verildiğinde, toplam akış zamanını en küçükleyecek bir yöntem göstermiş, sonra bu yöntemi Moore Algoritması ile bütünleştirerek geciken iş sayısının en az olma kısıtı altında toplam akış zamanını en küçük yapacak bir sezgisel algoritma sunmuştur. Problemi en iyi olarak çözmek için bir dal sınır algoritması geliştirmiştir. Bu algoritma da dallanmayı önemli ölçüde azaltacak eleme kuralları kullanmıştır [18,27]. Tablo 2.5'te ortalama akış zamanı ve geciken iş sayısı alanında yapılan çalışmalardan bazıları verilmiştir.

Tablo 2.5. Ort. akış zamanı ve geciken iş sayısı ile ilgili literatür araştırması

Çalışma Sahibi	Problem	Geliştirilen/Kullanılan Ölçütler ve Kısıtlar
Nelson vd.	$n/1/\bar{F}, n_T$	-
Ünal, Kiran	$n/1/\bar{F}, n_T$	-
Liao vd.	$n/1/\bar{F}, n_T$	-
Bekiroğlu, Kondakçı	$n/1/\bar{F}, n_T$	-
Karasakal, Köksalan	$F = \sum C_i$	$n_T \leq k$ $n_T(\text{MOORE}) \leq k \leq n_T(\text{SPT})$

Nelson ve diğerleri, geciken iş sayılarının toplamı ve ortalama akış süresi problemi için de bir dallanma metodu geliştirmişlerdir. Yöntemlerinde Moore ve Hodsson algoritması ile belirlenen çizelgedeki geciken iş sayısını minimum n_T olarak, SPT kuralı ile elde edilen çizelgedeki geciken iş sayısını da maksimum n_T olarak kabul

edilen geciken işlerle ilgili alt ve üst sınırları oluşturmuşlardır. SPT çizelgesinde erken tamamlanan bir i işi olduğu durumda $\max n_T$ ve $\min n_T$ arasında tamsayı değer alan k değerleri için $n/1/\bar{F}: n_T \leq k$ probleminin çözümünde i işinin erken tamamlandığı bir çizelgenin var olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Böylelikle dallanmalar SPT çizelgesindeki geciken işler üzerinden yapılmakta ve $n/1/\bar{F}: n_T$ probleminde bazı dallar Emmons'ın baskınlık kuralına eş bir kuralla elemesi yapılabilmektedir.

Ünal ve Kiran, geciken iş sayılarının toplamı ve ortalama akış süresi probleminin etkili çıktılarının elde edilmesi amacıyla Nelson'ın modeli üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında, SPT çizelgesindeki geciken iş sayısı ile Moore çizelgesindeki geciken iş sayısı arasında k tane geciken işe sahip en az bir etkin çizelgenin bulunacağını kanıtlayarak, problemin etkili çizelgelerinin sayısının minimum n_T (SPT)- n_T (MOORE)+1 kadar olacağını göstermişlerdir. Nelson ve diğerleri ağaç metodunu kullanarak 30 işe kadar problemi çözümlenmişlerdir. Kondakçı ve Bekiroğlu, toplam akış zamanı ve geciken iş sayısının minimize edilmesi üzerinde çalışma yapmışlardır [28]. Baskın olmayan çözümlerin bazı özellikleri tartışılmıştır. 30 işe kadar olan problemlerde bu özelliklerin kullanılabilceğini göstermiştir. Karasakal ve Köksalan, NP-zor problem olan toplam akış zamanı ve geciken iş sayısı problemini tavlama benzetimi metoduyla çözmüşlerdir [29].

Ortalama akış süresi ile düzenleyici ölçütün maksimizasyonu alanında yapılan çalışmalarda Tablo 2.6'da verilmiştir. Emmons tarafından yapılan γ_{\max} ölçütü, tamamlama zamanının eksilmeyen keyfi bir ceza fonksiyonu olarak incelenmiştir.

Tablo 2.6. Ort. akış süresi ve düzenleyici ölçüt maksimizasyonu literatür araştırması

Çalışma Sahibi	Problem	Geliştirilen/Kullanılan Ölçütler ve Kısıtlar
Emmons	$n/1/\bar{F}: \gamma_{\max}$	γ_{\max}
Sadowski, John	$n/1/\bar{F}: \gamma_{\max}$	γ_{\max}
Cheng	$n/1/\sum C_i: \max \gamma_i(C_i)$	γ_{\max}
Van, Hoogeveen	$n/1/\sum C_i, \gamma_{\max}$	$P_{\max} = \max\{P_i\}$ $\min\{O(n^4), O[n^3(\log n + \log P_{\max})]\}$

Ortalama akış zamanı ve maksimum erken bitirme hedefleri doğrultusunda yapılan çalışmalarda ise Köksalan ve diğerleri, NP-zor problem olan akış zamanı ve maksimum erken bitirmeyi en küçükleme problemini makinada boş bekleme durumunu da dâhil ederek değerlendirmişler ve etkili dizilimleri çıkarmak amacıyla sezgisel bir metod önermişlerdir. Makinanın boş bekleme veya boş beklememe seçenekleri için de verilen hedef fonksiyonunda en iyi yaklaşık etkili dizilimi elde etmek amacıyla bir algoritma geliştirmişler. Köksalan, tek makinada işleri sıralamayı toplam akış zamanı ve maksimum erken bitirme problemini azalmayan bir fonksiyonu en küçüklemeye çalışmıştır. Çözüm için sezgisel bir yaklaşım önermiştir. Karasakal ve Köksalan, NP-zor problem olan toplam akış zamanı ve maksimum erken bitirme problemini tavlama benzetimi ile çözümlenmişlerdir. Tavlama benzetiminde performansı yükseltmek amacıyla farklı komşuluk yapıları ve diğer parametreleri denemişlerdir.

Ağırlıklı ortalama akış zamanı ve ağırlıklı geç bitirme alanında, Gelders ve Kleindorfer, verilmiş olan kapasite planı doğrultusunda, ağırlıklandırılmış gecikme ile ağırlıklandırılmış ortalama akış zamanı toplamının en küçükleme problemi üzerinde çalışmışlar ve problemin çözümü için bir dal sınır algoritması ortaya koymuşlardır. Yine Gelders ve Kleindorfer, daha önce yapılmış modelleri geliştirmişler ve algoritmalarını iş gelişlerinin farklı zamanlarda olduğu duruma adapte etmişlerdir.

Ağırlıklı ortalama akış zamanı ve ağırlıklı erken-geç bitirme çalışmalarında ise Fry ve diğerleri, ortalama akış zamanı, toplam gecikme ve toplam erken tamamlama zamanından oluşan ölçütlerin ağırlıklı toplamının en küçükleme sağlayan iş diziliminin bulunması ile ilgili iki metod geliştirmişlerdir. Etkin çözümü belirlemek için geliştirilen ilk yöntem baskınlık kriteri ve sınırlama fonksiyonunu yapan bir birleştirme planını içerirken, ikincisi karma tamsayılı doğrusal programlamadır. Bu yöntemlerle ilgili yaptıkları ilk değerlendirme sonucunda, birinci yöntemin diğerine göre daha etkili olduğu ancak problem boyutu arttıkça her iki yöntemde hesaplama zamanı açısından yetersiz olduğunu öne sürmüşlerdir. Taboun ve diğerleri, ortalama akış zamanı, maksimum gecikme ve maksimum erken bitirmeyi en küçükleme için uzlaşmış çözüm sağlayan bir algoritma kullanmışlardır.

Ağırlıklı ortalama akış zamanı ve işlem maliyetinin uygulandığı çalışmalarda, Vickson, işlerin işlem zamanlarının doğrusal fonksiyonu olan işlem maliyetine sahip olduğunda ağırlıklandırılmış toplam akış maliyeti ile işlem maliyeti toplamının en küçüklenmesi problemini inceleyerek bir sezgisel yöntem geliştirmiştir. Bu çalışmaya takiben Vickson, işlem sürelerinin doğrusal olarak değişen maliyetlerle ilişkilendiğinde toplam işlem maliyeti ile ortalama akış maliyeti toplamının en küçüklenmesi problemini incelemiş ve bu problemin klasik atama problemine muadil olduğunu göstermiştir. Cheng ve diğerleri, tek makinalı problemlerde grup çizelgeleme problemi için, ağırlıklı tamamlanma zamanı kısıtı altında maliyeti en küçükleme problemini çözmüşlerdir.

Ağırlıklı ortalama akış zamanı ve ağırlıklı ortalama erken bitirme alanlarında, Fry ve Leong, yaptıkları çalışmada ağırlıklı akış zamanı ve erken bitirmeyi en küçükleme problemini incelemişler. Problem için karma tamsayılı doğrusal bir programlama formülasyonu vermişlerdir. Bu problemin çözümünde diğerlerinden farklı olarak makinanın boş beklemesine izin verilmektedir. Dolayısıyla incelenecek çizelge sayısı artmaktadır. Bu nedenle çözüm tekniği olarak karma tamsayılı doğrusal programlama formülasyonu kullandıklarını belirtmektedirler. Probleme ait hedef fonksiyonu, Denklem (2.5)'teki gibi belirlenmiş olup, α ve λ ceza maliyetlerini göstermektedir [30].

$$\min Z = \alpha \sum_{i=1}^N E_i + \lambda \sum_{i=1}^N F_i \quad (2.5)$$

Ağırlıklı ortalama geç bitirme ve işlem maliyeti konularında Elmaghraby ve Pulat, zaman / maliyet kavramını da dâhil etmek için öncelik kısıtlarının yer aldığı toplam gecikme maliyetinin en küçüklemesine yönelik bir modeli analiz etmişlerdir. Vickson, işlem maliyeti toplamı ile maksimum gecikme maliyeti toplamının en küçükleme problemi için polinom zamanlı bir algoritma geliştirmişlerdir.

Ağırlıklı akış zamanı ve ağırlıklı ortalama geç bitirme konusunda John, akış zamanı ve ağırlıklı maksimum gecikmeyi en küçükleme problemini ödünleşim eğrileri ile 60 işe kadar çözmüştür. Ortalama akış zamanı ve ortalama geç bitirme alanında ise Lin, ortalama gecikme ve ortalama akış zamanı problemini incelemiştir. Çalışmada ilk olarak baskın öncelik ilişkilerinden yararlanarak bütün etkin çizelgeleri bulmuş, sonra hesaplama etkinliğini arttırmak için bu öncelik ilişkilerini birleştiren dinamik

programlama tekniği kullanmıştır. 12 işe kadar problemi çözüp sonuçları sunmuşlardır.

Toplam akış zamanı ve gecikme ağırlığı alanında Sen ve diğerleri, toplam akış zamanı ve gecikme aralığı için dal ve sınır algoritması önermişlerdir [31]. Dileepan ve Sen, toplam akış zamanı ile gecikme karelerinin toplamının doğrusal bir birleşimini incelemiş, önce problemi eniyileme ile çözmek için yeter şartları ve bu şartlara bağlı olarak da bir alt sınır türetmiştir. Sonra bu alt sınırlarla bütünüştirilmiş bir dal sınır metodu öne sürmüşlerdir [32].

Toplam tamamlanma zamanı ve maksimum çabukluk konularında Hoogeveen ve Van de Velde, toplam tamamlanma zamanı ve maksimum çabukluk problemini ödünleşim eğrisiyle göstermişlerdir [33]. Taşıma maliyeti ve maksimum tamamlanma alanında Gupta ve diğerleri, bu iki ölçütü de en küçükleyemeye çalışmışlardır. İlk önce maksimum tamamlanma zamanı kısıtı altında taşıma maliyetini en küçükleme, diğer de taşıma maliyetini en küçük yapma kısıtı altında maksimum tamamlanma zamanını en küçüklemedir.

Maksimum tamamlanma ve maksimum gecikme alanlarında ise Ishii ve diğerleri, en küçükleme probleminde maksimum tamamlanma zamanı ve maksimum gecikme üzerinde çalışmışlardır. Ortalama akış zamanı, geciken iş sayısı ve maksimum geç bitirme ölçütlerinin aynı anda optimize edildiği çalışmalardan Nelson ve diğerleri, $n/1/n_T, T_{max}, \bar{F}$ probleminin etkin çözümlerini belirleyen bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde ölçütlerin ikili birleşimlerine ait çözümlerden yararlanarak iki ölçütlü bazı etkin çözümlerin üç ölçütlü durumda etkin çözüm olmayacağı ve iki ölçütlü yöntemlerle elde edilmeyen bazı yeni etkin çözümlerin bu yöntemle elde edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Ağırlıklı ortalama akış zamanı, ağırlıklı geciken iş sayısı ve ağırlıklı maksimum geç bitirme ölçütlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalarda Daniels, ağırlıklı akış zamanı, ağırlıklı maksimum gecikme ve ağırlıklı geciken iş sayısı problemini incelemiştir. Problem için bir ağaç yöntemi sunmuştur [34]. Literatür çalışması kapsamında tek makinada akış zamanı ile ilgili yapılmış çok ölçütlü çalışmalar, eniyileme ve sezgisel tekniklere göre Tablo 2.7 ve 2.8'de topluca verilmiştir.

Tablo 2.7. En iyileme teknikleri kullanılarak akış zamanı ile ilgili çalışmalar

Kullanılan Ölçütler	Çalışma Sahibi	Yıl
Ort. Akış Zamanı Max. Geç Tamamlanma	Smith	1956
	Roberts ve Heck	1972
	Gelders ve Van Wassenhove	1980
	Gupta ve Sen	1983
	Nelson vd.	1986
	John	1989
	Liao, Tseng, Huang	1992
Ağırlıklı Ort. Akış Zamanı Max. Geç Tamamlanma	Burns	1972
	Bansal	1980
	Miyazaki	1981
	Buzacott ve Shanthikumar	1983
	Potts ve Van Wassenhove	1983
	Posner	1985
	Chand ve Schneeberger	1986
Ahmedi ve Bagchi	1987	
Ort. Akış Zamanı Toplam Geciken İş Sayısı	Emmons	1975
	Nelson vd.	1986
	Kiran ve Ünal	1991
	Liao vd.	1992
	Bekiroğlu ve Kondakçı	1997
Ağırlıklı Ort. Akış Zamanı Ağırlıklı Toplam Geciken İş Sayısı Ağırlıklı Ort. Akış Zamanı	Daniels	1994
Ort. Akış Zamanı Düzenleyici Ölçütün Maksimizasyonu	Emmons	1975
	Sadowski ve John	1984
	Cheng	1991
	Hoogeveen ve Van De Velde	1995
Ort. Akış Zamanı Ort. Erken Tamamlanma	Fry ve Leong	1987
	Köksalan vd.	1998
Ağırlıklı Ort. Akış Zamanı Ağırlıklı Max. Geç Tamamlanma	Gelders ve Kleindorfer	1974
	Gelders ve Kleindorfer	1975
Ağırlıklı Ort. Akış Zamanı Ağırlıklı Ort. Erken Tamamlanma Ağırlıklı Ort. Geç Tamamlanma	Fry vd.	1987
	Taboun Abib ve Atmani	1995
Ağırlıklı Ort. Akış Zamanı Ağırlıklı Max. Akış Zamanı	Cheng vd.	1996
Ort. Akış Zamanı Ağırlıklı Ort. Geç Tamamlanma	John	1989
Ort. Akış Zamanı Ort. Geciken İş Sayısı	Lin	1983

Tablo 2.8. Sezgisel teknikler kullanılarak akış zamanı ile ilgili çalışmalar

Kullanılan Ölçütler	Çalışma Sahibi	Yıl
Ort. Akış Zamanı Max. Geç Tamamlanma	Köksalan	1999
Ort. Akış Zamanı Toplam Geciken İş Sayısı	Emmons	1975
	Nelson vd.	1986
	Kiran ve Ünal	1991
	Liao vd.	1992
	Kondakçı ve Bekiroğlu	1997
Ağırlıklı Toplam Geciken İş Sayısı	Daniels	1994
Ort. Akış Zamanı Ort. Erken Tamamlanma	Köksalan vd.	1998
	Köksalan	1999
	Karasakal ve Köksalan	2000
Ağırlıklı Ort. Akış Zamanı Ağırlıklı Max. Akış Zamanı	Vickson	1980

Teslim tarihi alanında maksimum geç bitirme ve geciken toplam iş sayısı ile ilgili Shantikumar, probleme ilişkin bir dal sınır algoritması sunmuştur. Bu algortmada alt limiti belirlemek için erken tamamlanan işlerin bir seti E , ile T_{max} 'ı en küçükleyen bir metod geliştirmiş, dallanmayı azaltmak için Emmon tarafından geliştirilen baskınlık kurallarının bir düzenlemesini gerçekleştirmiştir. Nelson ve diğerleri, probleme ilişkin verdikleri ağaç yönteminde fazla dallanmayı azaltmak için son pozisyonda yer alacak işlerle ilgili bir baskınlık kuralı vermişler, algoritmanın diğer adımlarında ise önce Hodgson kuralına göre $n/1/n_T$ problemini çözerek belirlenen çizelgedeki T_{max} değerini hesaplamışlar daha sonra işlerin teslim tarihlerini $d'_i=d_i+T_{max}$ ile değiştirerek Heck ve Roberts algoritmasına benzer bir düzenleme ile problemi çözmüşlerdir.

Lung geliştirdiği dal sınır algoritmasında alt ve üst limitler, baskınlık için kurallar, dallanma ve budanma fonksiyonları oluşturmuştur. Üst sınır değerini oluşturmak için bir sezgisel alt sınır değeri için bir yöntem vermiştir. Bu sınır değerleriyle problemin en uygun çözüm alanı daraltılmış olmaktadır. Bu arada kullandığı baskınlık, dallanma ve budama kuralları ile birçok düğüm elimine edildiğinden çözümün daha kısa sürede sonuç verdiğini ifade etmiştir. Ayrıca Lung $n/1/n_T, T_{max}$ problemi içinde de bir algoritma geliştirmiştir. Liao ve diğerleri, $n/1/n_T, T_{max}$ problemini incelemişler. Problemi çözmek için John'un ödünleşim eğrisinden faydalanmışlardır. 14 işe kadar

problemi dört veri seti ile çözüp, sonuçları göstermişlerdir. Gupta ve Ramnarayanan, geciken iş sayısı kısıtı altında maksimum gecikmeyi en küçükleme problemi üzerinde çalışmışlardır. Problem için sezgisel bir yaklaşım sunup, dal ve sınır algoritması 30 işe kadar problemi çözüp sonuçları karşılaştırmışlardır. Gupta ve diğerleri, geciken iş sayısı kısıtı altında maksimum gecikmeyi en küçük yapmak için yeni bir dal ve sınır algoritması önermişlerdir.

Gecikme aralığı alanında yapılan çalışmalarda Gupta ve Sen, gecikme aralığının minimizasyonu alanında çalışmalar yapmışlardır. Bu problemle ilgili geliştirdikleri iyileme algoritmasındaki alt sınır değerini yine Townsend yaklaşımından faydalanarak belirlemektedirler. Burada işler önce MST kuralına göre sıralanmakta (birincil sıra), sonra EDD'ye göre sıralanmaktadır (ikincil sıra). Şayet bu sıralar aynı ise çözüm en iyidir. Farklı olduğunda ise bitişik işler arasında yer değişikliği yapılarak her iterasyonda gerçekleşen maksimum potansiyel iyileşme hesaplanarak işler birincil sıradan ikincil sıraya hareket etmektedir. Tegze ve Vlach, iş ceza fonksiyonlarının düzenli bileşimlerinden oluşan hedef fonksiyonlarının en iyi değerleri üzerindeki sınırları oluşturmak amacıyla genel bir metod sunmuşlar ve bu metodu Gupta ve Sen'in, gecikme aralığı ile ilgili yöntemini geliştirmek için kullanmışlardır. Liao ve Huang, gecikme aralığının en küçükleme için bir algoritma geliştirmişlerdir [35]. Bu problemle ilgili daha önce ifade edilen algoritmalar üstel zaman karmaşıklığına sahip dal sınır yaklaşımlarıyken, bu problemin çözümünde sözde polinomsal zamanlı bir algoritma vererek probleme teorik katkıda bulunmuşlardır.

Maksimum erken bitirme ve geciken iş sayısı ile ilgili, Güner ve diğerleri, $n/1/n_T:E_{max}$ problemi konusunda ilk çalışmayı yapmıştır. Problemi için bir dal-sınır algoritması verilerek 25 işe kadar çözüm sonuçları gösterilmiştir. Maksimum çabukluk ve maksimum gecikme konularında ise Hoogeveen, yaptığı çalışmada maksimum çabukluk ve maksimum gecikmeyi en küçükleme problemini incelemişlerdir. Maksimum geç bitirme ve ağırlıklı geciken iş sayısı alanında Lung, $n/1/n_T,T_{max}$ probleminin çözümü için geliştirdiği yöntem genel olarak $n/1/w_n,T_{max}$ probleminin çözümünde de kullanılabileceğini belirterek aynı genel yönteme dayalı bir algoritma sunmuştur.

Ağırlıklı geç bitirme ve ağırlıklı geciken iş sayısı konularında Carraway ve diğerleri, doğrusal olmayan maliyet fonksiyonunu en küçüklemişlerdir. Problemlerinde ağırlıklı geciken iş sayısı ve ağırlıklı geç bitirme ölçütleri üzerinde çalışmalar yaparak, çözüm için dinamik programlama yaklaşımı öne sunmuşlardır. Maksimum gecikme ve geciken iş sayısı konularında, Chang ve Su, çalışmalarında n tane işe ait problem için bir varış zamanı, işlem zamanı ve teslim tarihi verilerek, her iş tek makinada işlenmekte ve geciken iş sayısını en küçükleme kısıtı altında maksimum gecikmesini en küçük yapma amaçlarını içeren problemi çözümlenmişlerdir. Verilen bir sıralama için en kritik iki işi tanımlayıp basit bir yöntem kullanmışlardır. İki kritik iş arasında sıralama kritik yol olarak tanımlanarak, kritik yolun temelinde Carlier'in ikili dallanma kuralı maksimum gecikmeyi en küçükleme için kullanılmıştır. Bu iki kritik işin pozisyonların en küçük maksimum gecikmeyi bulmak için sabitlenmesiyle, sıralama geciken iş sayısını azaltmak için kullanılabilir. Dal-sınır algoritması kullanılarak 50 işe kadar problemi, 5 saniyede çözmüştür.

Ortalama geç bitirme ve geciken iş sayısı alanında, Duffuaa ve diğerleri, geciken iş sayısı kısıtı altında ortalama geç bitirmeyi en küçükleyen bir algoritma önermişlerdir. Maksimum erken bitirme, maksimum geç bitirme ve geciken iş sayısı konularını beraber içeren çalışmalarda Güner, $n/1/n_T, T_{max}, E_{max}$ problemi için bir ağaç arama yöntemi önermiştir. Yöntemin küçük boyutlu problemlerde kullanılabileceğini 15 işe kadar çözerek göstermiştir. Büyük boyutlu problemler için sezgisel yaklaşımları önermiştir. Tek makinada teslim tarihine bağlı çok ölçütlü çalışmalar eniyileme ve sezgisel tekniklere göre Tablo 2.9 ve 2.10'da topluca verilmektedir.

Tablo 2.9. En iyileme teknikleri kullanılarak teslim tarihi ile ilgili yapılmış çalışmalar

Kullanılan Ölçütler	Çalışma Sahibi	Yıl
Maksimum Geç Tamamlanma ve Toplam Geciken İş Sayısı	Garcia	1982
	Shantikumar	1983
	Nelson Sarin ve Daniels	1986
	Lung	1989
	Liao, Huang ve Tseng	1992

Tablo 2.9. (Devam) En iyileme teknikleri kullanılarak teslim tarihi ile ilgili yapılmış çalışmalar

Maksimum Geç Tamamlanma ve Toplam Geciken İş Sayısı	Güner	1994
	Gupta ve Ramnarayanan	1996
	Gupta, Hariri ve Potts	1999
Maksimum Erken Tamamlanma ve Toplam Geciken İş Sayısı	Güner, Erol ve Tani	1998
Maksimum Gecikme Süresi ve Minimum Gecikme Süresi	Sen ve Gupta	1984
	Vlach ve Tegze	1988
	Huang ve Liao	1991
Ortalama Ağırlıklı Geç Tamamlanma ve Maksimum Akış Zamanı	Elmaghraby ve Pulat	1979
	Vickson	1980
Maksimum Gecikme Süresi ve Maksimum İşlem Süresi	Hoogeveen	1996
Maksimum Geç Tamamlanma ve Ağırlıklı Toplam Geciken İş Sayısı	Lung	1989
Ağırlıklı Maksimum Geç Tamamlanma ve Ağırlıklı Toplam Geciken İş Sayısı	Carraway ve diğerleri	1992
Maksimum Gecikme Süresi ve Toplam Geciken İş Sayısı	Su ve Chang	2001
Ortalama Gecikme Süresi ve Toplam Geciken İş Sayısı	Duffuaa ve diğerleri	1997

Tablo 2.10. Sezgisel teknikler kullanılarak teslim tarihi ile ilgili yapılmış çalışmalar

Kullanılan Ölçütler	Çalışma Sahibi	Yıl
Maksimum Geç Tamamlanma ve Toplam Geciken İş Sayısı	Güner	1994
Ağırlıklı Maksimum Geç Tamamlanma ve Ağırlıklı Toplam Geciken İş Sayısı	Carraway ve diğerleri	1992

Akış zamanı ve gecikme süresi ölçütlerini içinde barındıran çalışmalarda 2000’li yıllar ve sonraki yıllara ait çalışmalara bakıldığında, Motty Birman ve Gur Mosheiov 2004 yılında erken veya geç tamamlanma ölçütlerine maliyet bileşenini de ekleyerek ele almışlardır [93]. 2009 yılında A. Janiak ve R. Januszkiewicz, maksimum akış ve gecikme süresi ölçütlerine ek olarak ceza maliyeti ölçütünü de ele almışlardır [91]. Aynı yıllarda G.Moslehi ve diğerleri, geç ve erken tamamlanma konuları üzerinde çalışmalar yapmıştır [92]. 2011 yılında Yazid Mati ve diğerleri, atölye tipi çizelgeleme problemi üzerinde üretim süresi, toplam ağırlıklı akış süresi, toplam ağırlıklı gecikme, ağırlıklı gecikmeli iş toplamı, maksimum gecikme kriterleri üzerinde çalışmalar

yapmışlardır. Bu çalışmalarında önerdikleri yaklaşımın etkinliğini göstermişlerdir [90]. 2014 yılında Dongni Li ve diğerleri, ortalama akış süresi, maksimum tamamlanma süresi, ortalama gecikme süresi üzerine çalışmalar yapmışlardır [89]. 2015 yılında Mingbao Cheng ve diğerleri, tek makineli bir çizelgeleme probleminde zamana bağlı öğrenme etkisi dâhil ederek, maksimum gecikme süresi ve toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı üzerinde çalışmışlardır [88]. 2016 yıllarında Kuo-Ching Ying ve diğerleri, ortalama gecikmeyi, maksimum gecikmeyi, toplam akış süresini ve ortalama gecikmeyi minimize etme ölçütleri üzerinde çalışmışlardır [87]. En güncel çalışmalara bakılacak olursa, 2018 yılında Chin-Chia Wu, Shang-Chia Liu ve diğerleri, maksimum gecikmenin ve toplam akış zamanını minimize etmeyi hedefleyen bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, spesifik olarak, en uygun çözüm arayışını hızlandırmak için çeşitli baskınlık ilişkileri ve daha düşük bir sınır türetmişlerdir. Bu sorunu çözmek için melez bir tekrarlı açgözlü algoritma ve bir parçacık sürüsü kolonisi algoritması önermişlerdir. Son olarak ise önerilen tüm algoritmaların performansını değerlendirmek için bir hesaplama deneyi yapmışlardır [85]. Yine 2018 yılında Omid ve Rasaratnam ise yaptıkları çalışmada, toplam ağırlıklı akış süresini ve toplam ağırlıklı gecikme süresini minimizasyonunu incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmanın katkılarından biri, parti kararını grup çizelgeleme yaklaşımına entegre etmenin faydalarını gerçekleştirmektir. Diğer bir katkı ise, araştırma problemini çözmek için sahne temelli karşılıklı bağımlılık stratejisinin yanı sıra yerel arama ve popülasyona dayalı yapıların hibridizasyonuna dayanan sağlam meta-sezgisel tarama geliştirmektir [86].

2.4.2 Diğer çalışmalar

Diğer alanlarda yapılmış çalışmalardan Van Wassenhove ve Baker, maksimum gecikme ile sıkıştırma maliyetlerinden oluşan iki ölçütlü problemin etkin çözümlerin bulunmasını sağlayan polinom zamanlı bir algoritma önermişlerdir. Chang ve Lee, çalışmalarında maksimum tamamlanma zamanı ve toplam mutlak sapmanın minimizasyonu problemini incelemişlerdir. Problem çözümlemesini Greedy sezgisel metoduyla yapmışlardır. De ve diğerleri, ortalama tamamlanma süresi ile tamamlanma süresinin varyansını minimize etme problemi üzerinde çalışmışlardır [36]. Problem için sezgisel bir yaklaşım önermişlerdir. Cheng ve diğerleri, toplam sıkıştırma ve

gecikme maliyetini en küçükleme problemi üzerinde durmuşlardır [37]. Probleme ait model Denklem (2.6) ile tanımlamışlar:

$$\text{Minimum} \quad \sum_{j \in N} w_j U_j + \sum_{j \in N} v_j x_j \quad (2.6)$$

$$\text{Kısıt} \quad x \in X, \pi \in \Pi$$

Burada v_j ; j işinin işleminin bir birim sıkıştırma maliyeti, x_j ; j işinin gerçek sıkıştırmasıdır.

Cheng ve diğerleri tek makina üzerinde çizelgeleme problemlerinde iki ölçüt üzerinde çalışmışlardır [38]. Her işin işlem zamanı, işe ayrılan kesikli kaynağın doğrusal azalan bir fonksiyonudur. Kaynak dengeleme ve işlem sıralanmasıyla bir çözüm elde edilmiştir. Bir çözümün kalitesi F_1 ve F_2 ölçütleri ile ölçülür. F_1 ölçütü toplam kaynak kullanma, F_2 ise iş bitirme zamanlarına dayanan düzenli bir çizelgeleme ölçütüdür. Her iki ölçütte en küçüklenmelidir. Pareto kümesi oluşturularak işin genel şemasını sunmuşlardır. F_1 ve F_2 değişik fonksiyonlar için hesaplama zorlukları incelenmiştir. Bu hesaplama zorlukları $F_2 \leq k$ 'dan F_1 'i en küçükleme, $F_1 \leq k$ 'dan F_2 'yi en küçükleme içindir. Buradaki k herhangi bir sayıdır. Diskup ve Cheng, probleme ait maliyet boyutlarını incelemişlerdir. İnceledikleri bu maliyetler, toplam sıkıştırma maliyetini, işi erken bitirme, geç bitirme ve tamamlama zamanı maliyetlerini göstermektedir [39]. Klamroth ve Wiecek, zamana bağımlı çok ölçütlü tek makinalı problemi incelemişlerdir. Modellemek için sırt çantası problemini kullanarak dinamik programlama tabanlı bir algoritma geliştirmişlerdir [40].

Lin ve Lee, üç problemi stokastik olarak incelemişlerdir. Birinci probleme ait model Denklem (2.7) ile gösterilmiştir [41].

$$\min \sum_{i=1}^n E [C_i] \quad (2.7)$$

$$\text{Kısıt} \quad E [L_i] \leq \alpha \quad \alpha = \min \max E [L_i]$$

olarak tanımlamışlar. Tek ölçütlü problemlere ait ilk çalışma Crabill ve Maxwell tarafından yapılmıştır [42]. Hodgson ise bu çalışmayı genişletmiştir. İkinci probleme ait model Denklem (2.8) ile gösterilmiştir [43].

$$\min \sum_{i=1}^n E [\emptyset (C_i)] \quad (2.8)$$

$$\text{Kısıt } w_i \text{Pr} (L_i \geq 0) \leq \beta$$

$$\beta = \min \max w_i \text{Pr} (L_i \geq 0)$$

$E [\emptyset (C_i)]$ var olması durumunda, $\emptyset (C_i)$; işin tamamlanma zamanının artan fonksiyonudur. Üçüncü problem ise Denklem (2.9) ile gösterilmiştir.

$$\min \sum_{i=1}^n E[w_i C_i] \quad (2.9)$$

$$\text{Kısıt } E [L_i] \leq \alpha$$

$$\alpha = \min \max E[L_i]$$

şeklinde tanımlanmışlardır. Frost, problem olarak beklenen toplam ağırlıklı gecikme ve beklenen toplam ağırlıklı akış zamanı en küçükleme problemini incelemiştir [44]. Problem için işlem zamanlarının artan stokastik sırasındaki en iyi durumu elde edilebileceğini göstermişlerdir.

2.5. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözüm Zorluğu

Problemlere ait uygulanacak en iy yöntemlerin bulunması, problemlere ait zorluk derecelerinin bilinmesiyle mümkündür. Polinomal (P) denklemler çözümlenmesi, incelenmesi kolay olan denklemlerdir ve kısa sürede sorunu çözen yöntemleri mevcuttur. Eğer bir denklem ya da sistem polinomal değilse (NP) çözümlenmesi zor sistemlerdir. Ancak NP (polinomal olmayan, kesin çözümü olmayan) problemler için ise, kısa sürede gerçek çözümü bulan yöntemler mevcut değildir. Bu nedenle NP problemler için gerçek çözüme en yakın sonucu bulmak amacıyla yaklaşık çözüm algoritmaları geliştirilmiştir [45].

Yaklaşık çözüm algoritmaları, problemin gerçek olmayan ancak gerçeğe yakın olan çözümünü kısa sürede bulabilirler. Pratikte karşılaşılan problemler için genelde kesin çözüm yerine kısa sürede yaklaşık bir çözümün bulunması istenmektedir. Bundan dolayı pratikte karşılaşılan NP problemlerinin çözümlenme de sezgisel metodlar yardımıyla geliştirilen algoritmalar kullanılmaktadır. Sezgisel yöntemlerin en büyük avantajları, çözüm zamanının uygulanan çözüm

teknikğine göre çok kısa olması ve her tür problem için kolay bir şekilde uyarlanabilir olmaları söylenebilmektedir. Dezavantajları ise bu metodların optimum çözümünü garanti etmemesi ve iyi bir çözüm verebilmesi için birden fazla parametrenin uygun bir şekilde uyarlanması olduğu söylenebilir [46].

Atölye tipi çizelgeleme problemlerinde n iş (sipariş), m makine olmak üzere mümkün çizelgelerin sayısı ($n! * m$) olur. Burada makine ve iş sayısı arttıkça çizelge sayısı çok fazla artacaktır. Bu yüzden bu tür problemler NP zor problemler sınıfına girer ve çözümlerinde sezgisel algoritmalar kullanılır. Bu algoritmaların sonuca kısa sürede ulaşması esastır.

Bir algoritmanın en yaygın performans ölçütü, algoritmanın sonucu bulana kadar ki geçen süredir. Çizelgeleme problemleri çözüm yaklaşımları genellikle dört ana grupta toplanmıştır. Bu gruplar sırasıyla; optimal yaklaşımlar, sezgisel yöntemler, yapay zeka uygulamaları, simülasyon esaslı yöntemlerdir. Yapılan çalışmada sezgisel yöntemlerden genetik algoritma kullanılmıştır.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde genetik algoritma yöntemine yönelik genel yöntem bilgileri, literatür araştırması ve çalışma kapsamındaki kullanımı hakkında bilgilere yer verilmiştir.

3. GENETİK ALGORİTMA

3.1. Genetik Algoritma Hakkında Genel Bilgiler

Genetik algoritma, evrim temeline dayanan metasezgisel optimizasyon yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, canlılarda bulunan genetik kod öğelerini kullanarak sezgisel olarak optimum çözüm ya da optimum çözüme en yakın çözümü elde etmeyi amaçlamaktadır. Genetik algoritma, ilk olarak Holland tarafından 1975 yılında zor olarak nitelendirilen eniyileme problemlerini giderici bir çözüm metodu olarak öne sunulmuştur. Potansiyel çözüm kümelerinin arasında çok yönlü ve küresel arama ortaya koyan GA çok fazla matematiksel gereksinimlere ihtiyaç duymadan her çeşit amaç fonksiyonlarını ve kısıtları ele alabilir. GA'nın bu özellikleri sebebiyle çok ölçütlü eniyileme problemleri çözümlerinde oldukça elverişlidir.

Darwin'in evrim teorisinde doğal seçim adı verilen sürece göre daha güçlü ve işe yarayan özellikleri bulunan canlıların hayatta kalma şansının daha fazla olduğu sürülmektedir. Bunun yanında yaptığı gözlemler ile yeni canlı türlerinin gün geçtikçe mevcut canlı türlerinden farklılaştığını gözlemlemiştir. Bu biyolojik süreç, genetik algoritmanın esin kaynağı olmuştur [47]. Bu mantık, doğal seçime yani güçlü bireyin hayatta kalma olasılığının yüksek olmasına dayanır. Bu yöntemle evrim sonucu hayatta kalan birey en iyi sonuç olarak alınır [48]. Doğadaki bireylerin birleşerek yeni bireyleri ortaya çıkarması ve bu yeni bireylerin arasından güçlü olan hayatta kalması GA'nın temelini oluşturur [49]. Doğada yaşamını sürdüren canlı organizmalar hücrelerden oluşmaktadır. Hücreler kromozom olarak adlandırılan diziler içerir. Kromozomlar ise gen adı verilen her bir özelliği tanımlayan (göz rengi vs.) yapılardan oluşmaktadır. Üreme durumunda genetik bilgiler anne ve babadan yarı yarıya alınarak yeni bireyler meydana gelmektedir. Aynı zamanda bu genetik bilgiler mutasyon olarak adlandırılan süreç ile değişebilmektedirler. Genetik algoritmalar, optimizasyon problemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Gezgin satıcı, atama problemleri, ulaştırma problemleri, atölye çizelgeleme vb. optimizasyon problemlerinde uygulanmaktadır [50].

Genetik algoritma genel anlamda, kromozom dizilerinden meydana gelmiş bir popülasyona seçilme, çaprazlama ve mutasyon genetik işlemlerinin uygulanmasını içermektedir. Bu genetik işlemlerin uygulanmasından sonra yeni popülasyonlar oluşmaktadır. Yeni popülasyonlar eski popülasyonların yerine geçmesi ile güncellenmektedir. Popülasyona ait her bir kromozomun uygunluk değeri hesaplanmaktadır. Yeni popülasyonlar bu uygunluk değerine göre seçilirler. Üretimi sürekli olarak yenilenen popülasyonların amacı daha uygun yeni popülasyonların türetilmesidir. Genetik algoritmalar, çözümlerin kodlanmasını uyum değeri hesaplanmasını, seçilme, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanmasını içerir [70].

3.2. Genetik Algoritma Kullanım Alanları

Genetik algoritma kullanım alanları genel olarak iki ana grupta toplanmıştır. Bunlardan ilki genel kullanım alanı bir diğeri ise işletme kullanım alanlarıdır.

3.2.1. Genel kullanım alanları

Genel kullanım alanları kendi içerisinde optimizasyon, otomatik programlama ve bilgi sistemleri, mekanik öğrenme ve ekonomik modeller olarak dörde ayrılmıştır.

3.2.1.1. Optimizasyon

Genetik algoritma uygulanan optimizasyon problemleri, birleşim ve fonksiyon optimizasyonları olarak ayrılmaktadır. GA daha çok, diğere yöntemlere göre süresiz, zor problemlerin çözümünde etkinlik göstermektedir. Süresiz fonksiyonlara ait ilgili noktalarda türev alınamayacağı nedeniyle türev ve türeve dayalı yöntemler kullanılamamaktadır. Genetik algoritma bu gibi durumlarda türev alma ihtiyacı duymadığından tercih edilmektedir [25]. Birleşim problemleri ise, hedeflere ulaşabilmek amacıyla, elde bulunan kısıtlı kaynakların etkin atanmasıyla ilgilenmektedir. GA problemlerinde genel olarak, değişken sayısı arttırıldığında çözüm elde etmede geçen zamanda üstsel olarak artmaktadır. Bu durumda klasik yöntemlerde çözüme ulaşırken değişken sayısının artması bu taramayı imkânsız hale getirebilir. GA ise çözüm uzayının tamamı yerine bir kısmını taradığı ve eş zamanlı incelediğinden dolayı bu tür problemlerde kullanılması çözümün daha az bir zamanda

elde edilmesini sağlar. Genetik algoritma yönteminin birçok avantajı olmasına rağmen, uygulamalarda bazı sorunlarla karşılaşmaktadır. Bunları aşmak için geliştirilen yöntemler bulunmaktadır. Bunların başında kısıtların ele alınmasındaki soruna karşı geliştirilen ceza fonksiyonu yöntemi örnek olarak verilebilir.

3.2.1.2. Otomatik programlama ve bilgi sistemleri

Genetik algoritmaların geniş bir alanda uygulandığı diğer bir kısım ise bilgisayar programlamadır. Bilgisayar çipleri, ders programları ve ağların çizelgelenmesi gibi hesaplama gerektiren yapıların tasarımında kullanılmaktadır. Bu bağlamda 2019 yılında Hui Zhi ve Sanyang Liu tarafından yüz tanıma teknolojisi alanında kullanılmıştır [94].

3.2.1.3. Mekanik öğrenme

Mekanik öğrenme, gözlenmiş bir veri takımının anlaşılması, yorumlanması ve görülmemiş objelerin özelliklerini tahmin etmek olan iki temel hedef doğrultusunda model kurmayı hedefler. Kullanılan metotların hemen hemen hepsi dağılımdan bağımsız yöntemler olup, çok büyük veri takımlarıyla çalışır. 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 kullanır. Bu üretim kuralı, “eğer” yapısından sonra belirtilen durum doğrultusunda, “sonra” yapısından sonra gelen faaliyetin gerçekleştirilmesini içerir.

3.2.1.4. Ekonomik modeller

Genetik algoritmalar yenilik süreçlerinde bulunan fiyat verme stratejilerinin ve kazanç sağlayan pazarların ortaya çıkış süreçlerinin tasarlanmasında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu alanda 2018 yılında Fangzheng Cheng ve diğerleri, petrol fiyatları ile ilgili tahmin çalışmalarında genetik algoritmayı kullanmışlardır [95].

3.2.2. İşletmelerdeki Kullanım Alanları

Genetik algoritmalar işletmelerde özellikle kaynak atama, atölye çizelgelemesi, bilgisayar ağ tasarımı gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Genel kullanım alanları; finans, pazarlama ve üretim olarak üç ana başlıkta toplanmıştır.

3.2.2.1. Finans

Finans problemleri genellikle, amaç fonksiyonlarını tahmin etme kabiliyetine veya bir karşılaştırma sonucuna göre elde edilen getirilerdeki gelişmeleri içerir. Genetik algoritmalarda amaç fonksiyonu odaklı olduğu için finansal modellemede kullanılması uygundur. Finans problemlerinde genetik algoritma ile birlikte bulanık yaklaşımlar ve yapay sinir ağları yaklaşımları da kullanılmaktadır. Finans alanında 2019 yılında, S. M. Reza Alavipour ve David Arditi tarafından zaman-maliyet analizi modeli oluşturulmak amacıyla kullanılmıştır [96].

3.2.2.2. Pazarlama

Pazarlama sürecinde, tüketicilere ait verileri analiz ederek tüketici profilleri doğrultusunda, uygulanacak stratejilere karar verilmektedir. Tüketici profilini çıkarabilmek için, çok büyük veri tabanlarını hızlı ve verimli bir şekilde kullanabilmek için veri madenciliği tekniğine başvurulur. Veri madenciliği, büyük ölçekli veriler arasından bilgiye ulaşmaktır. Genetik algoritmalar veri madenciliğinde kullanılan bir modeldir [25].

3.2.2.3. Üretim

Üretim alanları, genetik algoritmanın en çok kullanıldığı alandır. Başlıca kullanılan üretim problemleri; montaj hattı dengeleme, çizelgeleme, tesis yerleşimi ve gezgin satıcı problemleridir. Bu bağlamda iş istasyonlarındaki toplam işlem zamanlarının minimizasyonu, belirli olan teslim tarihleri ve işlem zamanları ile işlerin çizelgelenmesi, süreç planlama problemleri, önceden belirlenmiş kriterlere göre optimum performansı sağlayacak yerleşim yeri karar destek sistemleri ve en kısa sürede alınacak maksimum yol problemleri üretim alanına örnek problemlerdir. Tüm bunların dışında ayrıca GA, araç rotalama, hücreli üretim sistemleri vb. alanlarda da sıkça kullanılmaktadır.

3.3. Genetik Algoritma Tarihsel Gelişimi

Genetik algoritma kavramından 1967 yılında ilk bahseden ve konu ile ilgili ilk yayını yapan Bagley'dir. Rossenberg aynı tarihte, biyolojik ve simülasyon esaslı bir çalışma yapmıştır [51]. Genetik algoritma, ilk olarak 1975 yılında Holland tarafından geliştirilmiş ve daha sonrasında 1989 yılında Goldberg tarafından birbirinden farklı makine ve inşaat problemleri üzerinde uygulanmıştır. Çizelgeleme problemlerinde GA kullanımı ilk defa 1985 yılında Davis tarafından kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada Davis atölye çizelgeleme problemleri için GA yöntemini geliştirmiştir. Geliştirilen bu yöntem sonraki çalışmalar için temel oluşturmuştur [26]. Geleneksel yöntemler ile çözülmesi zor olan problemler için daha uygundur. GA fonksiyonların değerlendirilmesinden bağımsız ve yalnızca fonksiyonların değerine bağlı olarak küresel en iyi çözüme doğru ilerleyerek hemen her tip optimizasyon problemi ile başa çıkabilmektedir. De Jongs, 1975 yılında matematiksel fonksiyonları genetik algoritma ile çözmeye çalışmıştır. De Jong, fonksiyonların minimizasyonu için beş ayrı problem incelemiştir [51].

1. Sürekli ve sürekli olmayan fonksiyonlar,
2. Konveks ve konveks olmayan fonksiyonlar,
3. Tek ve çok değişkenli modeller,
4. Düşük ve yüksek dizili fonksiyonlar,
5. Deterministik ve stokastik problemlerdir.

Liepis 1987'de, ilk defa GA yapısını iki makineli çizelgelemeye uygulamıştır. 1990 yılında Biegel ve Davern, bütünleşik imalat döngüsü içinde atölye çizelgelemede genetik algoritmayı kullanmışlar ve bu yapıyı bir, iki ve çok makineli sistemler için de uygulamışlardır. Dorndorf ve Pesch 1995'te ilk defa öncelik kuralı tabanlı genetik algoritma yaklaşımı ile atölye tipi çizelgeleme problemi çözüm prosedürü geliştirmişlerdir. Bu yöntem ile elde edilen sonucun diğer sezgisel yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir. 1994 yılında Corne ve arkadaşları tarafından eğitim zamanı çizelgelemesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yapılan bu çalışmaya ait en önemli çıktılardan biri de GA'nın graf boyama problemi üzerine doğrudan

uygulanması durumunda GA'nın özel olarak oluşturulan bazı graf boyama problemleri ile başa çıkamadığının gösterilmesidir [16].

Çok amaçlı problemlerin optimizasyonu konusunda ilk çalışmaları yapan Schaffer'dir. Fanseca ve Fleming, Horn, Tamaki, Kita ve Kabayashi bu çalışmaları devam ettirmişlerdir [53]. Genetik algoritmalar ile ilgili ilk iş çizelgeleme çalışmasını Davis yapmıştır [54]. Chen, Vempati ve Aljaber, tamamlanma zamanı kriterli akış tipi çizelgeleme problemleri için sezgisel tabanlı genetik algoritma kullanmışlardır. Akış tipi 4 makine, 7 iş, 5x10, 8x15 ve 10x25 problemlerini genetik algoritma ile çözmüş ve elde edilen tamamlanma zamanı değerlerini, mevcut sezgisel yöntemler ile karşılaştırarak genetik algoritmanın iyi performans verdiğini belirtmişlerdir [55]. Reeves, akış tipi çizelgeleme (n iş, m makine) problemlerini, genetik algoritma ile çözüp, elde edilen sonuçları komşuluk arama ve tavlama benzetimi ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda genetik algoritmanın daha yüksek bir performans ile çalıştığı belirlenmiştir [56].

Ying ve Bin 1996 yılında, atölye çizelgeleme problemlerinde boşa kalma süresi için üç farklı kodlama sistemi ve ceza faktörü kullanılarak elde edilen GA sonuçları karşılaştırılmış ve ceza faktörünün etkisi gösterilmiştir. Cheng vd. 1999'da, yaptıkları çalışmada atölye çizelgeleme problemlerinde çeşitli melez yaklaşımlar ile genetik algoritmanın çözüm vermesi amaçlanmıştır. Bu çalışma sırasında geliştirilen tekniklerin modern üretim sistemlerindeki diğer çizelgeleme problemleri ve çözümünü zor optimizasyon problemlerinde daha kullanışlı olduğu görülmüştür. 2003 yılında Cavory vd. doğrusal kısıtlar ile döngüsel atölye çizelgeleme problemlerinin genetik algoritmalar ile çözümünü incelenmiş. GA yaklaşımı, makinelerdeki işlerin öncelik kurallarına göre kullanılmıştır.

Murata, Ishibuchi, ve Tanaka, akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma çözüm değerlerini, diğer arama yöntemleri olan, yerel arama, tabu araştırmaları ve tavlama benzetimi yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, genetik algoritma biraz daha iyi sonuç vermiştir. Genetik algoritmanın performansını artırılması için iki melez genetik algoritma önerilmiştir. Bunlar, genetik lokal arama ve genetik tavlama benzetimidir. Murata, Ishibuchi, ve Tanaka, diğer bir çalışmalarında, akış tipi çizelgeleme problemleri için, çok amaçlı bir genetik algoritma

kullanmışlardır. Bu algoritmanın performansı iki amaca göre belirlenmiştir: tamamlanma zamanı ve toplam gecikmenin minimize edilmesi ölçütleridir [57].

Chen ve arkadaşları, akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde genetik algoritma kullanarak, toplam akış zamanını minimize etmeye çalışmışlardır. Genetik algoritma ile çözülen akış tipi problemlerde daha küçük akış zamanına ulaşılmıştır [58]. Jain ve Bagchi, akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma ile çözüm etkinliğinin artırılmasına yönelik olarak, Darwin ve Lamarck tabanlı genetik algoritmaların karşılaştırmasını yapmışlardır. Genetik algoritmaların performansının artırılmasında öğrenen temelli genetik algoritma modellerini önermişler ve 15 makine, 49 iş problemini, %70 çaprazlama oranı ile genetik algoritma yardımı ile çözmüşlerdir.

2004 yılında Ross ve arkadaşları geçiş bölgelerinin çözülebilir çizelgeleme problemlerinde bulunduğunu, farklı bağlantı ve homojenlikteki özel oluşturulmuş graf boyama problemi üzerine uygulayarak göstermişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada çizelgeleme problemleri üzerine farklı algoritmaların nasıl bir performans göstereceğini anlamada yardımcı olacağını belirtmişlerdir

Watanabe vd. 2005'te, atölye tipi çizelgeleme problemleri için düzenlenmiş genetik algoritma ile araştırma alanı adaptasyonu birbiri ile karşılaştırılmış. Özellikle çaprazlama operatörü GA'da daha iyi sonuçlar vermiştir. Omar vd 2006'da, genetik algoritmalar yardımıyla atölye çizelgeleme problemi çözümü esnasında çaprazlama ve mutasyon için kritik blok komşuluğu ve ölçüm mesafesi kullanılmıştır. Bu çalışmada durdurma kriteri olarak iterasyon sayısı dikkate alınmıştır. Chang vd. 2006 yıllarında yaptıkları çalışmada, toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı minimizasyonu amaç fonksiyonuna sahip tek makine çizelgeleme problemlerinin çözümünde olay-yüklemeli genetik algoritma kullanmışlardır. Başlangıç olayı diğer problem kümelerinden farklı olarak genetik algoritma kullanılarak oluşturulmuştur. Aynı yıl içerisinde Damodaran vd. en son işin tamamlanma zamanını minimize etmeyi amaçlamışlardır. İşlerin büyüklükleri ve işlem süreleri biliniyor. Sonuç olarak, GA yönteminin aynı problem için test edilen tavlama benzetimi yönteminden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Biroğul ve Güvenç 2007 yılında, atölye çizelgeleme

problemlerinde ürün adedinin dikkate alınmasının hem gantt şemasında hem de genetik algoritmadaki etkisi incelenmiştir.

Malve ve Uzsoy 2007’de, dinamik iş gelişleri ile özdeş paralel makinalarda maksimum gecikmenin minimize edilmesi için GA kullanılmışlar. Makine sıralamada işlem ve teslim sürelerini dikkate almışlar ve sonuç olarak GA yönteminin daha hızlı ve uygun çözümler verdiğini tespit etmişlerdir. Gao vd. 2007’de, esnek iş çizelgeleme problemi gerçek çizelgeleme problemlerine daha yakın bir sonuç sağlayan klasik iş çizelgeleme problemlerinin bir uzantısıdır. Esnek atölye tipi çizelgeleme probleminde minimum tamamlanma zamanı, maksimum makine iş yükünün minimizasyonu ve toplam iş yükünün minimizasyonu amaçlamışlar. Bu amaçlarına göre yenilikçi yerel arama prosedürü geliştirmişler ve GA yönteminde melez algoritma ile vardiya ve darboğazlarında çözümler elde etmişlerdir. Mansour ve Timany 2007’de hazırladıkları makalede değiştirilmiş ağırlıklı graf boyama problemi formülünü ve iki stokastik arama algoritmasını sınav çizelgelemede kullanmışlardır. Kullanılan stokastik arama algoritmaları tavlama benzetimi ve GA’lardır. Tavlama benzetimi prosedürlerini kullanarak FESP (Final Sınavı Çizelgeleme Paketi) adındaki bir “iyi” kümeleme tabanlı sezgisel prosedürüne iyileştirme önermişlerdir. Sezgisel prosedüre FESP-SA adını vermişlerdir. Ampirik olarak önerilen yöntemle FESP’i gerçek veri kullanarak karşılaştırmışlardır. Yapılan deney sonuçlarına göre GA ve tavlama benzetimi FESP’e göre daha iyi sınav çizelgeleri üretmektedir. Ayrıca GA ve tavlama benzetimi herhangi bir can sıkıcı çatışmaya veya adaletsizliğe sebep olmadan sınav günlerinin sayısını azaltmıştır. 1950’lerden başlayarak birçok bilgisayar uzmanı birbirinden bağımsız olarak evrimin bir optimizasyon aracı olarak mühendislik problemlerinde kullanımını araştırmışlardır [52]. GA dışında çeşitli araştırmacılar tarafından farklı evrimsel yöntemler teklif edilmiştir. Örnek olarak Rechenberg 1960’larda evrim stratejileri adını verdiği bir yöntemi uçak kanadı gibi reel değerli cihazların optimizasyonunda kullanmıştır. Daha sonra Schwefel tarafından bu fikir daha da geliştirilmiştir. Ayrıca Fogel, Owens ve Walsh Evrimsel programlama adını verdikleri bir yöntem teklif etmişlerdir [52].

2008 yılında Quingsong vd., gecikme olmadan minimum tamamlanma zamanlı atölye çizelgeleme problemini genetik algoritma yardımıyla çözüme kavuşturmuşlardır. Vilcot ve Billaut aynı yıl içerisinde, genel atölye tipi çizelgeleme problemlerinde,

tamamlama zamanını ve maksimum gecikmeyi minimize etme amacı ile GA yöntemi ve tabu araştırması ile çözüm aramışlardır. Başlangıç popülasyonu rassal olarak oluşturdukları uygulamada elde ettikleri bilgisayarlı test sonuçlarına göre GA ve tabu araştırması yöntemlerinin her ikisi de etkili ve etkin çözüm metodu geliştirmişlerdir. Tay ve Ho ise çok amaçlı esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde sonlandırma/öncelik kurallarını dikkate alarak genetik programlama arayüzü geliştirmişlerdir. Tek bir kural ile minimum tamamlanma zamanı, ortalama gecikme ve ortalama akış zamanı amaçlarına yönelik çözümler elde etmişlerdir.

Hasan vd. 2009 yılında, tamamlanma zamanını minimize etme amacı ile GA'yı kullanmışlar. GA'nın performansını geliştirmek amacı ile kısmi yeniden sıralama, boşluk azaltma gibi öncelik kurallarını kullanmışlar. Farklı çaprazlama ve mutasyon değerleri ile üç farklı parametre analizi yapmışlar. Manikas ve Chang 2009'da, en kısa işlem süresi ve en erken bitiş tarihi gibi sezgiseller esnek çizelgelemelerde kullanılır. Bu tür bir problem için GA yaklaşımını kullanmışlar ve optimum sonuçlar elde etmişler. Bu çalışmada sıra bağımlı ayar süreleri içeren atölye çizelgelemeye genetik algoritma uygulanmıştır. Aydemir 2009'da, üretim sisteminde toplam tamamlanma zamanını ya da en son işin sistemi terk ediş zamanını minimize etmek amacıyla öncelik kuralı tabanlı GA yaklaşımıyla simülasyon yazılımı geliştirmiş. FIFO ya göre başlangıç modeli oluşturulmuş, sonrasında tüm öncelik kuralları ve öncelik kuralı tabanlı GA için test modelleri oluşturulup elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Geliştirilen modeller en iyi çözüm değerine ulaşmıştır. 2009 yılında Cupic ve arkadaşları üniversitelerinin Bologna sürecine girmesiyle karşılaştıkları çeşitli organizasyonel problemlere ve çeşitli zaman ayarlama problemleri üzerine oluşturdukları sınav çizelgeleme modelini önermişlerdir.

Sistem, Carter benchmarks adındaki gerçek dünya probleminden oluşan veri kümesi üzerinde test edilmiştir. Sistemin benchmark üzerindeki performansı diğer evrimsel tekniklerle kıyaslanabilir seviyededir. Hatta bazı durumlarda daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca, geliştirilen sınav çizelgelerinin kalitesi alanda üretilen en iyi sonuçların arasındadır. Arogundade ve arkadaşları 2010 yılında Nijerya Abeokutadaki Tarım Üniversitesinden elde ettikleri gerçek dünya sınav çizelgeleme verisi üzerinde GA'yı kullanarak çizelgeleme yapan bir yöntem sunmuşlardır. Sınav dönemi boyunca sınavları dağıtmaya yönelik yeni bir hedef fonksiyon kullanmışlardır. Bahsedilen

yöntem gerçek verilerle test edilmiş ve sonuçları tartışılmıştır. 2010 yılında Pillay ve Banzhaf makalelerinde, sınav çizelgeleme probleminin çözümünde GA'ların kullanımını incelemişlerdir.

Koçanlı vd 2012'de, atölye çizelgeleme probleminin küçük, orta ve büyük boyutlu problemlerde hem Hedef Programlama yöntemi ile hem de GA ile elde edilen sonuçlarını kıyaslamışlar. Elde edilen sonuçlarda özellikle gerçeğe yakın büyük boyutlu problemlerde Hedef Programlama ile çözüme ulaşamazlarken GA ile en iyi çözüm değerine ulaşmışlar. Gümüšoğlu vd 2013 yılında, siparişe dayalı üretim sisteminde atölyeye gelen işlerin ürün grupları oluşturularak GA ile en iyi çözüme ulaşmayı hedeflemişler. Yaldır ve Baysal 2012'de yaptıkları çalışmada yükseköğretim kurumlarında akademik takvimler doğrultusunda manüel olarak yapılan sınav takvimi uygulamalarını otomasyon sistemine aktarmışlardır. Bu çalışmada evrimsel hesaplama yöntemini kullanmışlardır. Önermiş oldukları algoritma iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda web ortamında ilgili birimlerden veriler toplanmakta, ikinci kısımda ise geliştirdikleri masaüstü uygulamayı çalıştırılarak sonuçları alınmaktadır. Uygulamanın hayata geçirilmesi ile birlikte sınav takvimi hazırlamak için harcanan zamanın minimize edildiğini belirtmişlerdir.

2014 yılında Dahiya ve arkadaşları tarafından hazırlanan çalışmada GA'yı sınav çizelgeleme problemi üzerine uygulamıştır. Deneysel sonuçlarının başarılı olduğunu ve önerdikleri GA yaklaşımını karmaşık optimizasyon problemlerini etkin bir şekilde çözdüğünü söylemişlerdir. Jha 2014 yılında hazırladığı çalışmada, İbra teknoloji kolejinden elde ettiği gerçek verilere GA uygulayarak probleme çözüm bulmaya çalışmıştır. Aynı yıl içerisinde Kolonias ve arkadaşları, GPU üzerinde çalışan bir hibrit evrimsel algoritma geliştirmişlerdir. GPU'nun hesaplama kabiliyetleri sayesinde oldukça fazla sayıda bireyden oluşan bir popülasyon kullanabilmişlerdir. Bu da daha geniş bir çözüm uzayında aramayı arttırmaktadır. Böylece en iyi çözümün ulaşma olasılığı yükseltilmiştir. Algoritmayı Toronto veri kümesi üzerine test etmişlerdir ve sonuçlarını diğer algoritmalar ile kıyaslamışlardır.

Erden ve arkadaşları 2016 yılında genetik algoritma kullanarak sınav gözetmen çizelgeleme problemine bir çözüm aramışlardır. Problemi iki aşamadan oluşturmuşlardır. Aşamaların ilkinde uygun zamanlara ve odalara dersler atanmış

ardından gözetmenleri sınavlara atamışlardır. Çalışmayı sınav ve gözetmen atamalarında çakışma olmayan bir çözüm bulmak amacıyla gerçekleştirmişlerdir. Bunu yaparken gözetmenlerin tercihlerini mümkün olduğunca fazla dikkate almışlardır. Türkiye'deki bir devlet üniversitesinin verilerini kullanarak bir olay çalışması oluşturulmuştur. GA esaslı önerilen bu yaklaşımın problem üzerinde oldukça etkili bir performans sergilediğini belirtmişlerdir. Sani ve Yabo 2016 yılında makalelerinde daha kolay ve etkili zaman çizelgeleri oluşturmak için GA ile çizelgeler oluşturan yöntemler kullanmışlardır.

Aynı yıllarda Abdelhalim ve El Khayat 2016 yaptıkları çalışmada çizelgeleme probleminin çözümü amacıyla GA esaslı bir yaklaşım kullanmışlardır. Çalıştıkları problemler çok yaygın olmayan zor ve esnek kısıtlar içermektedir. Çizelgeleme problemlerine yeni bir bakış açısı yaklaşımı göstermişlerdir. Kullanılan kaynak oranlarını maksimize etmeyi hedeflemişlerdir. Abdelhalim ve El Khaya rastgele oluşan başlangıç popülasyonu yerine sezgisel bir algoritma kullanarak. Önerdikleri algoritma da öğretim elemanlarının taleplerini karşılayacak ve aynı zamanda üst üste binen zaman dilimlerini ortadan kaldırmak amacıyla basit ağırlıklı toplam formülü kullanmışlardır. Boş harcanan zamanları minimize etmek amacıyla da öğrenme alanlarının kullanım oranları üzerine odaklanan bir çaprazlama türü ve GA'nın mutasyon operatörü kullanılmıştır. Bununla beraber algoritmaya ait etkinliği arttırmak için yerel bir arama algoritması da kullanmışlardır. Algoritma, alan kullanımı, olaylar arasındaki boşluklar ve günde maksimum ders sayısını dikkate alan bir birleşik uygunluk fonksiyonunu içermektedir. Algoritmayı test etmek için Mısır İskenderiye Üniversitesi Ticaret Fakültesi'nden alınan gerçek verilerle büyük bir veri kümesi kullanışlardır. Önerdikleri algoritmayı, literatürde yer alan çözülmesi zor karşılaştırmalı değerlendirme (benchmark) problemi üzerinde test etmişlerdir. Ayrıca geliştirdikleri algoritmanın deneysel sonuçlarına göre üniversitelerde zaman çizelgeleri ve kaynakları yönetmek için etkili bir yaklaşım olduğunu söylemişlerdir. Algoritmanın karşılaştırmalı değerlendirme problemlerinin üzerinde oldukça iyi bir performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Son yıllarda genellikle çizelgeleme problemleri içerisinde genetik algoritma kullanımının paralel makinelerde daha yoğun olduğu gözlemlenmiştir. Bir diğer kullanım alanı ise diğer metasezgisel yöntemler ile performans karşılaştırması

çalışmalarıdır. 2019 yılında çizelgeleme problemleriyle ilgili tek makineli çok ölçütlü çalışmalara rastlanmasa da başka problem türleriyle ilgili yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır. Paralel makine problemleri ile ilgili örnek sayısı oldukça fazladır. En güncel çalışmaya bakılacak olursa, biyofarmasötik üretim alanında kapasite planlamasında kullanılmıştır [97].

3.4. Genetik Algoritma Özellikleri

Genetik algoritma yöntemi, başlangıç popülasyonu meydana getirilmesi ile başlatılarak, diğer aşamalarda ise bu çözüme genetik işlemler uygulayarak meydana getirilen yeni çözüm yığınları arasından en iyi uygunluk fonksiyon değerine sahip çözüme ulaşmaya çalışmaktadır. Bu yöntem, her bir popülasyon içerisinde bulunan en iyi çözümleri aradığından, diğer optimizasyon yöntemlerine göre daha fazla büyüklük ve karmaşıklık içeren problemlerde kullanılabilir. Genetik algoritmaya özgü özellikler aşağıdaki gibidir [51]:

Genetik algoritma, parametrelerin kendileri yerine doğrudan parametre gruplarına ait kodlar ile ilgilenir,

Genetik algoritmanın arama alanı, yığının veya popülasyonun bütünüdür, tek nokta veya noktalarda arama yapmaz,

Genetik algoritmalarda amaç fonksiyonu kullanılır, sapma değerleri veya diğer hata faktörleri kullanılmaz,

Genetik algoritmaların uygulanmasında kullanılan operatörler stokastik yöntemlere dayanır, deterministik yöntemler kullanılmaz.

Optimizasyona göre, popülasyondaki tüm bireyler, verilen problemde olası çözümü gösteren bir dizi veya kromozoma kodlanır. Bir bireyin uyumu, verilen uygunluk fonksiyonuna göre değerlendirilir. Uyum fonksiyonu, kromozomların ifade ettikleri çözümlerin ne derece iyi olduğunu ifade etmektedir. Yüksek uyum gösteren bireyler veya çözümler, çaprazlama prosedüründe diğer yüksek uyumlu bireylerle, genetik bilgilerindeki parçaları değiştirerek yeniden üretilme şansını bulurlar. Bu da ebeveynlerin her ikisinden de alınan bazı karakterleri paylaşan yeni çocuk çözümler üretir. Mutasyon çoğu zaman dizilerdeki bazı genleri değiştirerek çaprazlamadan sonra uygulanır. Çocuk bütün popülasyonu değiştirmekle elde edilebileceği gibi, az uyumlu özelliklerin değişmesiyle de oluşabilir. Bu, çevrim-seçim-yeniden üretim

döngüsü, istenen sayıda kuşak yaratılana veya başka bir durma kriteri doğrulanana kadar tekrar eder ve yaratılan en iyi çözüm problemin çözümü olarak alınır [59].

Genetik Algoritma Avantajları;

Karmaşık amaç fonksiyonlarına ait parametreleri yerel minimum ya da maksimumlara takılmadan optimize edilmesi,

Çok sayıda parametrelerle çalışma imkânına sahip olması,

Kısa sürede iyi sonuçlar vermesi,

Zaman kısıtlamalarını hesaba katan en yakın çözümlerden biri olması,

Tek çözüm yerine birden fazla parametrelerin optimum çözümlerini elde edebilmesi olarak sıralanabilir.

Genetik Algoritma Dezavantajları;

Verilen çözümler her zaman en iyi çözüm olamayabilir.

Son kullanıcılar tarafından modelin anlaşılması zordur.

Problemi ve verileri genetik algoritmaların kullanabileceği forma sokmak bazen güçtür.

Genetik işlem parametrelerini belirlemek zordur.

3.5. Genetik Algoritma Yöntemine Ait Temel Kavramlar

Genetik algoritma yönteminde algoritmaya özgü dört ana kavram bulunmaktadır.

3.5.1. Gen

Doğada bulunan canlıya ait kalıtsal özelliklerini taşıyan yapılardır. Genler bir araya gelerek kromozomları oluştururlar. Birey olarak adlandırılan kromozomlara dizilmiş belirli bir pozisyonda bulunan genler, değişkenin değerini ifade etmektedir [60]. Karar değişkenlerinin her birine ait sayısal değer, bir geni simgelemektedir. Problemlere ait hangi sayıda karar değişkeni var ise aynı sayıda gen bulunmaktadır.

3.5.2. Kromozom

Kromozom, bir dizilim halinde sıralanan genlerin oluşturduğu genler dizisi olarak ifade edilmektedir. Genetik algoritmada elde edilen her bir kromozom probleme ait

çözümlerden biridir. Genetik işlemler aşamalarıyla elde edilen en iyi kromozom en iyi çözümü oluşturmaktadır. Tüm kromozomlar, temsil ettiği çözüme ait bilgileri içermektedir ve bilgiler bir dizi halinde kodlanmaktadır.

3.5.3. Başlangıç popülasyonu

Genetik algoritma yöntemi çözüm aramaya başlangıç popülasyonu oluşturulması ile başlamaktadır. Başlangıç popülasyonu kromozomlardan oluşmaktadır. Popülasyonun büyüklüğünü ifade edecek olan toplam kromozom sayısıdır. Başlangıç popülasyonu yöntemin başarısını etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Popülasyon büyüklüğünü olmasının gerekenden az sayıda almak, algoritmanın dolayısı ile arama metodunun dar bir çözüm uzayında uygulanması anlamına gelmekte ve çaprazlama işlemi için seçenek sayısını azaltmaktadır. İhtiyaç duyulandan çok sayıda almak, uygulamanın anlamlı sonuçlara geç ulaşmasını veya yavaş çalışmasına sebep olacaktır [61]. Bu konuda Goldberg 1985’de yalnızca kromozom uzunluğuna bağlı bir popülasyon büyüklüğü hesaplama yöntemi önermiştir [62]. Ayrıca Schaffer ve arkadaşları 1989’da çok sayıda test fonksiyonları üzerine yaptıkları araştırmalar sonucunda, 20-30 arası bir popülasyon büyüklüğünün iyi çıktılar sağladığını belirtmişlerdir [63].

3.5.4. Uygunluk değeri (Fonksiyonu)

En iyi çözüme ulaşmada kullanılan amaç fonksiyonu karşılığdır. Her bir kromozom (çözüm) için hesaplanır ve bu çözümler arasından en iyi uygunluk değerine sahip çözüm en iyi sonucu ifade etmektedir. Bu nedenle uygunluk fonksiyonu problemin amacına yönelik doğru bir fonksiyon ile ifade edilmelidir.

3.6. Genetik Algoritmada Uygulanan Genetik İşlemler

Başlangıç popülasyonu doğrultusunda oluşan başlangıç çözümden sonraki popülasyonu iyileştirmek amacıyla yapılan genetik işlemler, popülasyondaki tüm bireylere ya da içlerinden seçilen bazı bireylere uygulanabilmektedir. Popülasyon içerisindeki en iyi çözümü temsil eden bireylerin yaşamlarını devam ettirmek veya yeni meydana getirilecek nesle aktarmak amacıyla, uyumu en yüksek olan bireylerden bazıları bir sonraki nesle doğrudan aktarılabilir. Anne ve baba olarak seçilen kromozomlara ise genetik işlemler uygulanarak daha farklı çözümlere ulaşmaya

çalışılmaktadır. Genetik işlemler, genetik parametrelerden çok fazla etkilenmektedir. Bu parametreler popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı ve mutasyon oranı olarak sıralanabilir. Uygun genetik parametrelerin seçilmesiyle gerçekleştirilen genetik işlemler sonucunda, küresel bir sonuca erişebilme ihtimali yükselmektedir. Genetik algoritma çalışma prensibine göre genetik işlemler uygulanmaktadır. Bu genetik işlemler; kodlama, üreme (seçilim), çaprazlama ve mutasyon işlemleridir.

3.6.1. Kodlama

GA' da popülasyonları oluşturan her bir birey, bir kromozom olarak adlandırılır. GA kullanılarak bir problemin çözüm aşamasında ilk adım olarak, kromozomların uygun bir şekilde kodlanması gerekmektedir. Oluşturulan modelin güvenilir ve hızlı çalışabilmesi için bu kodlamanın doğru yapılması gerekmektedir. Kromozom kodlama yöntemleri problem türlerine göre değişmektedir. Başlıca kodlama yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

3.6.1.1. İkili kodlama yöntemi

İkili kodlama yöntemi kullanılan en yaygın kodlama türüdür. Yöntemde her kromozom 0 ve 1'lerin oluşturduğu bir bit diziden oluşmakta ve ikili diziyle ifade edilmektedir. Bu dizideki her bit, çözüme ait özellik taşımaktadır. Dizinin tümü ise bir sayıya karşılık gelir. Tablo 3.1'de ikili kodlama yapısına ait örnek verilmiştir.

Tablo 3.1. A ve B bireylerine ait ikili kodlama örneği

BK A	1 0 1 0 1 1 0 0 1 1
BK B	0 0 1 0 1 0 1 0 1

Bu yöntem çok sık kullanılan bir kodlama türü olmasına rağmen, değişkenlere ait alt ve üst sınırlarına bağlı olarak elde edilen dizi uzunluklarının çok büyük olmasından dolayı dezavantajları bulunmaktadır. Aynı zamanda gezgin satıcı, çizelgeleme, karesel atama gibi en iyileme problemlerinin arama uzayını tam olarak temsil edememektedir. Bu nedenle ikili kodlamaya alternatif olarak, permütasyon ve değer kodlama (alfa nümerik) türler kullanılmaktadır.

3.6.1.2. Permütasyon kodlama

Permütasyon kodlama, genellikle gezgin satıcı, çizelgeleme sıralama ve şebeke tasarımları problemlerinde kullanılmaktadır. Yöntemde her bir kromozom numara dizisinden oluşmaktadır. Numara dizisinin uzunluğu tasarım değişkenlerinin sayısı kadardır. Bu kodlama özellikle tasarım değişkenlerinin birden fazla alt değişkenden oluştuğu problemlerde tercih edilmektedir. Burada tasarım değişkenlerinin kodları 1 ile tasarım değişkeni sayısı arasında rastgele seçilen rakamlardan oluşmaktadır.

Tablo 3.2. A ve B bireylerine ait permütasyon kodlama örneği

Başlangıç	A	B	C	D	Bitiş	Faaliyetler
0	3	6	11	6	0	BK A
0	8	10	10	4	0	BK B

3.6.1.3. Değer kodlama

Değer kodlama kavram olarak problem alanına en yakın kodlamadır. Çünkü her kromozom çözüm kümesiyle eşit uzunlukta gerçek sayıların oluşturduğu bir vektör şeklinde kodlanır. Değer kodlama gösterimi ile çok sayıda karar değişkeni olan çok büyük alanların temsili mümkündür.

Tablo 3.3. A ve B bireylerine ait değer kodlama örneği

BK A	3,284	4,221	3,245	0,728	5,125	6,245
BK B	ABCJF	JKLMC	DEHGJ	HGFJK	JKLHM	JKHLF

3.6.1.4. Ağaç kodlama

Bu kodlama yöntemi genellikle programlamada, programlar ve ifadeler oluşturmak için kullanılır. Ağaç kodlamada her kromozom, adında da anlaşılacağı gibi nesnelere ve nesnelere arası işlemleri içeren bir ağaç yapısından oluşmaktadır.

3.6.2. Üreme (Seçme-Seçilim) İşlemi

Üreme işlemi, uygunluk kriterlerine uyan bir kromozoma ait özelliklerin yeni topluma aktarılmasını sağlayan bir işlemdir. Üreme işlemi, “yetenekli olanın yaşaması” prensibine göre çalışmaktadır. Uygun olarak karar verilen kromozom çifti, yeni popülasyonun bir ya da daha fazla kromozomunun oluşumuna katkı

sağlayabilmektedir. Uygunluk değeri yüksek olanların seçilme ve yeni topluma aktarılma şansı daha yüksektir. Böylece bir yandan yüksek uyumluluğa sahip bireyin bir sonraki nesile aktarılamama olasılığı ortadan kaldırılırken, diğer yandan da yeni toplumun maksimum veya ortalama uygunluk değerinde beklenen artışın optimum çözümün uygunluk değerine de yansması söz konusu olacaktır. Ebeveyn olarak isimlendirilen bu kromozom çiftine ait özellikler, üreme sonucunda yeni popülasyona aktarılmaya çalışılmaktadır. Seçilen uyumlu kromozomlardan daha uyumlu bireyler elde etmek için çaprazlama ve mutasyon işlemlerinin uygulanması gerekmektedir.

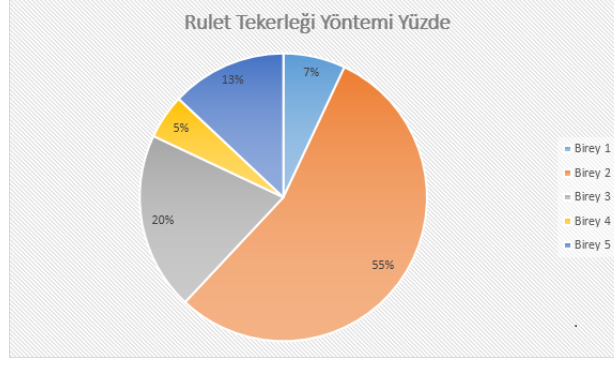
Uyumlu kromozomların seçilme işlemi amacıyla geliştirilmiş birden fazla metod vardır. Bu yöntemler içerisinde elitizm, rulet çarkı ve turnuva seçim yöntemleri en fazla kullanılan yöntemlerdir.

3.6.2.1. Elitizm yöntemi

Elitizm yönteminde uygunluk değeri en iyi olan birey, en kötü birey ile yer değiştirerek yeni popülasyonu daha iyi bireylerden meydana gelmesini sağlar. Böylece bir yandan en yüksek uygunluk değerine sahip bireyin bir sonraki nesile aktarılamama ihtimali ortadan kaldırılmaktadır.

3.6.2.2. Rulet çarkı yöntemi

Rulet çarkı yönteminde, toplumdaki tüm bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır. Bireylerin uygunluk değerleri toplanarak popülasyona ait uygunluk değeri elde edilir. Her bireyin uygunluk değerleri, toplumun uygunluk değerine bölünerek, bireyin seçilme olasılıkları hesaplanır. Bireyler, seçilme olasılıklarına göre rulet çarkında yer alırlar. Şekil 1’de örnek rulet çemberi verilmiştir. Böylece rulet çarkı üzerinde yüksek olasılık değeri ile temsil edilen bireylerin seçilme olasılıkları artmaktadır. Ebeveynler, rulet çarkı üzerinden farklı yöntemlerle seçilebilmektedir.



Şekil 3.1. Rulet çarkı ve bireylerin dağılımı

3.6.2.3. Rastgele seçim yöntemi

Rastgele seçim, en yüksek olasılık değerine göre ya da eklemeli oranlardan yararlanılarak hesaplanabilmektedir. Eklemeli oranlar, seçilme olasılıklarının toplanması ile elde edilmektedir. Uygulamada, rastgele bir sayıya erişinceye kadar eklemeli oranlar elde edilir ve son eklenen sayının ait olduğu çözüm seçilmek suretiyle de işlem tamamlanabilir.

3.6.2.4. Turnuva seçim yöntemi

Turnuva seçim yöntemi, kolaylığı ve uygunluğu açısından en yaygın olanıdır. Turnuva seçim yönteminde, önce toplumu oluşturan kromozomlardan bazıları, belli kriterlere göre seçilmektedir. Daha sonra, bu kromozomlar kıyaslanarak aralarında uygunluk değeri yüksek olan bir kromozom yeni topluma aktarılmak üzere seçilmektedir. Böylece oluşturulan yeni toplum, bir önceki toplumun kötü bireylerinden arındırılmaya çalışılmaktadır. Optimum çözüme hızlı erişim sağlaması açısından önemli bir yöntemdir. Turnuva seçim yönteminde, yerine koyarak ya da koymayarak rastgele seçilen t adet bireyden oluşturulan gruba turnuva genişliği denir [71]. Bu grupta bulunan en iyi birey yeni topluma aktarılır. Bu işlem kullanıcının önceden belirlediği işlem sayısı kadar tekrarlanır. Turnuva seçim yönteminde uyumluların seçilmesi (yeteneklilerin yaşaması) ve uyumsuzların yaşamaması ilkesi temel alınmıştır ve değişik şekillerde seçimler söz konusudur.

3.6.3. Çaprazlama

Seçim işlemi tamamlanan bireylerden yeni çözümler türetebilmek amacıyla bu işlem uygulanmaktadır. Çaprazlama, iki kromozomun aralarında gen alışverişinde bulunup yeni diziler oluşturmasıdır. Bu işlem seçilen kromozomlar ve seçilen çaprazlama noktası doğrultusunda ebeveyn kromozomların çapraz olarak yer değiştirmesiyle yapılmaktadır. Böylece ebeveyn kromozomlarındaki gen veya genler türetilen kromozomlara kalıtsal bir şekilde, kromozomlar arasındaki genetik bilgi devamlı olarak yenilenmekte olup popülasyona ait başarı yükselmektedir.

Çaprazlama oranı genetik algoritma yönteminin en önemli parametresidir. Literatürde yapılan çalışmalarda çaprazlama oranı parametresinin %50 ile %90 arasında değiştiği görülmektedir. Çaprazlama oranının yüksek olması, yeni birey sayısının artacağını ve çözüm uzayında hızlı bir arama yapılmasını sağlar. Düşük çaprazlama oranı ise, değişime uğrayacak kromozom sayısı azalacak ve bu nedenle algoritma yavaşlayarak çözüme daha uzun sürede ulaşacaktır. Popülasyonda N birey varsa, P_c çaprazlama oranı olmak üzere $P_c N$ kadar birey çaprazlama için seçilmelidir [64]. Uygulamalarda problemler gereği farklı çaprazlama uygulamalarına ihtiyaç duyulması üzerine çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar sırasıyla, tek noktalı çaprazlama, iki noktalı çaprazlama ve tekdüze çaprazlama gibi, pozisyona dayalı, sıraya dayalı, kısmi planlı, dairesel, doğrusal ve sıralı çaprazlama yöntemleridir [65,66]. Çaprazlama yöntemleri aşağıdaki şekilde açıklanmıştır.

3.6.3.1. Tek noktalı çaprazlama yöntemi

Havuz içerisinde bulunan seriler gelişigüzel bir şekilde eşleşirler. Seçilen her kromozom çiftine ait ilk ve son gen dışında, genler arasından rastgele bir nokta seçilir. Burası çaprazlama noktasını gösterir. Bu noktadan sonra gelen genler her iki dizide karşılıklı olarak yer değiştirir. Bu işlem için kromozomlar aynı gen sayısına sahip olmalıdır. Aşağıdaki dizilerde 3. konum çaprazlama noktası olsun. Bu noktadan sonraki genler çaprazlandığında yeni diziler oluşur.

Tablo 3.4. A ve B bireylerine ait tek noktalı çaprazlama örneği

BK A	1 0 0 1 1 1 1 0	BK A'	1 0 0 1 0 0 1 0
BK B	1 0 1 1 0 0 1 0	BK B'	1 0 1 1 1 1 1 0

3.6.3.2. Çift noktalı çaprazlama yöntemi

Bu yöntemde kromozom üzerinde ilk ve son genler dışında iki adet rastgele nokta seçilir. Çaprazlama işlemi seçilen bu iki nokta arasındaki genlerin yer değişimidir. Ve bu noktalar arasında genler değiştirilir. Aşağıdaki dizilerde 1. ve 5. genden sonra gelen aralık çaprazlama noktaları olacak olursa çaprazlama sonucu elde edilen yeni nesile ait diziler verilmiştir.

Tablo 3.5. A ve B bireylerine ait çift noktalı çaprazlama örneği

BK A	1 0 0 1 1 1 1 0	BK A'	1 0 1 1 0 1 1 0
BK B	1 0 1 1 0 0 1 0	BK B'	1 0 0 1 1 0 1 0

3.6.3.3. Çok noktalı çaprazlama

Bu yöntem iki noktalı çaprazlama mantığına dayanmaktadır ve kromozomlar daha çok noktadan daha fazla parçaya ayrılmaktadır. Oluşan bu parçalar bireyler arasında değiştirilerek yeni bireyler elde edilir. Eğer parça sayısı n ise, n^2 kadar yeni kromozom elde edilir. Çok noktalı çaprazlama yöntemi ile elde edilebilecek kromozomların tamamını oluşturmak ya da kullanmak bir zorunluluk değildir. Bunlardan bir kısmı, rastgele seçimle yeni topluma aktarılabilir ya da sadece kromozomlar arasında belirlenen sayıda parçalara çaprazlama uygulanarak, yeni oluşturulan birey sayısı denetlenebilmektedir.

3.6.3.4. Tekdüze (uniform) çaprazlama

Tekdüze çaprazlama, çok noktalı çaprazlamadan biraz farklıdır. Aynı uzunluktaki iki bireyden genler rastgele seçilerek bir sonraki nesile kopyalanır. Rastgele değişimi sağlamak amacıyla, kromozomların bit sayısına eşit uzunlukta çaprazlama maskesi kullanılmaktadır. Maske, ikili sayı sisteminde rastgele oluşturulan bir dizidir. Bu yöntemde birinci kromozom, maskede 1 kodu görüldüğü yere, 1.kromozomda karşılık gelen gen kopyalanırken; 0 (sıfır) kodu görüldüğü yere ikinci kromozomdaki karşılığı kopyalanarak oluşturulmaktadır. İkinci kromozom da şu şekilde oluşturulmaktadır. Bu kromozom için, maskedeki 1'lerin karşılığı ikinci kromozomdan, sıfırların karşılığında birini kromozomdaki karşılıktan taşınarak oluşum sağlanmaktadır. Yapılan araştırmalara göre tek düze çaprazlamanın diğer çaprazlama yöntemlerinin

genel bir hali oluşu nedeniyle tek ve çok noktalı çaprazlamadan daha etkin bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

3.6.3.5. Sıralı kodlama düzeninde çaprazlama

Davis, Goldberg ve Lingle tarafından geliştirilmiştir [51]. Bu yöntemde, kromozom havuzundan rastsal olarak iki kromozom seçilir. Bu kromozomlar üzerinde yine rastlantısal olarak iki ayrı kesim noktası belirlenir. Bu kesim noktaları arasındaki kromozom sayısının her iki kromozomda da aynı olmasına dikkat edilir. Kesim noktaları arasındaki kromozomlar karşılıklı olarak yer değiştirilir. Kesim bölgesi dışında yer alan genler içerisinde tekrarlı genler oluşursa bunlar yerine sıra ile soldan sağa doğru kromozomda bulunmayan genler yazılır.

Üretim çizelgeleme problemlerinde gen kodlamada sıkça permütasyon kodlama kullanımından dolayı probleme uygun çeşitli çaprazlama yöntemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları pozisyona dayalı (PBX), sıraya dayalı (OBX), kısmi eşleşmeli (PMX) ve dairesel olmak (CX) üzere dört çaprazlama yöntemidir.

Pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi de dizideki genlerin tekrarlı olmasını engellemektedir. Sıra esaslı yapıya sahiptir. PMX den farklı olarak burada iki ebeveyn diziden yine 2 tane çocuk dizi oluşturulmaktadır. PMX de olduğu gibi yine ebeveyn dizilerden seçilen alt diziler korunarak çocuk dizilere aktarılmaktadır. İki tane ebeveyn dizi alalım. A bireyine ait diziden [7, 9, 2] alt dizisini seçelim. Bu dizinin aynı konumuna ikinci diziden karşılık gelen alt diziyi de bulalım. Bu durumda B bireyine ait alt dizi de [2, 6, 3] olmuş olur. Bu iki alt dizi çocuk dizilere aynı konumda olacak şekilde aktarılırlar.

Tablo 3.6. A ve B bireylerine ait pozisyona dayalı çaprazlama

BK A	1 3 5 7 9 2 4 6 8
BK B	7 5 9 2 6 3 1 4 8
YN 1	* * * 7 9 2 * * *
YN 2	* * * 2 6 3 * * *

Türetilen yeni nesile ait diziler Tablo 3.6’da verildiği duruma gelir. Ebeveyn diziler, ikinci kesim noktasından (alt diziden sonra başlayan kısım) başlayarak dizi tekrar bir

daha sıralanır ve bu durumda Tablo 3.7’de verilmiş olan ebeveyn kromozomlar elde edilmiş olur. Yeni sıralanan birinci ebeveynden ikincinin alt dizisi çıkarılır. Aynı şekilde ikinci ebeveynden de birincinin alt dizisi çıkarılır. Çıkarılan bu konumlar olmadan dizi düzenlenir.

Tablo 3.7. A ve B bireylerine ait pozisyona dayalı çaprazlama örneği-2

BK A'	4 6 8 1 3 5 7 9 2
BK B'	1 4 8 7 5 9 2 6 3
BK A''	4 * 8 1 * 5 7 9 *
BK B''	1 4 8 * 5 * * 6 3
BK A'''	4 8 1 5 7 9
BK B'''	1 4 8 5 6 3

Elde edilen bu yeni kısa diziler BK A''' olan YN 2 çocuk dizisinin ikinci kesim noktasından sonra (alt dizi bitiminden) tekrar sırayla yerleştirilir. (Dikkat ilk 3 eleman yerleştirildiğinden dizi sonuna gelince yerleştirme baştan devam edilir.). Aynı şekilde BK B''' elemanları da YN 1 çocuk dizisine yerleştirilir. Böylece içerisinde tekrarlı sayıların olmadığı iki yeni çocuk dizi elde edilmiş olur.

Tablo 3.8. Pozisyona dayalı çaprazlama sonucunda türetilen yeni nesiller

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

Sıraya dayalı çaprazlama yönteminde ise, pozisyona dayalı yöntemdeki gibi kalıp uygulaması vardır. Kalıp üzerinde görülen 1 değerleri çaprazlamada kullanılacak olan değerleri gösterir. B bireyinde sırasıyla 7, 5, 1 genleri çaprazlanacaktır. BK A bireyindeki 1, 5, 7 numaralı genler aynı sıralı olacak şekilde yer değiştirir ve A' bireyi oluşur. BK A bireyi için 1, 5, 6 çaprazlanacak genlerdir ve BK B bireyinde 5, 6, 1 genlerinin sırası değiştirilerek BK B' bireyi oluşturulur [66].

Tablo 3.9. Sıraya dayalı çaprazlama örneği

BK A	1 3 5 7 2 8 4 6 9
BK B	7 4 5 6 8 9 3 1 2
BK A'	7 3 5 1 2 8 4 6 9
BK B'	7 4 1 5 8 8 3 6 9

Kısmi çaprazlamada daha çok araç rotalama ve gezgin satıcı problemlerinde kullanılmaktadır. Daha çok kullanılma nedeni, kromozom dizilerini meydana getiren genlerin aynı dizi içinde tekrarlanmaması gerekir. Kısmi çaprazlama bu tekrarı önleyen bir metottür. Ayrıca bu yöntemde seçilen bir alt dizinin korunması sağlanmaktadır. Bu alt dizi çocuk diziyeye aktarılmaktadır. Bu yöntemde iki ebeveyn diziden yalnız bir adet çocuk dizi elde edilmektedir. BK A bireyine ait diziden 4,6 ve 3'ten oluşan alt dizisi rastgele geçilir.

Tablo 3.10. Kısmi çaprazlama A ve B bireyleri

BK A	1 2 4 6 3 7 5 8
BK B	5 4 1 7 2 6 8 3

Bu durumda yeni nesile ait ilk çocuğa ait çocuk dizi Tablo 3.11'deki gibi olur. BK B dizisinden sayıların olduğu yerler çıkartılır.

Tablo 3.11. BK B ve YN 1 dizisine ait diziler

YN 1	* * 4 6 3 * * *
BK B'	5 * 1 7 2 * 8 *

BK B' dizi içerisindeki 1, 7, 2 sayıları 4, 6, 3 alt dizisine karşılık gelen konumdadır. 1, 7, 2 dizisi * ile gösterilen konumlara çocuk dizi içerisine yerleştirilir. Bu durumda çocuk dizi Tablo 3.12'deki hali almaktadır. BK B' dizisinde ki 5 ve 8 sayıları aynı konumlarına çocuk dizide yerine yazılırsa en son çocuk dizi Tablo 3.12'de yer alan YN 1'' halini almaktadır.

Tablo 3.12. YN 1' ve YN 1'' alt dizisi

YN 1'	* 1 4 6 3 7 * 2
YN 1''	5 1 4 6 3 7 8 2

Dairesel çaprazlama yönteminde ise, her seçilen ebeveyn çiftinden iki tane yavru dizi üretilir. Ebeveyn dizilerde çaprazlama noktası seçilmez. İlk ebeveyn dizinin en sol konumundan işleme başlanır. Her bir diziden seçilen genler çocuk dizilere yerleştirilir. İlk gen 8'dir. Bu sayı ile aynı konumda diğer dizide 4 vardır. 4 sayısı birinci dizide beşinci konumdadır. Aynı konumda ikinci dizide 1 vardır. 1 sayısı birinci dizide dördüncü konumdadır. Aynı konumda ikinci dizide 6 vardır. 6 sayısı birinci dizide yedinci konumdadır. Aynı konumda ikinci dizide 8 vardır. Fakat 8 sayısı daha önce

yerleştirildiği için birinci diziden seçim yapılamaz. Bulunan bu ilk genler çocuk dizilere yerleştirilir. Buna göre çocuk diziler Tablo 3.13'teki şekilde olur. Kalan (*) yıldızlı kısımlar ise her iki dizide karşılıklı olarak değiştirilir. Böylece iki adet ebeveynden yeni iki adet çocuk dizi üretilmiş olur.

Tablo 3.13. A ve B bireyelerine ait dairesel çaprazlama örneği

BK A	8 2 7 1 4 5 6 3
BK B	4 5 6 2 1 3 8 7
YN 1	8 * * 1 4 * 6 *
YN 2	4 * * 6 1 * 8 *
YN 1"	8 5 2 1 4 3 6 7
YN 2"	4 2 7 6 1 5 8 3

3.6.4. Mutasyon

Genetik algoritmada kullanılan mutasyon (değişim), doğal genetik mutasyon fikrinden ortaya çıkmıştır. Mutasyonun amacı, mevcut dizinin genlerinin bir veya birkaçını değiştirerek yeni diziler elde etmektir. Böylece mutasyon popülasyona çeşitlilik kazandırır. Mutasyon, kromozom başkalaştırılması veya farklılaştırılması için kullanılan bir operatördür. GA modelinin çalışmasında önemli etkisi olan etmenlerden biri de mutasyon operatörüdür. Mutasyon işlemi esnasında kromozomlarda bulunan gen sayılarında herhangi bir değişiklik söz konusu değildir.

Mutasyon işlemi bir tek kromozom üzerinde yapılır. Mutasyon oranı P_m , çaprazlama oranı gibi algoritmanın başında belirlenmesi gereken parametredir. Bir popülasyonda yaklaşık olarak $P_m \cdot N$ adet karakterde mutasyon meydana gelmektedir. N popülasyon büyüklüğünü, l ise kromozom uzunluğunu temsil etmektedir. Belirlenen mutasyon oranı doğrultusunda, mutasyona uğrayacak kromozomlar popülasyondan rastgele seçilir ve karar verilen mutasyon yöntemine göre değişim gerçekleştirilir. Mutasyon sıklığının belirlenmesini sağlayan mutasyon oranı, doğal popülasyonlarda mutasyon oranı çok düşük olduğundan, GA'da da genelde düşük oran tercih edilir. Mutasyon oranının çok yüksek olması, arama işleminde aşırı rastgeleliğe sebep olurken, çözüm uzayının da aşırı farklılaşma riskini arttıracaktır. Benzer şekilde düşük oran ise, düşük farklılaşma ve optimuma yakın çözümler üretilmesine neden olacaktır. Birçok araştırmacı, uygun P_m oranını $1/N < P_m$ ve $P_m > l$ olmasını önermektedir [64].

Eğer mutasyon olasılığı çok artarsa, genetik arama rastsal bir aramaya dönüşür ve en iyi çözüme ulaşmak zorlaşır. Mutasyon oranının düşük seçilmesi ise çözüm uzayının farklı noktalarına erişimi zorlaştırır. Genellikle kromozomlardaki bir genin rastsal değişim oranı %1 ($< 0,01$) ya da daha düşük seçilmelidir. Son yıllarda, birbirinden farklı mutasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Özellikle iş çizelgeleme ile ilgili geliştirilmiş olan bu yöntemler, ters mutasyon, komşu iki işi değiştirme, keyfi iki işi değiştirme, keyfi üç işi yer değiştirme, araya iş ekleyerek değiştirme yöntemleridir [67]. Mutasyon yöntemleri temel olarak, değer değiştirme, kaydırma, yerleştirme ve karşılıklı olarak değişim yöntemleridir [68].

3.6.4.1. Değer değiştirme yöntemi

Basit genetik algorithmada dizideki herhangi bir konumun değerinin 1 iken 0 ya da tersini yaparak gerçekleştirilir.

Tablo 3.14. A bireyine ait değer değiştirme yöntemi örneği

BK A	1 0 0 1 1 1 1 0
BK A'	1 0 0 1 1 0 1 0

3.6.4.2. Kaydırma yöntemi

Dizi içerisinde rastgele olarak belirlenen bir blok genin yine aynı dizi içerisinde rastgele bir konuma yerleştirilmesidir.

Tablo 3.15. A bireyine ait kaydırma yöntemi örneği

BK A	A K D E M Z I F
BK A'	A E M Z I K D F

3.6.4.3. Yerleştirme yöntemi

Dizi içinde rastgele bir genin seçilerek, yine aynı dizi içinde rastgele başka bir konuma yerleştirilmesidir.

Tablo 3.16. A bireyine ait yerleştirme yöntemi

BK A	A K D E M Z I F
BK A'	A D E M Z K I F

3.5.4.4. Karşılıklı değişim yöntemi

Dizi içerisinde rastgele olarak iki gen seçilmekte ve bu iki genler birbiriyle yer değiştirmektedir.

Tablo 3.17. A bireyine ait karşılıklı değişim yöntemi örneği

BK A	A K D E M Z I F
BK A'	A Z D E M K I F

3.6.5. Algoritmanın Sonlandırılması

Genetik algoritmada sonlandırma işlemi genel olarak belirlenmiş sayıda nesil oluşumuna ulaşıldığında yapılmaktadır. Genetik algoritmada seçilme, çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonsuz döngü içerisinde yapılır. Süreci sonsuza kadar devam ettirmemek için bir durdurma kriteri gerekmektedir. Temel durdurma kriterleri;

Hesaplama zamanı kriteri, algoritmanın modellenmesi esnasında iterasyon sayısı belirlenir ve bu sayıya ulaşıldığında algoritma çalışmayı durdurmaktadır. İterasyon sayısı problemin yapısı ve çözüm uzayının büyüklüğü olmak üzere iki faktöre bağlı belirlenmektedir.

Optimizasyon hedefi kriteri, ulaşılması hedeflenen amaç fonksiyonu bilinmektedir. Uyum değeri amaç fonksiyonu değerini yakaladığında algoritma durdurulmaktadır.

Minimum iyileşme kriteri, bulunan değerlerdeki iyileşme hızının azalması, daha fazla iyileşme beklenmemesi gerektiğini gösterebilir.

3.7. Genetik Algoritma Yöntem Adımları

Bir problemin genetik algoritma ile çözümünde takip edilmesi gereken yöntem adımları gibidir [69]:

Adım 1: Problemin çözümü amacıyla önceden tanımlanmış kurallar doğrultusunda başlangıç popülasyonu oluşturulur. Genellikle rastgele oluşturulan başlangıç popülasyonu, problem sahibi tarafından da belirlenebilir.

Adım 2: Oluşturulan başlangıç popülasyonuna ait her bir kromozom için uygunluk fonksiyon değeri hesaplanır. Hesaplanan uygunluk değerleri doğrultusunda en iyi değere sahip kromozom bir sonraki nesile doğrudan hiçbir genetik işlem

uygulanmadan aktarılır. Diğer kromozomlar ise sırasıyla Adım 3,4 ve 5 işlemlerine tabi tutulur.

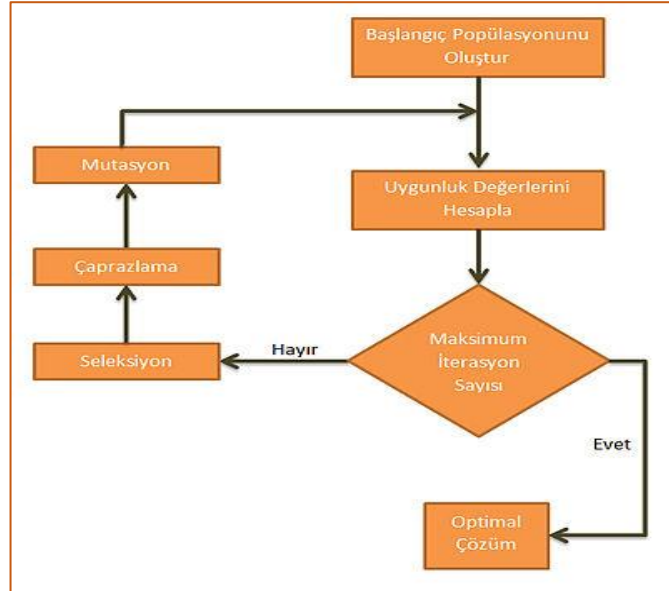
Adım 3: İki grup kromozom, problem amacı doğrultusunda belirlenmiş olan üreme yöntemi ile seçilirler.

Adım 4: Seçilmiş kromozomlar aralarında problem çözümü için karar verilen çaprazlama yöntemi ve çaprazlama oranı parametresi doğrultusunda çaprazlama işlemine tabi tutulurlar. Çaprazlama işlemi sonucunda yeni popülasyonda bulunacak yeni iki birey oluşur. Bu adım, yeni nesilde yer alacak birey sayısına ulaşıncaya kadar tekrar eder.

Adım 5: Yeni popülasyondaki bireyler, belirlenen mutasyon oranı ve karar verilen mutasyon yöntemi ile ya da rastgele mutasyon işleminden geçerler.

Adım 6: Problem başında belirlenmiş olan durdurma kriterine ulaşıncaya kadar yukarıdaki adımlar uygulanır. Durdurma kriterine ulaşıldığında uygunluk değeri en yüksek olan kromozom problem çözümü olarak seçilir.

Şekil 3.2’de genetik algoritma adımlarına ait kabaca akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.2. Genetik algoritma yöntem adımları [98]

4. KRİTERLERİN AĞIRLIKLANDIRILMASI

4.1. Kriter Ağırlıklandırma Hakkında Genel Bilgiler

Karar verme eylemi, günlük hayatımızın hemen hemen her anında bulunmaktadır. Bu eylem, bireylerin kendi hayatları ve çevresi için belirledikleri hedeflere ulaşma süreci boyunca alternatifler arasından seçim yapma faaliyeti olarak tanımlanabilmektedir. Herhangi bir konuda karar verebilmek için ilgili konuya ait alternatifler ve karar verme sürecinde kullanılacak ölçütler bulunmalıdır. Firmalarda da bu bağlamda içinde bulunduğu süreçlere ait birçok faaliyet için karar verme noktaları bulunmaktadır.

Bir karar verme sürecinde karar veren kişi veya kişiler öncelikle gerçekleştirilmesi gereken amaca yönelik kriterlerini belirlemelidir. Bu kriterlerin birbirinden farklı ölçü birimleri olabilmektedir. Bu gibi durumlarda kriterler benzer ölçeklerle değerlendirilmeye uygun hale getirilmelidir. Bundan yola çıkarak karar verici ikinci olarak, belirlenen kriterlerin ağırlıklarını hesaplaması gerekmektedir [72]. Genellikle karar verme süreçlerinde, karar vericilere göre bulunan tüm kriterlere ait önem ağırlıkları eşit olmamaktadır. Kriterlerin önem düzeyleri karar verme sürecine etkisine göre belirlendiği gibi karar verinin öznel görüşünden de etkilenmektedir. Sübjektif olarak adlandırdığımız bu önem düzeylerinin belirlenmesi kriterlerin ağırlıklandırma işlemidir. Sübjektif ağırlıklandırma, karar vericinin tecrübesi, bilgi düzeyi ve probleme bakış açısıyla gerçekleşmektedir [73].

Karar verme süreci boyunca kriter ağırlıklarının belirlenmesi yapılacak olan seçimin en önemli adımıdır. Firmalar için sübjektif ağırlıklandırma yöntemleri ile karar vermek oldukça risklidir. Bu risk hem karar vericiyi hem de firmayı tehlikeye atmaktadır. Bu problemleri gidermek amacıyla objektif kriter ağırlıklandırma yöntemleri geliştirilmiştir. 1982 yılında Zeleny, standart sapması maksimum olan kritere en yüksek ağırlık düzeyi verilmesini önermiştir. Bu öneri ve çalışmasıyla firmaların birbirleri arasındaki farkı kolayca ortaya koymaya çalışmıştır [74]. Kriter ağırlıklandırma yöntemlerine ait 2009 yılında Wang ve 2011 yılında ise Ahn tarafından en kapsamlı sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır. Nesnel, öznel ve karma

olarak sınıflandırılmış bu yöntemlerde uygulanan ağırlıklandırma metodolojileri nesnel, öznel ve iki anlayışın bir arada bütünleştirilmiş formüller veya matematiksel modellerin kullanıldığı yöntemler geliştirilmiştir. Kriter ağırlıklandırması ile ilgili diğer geçmiş çalışmalara bakıldığında günümüzden geçmişe sırasıyla, 2017’de Tayyar ve Durmuş, 2014 yılında Zardari ve diğerleri, Iwano, 2012 yılında Riabacke ve diğerleri, 2010’da Keršulienė ve diğerleri, 2007’de Öztürk ve Batuk, 2001’de Pöyhönen ve Hämäläinen, 2000 yılında Hajkowitz ve diğerleri, 1997’de Leon, 1996’da Barron ve Barrett, 1995 yılında Fisher ve 1982 yılında ise Schoemaker ve Waid tarafından yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan tüm bu çalışmalarda genellikle geliştirilen kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin güvenilirliklerini, karar verici memnuniyet düzeyleri, dağılım aralıkları, değişkenlik seviyeleri ve gerçek yaşama uygulanabilirlikleri incelenmiştir [75].

Çalışma kapsamında, belirlenen planlama optimizasyonu, kriterlere ait önem ağırlıklarının hedeflenen amaç fonksiyonuna etkisinin değerlendirilmesi amacıyla dört farklı ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu dört yöntem sırasıyla; Max 100, Eşit Ağırlıklandırma, İkili Karşılaştırma ve Swara yöntemleridir.

4.2. Max 100 Yöntemi

Max 100 metodu, 2001 yılında Doyle ve Bottomley tarafından yapılan çalışmada kullanılan puanlama yöntemidir. Yönteme ait uygulama adımları sırasıyla aşağıdaki gibi verilmiştir.

Adım 1: Yöntemin ilk aşamasında karar verici, kriterler arasından önem düzeyi en yüksek olana 100 puan vermektedir.

Adım 2: Diğer kriterler, her birini önem düzeyi en yüksek kriter ile karşılaştırarak 0 ile 99 sayıları arasında puanlar verilir.

Adım 3: Tüm kriterler, en yüksek önem düzeyli kriter ile kıyaslanıp puanları verildikten sonra tüm kriterlere ait puanlar toplanır ve toplam kriter puanları elde edilir.

Adım 4: Son olarak ise her bir kriterin puanı toplam kriter puanına oranlanması ile kriter ağırlıkları elde edilir. Yönteme ait puanlama ölçeği 0-100 arasındadır [75].

4.3. Eşit Ağırlıklandırma Yöntemi

Bu yöntemde karar verme problemi için belirlenmiş olan kriterlerin tamamı aynı önem düzeyine sahip olduğu kabul edilir. Böylece tüm kriterlerin önem ağırlıkları birbirine eşittir. Her bir kritere ait önem ağırlıkları Denklem (4.1) ile hesaplanır.

n = kriter sayısı

w_i = i. kritere ait ağırlık

$$w_i = \frac{1}{n}, \quad n=1,2,\dots,i \quad (4.1)$$

4.4. Saaty'nin İkili Karşılaştırma Yöntemi

İkili karşılaştırma yöntemi, Saaty'nin 1977 yılında yaptığı çalışmasında olduğu hiyerarşi ve tutarsızlık indeksi sayesinde gerçek hayat problemlerinde uygulanabilirliği sağlanmıştır. Bu yöntem ile yapılmış uygulamalar doğrultusunda; herhangi bir kararın kıyaslanmasında belirli bir standardın olmadığı ve doğrudan ölçümün mümkün veya uygun olmadığı durumlarda yöntemin önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir [76]. Yöntemde kullanılan ölçek skalası ve bu skalaya ait tanımlamalar Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Saaty'nin ölçek skalası

Ölçek Skala Değerleri	Ölçek Skala Açıklamaları
1	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumu
3	1. Faktörün 2. faktörden daha önemli olması durumu
5	1. Faktörün 2. faktörden çok önemli olması durumu
7	1. Faktörün 2. faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	1. Faktörün 2. faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Saaty'nin ikili karşılaştırma yöntemine ait uygulama adımları ise aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Yöntemin ilk adımında ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

Bu matriste n adet kriterin karşılaştırma matrisi (A) aşağıda gösterilmiştir. Karşılaştırma matrisine ait köşegen değerleri 1'e eşittir.

$$A = (a_{ij}) = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Bu matriste a_{ij} , i. kriterin j. kriter ile kıyaslandığında aldığı değerleri temsil etmektedir. Bu durumda aynı j kriterinin i kriteri ile kıyaslanmasının ölçüsü ise a_{ij} değerinin tersi olan aşağıdaki Denklem (4.3) ile ifade edilir.

$$a_{ij} = 1 / a_{ji} \quad (4.3)$$

Örnek verilecek olursa, karşılaştırma matrisinin ikinci satır dördüncü sütun bileşeni ($i=2, j=4$) değeri 3 ise, karşılaştırma matrisinin dördüncü satır ikinci sütun değeri ($i=4, j=2$) Denklem (4.3)'e göre $1/3$ değerini alır.

Adım 2: Kriterlerin yüzde önem ağırlıkları belirlenir.

İlk adımda oluşturulan karşılaştırma matrisi, kriterlerin belirli kurallar içerisinde önem seviyelerini göstermektedir fakat kriterlerin her birinin bütün kriterler içerisindeki önemini, başka bir ifade ile önem ağırlığının yüzdesi belirlenmelidir.

Bu aşamada karşılaştırma matrisinde bulunan sütun vektörlerinden yararlanılarak n adet ve n satırlı B sütun vektörleri oluşturulur. Bu sütun matrisine ait elemanlar ise Denklem (4.4) ile hesaplanır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (4.4)$$

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Örnek verilecek olursa, aşağıdaki şekilde bir A karşılaştırma matrisi verilsin.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 5 \\ 3 & 1 & 4 \\ 1/5 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Verilen karşılaştırma matrisine göre oluşturulacak B vektörlerinden B₁ vektörünün b₁₁ elemanı, b₁₁ = 1/(1+3+0,2) olarak hesaplanır.

B₁ vektörüne ait diğer elemanlar hesaplandığında, vektör aşağıdaki gibi verilmiştir. Sütun vektörünün elemanları toplamı 1 olduğu bu vektörden de görülmektedir.

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0,238 \\ 0,714 \\ 0,048 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Adım 3: Bu aşamada bir önceki adımda elde edilen B vektörleri bir araya getirilerek C matrisi oluşturulur.

Oluşturulan bu matris ile bir sonraki adımda kriterlere ait önem ağırlıkları hesaplanmış olacaktır. Aşağıda C matrisi gösterilmiş ve verilen örnek için oluşturulmuştur.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0,238 & 0,210 & 0,500 \\ 0,714 & 0,632 & 0,400 \\ 0,048 & 0,158 & 0,100 \end{bmatrix}$$

Adım 4: Kriter ağırlıklarının hesaplanması aşamasıdır.

Elde edilen C matrisi değerleri ile Denklem (4.8) kullanılarak kriterlere ait önem ağırlıkları hesaplanır. Bu değerlerin oluşturduğu sütun vektör ise W ağırlık matrisi elde edilmiş olur.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij}}{n} \quad (4.9)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Verilen örneğe Adım 4'te bulunan formüller uygulandığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında, birinci kriter % 32, ikinci kriter % 58 ve üçüncü kriter % 10 önem ağırlığına sahiptir.

Adım 5: Karar vericinin, karar kriterlerinin ve karar seçeneklerinin ikili karşılaştırmalarının tutarlı olup olmadığının belirlenmesi amacıyla tutarlılık oranı hesaplanır.

Tutarlılık oranının düşük olması, karar vericinin ikili karşılaştırmalardaki kararlarının tutarlı olduğunu, yüksek olması tutarsız olduğunu gösterir. % 10'a kadar olan tutarlılık değeri kabul edilebilir.

CR hesaplamasının temeli, faktör sayısı ile Temel Değer adı verilen (λ) bir katsayının karşılaştırılmasına dayandırmaktadır.

λ , Denklem (4.11) ile hesaplanmaktadır. Bu denkleme göre öncelikle A karşılaştırma matrisi ile W öncelik vektörünün matris çarpımından D sütun vektörü elde edilir.

$$\lambda = AW \quad (4.11)$$

D vektörü elde edildikten sonra D ile W sütun vektörlerine ait elemanların karşılıklı elemanlarının oranlanmasından her bir değerlendirme kriterine ait temel değer (E) elde edilir.

E temel değerlerinin hesaplanması için Denklem (4.10)'den yararlanılmaktadır. Bulunan temel değerlerin aritmetik ortalaması ise karşılaştırmaya ilişkin temel değeri (λ) verir.

Aritmetik ortalamalar sonucu elde edilen λ hesaplanmasında kullanılmak üzere Denklem (4.13) verilmiştir.

$$E_i = d_i / w_i \quad (4.12)$$

$$\lambda = (\sum E_i) / n \quad (4.13)$$

λ hesaplandıktan sonra Tutarlılık Göstergesi CI, Denklem (4.14)'dan yararlanarak hesaplanmaktadır.

$$CI = (\lambda - n) / (n - 1) \quad (4.14)$$

Bu adıma ait son işlem ise CI değerinin Random Gösterge RI olarak adlandırılan ve Tablo 2'de gösterilen standart düzeltme değerine bölünerek CR elde edilir. Bu işlem için Denklem (4.15) kullanılır.

RI değerleri için Tablo 4.2'den kriter sayısına karşılık gelen değer seçilir. Örneğin 5 kriterli bir kıyaslamada kullanılması gereken RI değeri 1,12 olmalıdır.

$$CR = CI / RI \quad (4.15)$$

Tablo 4.2. Kriter sayıları ve RI değer karşılıkları

n (Kriter Sayısı)	RI	n (Kriter Sayısı)	RI
1	0	8	1.41
2	0	9	1.45
3	0.58	10	1.49
4	0.90	11	1.51
5	1.12	12	1.48
6	1.24	13	1.56

Hesaplanan CR değerinin 0.10'dan düşük olması karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir.

CR değerinin 0.10'dan yüksek olması ya bir hesaplama hatasını ya da karar vericinin karşılaştırmalarındaki tutarsızlığını göstermektedir.

4.5. Swara Yöntemi

SWARA yöntemi, 2010 yılında Keršuliene, Zavadskas ve Turskis tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem karar vericilere öncelik seçmeleri konusunda olanak sağlamaktadır. Diğer yöntemlere göre uzman karar vericilerin karar verme problemindeki önemi daha fazladır [77]. Yöntem kullanımı son zamanlarda artış göstermekte olup yöntem isminin açılımı “Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis” olarak bilinmektedir ve “Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi” olarak dilimize çevrilmektedir [78]. Tablo 4.3’te SWARA yöntemine ait yapılmış çalışmalar ve detayları verilmiştir.

Tablo 4.3. SWARA yöntemi yapılan çalışmalar [77]

Yapılan Çalışma	Yıl	Çalışma Konusu
Kersuliene ve diğerleri	2010	Uyuşmazlık Çözümü
Kersuliene ve Turskis	2011	Mimar Seçimi
Zolfani, Esfahani, Bitarafan, Zavadskas ve Arefi	2013	Optimal Mekanik Havalandırma Alternatif Seçimi
Alimardani, Zolfani, Aghdaie ve Tamosaitiene	2013	Tedarikçi Seçimi
Zolfani, Zavadskas ve Turskis	2013	Ürün Dizaynı
Aghdaie ve diğerleri	2013	Makine Parçası Seçimi
Zolfani ve Saparauskas	2014	Enerjide Sürdürülebilirliği Değerlendirme Göstergeleri
Zolfani ve Banihashemi	2014	Personel Seçimi
Zolfani ve Bahrami	2014	Yatırım Önceliklendirme
Vafaeipour, Zolfani, Varzandeh, Derakhti ve Keshavarz	2014	Güneş Enerji Santrallerinin Kurulacağı Bölgenin Seçimi
Aghdaie, Zolfani ve Zavadskas	2015	Tedarikçi Kümeleme ve Sıralama
Aghdaie ve diğerleri	2015	Satış Şubesi Seçimi
Dehnavi, Aghdam, Pradhan ve Varzandeh	2015	Bölgesel Heyelab Tehlikesinin Değerlendirilmesi
Nezhad, Zolfani, Moztaizadeh, Zavadskas ve Bahrami	2015	Ar-ge Projesi Seçimi

Tablo 4.3. (Devam) SWARA yöntemi yapılan çalışmalar [77]

Karabasevic, Stanujkic, Urosevic ve Maksimovic	2016	İşe Alınacak Maden Mühendisi Adaylarının Seçimi
Karabasevic, Stanujkic, Zavadskas	2016	Paket Tasarımı Seçimi
Karabasevic, Stanujkic, Urosevic ve Maksimovic	2016	Personel Seçimi
Karabasevic, Stanujkic ve Paunkovic	2016	Sosyal Sorumluluk Alma Düzeylerine Göre İşletme Seçimi
Işık ve Adalı	2016	Otel Seçimi
Shukla, Mishra, Jain ve Yadav	2016	Erp Sistemi Seçimi
Çakır	2016	Yazılım Seçimi
Çakır	2016	Müteahhit Seçimi
Yazdani, Zavadskas, Ignatius ve Abad	2016	Malzeme Seçimi
Çakır	2017	CNC Makine Seçim Kriterlerinin Önem Düzeylerinin Belirlenmesi

SWARA yöntemine ait uygulama adımları ise aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Kriterler ilgili uzmanlar tarafından önemlerine göre sıralanır. (Her uzman kendi görüşlerine göre farklı sıra oluşturmaktadır)

Adım 2: Her bir uzman tarafından en önemliden an az önemliye doğru sıralanan kriterler j ile gösterecek olursak, her bir kriter kendinden bir önceki kriter ile kıyaslanır ve yüzde beşlik puan katlarında önem düzeyleri belirlenir. Bu adımda belirlenen önem farkları s_j olarak gösterilmektedir.

Adım 3: Bu adımda kriterlere ait katsayılar belirlenir. İlk önem düzeyine sahip olan kriterlere 1 katsayısı atanır ve diğer kriterler için ise Denklem (4.16) yardımıyla kriter katsayıları hesaplanır.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j=1 \\ s_j+1 & j>1 \end{cases} \quad (4.16)$$

Adım 4: Önem vektörü q_j Denklem (4.17) yardımıyla hesaplanır.

$$q_j = \begin{cases} 1 & j=1 \\ \frac{x_{q_{j-1}}}{k_j} & j>1 \end{cases} \quad (4.17)$$

Adım 5: Son adımda ise her bir kritere ait ağırlıklar Denklem (4.18) ile hesaplanır ve böylece kriter ağırlıkları elde edilmiş olur.

$$w_j = q_j / \sum q_k \quad (4.18)$$

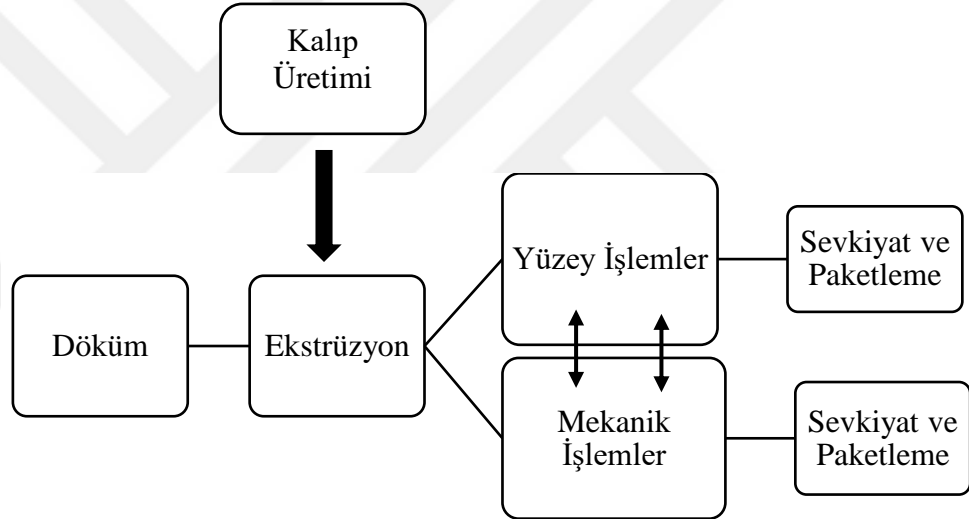
SWARA metodolojisi, uzman karar vericilerin verileri toplama ve eşgüdümlemede yararlı bir yaklaşım olarak yorumlanmaktadır. Bunun yanında kompleks olmayan ve karar vericilerin birlikte çalışmalarını sağladığı savunulmaktadır. Yöntem açıklamalarında da anlatıldığı üzere SWARA, uzmanların karar değerlerinin ortalamalarından yola çıkarak sonuca ulaştığı görülmektedir.



5. İŞ SIRALAMA ve ÇİZELGELEME PROBLEMİ UYGULAMA

5.1. Uygulamaya Konu Olan Üretim Tesisi ve Üretim Faaliyetleri

Yapılan uygulama çalışması, metal sektöründe faaliyet gösteren XYZ Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasında gerçekleştirilmiştir. XYZ tesisi kendi içerisinde 5 farklı operasyon birimine sahiptir. Bu operasyon birimleri sırasıyla; billet döküm, kalıp üretimi, ekstrüzyon, yüzey işlemler ve mekanik işlemlerdir. Bu operasyon birimlerine ait kabaca iş akışı Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Alüminyum profil üretim tesisi operasyon birimleri ve iş akışı

Alüminyum profil elde etmek için ilk olarak döküm işlemi gerçekleştirilmektedir. Modern dikey döküm tezgâhlarına sahip XYZ, külçe halinde bulunan alüminyum hammaddesini 6xxx, 1xxx, 7xxx, 9xxx serisi alaşımlar halinde döküm fırınlarında ergittikten sonra dikey döküm tezgâhlarında 6", 7", 8", 9", 10" ve 14" çaplarındaki biyete dönüştürülmektedir. Elde edilen biyetler ekstrüzyon üretim birimine gönderilir. Ekstrüzyon üretiminden sonra alüminyum profil elde edilir. Alüminyum profil üretim tesislerinde faaliyet gösteren kalıp üretimi yapan Kalıphânedede, ekstrüzyon profil üretimi gerçekleştirilirken kullanılan ve olmazsa olmaz olan üretim yardımcı araçları kalıpları üretmekte, tamir ve düzeltme işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bu nedenle

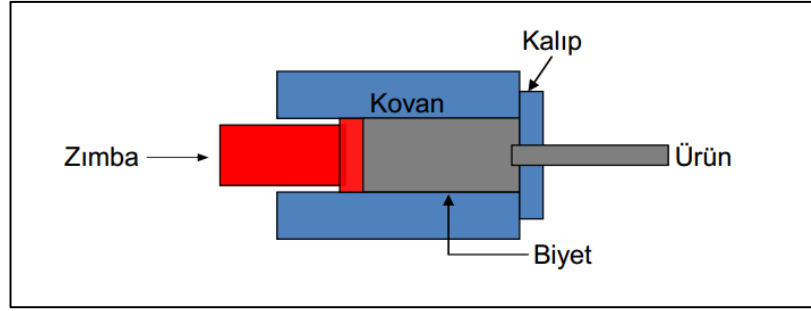
üretim yardımcı aracı olarak kullanılan kalıplar çizilen şemada sisteme yandan giriş yapan bir süreç olarak gösterilmiştir.

Ekstrüzyon işleminden çıkan alüminyum profillerine değer katmak amacıyla müşteri talebine göre mekanik işlemler ve yüzey işlemler olmak üzere çeşitli proseslerden geçmektedir. Müşteri talebi doğrultusunda profiller, mekanik işlem sonrası yüzey işlem ya da yüzey işlem sonrasında mekanik işleme tabi tutulabilmektedir. Bu nedenle çift yönlü ok ile iki operasyon birimi arasında iki yönlü gidiş geliş söz konusudur. Değer katma işlemleri gerçekleşen profiller sevkiyat ve paketleme birimine giderek sevke hazır hale getirilmektedir.

Ekstrüzyon operasyon birimi birbirinin alternatifi olmayan, farklı özellik, işlev ve kapasitede 7 ayrı makineden oluşmaktadır. Bu bağlamda kurulan çizelgeleme modeli tek makinalı akış tipi çizelgeleme modeli olarak kurulmuş ve bu makinelerden biri üzerinde bulunan işler için çalıştırılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Modelin çalışması tek makine üzerinden gösterilmiş olup diğer 6 makine için de aynı model kullanılarak çizelgeleme yapılması hedeflenmiştir.

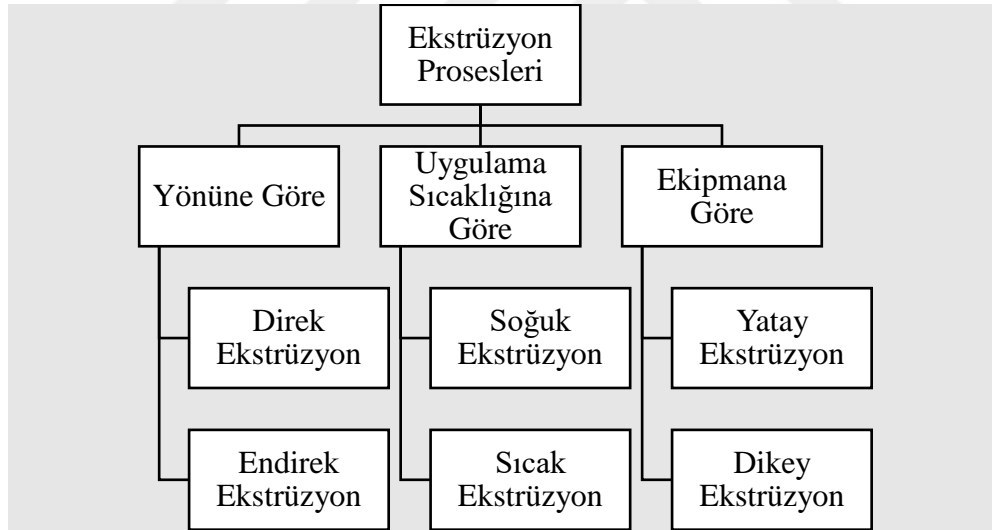
5.1.1. Ekstrüzyon üretimi

Alüminyum ekstrüzyon alüminyuma bir kalıp içinde şekillendirilmiş bir delik boyunca akış için zorlanması ile malzemeye şekil verilmesinin tanımıdır. Ekstrüzyon sonrası kalıbın şekli, alüminyum boyunca uygulanır. Alüminyum ekstrüzyon temel olarak dış macunun tüpünün sıkılıp, çıkan macunun kapak deliğinin şeklini almasına benzetilebilir. Daha teknik bir tanım ile ekstrüzyon, silindirik bir metal bloğun (takoz), bir kovan (alıcı) içine yerleştirilerek ıstampa vasıtasıyla uygulanan basma kuvveti etkisiyle, matris deliğinden geçirilmesine ekstrüzyon denir. Bu üretim yöntemi genellikle hafif metaller Al, Cu, Mg, vb. için uygulanır. Metal bir takoz bir alıcı kovan içine konur bir ıstampa vasıtasıyla metal takozu baskı yapılır. Metal takoz zorla matris adını verdiğimiz kalıp içerisinden geçirilir. Böylece ekstrüzyon yoluyla üretim gerçekleşmiş olur. Şekil 5.2’de tanımlanan ekstrüzyon prosesine ait görsel verilmiştir.



Şekil 5.2. Ekstrüzyon üretimi şematik gösterimi [83]

Ekstrüzyon prosesleri yönüne göre, uygulama sıcaklığına göre ve ekipmana göre sınıflandırılabilir. Şekil 5.3'te ekstrüzyon proseslerinin sınıflandırılması verilmiştir. Ekstrüzyon ile üretilen alüminyum profilleri; nakliye araçları (otomobil, gemi, tren, metro, uçak ve uzay araçları), mimari uygulamalar ve inşaat sektörü (binaların cephe kaplama sistemleri, pencereler, kapılar, çeşitli konstrüksiyonlar) elektrik endüstrisi, makina ve ekipman imali, kimya ve gıda endüstrisinde kullanılmaktadır.



Şekil 5.3. Ekstrüzyon prosesi sınıflandırılması [84]

Ekstrüzyon, aynı zamanda, bir kesit düşürme işlemidir. Alüminyum biyetin kesiti, alüminyum profilin kesitine dönüştürülmektedir. Bu nedenle, kullanılan biyetin kesiti, üretilen profil kesitine yüzey ölçümü olarak ne kadar yakın ise, işlem o kadar kolay olur. Bu gerçek, profil kalıplarının dizaynına, üretim yapılan presin seçimine (kuvvetine, kovan çapına) gibi birçok teknik parametreyi ortaya çıkarır. Sonuç olarak,

ince ve küçük kesitli profillerin üretimi için küçük ölçüde biyet ve dolayısı ile ona uygun kuvvette pres gereklidir.

Büyük profiller için de, büyük ölçülerde kalıp, biyet ve pres gereklidir. Küçük profiller, büyük preslerde, büyük biyetler kullanılarak üretilmek istendiğinde, zaman ve enerji kaybına, ve verimin düşmesine neden olunur. Buna karşılık, büyük kesitli profiller ise; küçük preslerde, küçük biyetler ile çoğu zaman hiç üretilmez.

5.1.2. Mevcut üretim planlama sistemi

Alüminyum Profil Üretim Tesisi planlama faaliyetlerini, Üretim Planlama ve Lojistik Müdürlüğü departmanı altında sürdürmektedir. Mevcut planlama departmanında üretim çizelgeleme faaliyetleri sadece Ekstrüzyon üretim birimi için yapılmaktadır.

Dökümhane birimi satış ve planlama biriminden belirlenen alışım bazlı stok seviyelerine göre üretimlerini planlamakta ve gerçekleştirmektedir. Mevcut durumda çizelgeleme faaliyetleri yapılmamaktadır.

Ekstrüzyon biriminde ise planlama birimi tarafından Excel üzerinde formüllü bir dosya ile her gün ilerideki 3 gün için günlük çizelgeleme gerçekleştirilmektedir. Planlama departmanı tarafından oluşturulan üretim planı ekstrüzyon üretim departmanında bulunan ilgili kişi tarafından vardiya bazlı çizelgenmektedir. Üretim planlama ve kontrol sürecinde bulunan kontrol aşaması gerçekleştirilmeden sipariş bilgileri her gün 3 günlük plan şeklinde yapıp yayınlanmaktadır.

Yüzey ve mekanik işlemler birimlerinde ise herhangi bir çizelgeleme faaliyeti bulunmamaktadır. Bu birimler ekstrüzyon üretimi tamamlanmış profiller üzerinden günlük yayınlanan yarımamul iş yükü raporuna göre termin tarihi, satış temsilcileri veya planlamadan gelen aciliyet bilgileri doğrultusunda iş sıralamalarını yapmakta ve üretimlerini gerçekleştirmektedirler.

Mevcut planlama sisteminde görüldüğü üzere, üretim çizelgeleme sadece ekstrüzyon birimi için yapılmaktadır. Ekstrüzyon üretim birimi Alüminyum fabrikasında en önemli, en kritik ve darboğaz iş yerlerinden biridir. Kullanılan çizelgeleme yöntemi, formüllü excel yöntemi ile yapılmaktadır. Bu excel dosyasında öncelikle her gün veri güncelleme işlemleri yapılıyor. (Kalıp durumları, sipariş durumları, aciliyet durumları

vs.) güncellemeler manuel olarak yapıldıktan sonra bu excel listesinde başlangıç öncelik kuralı termin tarihi olacak şekilde bu kurala ilave, kalıp durumları ve alışım gruplama kuralları da manuel olarak dikkate alınıyor ve çizelgeleniyor. Yapılan planlama çizelgesi, herhangi bir amaç fonksiyonu doğrultusunda çizelgelenmemektedir. Ayrıca dikkate manuel olarak alınan kurallar herhangi bir matematiksel modele dayandırılmamaktadır. Çizelgeyi yapan kişinin liste güncellemesi ve dikkate alınan kurallara göre 3 günlük planı çıkartması 4,5-5 saat arasında değişmektedir. Yapılan bu çalışmada ise genetik algoritma kullanılarak, işletmenin kısıtlarına, firmanın ortak amaçlarına ulaşmasını sağlayacak amaç fonksiyonları doğrultusunda çizelgeleme modeli kurulmuştur. Kurulan bu çizelgeleme modeli, preslere ait altın özellikleri revize edilerek her makine için kullanılabilir model olarak kurulmuştur. Ayrıca çalışmada belirlenen amaç fonksiyonları doğrultusunda çizelgeleme modelinin optimizasyonunu etkileyen öncelik kuralları ağırlıklandırılarak fiili duruma en yakın plan elde edilmesi sağlanmıştır. Uygulamada kullanılan öncelik ağırlıklandırma yöntemleri karşılaştırılarak en uygun yöntem karar verilmiştir.

5.2. Uygulama Problemi

5.2.1. Problem tanımı

Yapılan bu çalışmada daha önceki bölümlerde de anlatıldığı üzere Alüminyum Ekstrüzyon üretim tesislerinde bulunan 7 pres için tek makinalı çok ölçütlü akış tipi iş sıralama modeli oluşturulmuştur. Optimum iş sıralama modeli, ekstrüzyon preslerinin herhangi birine kolayca entegre olabilmektedir. Üretim biriminde bulunan pres makinalarını birbirinden ayıran özellik ise makinalara ait üretim kabiliyetidir. Tablo 5.1’de ekstrüzyon iş yerine ait presler ve basma kabiliyetleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Ekstrüzyon presleri ve pres basma kabiliyetleri

Pres No	Pres	Prese Ait Basma Kabiliyeti (MN)
1	Pres A	1250
2	Pres B	1320
3	Pres C	1600
4	Pres D	2200
5	Pres E	2700
6	Pres F	3500
7	Pres G	5500

Presleri birbirinden ayıran temel kabiliyet özelliği Tablo 5.1’de verilen pres güçleridir. Bunların yanında diğer kabiliyet özellikleri ise, işlenen profil çapı, profil gramajı (max-min), ekstrüzyon oranı, çalışma basıncı vb. bir çok teknik özellik bulunmaktadır. Yeni siparişlerin alınması durumlarında sipariş özellikleri kontrol edilerek ilgili pres makinalarına atanır. Dolayısıyla sıralanacak işlere ait iş yerleri de önceden bilinmektedir. Önceden bilinen ve alternatif makine durumu söz konusu olmadığından problem tek makineli bir çizelgeleme problemi olarak ele alınmış ve diğer makineler için de aynı model uygulanmıştır. Preslere ait günlük 24 sa/gün ve haftalık 7gün/hafta şeklinde planlama optimizasyonuna dâhil edilmiştir.

Yapılan iş sıralama algoritması, sıralama parametreleri ve genetik algoritma parametrelerine göre oluşturulmuştur. İş sıralamada modele ait kabuller, amaç fonksiyonları, iş sıralama öncelikleri ve kısıtlarından oluşmaktadır. Genetik algoritma parametreleri ise sırasıyla, popülasyon büyüklüğü, problemin boyutu, çaprazlama olasılığı, mutasyon olasılığı ve durdurma kriteridir.

Üretim kapasitesini belirleyen en önemli etken ürünlerin pres makinalarında üretim hızlarıdır. Zor bir ürün pres makinalarında yavaş üretilirken, daha kolay bir ürün daha hızlı üretilebilmektedir. Bu durum da üretim tonajı bazlı kapasite kısıtlamasının pres makinalarında mevcut kapasiteden düşük ya da az iş yükü yükleme risklerine ve yanlış planlamalara yol açabilmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında kapasite makinaların günlük çalışabildiği saatler üzerinden hesaplanmıştır.

5.2.2. İş sıralama parametreleri

Oluşturulan iş sıralama optimizasyon modelinin temel taşları olan ve farklı ağırlıklandırma yöntemleriyle değerlendirilerek sonuçlara etkisi araştırılan öncelik kuralları Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Probleme ait öncelik kuralları

Ö.K. No	Öncelik Kuralı	İş Sıralama Öncelik Kural Açıklaması
1	Teslim Tarihi	En erken teslim tarihine sahip olan iş ilk önce işlem görür.
2	İşlem Süresi	En uzun işlem sahibine olan iş önce seçilir.
3	Müşteri Önceliği	Önem sırası öncelikli olan müşteri siparişini önce planlanacak.
4	Hazırlık Süresi	Ürün geçişleri arası bekleme süresi az olan işler arka arkaya planlanır.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde oluşturulan uzman karar vericiler tarafından birbirinden farklı ağırlıklandırma yöntemleri kullanılarak modele etki düzeyleri belirlenmiş ve karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Çizelgeleme optimizasyonunda belirli başlı kabuller alınarak çalıştırılmaktadır. Bu kabuller Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Çizelgeleme modeline ait kabuller

Kabul No	Kabul Açıklaması
1	Bir tezgâh aynı anda sadece bir tane işlem yapabilir.
2	Her bir işin belirli ve sabit bir işlem görme süresi vardır.
3	İş sayısı biliniyor ve sabittir.
4	İşlem zamanları biliniyor ve sabittir.
5	Makinaların çizelgeleme periyodu süresince sürekli çalıştığı varsayılmaktadır
6	Üretim yapılan tezgâh kuyruğunda iş mevcut olduğu sürece boş kalmaz.
7	Her iş mutlaka bitirilmelidir. Yani bir iş tamamen bitmeden tezgâhtan ayrılamaz
8	İhtiyaç duyulacak diğer parametreler baştan beri bilinmektedir.
9	Arıza kaynaklı duruş yoktur.
10	Malzeme hurda durumu %0 olarak kabul edilmiştir.

Çok ölçütlü iş sıralama optimizasyon modeli kurulabilmesi ve analiz yapılabilmesi için, öncelik kurallarına paralel olacak hedef fonksiyonlar oluşturulmuştur.

Toplamda oluşturulan beş farklı amaç fonksiyonu, amaç fonksiyonlarının önem ağırlıkları da işleme dâhil edilerek fayda fonksiyonu altında birleştirilmiştir. Bu beş amaç fonksiyonu sırasıyla Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4. Öncelik kuralları doğrultusunda hedeflenen amaçlar

A.F. No	Referans Öncelik Kuralı	Fonksiyon Sözel İfadesi
1	Teslim Tarihi	Toplam Geciken İş sayısı Minimizasyonu
2	Teslim Tarihi	Ort. Gecikme Süresi Minimizasyonu
3	İşlem Süresi	Ort. Akış Süresi Minimizasyonu
4	Müşteri Önceliği	Ortalama Ceza Maliyetleri Minimizasyonu
5	Hazırlık Süresi	Toplam Harcanan Hazırlık Süresi Minimizasyonu

Amaç fonksiyonlarına bakıldığında hepsi minimizasyonu hedeflemektedir. Yapılan çalışmanın amacı pres makinelerinin önünde bulunan iş yüklerine ait kabul edilen öncelik ve hedeflenen amaç fonksiyonları doğrultusunda optimum iş sıralamasının elde edilmesidir.

5.2.3. Genetik algoritma parametreleri

Optimizasyon modelinde sırasıyla, doğal seçim, çaprazlama ve mutasyon genetik işlemleri uygulanmıştır. Çalışmada yapılan iş sıralama problemi doğrultusunda Tablo 5.5'te uygulanan genetik işlemler ve kullanılan yöntemler verilmiştir.

Tablo 5.5. Genetik işlemler ve kullanılan yöntemler

Genetik İşlemler	Seçilen Yöntem
Kodlama Yönt.	Permütasyon Kodlama
Üreme (Seçilim) Yönt.	Rulet Çarkı Yöntemi
Çaprazlama Yönt.	PMX Çaprazlama Yöntemi
Mutasyon Yönt.	Değer Değiştirme Yöntemi
Durdurma Kriteri	İterasyon Sayısı

İş sıralama ve gezgin satıcı problemlerinde kromozom zincirlerinin kodlanmasında genellikle kullanılan yöntem permütasyon kodlamadır. Kromozom zinciri numaralardan oluşmaktadır. Her bir numara problemdeki sıralanacak işi temsil etmektedir. Doğal seçim yöntemlerinden ise, rulet çarkı yöntemi seçilerek kromozomların uygunluk değerleri ile seçilme olasılıkları belirlenmiştir. Uygulanan çaprazlama yöntemi ise kısmi eşleşmeli çaprazlama yöntemi olarak belirlenmiştir. Aynı kromozom dizisi içerisinde tekrarlı gen bulunmaması şartı nedeniyle iş sıralama problemlerinde de kullanılmaktadır. Mutasyon işleminde kullanılan yöntem, gen

değiştirme yöntemidir. Son olarak durdurma kriteri ise iterasyon sayısı olarak belirlenmiştir. Atanacak iterasyon sayısı boyunca çözüm kümesi, genetik işlemlere tekrar tekrar giderek optimize edilir.

Uygulanan genetik işlemlere ait parametreler ise Tablo 5.6'da verilmiştir. Verilen parametreler optimizasyonun ilk çalışma halinde kullanılmıştır. Genetik algoritma uygulama kısmında parametrelerde meydana gelecek değişikliklerin analizi ve değerlendirmeleri ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 5.6. Genetik algoritma parametreleri

GA Parametreleri	Seçilen Parametre Oranları
Popülasyon Büyüklüğü	4
Problemin Boyutu	20
Çaprazlama Olasılığı	0,90
Mutasyon Olasılığı	0,008
İterasyon Sayısı	<10

Tablo 5.6'ya bakıldığında çalıştırılan optimizasyon 4 farklı kromozom çözüm zinciri üzerinden optimize edilecektir. Algoritma çıktısı 4 farklı çözüm arasındaki amaç fonksiyonları doğrultusunda en iyisini sunacaktır. Problem boyutu ise 20 iş üzerinden sıralama yapacağını gösterecektir. Problem boyutu optimizasyona sokmak istediğimiz işlerin sayısıdır. Çaprazlama olasılığı başlangıç olarak 0,90 mutasyon olasılığı ise 0,008 olarak alınmıştır. Son olarak iterasyon sayısı, algoritmanın 9 kez içinde bulundurduğu döngülerden geçerek yeni çözüm arayacağını belirtmektedir.

5.3. Kriter Ağırlıklandırma Aşaması

Çalışmanın bu aşamasında, üretimin daha verimli ilerlemesini, müşterinin ihtiyaçlarının zamanında giderilmesini ve çalıştırılan optimizasyonun firmanın stratejik hedeflerine yönelik sıralanan işler çıktısına dönüşmesini sağlayan alt amaç fonksiyonlarına ait önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Belirlenen bu alt amaç fonksiyonları beş farklı uzman karar verici tarafından dört farklı kriter ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Ağırlıklandırma yöntemlerinde ağırlıklandırılan değişkenlere kriter adı verilmekte olup, problemdeki ağırlıklandırılan kriterler de alt amaç fonksiyonları olacaktır.

Yöntemlere ait kriter ağırlık sonuçları optimizasyonda modelinde güncellenerek, öncelik kurallarının önem ağırlığındaki değişimin optimizasyona olan etkisi değerlendirilmiştir. Karar verme ekibi, iki planlama mühendisi, iki planlama yöneticisi ve bir planlama müdüründen oluşmaktadır.

Tablo 5.7’de kriterleri değerlendiren karar verici ekibi verilmiştir. Kullanılan kriter ağırlıkları yöntemleri sırasıyla; eşit ağırlıklandırma yöntemi, max100 yöntemi, saaty’nin ikili karşılaştırma yöntemi ve son olarak swara yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 5.7. Probleme ait uzman karar verici ekibi

KV No	Görev
K.V.1	Planlama Müdürü
K.V.2	Planlama Yöneticisi
K.V.3	Planlama Yöneticisi
K.V.4	Planlama Mühendisi
K.V.5	Planlama Mühendisi

Çalışma kapsamında kullanılan yöntemler sırasıyla açıklanmıştır.

5.3.1. Eşit ağırlıklandırma yöntemi

Eşit ağırlıklandırma yönteminde bölüm 4’te de anlatıldığı üzere, tüm ölçütler eşit önem düzeyine sahiptir. Ölçütlere ait Denklem (4.1) ile hesaplanan önem ağırlıkları Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.8. Eşit ağırlıklandırma yöntemiyle hesaplanan ölçüt önem ağırlıkları

K. No	Kriterler	Toplam Ort. Kriter Ağ.
1	Toplam geciken iş sayısı	0,200
2	Ortalama gecikme süresi	0,200
3	Ortalama akış süresi	0,200
4	Ortalama ceza maliyetleri minimizasyonu	0,200
5	Toplam harcanan hazırlık süresi	0,200

Denklem (4.1)’de bulunan n sayısı 5’e eşittir. Eşitlik sonucunda tüm kriterler 0,200 kriter ağırlık önemine sahip olarak bulunmuştur.

Tüm kriterler optimizasyona aynı düzeyde etki edeceklerdir. Aynı düzeyde etki etmesi, şirket olarak daha önemli bir kriterin etkisini azaltmakta veya tam tersi önemi düşük bir kriteri ise daha önemli durumda gösterebilir. Çalışmada bu yöntem daha çok kriter ağırlıklandırmanın uygunluk (fayda) fonksiyonuna etkisini gösterebilmek adına tercih edilmiştir.

5.3.2. Max 100 yöntemi

Yöntemde karar vericiler ilk olarak önem düzeyi en yüksek kritere 100 puanı atar ve diğer kriterlere ise onluk aralıklar ile 0-99 arasında değer verirler.

Karar vericiler tarafından kriterlere atanmış olan puanlar Tablo 5.9’da verilmiştir.

Tablo 5.9. Max 100 yöntemine göre karar verici puanları

Öncelik Kriterleri	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
Toplam Geciken İş Sayısı	90	100	100	90	100
Ortalama Gecikme Süresi	70	90	60	80	90
Ortalama Akış Süresi	100	80	80	30	60
Ortalama Ceza Maliyetleri Minimizasyonu	50	50	50	70	70
Toplam Harcanan Hazırlık Süresi	40	60	70	50	50

Tablo 5.9’a göre, K.V.2, K.V.3 ve K.V.4’e göre en önemli kriter toplam geciken iş sayısı iken, K.V.1’e göre ortalama akış süresi olmuştur.

Karar vericilerin verdikleri puanlar doğrultusunda her bir kriterin ağırlık değerleri Tablo 5.10’da karar verici bazında verilmiştir.

Tablo 5.10. Karar vericilere ait kriter ağırlıkları

Öncelik Kriterleri	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
Toplam Geciken İş Sayısı	0,257	0,263	0,278	0,281	0,270
Ortalama Gecikme Süresi	0,200	0,237	0,167	0,250	0,243
Ortalama Akış Süresi	0,286	0,211	0,222	0,094	0,162
Ortalama Ceza Maliyetleri	0,143	0,132	0,139	0,219	0,189
Toplam Harcanan Hazırlık Süresi	0,114	0,158	0,194	0,156	0,135

Yöntemin diğer bir aşaması ise tüm kriter puanları toplanarak toplam kriter puanlarının elde edilmesidir. Tablo 5.11’de toplam kriter puanları verilmiştir.

Tablo 5.11. Toplam kriter puanları

Ö.K. No	Öncelik Kriteri	Toplam Kriter Puanları
1	Toplam geciken iş sayısı	480
2	Ortalama gecikme süresi	390
3	Ortalama akış süresi	350
4	Ortalama ceza maliyetleri	290
5	Toplam harcanan hazırlık süresi	270

Her bir kriterin toplam içerisindeki ağırlıkları, kriter puanlarının tüm kriterlerin toplam puanlarına oranlanmasıyla elde edilmiştir. Max100 yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 5.12’de gösterilmiştir.

Tablo 5.12. Max 100 yöntemiyle hesaplanan kriter ağırlıkları

Ö.K. No	Öncelik Kriteri	Toplam Ort. Kriter Ağ.
1	Toplam geciken iş sayısı	0,270
2	Ortalama gecikme süresi	0,219
3	Ortalama akış süresi	0,195
4	Ortalama ceza maliyetleri	0,164
5	Toplam harcanan hazırlık süresi	0,152

Yönteme göre hesaplanmış en büyük öneme sahip kriter (alt amaç fonksiyonu) toplam geciken iş sayısı olarak belirlenmiştir. Önem ağırlığı en yüksek olan alt amaç fonksiyonu, optimizasyon modeline en büyük etkiyi sağlayacak kriter olacağını göstermektedir. Diğer alt amaçların önem sırası ise en büyükten en aza sırasıyla, ortalama gecikme süresi, ortalama akış süresi, ortalama ceza maliyeti ve toplam harcanan hazırlık süresi şeklindedir.

5.3.3. Saaty'nin İkili Karşılaştırma Yöntemi

Her bir karar verici için ikili karşılaştırmaları içeren taslak puanlama tabloları oluşturulmuştur. Bu tablolar ile karar vericilerden toplanan veriler sonucunda, her bir karar vericinin puanlarına göre kriter ağırlıkları hesaplanmıştır.

Tüm karar vericiler için hesaplanan ağırlıkların ortalaması alınarak, kriterlerin önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Aşağıdaki Tablo 5.13’te K.V.1’e ait karşılaştırmalar sonucu verilen puanlar yer almaktadır.

Tablo 5.13. K.V.1 ikili karşılaştırma puanları

Karar Verici-1 (KV1)	TGİS	OGS	OAS	TCM	THHS
Toplam Geciken İş Sayısı	1,000	1,000	4,000	5,000	7,000
Ortalama Gecikme Süresi	1,000	1,000	1,000	2,000	6,000
Ortalama Akış Süresi	0,250	1,000	1,000	1,000	1,000
Ortalama Ceza Maliyetleri	0,200	0,500	1,000	1,000	1,000
Toplam Harcanan Hazırlık Süresi	0,143	0,167	1,000	1,000	1,000

K.V.1 tarafından değerlendirilmiş kriterlerin puanlanmasının ardından ağırlıkların hesaplanması için normalize değerler elde edilmiştir. Hesaplanan normalize değerler ve kriterlere ait ağırlıklar Tablo 5.14’te verilmiştir.

Tablo 5.14. K.V.1’e ait normalize değerler ve kriter ağırlıkları

KV1 Normalize Değerleri	TGİS	OGS	OAS	TCM	THHS	W_{K1}
Toplam Geciken İş Sayısı	0,386	0,273	0,500	0,500	0,438	0,419
Ortalama Gecikme Süresi	0,386	0,273	0,125	0,200	0,375	0,272
Ortalama Akış Süresi	0,096	0,273	0,125	0,100	0,063	0,131
Ortalama Ceza Maliyetleri	0,077	0,136	0,125	0,100	0,063	0,100
Toplam Harcanan Hazırlık Süresi	0,055	0,045	0,125	0,100	0,063	0,078

Karar verici 1’e göre en önemliden en az önemliye doğru alt amaç fonksiyonları, toplam geciken iş sayısı, ortalama gecikme süresi, ortalama akış süresi, ortalama ceza maliyetleri ve toplam harcanan süre olarak sıralanmıştır.

Tablo 5.15’te K.V.2 tarafından yapılan ikili karşılaştırmalar sonucunda oluşturulmuş kriter puanları verilmiştir.

Tablo 5.15. K.V.2 ikili karşılaştırma puanları

Karar Verici-2 (KV2)	TGİS	OGS	OAS	TCM	THHS
Toplam Geciken İş Sayısı	1,000	3,000	3,000	3,000	9,000
Ortalama Gecikme Süresi	0,333	1,000	1,000	3,000	3,000
Ortalama Akış Süresi	0,333	1,000	1,000	1,000	9,000
Ortalama Ceza Maliyetleri	0,333	0,333	1,000	1,000	7,000
Toplam Harcanan Hazırlık Süresi	0,111	0,333	0,111	0,143	1,000

K.V.2 tarafından değerlendirilmiş kriterlerin puanlanmasının ardından ağırlıkların hesaplanması için normalize değerler elde edilmiştir. Hesaplanan değerler Tablo 5.16’da verilmiştir.

Tablo 5.16. K.V.2’ye ait normalize değerler ve kriter ağırlıkları

KV2 Normalize Değerleri	TGİS	OGS	OAS	TCM	THHS	W_{K2}
Toplam Geciken İş Sayısı	0,474	0,529	0,491	0,368	0,310	0,435
Ortalama Gecikme Süresi	0,158	0,176	0,164	0,368	0,103	0,194
Ortalama Akış Süresi	0,158	0,176	0,164	0,123	0,310	0,186
Ortalama Ceza Maliyetleri	0,158	0,059	0,164	0,123	0,241	0,149
Toplam Harcanan Hazırlık Süresi	0,053	0,059	0,018	0,018	0,034	0,036

İkinci karar vericiye göre en önemli alt amaç fonksiyonu toplam geciken iş sayısı olduğu görülmüştür. Diğer kriterler kendi arasında ise ortalama gecikme süresi, ortalama akış süresi, ortalama ceza maliyetleri ve toplam harcanan hazırlık süresi olarak sıralanmıştır. Toplam geciken iş sayısı kriteri, kendinden bir sonraki diğer kriterlerden büyük bir farkla en önemli ağırlığa sahiptir. Son üç kriter ise birbirlerine yakın ağırlıklar almışlardır.

Tablo 5.17. K.V.3 ikili karşılaştırma puanları

Karar Verici-3 (KV3)	TGİS	OGS	OAS	TCM	THHS
Toplam Geciken İş Sayısı	1,000	3,000	1,000	5,000	5,000
Ortalama Gecikme Süresi	0,333	1,000	0,200	1,000	3,000
Ortalama Akış Süresi	1,000	5,000	1,000	5,000	5,000
Toplam Ceza Maliyetleri	0,200	1,000	0,200	1,000	2,000
Toplam Harcanan Hazırlık Süresi	0,200	0,333	0,200	0,500	1,000

K.V.3 tarafından değerlendirilmiş kriterlerin puanlanmasının ardından ağırlıkların hesaplanması için normalize değerler elde edilmiştir. Hesaplanan normalize değerler ve kriterlere ait ağırlıklar Tablo 5.18’de verilmiştir.

Tablo 5.18. K.V.3’e ait normalize değerler ve kriter ağırlıkları

KV3 Normalize Değerleri	TGİS	OGS	OAS	TCM	THHS	W_{K3}
Toplam Geciken İş Sayısı	0,366	0,290	0,385	0,400	0,313	0,351
Ortalama Gecikme Süresi	0,122	0,097	0,077	0,080	0,188	0,113
Ortalama Akış Süresi	0,366	0,484	0,385	0,400	0,313	0,389
Ortalama Ceza Maliyetleri	0,073	0,097	0,077	0,080	0,125	0,090
Toplam Harcanan Hazırlık Süresi	0,073	0,032	0,077	0,040	0,063	0,057

Karar verici üçe göre en önemli kriter, ortalama akış süresi olarak belirlenmiştir. Sonrasında ise toplam geciken iş sayısı, ortalama gecikme süresi, ortalama ceza maliyetleri ve toplam harcanan hazırlık süresi olarak sıralanmıştır. Dördüncü karar vericiye ait değerlendirmeler Tablo 5.19 ile paylaşılmıştır.

Tablo 5.19. K.V.4 ikili karşılaştırma puanları

Karar Verici-4 (KV4)	TGİS	OGS	OAS	TCM	THHS
Toplam Geciken İş Sayısı	1,000	5,000	7,000	9,000	3,000
Ortalama Gecikme Süresi	0,200	1,000	3,000	5,000	2,000
Ortalama Akış Süresi	0,143	0,333	1,000	3,000	1,000
Ortalama Ceza Maliyetleri	0,111	0,200	0,333	1,000	0,333
Toplam Harcanan Hazırlık Süresi	0,333	0,500	1,000	3,000	1,000

K.V.4 tarafından değerlendirilmiş kriterlerin puanlanmasının ardından ağırlıkların hesaplanması için normalize değerler elde edilmiştir. Hesaplanan normalize değerler ve kriterlere ait ağırlıklar Tablo 5.20’de verilmiştir.

Tablo 5.20. K.V4’e ait normalize değerler ve kriter ağırlıkları

KV4 Normalize Değerleri	TGİS	OGS	OAS	TCM	THHS	W_{K4}
Toplam Geciken İş Sayısı	0,560	0,711	0,568	0,429	0,409	0,535
Ortalama Gecikme Süresi	0,112	0,142	0,243	0,238	0,273	0,202
Ortalama Akış Süresi	0,080	0,047	0,081	0,143	0,136	0,098
Ortalama Ceza Maliyetleri	0,062	0,028	0,027	0,048	0,045	0,042
Toplam Harcanan Hazırlık Süresi	0,187	0,071	0,081	0,143	0,136	0,124

Karar verici dört için en önemli kriter, toplam geciken iş sayısı olarak analiz edilmiştir. Son karar vericiye ait değerlendirme puan sonuçları ise Tablo 5.21’de verilmiştir.

Tablo 5.21. K.V.5 için ikili karşılaştırma puanları

Karar Verici-5 (KV5)	TGİS	OGS	OAS	TCM	THHS
Toplam Geciken İş Sayısı	1,000	1,000	1,000	3,000	5,000
Ortalama Gecikme Süresi	1,000	1,000	3,000	7,000	3,000
Ortalama Akış Süresi	1,000	0,333	1,000	3,000	7,000
Ortalama Ceza Maliyetleri	0,333	0,143	0,333	1,000	1,000
Toplam Harcanan Hazırlık Süresi	0,200	0,333	0,143	1,000	1,000

K.V.5 tarafından değerlendirilmiş kriterlerin puanlanmasının ardından ağırlıkların hesaplanması için normalize değerler elde edilmiştir. Hesaplanan normalize değerler ve kriterlere ait ağırlıklar Tablo 5.22’de verilmiştir.

Tablo 5.22. K.V5’e ait normalize değerler ve kriter ağırlıkları

KV5 Normalize Değerleri (A)	TGİS	OGS	OAS	TCM	THHS	W_{K5}
Toplam Geciken İş Sayısı	0,283	0,356	0,183	0,200	0,294	0,263
Ortalama Gecikme Süresi	0,283	0,356	0,548	0,467	0,176	0,366
Ortalama Akış Süresi	0,283	0,119	0,183	0,200	0,412	0,239
Ortalama Ceza Maliyetleri	0,094	0,051	0,061	0,067	0,059	0,066
Toplam Harcanan Hazırlık Süresi	0,057	0,119	0,026	0,067	0,059	0,065

Beşinci karar vericinin kriterler arasında yaptığı karşılaştırmalar sonucunda en önemli kriter, ortalama akış süresi olarak belirlenmiştir. İkinci önem ağırlığına sahip kriter ise toplam geciken iş sayısı olmak üzere kalan kriterler, ortalama gecikme süresi, ortalama ceza maliyeti ve toplam harcanan hazırlık süresi olacak şekilde sıralanmaktadır. Karar verici 5’e göre son iki kriter eşit önem ağırlığına sahip olarak değerlendirilmiştir.

Toplamda beş karar verici tarafından yapılmış olan kriter ağırlıklandırma işleminin doğruluğunu ve ikili karşılaştırmaların birbirleriyle tutarlı olup olmadığına dair kontrol yapmak için karar verici bazında CR (tutarlılık oranı) değerleri hesaplanmıştır. Her bir kritere ait tutarlılık oranları Tablo 5.23’te verilmiştir.

Tablo 5.23. Karar verici değerlendirmelerine ait CR oranları

	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
CR	0,09	0,09	0,04	0,08	0,08

Tablo 5.23’e bakıldığında, tüm karar vericiler için hesaplanmış olan tutarlılık oranları 0,10 değerinden küçük olduğu görülmektedir. Bu bağlamda karar vericilerin yaptıkları karşılaştırmaların tutarlı oldukları görülmektedir.

Tüm karar vericilerin değerlendirdiği ağırlıklandırmaların ortalaması alınarak bu yöntemde ait temsili kriter önem ağırlıkları elde edilmiştir. Tablo 5.24’te ikili karşılaştırma yöntemine ait kriter ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 5.24. İkili karşılaştırma yöntemine göre kriter ağırlıkları

Kriterler	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	Ortalama Kriter Ağırlığı
Toplam Geciken İş Sayısı	0,419	0,435	0,351	0,535	0,263	0,401
Ortalama Gecikme Süresi	0,272	0,194	0,113	0,202	0,366	0,229
Ortalama Akış Süresi	0,131	0,186	0,389	0,098	0,239	0,209
Ortalama Ceza Maliyetleri	0,100	0,149	0,090	0,042	0,066	0,090
Toplam Harcanan Hazırlık Süresi	0,078	0,036	0,057	0,124	0,065	0,072

Kriterlerin değerlendirmelerinin yapıldığı bu yöntem de ait önem ağırlıkları en çoktan en aza sırasıyla, toplam geciken iş sayısı, ortalama gecikme süresi, ortalama akış süresi, ortalama ceza maliyetleri ve harcanan toplam hazırlık süresi olarak belirlenmiştir.

5.3.4. Swara Yöntemi

Çalışma kapsamında kriterlere ait önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan son yöntem değerlendirmeleri yapılmıştır.

Yönteme ait uygulama adımlarının ilki kriterlerin uzman karar vericiler tarafından sıralanmasıdır. Önem sırasına göre kriter sıralamaları Tablo 5.25'te verilmiştir.

Tablo 5.25. Swara yöntemine ait kriter sıralamaları

Kriterler	K.V.1	K.V.2	K.V.3	K.V.4	K.V.5
Toplam geciken iş sayısı	2	1	1	1	1
Ortalama gecikme süresi	3	2	3	2	2
Ortalama akış süresi	1	3	2	5	4
Ortalama ceza maliyetleri	4	5	5	3	3
Toplam harcanan hazırlık süresi	5	4	4	4	5

Yöntemin ikinci aşamasında, önem farkları olarak adlandırılan S_j değişkeni belirlenmektedir. Karar vericiler sıraladıkları kriterleri yüzde beşlik aralıklarla, her kriter kendinden bir önceki kriterle kıyaslayacak şekilde puan katları verilir.

Tablo 5.26'da bu adım tüm karar vericiler tarafından yapılmıştır.

Tablo 5.26. Swara yöntemine ait kriter önem farkları

KV1	Sıra	Sj	KV2	Sıra	Sj	KV3	Sıra	Sj	KV4	Sıra	Sj	KV5	Sıra	Sj
OAS	1	-	TGİS	1	-	TGİS	1	-	TGİS	1	-	TGİS	1	-
TGİS	2	0,80	OGS	2	0,85	OAS	2	0,95	OGS	2	0,95	OGS	2	0,95
OGS	3	0,75	OAS	3	0,75	OGS	3	0,90	TCM	3	0,85	TCM	3	0,90
TCM	4	0,60	THHS	4	0,60	THHS	4	0,70	THHS	4	0,80	OAS	4	0,85
THHS	5	0,35	TCM	5	0,45	TCM	5	0,75	OAS	5	0,70	THHS	5	0,55

Yöntemin üçüncü adımında kriterlere ait katsayılar belirlenmektedir. Bu aşamada karar vericilere göre en önemli kriterlere 1 katsayısı atanmıştır. Diğer kriterlere ait katsayılar ise dördüncü bölümde verilen denkleme göre hesaplanmıştır. Kriter katsayılarının ardından sırasıyla kriter önem vektörleri ve kriter ağırlıkları bulunmuştur. Her bir karar verici için hesaplanan kriter katsayıları, önem vektörleri ve ağırlıklar aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 5.27. Swara yöntemine ait kriter katsayıları K.V.1

KV1	Sıra	Sj	Kj	Qj	Wj
Ortalama akış süresi	1	-	1,00	1,000	0,451
Toplam geciken iş sayısı	2	0,80	1,80	0,556	0,250
Ortalama gecikme süresi	3	0,75	1,75	0,317	0,143
Ortalama ceza maliyetleri	4	0,60	1,60	0,198	0,089
Toplam harcanan hazırlık süresi	5	0,35	1,35	0,147	0,066

Tablo 5.27’de K.V.1’e ait yöntem sonuçları paylaşılmıştır. K.V.1’e göre kriter sıralamaları en önemliden az önemliye, ortalama akış süresi, toplam geciken iş sayısı, ortalama gecikme süresi, ortalama ceza maliyetleri ve toplam harcanan hazırlık süresidir. Tablo 5.28’de K.V.2 yöntem sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.28. Swara yöntemine ait kriter katsayıları K.V.2

KV2	Sıra	Sj	Kj	Qj	Wj
Toplam geciken iş sayısı	1	-	1,00	1,000	0,460
Ortalama gecikme süresi	2	0,85	1,85	0,541	0,248
Ortalama akış süresi	3	0,75	1,75	0,309	0,142
Toplam harcanan hazırlık süresi	4	0,60	1,6	0,193	0,089
Toplam ceza maliyetleri	5	0,45	1,45	0,133	0,061

Tablo 5.28’de K.V.2’ye göre kriter sıralamaları en önemliden az önemliye, toplam geciken iş sayısı, ortalama gecikme süresi, ortalama akış süresi, toplam harcanan hazırlık süresi ve ortalama ceza maliyetleridir.

Tablo 5.29. Swara yöntemine ait kriter katsayıları K.V.3

KV3	Sıra	Sj	Kj	Qj	Wj
Toplam geciken iş sayısı	1	-	1,00	1,000	0,492
Ortalama akış süresi	2	0,95	1,95	0,513	0,252
Ortalama gecikme süresi	3	0,90	1,9	0,270	0,133
Toplam harcanan hazırlık süresi	4	0,70	1,7	0,159	0,078
Ortalama ceza maliyetleri	5	0,75	1,75	0,091	0,045

Tablo 5.29’da K.V.3 sonuçları paylaşılmıştır. Swara yönteminde K.V.3’e göre kriter sıralamaları en önemliden az önemliye, toplam geciken iş sayısı, ortalama akış süresi, ortalama gecikme süresi, toplam harcanan hazırlık süresi ve ortalama ceza maliyetleri olarak sıralanmıştır.

Tablo 5.30. Swara yöntemine ait kriter katsayıları K.V.4

KV4	Sıra	Sj	Kj	Qj	Wj
Toplam geciken iş sayısı	1	-	1,00	1,000	0,491
Ortalama gecikme süresi	2	0,95	1,95	0,513	0,252
Ortalama ceza maliyetleri	3	0,85	1,85	0,277	0,136
Toplam harcanan hazırlık süresi	4	0,80	1,8	0,154	0,076
Ortalama akış süresi	5	0,70	1,7	0,091	0,045

Tablo 5.30’da K.V.4 sonuçları paylaşılmıştır. Swara yönteminde K.V.4’e göre kriter sıralamaları en önemli toplam geciken iş sayısı iken, en az öneme sahip olan ise ortalama akış süresidir.

Tablo 5.31. Swara yöntemine ait kriter katsayıları K.V.5

Kriterler	Sıra	Sj	Kj	Qj	Wj
Toplam geciken iş sayısı	1	-	1,000	1,000	0,494
Ortalama gecikme süresi	2	0,95	1,950	0,513	0,254
Ortalama ceza maliyetleri	3	0,90	1,900	0,270	0,133
Ortalama akış süresi	4	0,85	1,850	0,146	0,072
Toplam harcanan hazırlık süresi	5	0,55	1,550	0,094	0,047

Tablo 5.30’da K.V.5 sonuçları paylaşılmıştır. Swara yönteminde K.V.5’e göre kriter sıralamaları en önemliden az önemliye, toplam geciken iş sayısı, ortalama gecikme

süresi, ortalama ceza maliyetleri, ortalama akış süresi ve toplam harcanan hazırlık süresidir.

Yönteme göre tüm karar vericiler tarafından kriter önem ağırlıkları belirlenmiştir. Belirlenen bu kriter önem ağırlıkları bir araya getirilerek Tablo 5.32’de paylaşılmıştır. Aynı zamanda karar vericiler tarafından değerlendirilen ağırlıklardan yola çıkılarak yönetime ait toplam kriter ağırlıkları bulunmuştur.

Tablo 5.32. Swara yöntemine ait ortalama kriter ağırlıkları

Kriterler	K.V.1	K.V.2	K.V.3	K.V.4	K.V.5	Ortalama Kriter Ağırlıkları
Toplam geciken iş sayısı	0,250	0,460	0,492	0,491	0,494	0,438
Ortalama gecikme süresi	0,143	0,248	0,133	0,252	0,254	0,206
Ortalama akış süresi	0,451	0,142	0,252	0,045	0,072	0,192
Ortalama ceza maliyetleri	0,089	0,061	0,045	0,136	0,133	0,093
Toplam harcanan hazırlık süresi	0,066	0,089	0,078	0,076	0,047	0,071

Tablo 5.32’de görüldüğü gibi, Swara yöntemine göre sonuçlar, toplam geciken iş sayısı ortalama gecikme süresi, ortalama akış süresi, ortalama ceza maliyetleri ve toplam harcanan hazırlık süresi olarak sıralanmaktadır.

Çalışmanın bu kısmında 4 farklı yöntem ile kriterlere ait (optimizasyondaki alt amaç fonksiyonlar) önem ağırlıkları belirlenmiştir.

Belirlenen bu önem ağırlıkları, çizelgeleme optimizasyonuna dahil edilerek optimizasyon çıktılarını nasıl etkilediği değerlendirilecektir.

Karar vericilerin her biri için hesaplanan kriter ağırlıkları tablolarla ifade edilip karşılaştırılmıştır. Tablo 5.33’te K.V.1’in değerlendirmelerine ait dört yöntem sonucu toplu bir şekilde verilmiştir.

Tablo 5.33. KV1 için yöntem sonuçları

KRİTERLER	Eşit Ağ.	Max 100	İkili Karşılaştırma	SWARA
Toplam geciken iş sayısı	0,200	0,257	0,419	0,250
Ortalama gecikme süresi	0,200	0,200	0,272	0,143
Ortalama akış süresi	0,200	0,286	0,131	0,451
Ortalama ceza maliyetleri	0,200	0,143	0,100	0,089
Toplam harcanan hazırlık süresi	0,200	0,114	0,078	0,066

Yöntem sonuçlarına bakıldığında, Max 100 yöntemine ait önem ağırlıklarının birbirlerine yakınlıkları diğer yöntemlere göre daha fazladır. İkili karşılaştırma ve SWARA yöntemine bakıldığında ilk iki sırada yer alan kriterlerin önem ağırlıkları arasında yaklaşık %35-%40 arası fark vardır. Fakat Max 100 yöntemine bakıldığında iki kriter arası açıklık daha azdır. İkili karşılaştırma ve SWARA yönteminde kriterler arası kıyaslama söz konusudur. Max 100 yönteminde ise bir bakıma sadece önem sıralaması yapılmaktadır. Bu nedenledir ki İkili Karşılaştırma ve SWARA yöntemlerinde kriterlerin önem ağırlıkları farkları daha kesin olarak belirlenmiştir.

Karar verici 1'in sonuçlarına bakıldığında, Max 100 ve İkili karşılaştırma yöntemlerine ait kriter sıralamaları paralel görünmektedir. SWARA yönteminde ise ilk iki kriter diğer yöntemlere göre birbirinin tam tersi çıkmıştır. Genel olarak, kriterler arası önem sıralaması paralel olduğu söylenebilir. Tablo 5.34'te ikinci karar vericiye ait yöntem sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.34. KV2 için yöntem sonuçları

KRİTERLER	Eşit Ağ.	Max 100	İkili Karşılaştırma	SWARA
Toplam geciken iş sayısı	0,200	0,263	0,435	0,460
Ortalama gecikme süresi	0,200	0,237	0,194	0,248
Ortalama akış süresi	0,200	0,211	0,186	0,142
Ortalama ceza maliyetleri	0,200	0,132	0,149	0,061
Toplam harcanan hazırlık süresi	0,200	0,158	0,036	0,089

Karar verici 2'ye ait üç ağırlıklandırma yöntemine göre de kriter önem sıralamaları aynı çıkmıştır. Kriterler önem ağırlıkları sonuçlarına bakıldığında, ilk üç kritere ait Max 100 yöntem sonuçları birbirlerine yakın değerler almıştır. İkili karşılaştırma yöntemine baktığımızda ise, ilk iki kriter arası açıklık fazla olup diğer kriterler arası

açıklık daha azdır. SWARA yönteminde ise son iki kriter haricindeki değerler arası açıklık fazladır. Tablo 5.35'te üçüncü karar verici için yöntem sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.35. KV3 için yöntem sonuçları

KRİTERLER	Eşit Ağ.	Max 100	İkili Karşılaştırma	SWARA
Toplam geciken iş sayısı	0,200	0,278	0,351	0,492
Ortalama gecikme süresi	0,200	0,222	0,113	0,252
Ortalama akış süresi	0,200	0,167	0,389	0,045
Ortalama ceza maliyetleri	0,200	0,139	0,090	0,078
Toplam harcanan hazırlık süresi	0,200	0,194	0,057	0,133

Tablo 5.35'te karar verici 3'ün sonuçlarına bakıldığında, ilk iki kriter önem ağırlıkları Max 100 ve SWARA yönteminde paralel iken, ikili karşılaştırma yönteminde tam tersi olarak analiz edilmiştir. Genel olarak, Max 100 ve İkili karşılaştırma yöntemi birbirlerine paralel sıralama göstermektedirler.

Tablo 5.36. KV4 için yöntem sonuçları

KRİTERLER	Eşit Ağ.	Max 100	İkili Karşılaştırma	SWARA
Toplam geciken iş sayısı	0,200	0,281	0,535	0,491
Ortalama gecikme süresi	0,200	0,250	0,202	0,252
Ortalama akış süresi	0,200	0,094	0,098	0,045
Ortalama ceza maliyetleri	0,200	0,219	0,042	0,136
Toplam harcanan hazırlık süresi	0,200	0,156	0,124	0,076

Tablo 5.36'da görüldüğü üzere, karar verici 4'e göre de ilk iki kriter önem ağırlıkları tüm yöntemlerde aynı sırada sonuçlanmıştır. Kalan üç kriter ağırlıkları ise birbirlerine yakın değerler olacak şekilde sıralanmışlardır.

Tablo 5.37. KV5 için yöntem sonuçları

KRİTERLER	Eşit Ağ.	Max 100	İkili Karşılaştırma	SWARA
Toplam geciken iş sayısı	0,200	0,270	0,263	0,494
Ortalama gecikme süresi	0,200	0,243	0,366	0,254
Ortalama akış süresi	0,200	0,162	0,239	0,072
Ortalama ceza maliyetleri	0,200	0,189	0,066	0,133
Toplam harcanan hazırlık süresi	0,200	0,135	0,065	0,047

Karar verici 5'e göre ilk iki kriter sıralaması, Max 100 ve SWARA paralellik gösterirken, İkili karşılaştırma sonuçlarında tam tersi çıkmıştır. Kalan kriterlerin önem sıralamalarında ise Max 100 ve SWARA yöntemi paralel olarak ilerlediği görülmektedir. Tüm yöntemlere ait değerlendirmeleri sonuçları toplu olarak Tablo 5.38'de gösterilmiştir.

Tablo 5.38. Yöntemlere ait kriter önem ağırlıkları

KRİTERLER	Eşit Ağ.	Max 100	İkili Karşılaştırma	SWARA
Toplam geciken iş sayısı	0,200	0,270	0,401	0,438
Ortalama gecikme süresi	0,200	0,219	0,229	0,206
Ortalama akış süresi	0,200	0,195	0,209	0,192
Ortalama ceza maliyetleri	0,200	0,164	0,090	0,093
Toplam harcanan hazırlık süresi	0,200	0,152	0,072	0,071

Tablo 5.38'de görüldüğü gibi, üç yönetime ait değerlendirme sonuçları, tüm yöntemlerde paralel çıkmıştır. Değişkenlik gösteren durum ise kriterlerin önem ağırlıkları arasındaki açıklıklardır. Max 100 yönteminde kriter ağırlık değerleri birbirine çok yakın iken, ikili karşılaştırma ve swara yöntemlerinde ilk iki kritere ait önem ağırlıkları arası açıklık oldukça fazladır.

Bu kısımda hesaplanan kriter önem ağırlıklarının optimizasyon modeline ait çıktıya etkisi bir sonraki bölümde analiz edilecektir.

5.4. Genetik Algoritma Uygulama Modeli

Alüminyum sektöründe yapılan iş sıralama ve çizelgeleme optimizasyon modeli MATLAB R2015a programında oluşturulmuştur. Bu program matris tabanlı çalışma mantığına sahiptir. Genellikle istatistik, optimizasyon, nümerik analizler ve grafik çizimleri için kullanılmaktadır. Yazılan optimizasyon modeli matlab programında bulunan toolbox'lar kullanılmadan sıfırdan yazılmıştır.

Genetik algoritma modeli kurulmasına sıralanacak ve çizelgenecek işlerin belirlenmesiyle başlanmıştır. Çizelgenecek işlerin belirlenmesi ve bu işlere ait alt amaç fonksiyonların hesaplanmasında gerekli olan işe ait özellikler, işletmede bulunan ERP sisteminden günlük olarak iş listesi olarak çekilebilmektedir. Bu listede işlere ait

üretim iş yerleri, ürün grupları, işlem süreleri, müşteri teslim tarihleri ve müşteri öncelikleri gibi çalışma kapsamına alınan öncelik kriterleri yer almaktadır.

İşletmeye ait planlama periyodu günlük olarak belirlenmiştir. Her gün açık olan üretim siparişleri üzerinden ilgili makine için üretim planlanmaktadır. İşletmeye ait değişmeyecek planlama aralığı ise 1 vardiya olarak tanımlanmıştır. Bunun anlamı her gün mesai saati başlangıcında çalıştırılan optimizasyon 16*24 vardiyasından itibaren revize edilip yeniden çizelgelenecektir. 8*16 vardiyası boyunca üretim planı herhangi bir şekilde değişime uğramayacaktır. Bu bağlamda çalıştırılan iş çizelgeleme optimizasyonu saat bazlı çalışarak çizelgeleme yapacaktır.

Genetik algoritma ile iş sıralama ve çizelgeleme optimizasyon uygulaması aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında tek makineli çizelgeleme problemi için geliştirilen algoritma modeli genel olarak aşağıda bulunan on bölümden oluşturulmuştur:

Sıralanacak işlerin belirlenmesi

Sıralanacak işler doğrultusunda genetik algoritma parametrelerinin oluşturulması

Başlangıç popülasyonunun oluşturulması

Uygunluk fonksiyonu yardımcı elemanlarının hesaplanması

Kriter ağırlıkları ile toplam fayda (uygunluk) fonksiyonunun hesaplanması

Doğal seçim

Çaprazlama

Mutasyon

Algoritmanın iterasyona sokulması

Parametre optimizasyonlarının yapılması ve en iyi optimum iş sıralaması doğrultusunda saat bazlı üretim çizelgesinin oluşturulması

5.4.1. Çizelgelenecek işlerin belirlenmesi

Çalışma kapsamında PRES D makinesi için optimizasyon modeli çalıştırılmıştır. İşletmede kullanılan ERP sisteminden PRES D'ye ait üretime açık iş emirleri listesi çekilmiştir. Çekilen bu listede toplamda 115 iş bulunmaktadır. İşlere ait yapılan gruplamalar sırasıyla, ürün grubu, işlem süreleri ve müşteri öncelikleridir. İşlem süreleri birimi saattir. Bu nedenle optimizasyon çıktısı işler gün ve saat bazlı planlanmış olacaktır. Algoritmanın detaylı bir biçimde çalışma mantığının anlatılması

amacıyla $n = 20$ iş için algoritma simüle edilmiştir. Çalışma kapsamında algoritmaya girdi sağlayan $n = 115$ iş sayısına ait tablo Ek-A'da verilmiştir.

Tablo 5.39'da çalışma kapsamındaki ürün grupları ve karşılıkları verilmiştir. İşler, ürün grubu karşılıklarıyla alt amaç fonksiyonlarına dâhil edileceklerdir.

Tablo 5.39. Çizelgelenecek işlere ait ürün grupları

Ü.G. No	Ürün Grubu
6xxx-01	A
6xxx-02	B
6xxx-03	C

Birbirinden farklı üç ürün grubunu barındıran bu modelin alt amaç fonksiyonlarından biri de hazırlık sürelerini minimuma indiren optimum çizelgeyi elde etmektir. Bu bağlamda ürünler arası geçiş zamanlarını barındıran hazırlık matrisi Tablo 5.40'ta verilmiştir.

Tablo 5.40. Ürün gruplarına ait hazırlık matrisi

Hazırlık Matrisi	A	B	C
A	-	1	3
B	1	-	2
C	3	2	-

Tablo 5.40'ta görüldüğü üzere, üretim aynı ürün geçişlerinde herhangi bir hazırlık süresiyle karşılaşmamaktadır. A ürününden B ürününe geçişte ise her geçiş için 1 saat zaman kaybı yaşamaktadır. Aynı şekilde A ürününden C'ye geçerken 3 ve B'den C'ye geçerken ise 2 saat zaman kaybı yaşamaktadır. Optimizasyon ürünler arası toplam harcanan geçiş sürelerini azaltmak için, benzer ürün gruplarını arka arkaya planlamak isteyecektir.

Bir diğer öncelik bilgisi ise müşteri öncelikleridir. İşletme içerisinde şirket için özel düzeyde değerlendirilen müşteriler bulunmaktadır. Bu durum nedeniyle özel müşterilerin siparişlerinin daha öncelikli karşılanabilmeleri için müşteriler sınıflandırılmıştır. Toplamda üç düzeyde sınıflandırılmış müşteri tablosu Tablo 5.41'de verilmiştir. Bu bilgi sipariş girişinden itibaren tüm proses akışlarında bilinmektedir.

Tablo 5.41. Müşteri öncelik düzeyleri

Müşteri Düzeyi	Müşteri Düzeyi
1	Düşük düzeyde önem
2	Orta düzeyde önem
3	Yüksek düzeyde önem

Tüm işlere ait bu özellikler çalışma excel dosyasında tutulup optimizasyonda girdi olarak kullanılmaktadır. Bu excel dosyası planlama periyoduna göre güncellenmektedir. Bir sonraki adımda genetik algoritma başlangıç parametreleri ve çizelgeleme parametreleri belirlenerek optimizasyona başlanacaktır.

5.4.2. Genetik algoritma ve çizelgeleme parametreleri

Genetik algoritma için gerekli olan parametreler Tablo 5.42’de verilmiştir. Bu tabloya göre popülasyon büyüklüğü bizlere kromozom sayısını yani genetik algoritmanın başlangıçta üreteceği çözüm sayısını vermektedir. Algoritma bu çözüm sayısı arasından genetik işlemlere sokularak amaç fonksiyonu doğrultusunda en iyi iş sırası ve üretim çizelgesini oluşturacaktır. Algoritmanın son aşamasında planlama ve genetik algoritma parametrelerinin optimizasyonu yapılarak, problem kapsamında en iyi çözümü veren optimum parametreler hesaplanmıştır.

Tablo 5.42. Genetik algoritma parametreleri ve matlab kod değişkenleri

GA Parametreleri	Algoritma Temsili Değişken	Seçilen Parametre Oranları
Popülasyon Büyüklüğü	psize	4
Problem Boyutu	d	20

Tablo 5.42’deki değişkenlere göre, optimizasyon 20 iş arasından, 4 farklı sıralama çözümü elde edecek şekilde başlangıç popülasyon matrisini oluşturacaktır.

Popülasyon büyüklüğü ve problemin boyutu popülasyon matrisinin boyutlarını vermektedir. Seçilen bu başlangıç parametrelerine göre 4x20 boyutlu matris oluşacaktır. Tablo 5.43’te ise genetik algoritmada bulunan genetik işlem parametreleri verilmiştir.

Tablo 5.43. Genetik işlem parametreleri ve matlab kod değişkenleri

GA Parametreleri	Algoritma Temsili Değişken	Seçilen Parametre Oranları
Çaprazlama Olasılığı	pcross	0,90
Mutasyon Olasılığı	pmutasyon	0,008
İterasyon Sayısı	iteration	<10

5.4.3. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması

Belirlenen parametreler doğrultusunda başlangıç çözüm üretilmiştir. Üretilen başlangıç popülasyonuna ait matris elemanları Tablo 5.44'te gösterilmiştir.

Tablo 5.44. Başlangıç popülasyonu

P	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
K-1	16	17	12	10	15	6	20	11	8	13	5	2	1	19	18	14	3	7	4	9
K-2	3	8	18	14	10	7	4	11	12	19	16	6	9	2	5	15	1	17	13	20
K-3	4	13	1	14	18	8	20	3	9	10	5	6	15	17	12	2	7	19	16	11
K-4	17	16	6	11	9	14	5	4	15	18	2	10	12	7	19	1	3	13	20	8

Başlangıç popülasyonu algoritmada tanımlanan boyutlar doğrultusunda rastgele oluşturulmuştur. Oluşturulan başlangıç popülasyonundaki boyut iş sayısını göstermekte ve popülasyon büyüklüğünün de optimize edilecek çözüm sayısını göstermekte olduğundan bahsedilmiştir. Rastgele üretilen bu popülasyondaki kromozomların her biri farklı bir çözümdür. Birinci kromozoma göre planlama 16. İş ile başlayıp 9. iş ile biterken, dördüncü kromozomda ise 17. iş ile başlayıp 8. iş ile bitmiştir. Algoritmanın diğer tüm aşamaları rastgele üretilen başlangıç popülasyonunu girdi olarak optimize edecektir.

5.4.4. Uygunluk fonksiyonu yardımcı elemanlarının hesaplanması

Çalışma kapsamında toplamda beş alt amaç fonksiyonu, belirlenen önem ağırlıklarıyla optimize edilmektedir. Toplam fayda fonksiyonunu oluşturmadan önce bu alt amaç fonksiyonları algoritmada oluşturulmalı ve her bir çözüme ait değerler hesaplanmalıdır. Algoritma modellenmesinin anlatıldığı bu bölümde yapılan planlama senaryosu optimizasyonu başlangıç günü 21/11/2018 saat 08:00'da çalıştırılır ve yapılan plan bu güne ait saat 16:00'dan itibaren üretilmesi gereken işleri belirlemektedir.

Hesaplanacak alt amaç fonksiyonları, toplam geciken iş sayısı minimizasyonu, geciken işlere ait ortalama gecikme süresi minimizasyonu, sıralanan işlere ait ortalama akış süresi minimizasyonu, müşteri önceliklerinden kaynaklı ortalama ceza maliyetleri minimizasyonu ve toplam hazırlık süresi minimizasyonudur.

Alt amaç fonksiyonlarını elde etmek için öncelikle ihtiyaç duyulan bilgiler algoritmaya girdi olarak tanımlanmalıdır. Tablo 5.45'te alt amaç fonksiyonların hesaplamada yardımcı olacak ürün bilgileri topluca verilmiştir.

Probleme ait beş alt amaç fonksiyonları sırasıyla aşağıdaki gibi oluşturulmuştur. Alt amaç fonksiyonlarına ait matematiksel ifadeler Tablo 5.46'da verilmiştir.

Tablo 5.45. Sıralanacak işlere ait bilgiler

İş No	Sipariş Termini	Ürün Grubu	PRESİD İşlem Süresi (sa)	Kalan Operasyon İşlem Süreleri (gün)	Müşteri Önem Düzeyi
1	8.10.2018	C	2	6	2
2	15.10.2018	A	2	7	2
3	19.10.2018	B	1	5	2
4	19.10.2018	A	2	7	2
5	19.10.2018	A	1	8	2
6	23.10.2018	A	1	5	2
7	23.10.2018	B	1	6	2
8	25.10.2018	B	2	7	2
9	25.10.2018	C	4	8	2
10	26.10.2018	A	8	10	3
11	30.10.2018	C	4	10	1
12	30.10.2018	A	5	10	1
13	30.10.2018	A	5	9	2
14	1.11.2018	B	1	10	3
15	2.11.2018	C	3	5	3
16	2.11.2018	C	6	9	1
17	2.11.2018	C	6	7	1
18	2.11.2018	A	7	7	3
19	2.11.2018	C	7	9	2
20	5.11.2018	A	1	5	1

Tablo 5.46. Alt amaç fonksiyonları ve matematiksel ifadeleri

No	Alt Amaç Fonksiyonu	Matematiksel İfadesi
AA1	Toplam geciken iş sayısı minimizasyonu	$\min \sum n_T$
AA2	Ortalama gecikme süresi minimizasyonu	$\min \bar{T}$
AA3	Ortalama akış süresi minimizasyonu	$\min \bar{F}$
AA4	Ortalama ceza maliyetleri minimizasyonu	$\min \sum_{i=1}^n C_i$
AA5	Toplam hazırlık süresi minimizasyonu	$\min \sum_{i=1}^n h s_i$

5.5.4.1. AA1: Toplam geciken iş sayısı minimizasyonu

Toplam geciken iş sayısını bulabilmek için öncelikle başlangıç popülasyonunda verilen iş sıralamaları doğrultusunda ürünlerin üretim tamamlanma zamanlarının bulunması gerekmektedir. Yapılan çalışmadaki ana problem PRES'D'deki optimum sıralamayı elde etmektir.

Tablo 5.40'ta bulunan termin tarihleri müşteri siparişine ait olduğundan dolayı, siparişlerin gecikmesiz olarak PRES'D'de tamamlanmış olması gereken tarihleri bulmak amacıyla PRES'D sonrası operasyonlara ait işlem süreleri de girdi olarak kullanılmıştır. Başlangıç popülasyonundaki sıralamalara göre işlerim PRES'D'deki bitiş zamanlarına ait matris saat bazlı Tablo 5.42'de verilmiştir.

Tabloda üretim tamamlanma zamanları hesaplanmış olan kromozomlar görülmektedir. Birinci kromozoma bakıldığında, popülasyon (1,1) elemanı 16 numaralı işti. 16 numaralı işin PRES'D'deki işlem süresi ise 6 sa olarak görülmektedir.

16 numaralı işin PRES'D'de tamamlanma zamanı 22:00 olarak bulunmuştur. Ardından rastgele planlanan iş olan popülasyon (1,2) işi ise 17'ydi. 17 nolu işin tamamlanma zamanı ise bir sonraki gün gece 04:00 olarak hesaplanmıştır.

Tüm çözüm kromozomlarına ait iş sıralamalarına göre ürünlerin PRES'D'deki üretim tamamlanma zamanları elde edilmiştir. Tabloda ve örnek hesaplamalarda görüldüğü gibi bu hesaplama da ürünler arası geçişlerde harcanan zamanlar dahil edilmemiştir.

Sonuca bakıldığında Tablo 5.47’de işler nasıl sıralanırsa sıralansın son işin bitiş tarihi tüm çözümler için aynı olduğu görülmüştür.

Tablo 5.48’de ise aynı hesaplama mantığı ile ürünler arası hazırlık sürelerinin de dahil edildiği ürün tamamlanma matrisi paylaşılmıştır. Bu matriste de görüldüğü gibi son ürüne ait tamamlanma zamanları hazırlık operasyonlarındaki geçiş süresi nedeniyle farklılık göstermiştir.

Tablo 5.47’de tüm işlerin son tamamlanma zamanı eşit iken, Tablo 5.48’de eş zamanlı tamamlanmadığı görülmektedir. Buradan 2. Kromozomun en geç tamamlandığını görmekteyiz.

Bu kromozomda verilen çözüm sırası diğer kromozom zincirlerine göre daha fazla ürün geçişlerini içerdiği görülmektedir. 3. ve 4. Kromozomlara ait iş sıralamalarının ise daha fazla benzer ürün grupları arka arkaya planlandığı görülmektedir.

Tablo 5.47. İşlerin PRES'D’de tamamlanma zamanları

Pop.	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
K-1	'21- Nov- 2018 22:00:0 0'	'22- Nov- 2018 04:00:0 0'	'22- Nov- 2018 09:00:0 0'	'22- Nov- 2018 17:00:0 0'	'22- Nov- 2018 20:00:0 0'	'22- Nov- 2018 21:00:0 0'	'22- Nov- 2018 22:00:0 0'	'23- Nov- 2018 02:00:0 0'	'23- Nov- 2018 04:00:0 0'	'23- Nov- 2018 09:00:0 0'
K-2	'21- Nov- 2018 17:00:0 0'	'21- Nov- 2018 19:00:0 0'	'22- Nov- 2018 02:00:0 0'	'22- Nov- 2018 03:00:0 0'	'22- Nov- 2018 11:00:0 0'	'22- Nov- 2018 12:00:0 0'	'22- Nov- 2018 14:00:0 0'	'22- Nov- 2018 18:00:0 0'	'22- Nov- 2018 23:00:0 0'	'23- Nov- 2018 06:00:0 0'
K-3	'21- Nov- 2018 18:00:0 0'	'21- Nov- 2018 23:00:0 0'	'22- Nov- 2018 01:00:0 0'	'22- Nov- 2018 02:00:0 0'	'22- Nov- 2018 09:00:0 0'	'22- Nov- 2018 11:00:0 0'	'22- Nov- 2018 12:00:0 0'	'22- Nov- 2018 13:00:0 0'	'22- Nov- 2018 17:00:0 0'	'23- Nov- 2018 01:00:0 0'
K-4	'21- Nov- 2018 22:00:0 0'	'22- Nov- 2018 04:00:0 0'	'22- Nov- 2018 05:00:0 0'	'22- Nov- 2018 09:00:0 0'	'22- Nov- 2018 13:00:0 0'	'22- Nov- 2018 14:00:0 0'	'22- Nov- 2018 15:00:0 0'	'22- Nov- 2018 17:00:0 0'	'22- Nov- 2018 20:00:0 0'	'23- Nov- 2018 03:00:0 0'
Pop.	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
K-1	'23- Nov- 2018 10:00:0 0'	'23- Nov- 2018 12:00:0 0'	'23- Nov- 2018 14:00:0 0'	'23- Nov- 2018 21:00:0 0'	'24- Nov- 2018 04:00:0 0'	'24- Nov- 2018 05:00:0 0'	'24- Nov- 2018 06:00:0 0'	'24- Nov- 2018 07:00:0 0'	'24- Nov- 2018 09:00:0 0'	'24- Nov- 2018 13:00:0 0'
K-2	'23- Nov- 2018 12:00:0 0'	'23- Nov- 2018 13:00:0 0'	'23- Nov- 2018 17:00:0 0'	'23- Nov- 2018 19:00:0 0'	'23- Nov- 2018 20:00:0 0'	'23- Nov- 2018 23:00:0 0'	'24- Nov- 2018 01:00:0 0'	'24- Nov- 2018 07:00:0 0'	'24- Nov- 2018 12:00:0 0'	'24- Nov- 2018 13:00:0 0'
K-3	'23- Nov- 2018 02:00:0 0'	'23- Nov- 2018 03:00:0 0'	'23- Nov- 2018 06:00:0 0'	'23- Nov- 2018 12:00:0 0'	'23- Nov- 2018 17:00:0 0'	'23- Nov- 2018 19:00:0 0'	'23- Nov- 2018 20:00:0 0'	'24- Nov- 2018 03:00:0 0'	'24- Nov- 2018 09:00:0 0'	'24- Nov- 2018 13:00:0 0'
K-4	'23- Nov- 2018 05:00:0 0'	'23- Nov- 2018 13:00:0 0'	'23- Nov- 2018 18:00:0 0'	'23- Nov- 2018 19:00:0 0'	'24- Nov- 2018 02:00:0 0'	'24- Nov- 2018 04:00:0 0'	'24- Nov- 2018 05:00:0 0'	'24- Nov- 2018 10:00:0 0'	'24- Nov- 2018 11:00:0 0'	'24- Nov- 2018 13:00:0 0'

Tablo 5.48’de ürün grupları arası geçen hazırlık süre kayıpları da işleme dâhil edilerek doğru ürün tamamlanma zamanları elde edilmiştir. Tablo 5.48’e bakıldığında, ikinci kromozom zincirinden örnek verirsek, ikinci kromozoma ait ikinci gen popülasyon (2,2) elemanı 8 nolu iştir ve bitiş zamanı 21/11/2018 saat 19:00 olarak hesaplanmıştır.

8 nolu işe ait ürün grubu Tablo 5.45’e göre B olarak tanımlanmıştır. Kromozom zincir halkasında bulunan bir sonraki iş ise, popülasyon (2,3) 18 nolu iştir. 18 nolu işin ürün grubu A ve işlem zamanı da 7 sa olarak tanımlanmıştır. Bu doğrultuda 18 nolu işin tamamlanma zamanı B grubundan A grubuna geçerken kaybedilen hazırlık zamanı ve 18 nolu işe ait işlem süresinin toplamına eşit olacaktır.

Tabloda da görüldüğü üzere toplamda 1 sa hazırlık süresi ve 7 sa işlem süresi olmak üzere toplamda 8 sa sonra bitirilmesi gerekmektedir. Tablo 5.48’de (2,3) nolu elemana baktığımızda tamamlanma zamanının 03:00 olarak gerçekleştiği görülmektedir.

Gecikme gününün hesaplanabilmesi için siparişlerin müşteri termin tarihlerinden diğer operasyonlara ait operasyon süreleri çıkarılarak PRES D termin süreleri hesaplanmıştır. İşlerin gecikmesiz olarak sevk edilebilmesi için PRES D’de gün bazlı hazır olması gereken tarihler Tablo 5.49’da verilmiştir.

Birinci alt amaç fonksiyonu olan toplam geciken iş sayısının hesaplanması için siparişlerin PRES D’de hazır olma tarihleri ve PRES D sipariş terminleri ile karşılaştırılarak işlere ait gecikme günleri hesaplanmıştır. Kromozom zincirindeki hesaplanan gecikme iş günleri sayısı sayılarak birinci amaç fonksiyon değerleri elde edilmiştir. Tablo 5.50’de başlangıç popülasyonunda verilen sıralamalar doğrultusunda işlere ait gecikme günleri verilmiştir.

Tablo 5.48. İşlerin hazırlık zamanları dâhil PRES'De tamamlanma zamanları

Pop.	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
K-1	'21- Nov- 2018 22:00: 00'	'22- Nov- 2018 04:00: 00'	'22- Nov- 2018 12:00:0 0'	'22- Nov- 2018 20:00:0 0'	'23- Nov- 2018 02:00:0 0'	'23- Nov- 2018 06:00:0 0'	'23- Nov- 2018 07:00:0 0'	'23- Nov- 2018 14:00:0 0'	'23- Nov- 2018 18:00:0 0'	'24- Nov- 2018 00:00:0 0'
K-2	'21- Nov- 2018 17:00: 00'	'21- Nov- 2018 19:00: 00'	'22- Nov- 2018 03:00:0 0'	'22- Nov- 2018 05:00:0 0'	'22- Nov- 2018 14:00:0 0'	'22- Nov- 2018 16:00:0 0'	'22- Nov- 2018 19:00:0 0'	'23- Nov- 2018 02:00:0 0'	'23- Nov- 2018 10:00:0 0'	'23- Nov- 2018 20:00:0 0'
K-3	'21- Nov- 2018 18:00: 00'	'21- Nov- 2018 23:00: 00'	'22- Nov- 2018 04:00:0 0'	'22- Nov- 2018 07:00:0 0'	'22- Nov- 2018 15:00:0 0'	'22- Nov- 2018 18:00:0 0'	'22- Nov- 2018 20:00:0 0'	'22- Nov- 2018 22:00:0 0'	'23- Nov- 2018 04:00:0 0'	'23- Nov- 2018 15:00:0 0'
K-4	'21- Nov- 2018 22:00: 00'	'22- Nov- 2018 04:00: 00'	'22- Nov- 2018 08:00:0 0'	'22- Nov- 2018 15:00:0 0'	'22- Nov- 2018 19:00:0 0'	'22- Nov- 2018 22:00:0 0'	'23- Nov- 2018 00:00:0 0'	'23- Nov- 2018 02:00:0 0'	'23- Nov- 2018 08:00:0 0'	'23- Nov- 2018 18:00:0 0'
Pop.	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
K-1	'24- Nov- 2018 01:00: 00'	'24- Nov- 2018 03:00: 00'	'24- Nov- 2018 08:00:0 0'	'24- Nov- 2018 15:00:0 0'	'25- Nov- 2018 01:00:0 0'	'25- Nov- 2018 03:00:0 0'	'25- Nov- 2018 04:00:0 0'	'25- Nov- 2018 05:00:0 0'	'25- Nov- 2018 08:00:0 0'	'25- Nov- 2018 15:00:0 0'
K-2	'24- Nov- 2018 02:00: 00'	'24- Nov- 2018 06:00: 00'	'24- Nov- 2018 13:00:0 0'	'24- Nov- 2018 18:00:0 0'	'24- Nov- 2018 19:00:0 0'	'25- Nov- 2018 01:00:0 0'	'25- Nov- 2018 03:00:0 0'	'25- Nov- 2018 09:00:0 0'	'25- Nov- 2018 17:00:0 0'	'25- Nov- 2018 18:00:0 0'
K-3	'23- Nov- 2018 16:00: 00'	'23- Nov- 2018 17:00: 00'	'23- Nov- 2018 23:00:0 0'	'24- Nov- 2018 05:00:0 0'	'24- Nov- 2018 13:00:0 0'	'24- Nov- 2018 15:00:0 0'	'24- Nov- 2018 17:00:0 0'	'25- Nov- 2018 02:00:0 0'	'25- Nov- 2018 08:00:0 0'	'25- Nov- 2018 12:00:0 0'
K-4	'23- Nov- 2018 20:00: 00'	'24- Nov- 2018 04:00: 00'	'24- Nov- 2018 09:00:0 0'	'24- Nov- 2018 11:00:0 0'	'24- Nov- 2018 20:00:0 0'	'24- Nov- 2018 22:00:0 0'	'25- Nov- 2018 01:00:0 0'	'25- Nov- 2018 07:00:0 0'	'25- Nov- 2018 08:00:0 0'	'25- Nov- 2018 11:00:0 0'

Tablo 5.49. Siparişlerin PRES'D'de tamamlanması gereken termin tarihleri

Pop.	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
K-1	'24- Oct- 2018'	'26- Oct- 2018'	'20- Oct- 2018'	'16- Oct- 2018'	'28- Oct- 2018'	'18- Oct- 2018'	'31- Oct- 2018'	'20- Oct- 2018'	'18- Oct- 2018'	'21- Oct- 2018'
K-2	'14- Oct- 2018'	'18- Oct- 2018'	'26- Oct- 2018'	'22- Oct- 2018'	'16- Oct- 2018'	'17- Oct- 2018'	'12- Oct- 2018'	'20- Oct- 2018'	'20- Oct- 2018'	'24- Oct- 2018'
K-3	'12- Oct- 2018'	'21- Oct- 2018'	'02- Oct- 2018'	'22- Oct- 2018'	'26- Oct- 2018'	'18- Oct- 2018'	'31- Oct- 2018'	'14- Oct- 2018'	'17- Oct- 2018'	'16- Oct- 2018'
K-4	'26- Oct- 2018'	'24- Oct- 2018'	'18- Oct- 2018'	'20- Oct- 2018'	'17- Oct- 2018'	'22- Oct- 2018'	'11- Oct- 2018'	'12- Oct- 2018'	'28- Oct- 2018'	'26- Oct- 2018'
Pop.	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
K-1	'11- Oct- 2018'	'08- Oct- 2018'	'02- Oct- 2018'	'24- Oct- 2018'	'26- Oct- 2018'	'22- Oct- 2018'	'14- Oct- 2018'	'17- Oct- 2018'	'12- Oct- 2018'	'17- Oct- 2018'
K-2	'24- Oct- 2018'	'18- Oct- 2018'	'17- Oct- 2018'	'08- Oct- 2018'	'11- Oct- 2018'	'28- Oct- 2018'	'02- Oct- 2018'	'26- Oct- 2018'	'21- Oct- 2018'	'31- Oct- 2018'
K-3	'11- Oct- 2018'	'18- Oct- 2018'	'28- Oct- 2018'	'26- Oct- 2018'	'20- Oct- 2018'	'08- Oct- 2018'	'17- Oct- 2018'	'24- Oct- 2018'	'24- Oct- 2018'	'20- Oct- 2018'
K-4	'08- Oct- 2018'	'16- Oct- 2018'	'20- Oct- 2018'	'17- Oct- 2018'	'24- Oct- 2018'	'02- Oct- 2018'	'14- Oct- 2018'	'21- Oct- 2018'	'31- Oct- 2018'	'18- Oct- 2018'

Tablo 5.50. İşlere ait gecikme gün sayıları

Pop	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
K1	29	27	34	38	26	36	23	35	37	34	44	47	53	32	30	34	42	39	44	40
K2	39	35	27	31	38	37	42	34	34	31	31	37	39	48	45	28	54	30	36	26
K3	41	32	51	31	28	36	23	40	37	39	44	37	27	29	36	48	39	32	32	37
K4	27	29	35	34	37	32	43	42	26	29	47	39	35	38	32	54	42	35	25	38

Tablo 5.50’de görüldüğü gibi algoritmanın simüle edilmesinde baz alınan tüm işler gecikmiş durumdadır. Toplam geciken işlerin sayısını temsil eden AA1 matrisi, 4x1 boyutlu olup tüm elemanları birbirine eşit ve 20 olacaktır. Tablo 5.51’de AA1 amaç fonksiyon matris elemanları verilmiştir.

Tablo 5.51. AA1 uygunluk matrisi elemanları

	AA1
K-1	20
K-2	20
K-3	20
K-4	20

Toplam geciken iş sayısını minimize etmeyi amaçlayan bu alt amaç fonksiyonuna göre tüm kromozom zincirlerine ait alt amaç uygunluk değerleri birbirine eşit olduğundan hepsi birer en iyi çözüm olma durumundadır.

5.5.4.2. AA2: Ortalama gecikme süresi minimizasyonu

İkinci alt amaç fonksiyonu olan ortalama gecikme süresi minimizasyonu için gecikme sürelerinin ortalaması Tablo 5.51’de bulunan gecikme günü matrisi kullanılarak hesaplanacaktır. Her bir kromozom zincirine ait hesaplanan ortalama gecikme günü matrisi Tablo 5.52’de verilmiştir.

Tablo 5.52. AA2 uygunluk matrisi elemanları

	AA2
K-1	36,200
K-2	36,100
K-3	35,950
K-4	35,950

Tablo 5.52’ye bakıldığında, her bir kromozom zincirine ait işlerin ortalama gecikme süresi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre minimum gecikme süresi üçüncü ve dördüncü kromozoma aittir. Sadece bu alt amaç fonksiyonu ve popülasyona göre değerlendirme yapılsaydı, optimum çözüm üçüncü veya dördüncü kromozoma ait iş sıralaması olurdu.

5.5.4.3. AA3: Ortalama akış süresi minimizasyonu

Üçüncü alt amaç fonksiyonu olan ortalama akış süresi hesaplanırken, işlere ait PRES D işlem süreleri ve ürünler arası hazırlık süreleri baz alınmıştır. Kromozom zincirlerine iş sıralamasına göre hesaplanan kümülatif akış zamanları Tablo 5.53’te verilmiştir.

Tablo 5.53. Kromozom zincirlerine ait kümülatif işlem süreleri

Pop.	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
K-1	6	12	17	25	28	29	30	34	36	41	42	44	46	53	60	61	62	63	65	69
K-2	1	3	10	11	19	20	22	26	31	38	44	45	49	51	52	55	57	63	68	69
K-3	2	7	9	10	17	19	20	21	25	33	34	35	38	44	49	51	52	59	65	69
K-4	6	12	13	17	21	22	23	25	28	35	37	45	50	51	58	60	61	66	67	69

Kümülatif işlem süreleri toplanarak kromozom zincirine ait toplam akış süresi hesaplanır. Tablo 5.53’teki değerlere hazırlık zamanları da eklenerek her bir çözüm kromozomu için verilen iş sıralamasına göre hesaplanan toplam akış ve ortalama süreleri Tablo 5.54’te verilmiştir.

Tablo 5.54. Çözüm kromozomlarına ait toplam ve ortalama akış süreleri

	AA3 (Toplam akış)	AA3 (Ort. akış)
K-1	849	42,450
K-2	763	38,150
K-3	682	34,100
K-4	788	39,400

Saat bazlı hesaplanan akış zamanlarına bakıldığında, en uzun akış zamanına sahip kromozom birinci kromozom iken, en kısa akışa sahip kromozom üçüncü kromozomdur. Problem yalnızca üçüncü alt amaç fonksiyonuna göre değerlendiriliyor olsaydı, optimum en iyi çözüm üçüncü kromozom olurdu.

5.5.4.4. AA4: Ortalama ceza maliyetleri minimizasyonu

Dördüncü alt amaç fonksiyonu olan toplam ceza maliyetleri minimizasyonu, kriter ağırlıklandırma aşamalarında müşteri önceliği adı altında değerlendirilmiştir. Çizelgeleme sırasında firma, öncelikli müşterilere sahip olduğundan ve bu müşterilerin işlerinin önce planlanması istendiğinden dolayı, bu durumu ceza maliyeti fonksiyonu ile modellemeye dâhil edilmiştir. Toplamda üç farklı müşteri düzeyi oluşturulmuş ve siparişlerin müşteri düzeyi bazında karşılıkları ifade edilmiştir. Bu müşterilere ait işlerde oluşacak gecikmeler ceza maliyet katsayıları (**) ile çarpılarak, ceza maliyetlerini oluşturmaktadır.

Bu alt amaç fonksiyonunun hedefi, ceza maliyetlerini minimum seviyede sağlayan optimum iş sırasını elde etmektir. Ceza maliyeti çarpanları müşteri düzeylerinin 10 katı olacak şekilde hesaplamalara dâhil edilmiştir. Burada amaç, önem seviyesi yüksek ürünleri daha önce planlayabiliyor olmaktır. Başlangıç popülasyonu için hesaplanmış dördüncü alt amaç fonksiyon matrisine ait elemanlar Tablo 5.55'te verilmiştir.

Tablo 5.55. AA4 uygunluk matrisi elemanları

	AA4
K-1	71,40
K-2	70,65
K-3	70,30
K-4	70,70

Ortalama ceza maliyetleri üzerinde diğer alt amaç fonksiyonları ile karşılaştırılabilme açısından bir takım sadeleştirmeler yapılmıştır. Yapılan bu işlemler sonucunda Tablo 5.56'ya bakıldığında, minimum ceza maliyetine sahip kromozom zincirinin üçüncü kromozoma ait olduğu görülmektedir. Birinci ve dördüncü kromozomlara bakıldığında, müşteri öncelik düzeyi en düşük işler ile çizelgeleme başlatılmıştır. Üçüncü kromozom zincirine bakıldığında ise, orta düzeyde önemli müşterilerden başlamış ve yüksek düzey öneme sahip müşterilere ait işler ile sıralanarak devam etmiştir.

5.5.4.5. AA5: Toplam hazırlık zamanı minimizasyonu

Son alt amaç fonksiyonu olan toplam hazırlık zamanlarının minimizasyonu, başlangıç popülasyonuna göre üretilen çizelgeleme sıraları doğrultusunda her bir kromozom zinciri için toplam ürün değişim süresi hesaplanmıştır. Bu alt amaç fonksiyonu algoritmada Hesaplanan alt amaç fonksiyon değerleri Tablo 5.56'da verilmiştir.

Tablo 5.56. AA5 uygunluk matrisi elemanları

	AA5
K-1	26
K-2	29
K-3	23
K-4	22

Kromozom zincirlerine bakıldığında, birinci kromozoma göre üretim planı yapıldığında toplam 26 sa, ikinci kromozom için 29 sa, üçüncü kromozom için 23 sa ve dördüncü kromozom için ise toplamda 22 sa hazırlık süresi kaybı yaşanacağı görülmektedir. Diğer alt amaç fonksiyon değerlerine göre genelde üçüncü kromozom optimum olarak gözlemlenirken, beşinci alt amaç fonksiyon değerlerine göre ise dördüncü kromozom en iyi çözümü vermektedir.

5.4.5. Uygunluk(toplam fayda) fonksiyonunun hesaplanması

Ele alınan problem için oluşturulan beş farklı alt amaç fonksiyonları hesaplanmıştır. Tüm alt amaç fonksiyonları minimizasyonu amaçlamaktadır. Alt amaç fonksiyonlarının hesaplanması sırasında en iyi optimum çözüm değerlendirilirken, değerlendirme sadece ilgili amaç fonksiyonu altında yapılmıştır. Toplam fayda fonksiyonu ise tüm bu amaç fonksiyonlarını tek bir amaç fonksiyonunda toplayacak ve genetik algoritmadaki uygunluk fonksiyonunu oluşturacaktır. Tüm alt amaç fonksiyonlarını tek bir fonksiyonda ele alırken, işleme alt amaç fonksiyonlarına ait ağırlıklar da dâhil edilecektir. Fayda fonksiyonu modellenirken alt amaç fonksiyonlarını temsil eden değişken ve önem ağırlığı değişkenleri Tablo 5.57'de verilmiştir.

Tablo 5.57. Alt amaç fonksiyon ve değişken karşılıkları

Alt Amaç Fonksiyonları	Model Değişkeni	Ağırlık değişkeni
AA1	Obj1	wobj ₁
AA2	Obj2	wobj ₂
AA3	Obj3	wobj ₃
AA4	Obj4	wobj ₄
AA5	Obj5	wobj ₅

Değişken karşılıkları verilmiş olan amaç fonksiyonlarından oluşturulan toplam fayda fonksiyonu U, Denklem (5.1) ile verilmiştir.

$$U = \min [(wobj_1 \times obj_1) + (wobj_2 \times obj_2) + (wobj_3 \times obj_3) + (wobj_4 \times obj_4) + (wobj_5 \times obj_5)] \quad (5.1)$$

Fayda fonksiyonuna bakıldığında, alt amaç fonksiyon değerleri belirlenen önem düzeyleri kadar etki bırakacaktır. Bu nedenle alt amaç fonksiyonları sonuçları kadar belirlenmiş önem ağırlıkları da en iyi çözümün elde edilmesinde kritik bir öneme sahiptir. Bu ağırlıklar optimum çizelgeleme modeline fayda fonksiyonu hesaplanmadan önce wobj ağırlık matrisi olarak tanımlanmaktadır. Çalışmanın ileriki safhalarında algoritma parametrelerinin ve ağırlıkların değişimi optimizasyon çıktısını nasıl etkilediği değerlendirilmiştir. Örnek n=20 iş senaryosunda fayda fonksiyonu hesaplanırken eşit ağırlıklandırma yöntem sonuçları kullanılmıştır.

Bu durumda fayda fonksiyonu hesaplamada kullanılacak olan ağırlık matrisi elemanları Tablo 5.58’de verilmiştir.

Tablo 5.58. Çizelgeleme senaryosuna ait alt amaç fonksiyon ağırlıkları

wobj ₁	wobj ₂	wobj ₃	wobj ₄	wobj ₅
0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Hesaplanan fayda fonksiyonu sonuçları Tablo 5.59’da verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında en iyi çözüme sahip kromozomun üç nolu kromozom olduğu

görülmektedir. Sonrasında ise en iyiden en kötüye sıralanacak olursa, dört nolu kromozom, iki ve bir nolu kromozom şeklinde sıralanmaktadır.

Tablo 5.59. Toplam fayda fonksiyonu sonuçları

	U
K-1	39,210
K-2	38,780
K-3	36,670
K-4	37,610

5.4.6. Genetik işlemler: Doğal seçim

Uygunluk fonksiyonu hesaplandıktan sonra genetik işlemler başlamaktadır. İlk genetik işlem olan doğal seçim, hangi kromozomların hayatta kalacağını bir başka deyişle hangilerinin diğer bir nesile aktarılacağını belirlemek işlemidir. Bu işlem yapılırken öncelikle kromozomlara (bireylere) ait hayatta kalma olasılıkları hesaplanmaktadır. Bu olasılıklar toplam fayda fonksiyon sonuçları ele alınarak hesaplanır.

En yüksek olasılıklara sahip kromozomlar bir sonraki nesile doğrudan aktarılırlar. Bu aşamada ele aldığımız problem minimizasyon problemidir. Problemin amacına göre en yüksek olasılığa sahip birey minimum fayda fonksiyonuna sahip olan kromozom olmalıdır. Bu nedenle doğal seçim aşamasında minimizasyon problemlerinin doğru amaçlarla değerlendirilebilmesi için öncelikle fayda fonksiyonunun tersi alınır ve işlemlere bu şekilde devam edilir. Tablo 5.60'ta bireylere (kromozomlara) ait hesaplanan hayatta kalma olasılıkları ve kümülatif olasılıklar verilmiştir. Algoritmada hayatta kalma olasılıkları probs değişkeni ile, kümülatif olasılıklar ise cprobs ile ifade edilmiştir.

Tablo 5.60. Bireylere ait hayatta kalma olasılıkları ve kümülatif olasılıklar

	probs	cprobs
K-1	0,243	0,243
K-2	0,245	0,488
K-3	0,260	0,748
K-4	0,252	1,000

Tabloda görüldüğü üzere en yüksek olasılığa sahip birey üçüncü kromozomdur. Bir sonraki adım olarak 0 ile 1 arasında rassal olasılık değerleri üretilerek birikimli olasılıklar ile kıyaslanır. Birikimli olasılık değeri rastgele üretilmiş olasılıklardan büyük olan kromozomlar diğer bir nesle aktarılır. Her bir kromozom için üretilen rastgele olasılıklar sırasıyla 0,958, 0,965, 0,158, 0,971'dir.

Birikimli olasılıklar ve rastgele üretilen sayılar karşılaştırılırken rs matrisinin ilk elemanından başlanmaktadır. Bu matrisin ilk elemanından başlanarak, olasılık değeri büyük ilk kromozom yeni popülasyon matrisinin ilk elemanı olacaktır. Ve bu işlem her rs satırı için uygulanacaktır. Örneğin rs (1,1)'den başladığında yeni popülasyon matrisinin ilk satırı 0,958 olasılığından büyük olasılığa sahip ilk kromozom olacaktır. Bu bağlamda yeni popülasyonun ilk satırında 1,000 birikimli olasılık değerine sahip dördüncü kromozom yer alacaktır. Tüm rs matris satırları için aynı işlem tekrarlanması sonucu oluşan yeni ara popülasyon oluşturulmuştur. Tablo 5.61'de oluşan arapop matrisi verilmiştir.

Tablo 5.61. Doğal seçim sonrası oluşan ara popülasyon matrisi elemanları

AP	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
K-1	17	16	6	11	9	14	5	4	15	18	2	10	12	7	19	1	3	13	20	8
K-2	17	16	6	11	9	14	5	4	15	18	2	10	12	7	19	1	3	13	20	8
K-3	16	17	12	10	15	6	20	11	8	13	5	2	1	19	18	14	3	7	4	9
K-4	17	16	6	11	9	14	5	4	15	18	2	10	12	7	19	1	3	13	20	8

Tablo 5.61'de görüldüğü üzere hayatta kalma olasılıkları düşük olan ikinci ve üçüncü kromozomlar bir sonraki nesle aktarılamamışlardır. En yüksek hayatta kalma olasılığına sahip dördüncü kromozom ise en çok aktarılan kromozom olmuştur. Doğal seçim sayesinde hayatta kalma olasılıkları yani toplam fayda fonksiyon değerleri düşük bireyler değerlendirilmeden çıkarılıp, güçlü bireyler arasından optimum çözüm elde edilmeye devam edilmesi sağlanmıştır. Doğal seçimden sonra yapılacak genetik işlem çaprazlama işlemidir. Çaprazlama işlemine girdi sağlayacak popülasyon ise arapop matrisi olacaktır.

5.4.7. Genetik işlemler: Çaprazlama

Çalışma kapsamında uygulanacak çaprazlama yöntemi PMX (kısmi eşlemeli çaprazlama) yöntemidir. Bu yöntemde göre, öncelikle çaprazlanacak kromozomlar

belirlenir. Daha sonrasında ise çaprazlanacak çiftler arasında alt diziler belirlenerek bu alt dizilere ait elemanlar birbirleriyle eşleştirilir.

Çaprazlama işleminin uygulanması belirlenen çaprazlama oranına göre gerçekleşir. Algoritmada çaprazlamaya dâhil olacak kromozomlar için 0 ile 1 arasında rastgele sayılar atanarak, belirlenen çaprazlama oranı ile karşılaştırılmıştır. Belirlenen çaprazlama oranından küçük atanan rastgele olasılıklara sahip kromozom çiftleri çaprazlama işlemine tabi tutulmuştur.

Çaprazlanacak çiftler belirlenen alt diziler ile kromozom zincirinde tekrar edilen iş olmama koşulu ile çaprazlanır. Hangi kromozomların çaprazlanacağı rastgele seçilmiştir. Bu seçim sonucu çaprazlanacak birinci çift, 1 ve 2 nolu kromozom, ikinci çift ise 3 ve 4 numaralı kromozomlardır. Çaprazlama işlemi sonucunda oluşacak popülasyon ara popülasyon olmaya devam edecektir.

Kromozom çiftleri belirlendikten sonra, alt dizileri oluşturacak kesme noktaları belirlenmektedir. Bu örnekte belirlenen başlangıç kesme noktası 1 ve son kesme noktası ise 4 olarak belirlenmiştir. İlk çifte ait üretilen çaprazlama oranı 0,982, ikinci kromozom çiftine ait rastgele atanan olasılık değeri 0,353 olarak üretilmiştir. Bu durumda ikinci çifte ait üretilen çaprazlama oranı belirlenen çaprazlama oranı parametresinden küçük olduğundan dolayı çift çaprazlanmıştır. Detaylı çaprazlamanın incelenmesi için Tablo 5.62’de ara popülasyondaki 3 ve 4 numaralı kromozomlar ve kromozomlara ait alt diziler verilmiştir.

Tablo 5.62. 3 ve 4 nolu ara popülasyon kromozomları ve alt diziler

A.P.	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
K-3	16	17	12	10	15	6	20	11	8	13	5	2	1	19	18	14	3	7	4	9
K-3	17	16	6	11	9	14	5	4	15	18	2	10	12	7	19	1	3	13	20	8

Alt diziler kalın punto ile belirlenmiştir. Dizinin birinci elemanı ile başlayıp, dördüncü elemanı ile sonlanan genlerin oluşturduğu birinci alt dizi (16, 17, 12, 10) iken ikinci alt dizi ise (17, 16, 6, 11) olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda bu iki dizinin elemanları karşılıklı olarak birbirleriyle eşleştirilmiştir.

Bu kromozomlar çaprazlanırken öncelikle alt diziler birbirlerine aktarılır. Yani üçüncü kromozom alt dizi 2 ile başlayacak, üçüncü kromozom ise alt dizi 1 ile başlayacaktır.

Alt diziler kromozomlar arasında direk aktarıldıktan sonra kromozomların kalan elemanları başlangıç kromozomlardan tamamlanır. Bu tamamlanma sırasında önemli olan, tamamlanma sırasında tekrar eden bir gen ile karşılaşıldığında bu gen yerine alt dizideki eşleniği getirilmelidir.

Tablo 5.63'te 3 ve 4 nolu kromozomlar tamamlanmış ve çaprazlama işlemi sonrasında oluşan kromozom zincirleri paylaşılmıştır.

Tablo 5.63. Çaprazlanmış K-3 ve K-4 zincirleri

AP	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
K3	17	16	6	11	15	12*	20	10	8	13	5	2	1	19	18	14	3	7	4	9
K4	16	17	12	10	9	14	5	4	15	18	2	11*	6	7	19	1	3	13	20	8

Tablo 5.65'e bakıldığında alt dizilerin aktarımı sonrası kalan elemanların tamamlanması sırasında üçüncü kromozomun altıncı geninde 6 nolu iş ile tamamlanması gerekirken, alt dizi ile bu iş aktarıldığından dolayı 6 nolu işin alt dizideki eşleniği olan 12 nolu iş ile tamamlanmıştır. Aynı şekilde dördüncü kromozomun ikinci geni 10 nolu iş ile tamamlanması gerekirken, alt dizi ile bu iş daha önce aktarıldığından dolayı eşleniği olan 11 nolu iş ile zincir tamamlanmıştır. Tüm kromozomlara ait çaprazlanmış ara popülasyon kromozomları Tablo 5.64'te verilmiştir.

Tablo 5.64. Çaprazlanmış ara popülasyon matrisi elemanları

A.P.	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
K-1	17	16	6	11	9	14	5	4	15	18	2	10	12	7	19	1	3	13	20	8
K-2	17	16	6	11	9	14	5	4	15	18	2	10	12	7	19	1	3	13	20	8
K-3	17	16	6	11	15	12	20	10	8	13	5	2	1	19	18	14	3	7	4	9
K-4	16	17	12	10	9	14	5	4	15	18	2	11	6	7	19	1	3	13	20	8

Çaprazlama işlemi sonucu güncellenen ara popülasyon matrisi, bir sonraki genetik işlem olan mutasyon işleminde girdi popülasyon olarak kullanılacaktır.

5.4.8. Genetik işlemler: Mutasyon

Uygulama kapsamında seçilen mutasyon yöntemi değer değiştirme yöntemidir. Diğer genetik işlemlerde uygulama kararları kromozom zinciri bazında belirlenen olasılıklar

ile karar verilirken, mutasyon işlemi gen bazında oluşturulan olasılıklara göre yapılmaktadır.

Bu aşamada kromozom zincirinde bulunan her bir gen için rassal olasılıklar atanacak ve uygulama başlangıcında belirlenen mutasyon oranı ile karşılaştırılarak kromozom zinciri kendi içerisinde gen değişikliği yapmaktadır.

Mutasyon işlemi sonucunda oluşan nesil artık yeni üretilmiş popülasyondur. Optimizasyon modeline uygulanacak ikinci bir iterasyonda başlangıç popülasyonu artık birinci iterasyonda oluşturulan yeni popülasyon olur. Bu popülasyon güncelleme işlemi her iterasyon boyunca devam etmektedir.

Tablo 5.65'te her bir gen için üretilen rassal olasılıklar verilmiştir.

Tablo 5.65. Her bir gen için üretilen rassal olasılıklar

Mutasyon Oranları	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
K1	0,815	0,632	0,958	0,957	0,422	0,656	0,679	0,655	0,277	0,695
K2	0,906	0,098	0,965	0,485	0,916	0,036	0,758	0,171	0,046	0,317
K3	0,127	0,278	0,158	0,8	0,792	0,849	0,743	0,706	0,097	0,95
K4	0,913	0,547	0,971	0,142	0,959	0,934	0,392	0,032	0,823	0,034
Mutasyon Oranları	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
K1	0,439	0,187	0,709	0,655	0,96	0,751	0,891	0,149	0,814	0,197
K2	0,382	0,49	0,755	0,163	0,34	0,255	0,959	0,258	0,244	0,251
K3	0,766	0,446	0,276	0,119	0,585	0,506	0,547	0,841	0,929	0,616
K4	0,795	0,646	0,68	0,498	0,224	0,699	0,139	0,254	0,35	0,473

Rastgele üretilen olasılıklardan sonra, değer değiştirme yöntemi ile mutasyona uğrayacak genler belirlenmektedir. Bu genler de $n=20$ iş arasından rastgele iki nokta seçilerek belirlenmektedir.

Seçilen iki nokta sırasıyla 8 ve 17 olarak belirlenmiştir. Her bir kromozom zincirinin 8 ve 17. Sıradaki işlerine ait üretilen rassal olasılık değerleri, mutasyon oranından küçükse genler bir biri ile yer değiştirerek yeni kromozom zinciri oluşturulur.

Genetik algoritma parametresi olarak belirlenen mutasyon oranını hatırlayacak olursak, 0,008 olarak belirlenmiştir. Kromozom zincirlerindeki üretilen rassal sayılara bakılacak olursa, 8 ve 17 nolu işlerden her ikisinin de mutasyon oranından küçük

olasılığa sahip olduğu bir kromozom zinciri bulunmamaktadır. Bu nedenle mutasyona uğrayacak herhangi bir gen bulunmamaktadır.

Uygulanan genetik işlemler sonucunda üretilmiş olan yeni nesil popülasyon matrisinin son elemanları Tablo 5.66’da verilmiştir.

Tablo 5.66. Üretilen yeni nesil popülasyon matrisi elemanları

Yeni nesil popülasyon	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
1.kromozom	17	16	6	11	9	14	5	4	15	18	2	10	12	7	19	1	3	13	20	8
2.kromozom	17	16	6	11	9	14	5	4	15	18	2	10	12	7	19	1	3	13	20	8
3.kromozom	17	16	6	11	15	12	20	10	8	13	5	2	1	19	18	14	3	7	4	9
4.kromozom	16	17	12	10	9	14	5	3	15	18	2	11	6	7	19	1	4	13	20	8

Elde edilen yeni nesil, algoritma başlangıcında belirlenen iterasyon sayısına göre iterasyona sokulacaktır.

Her iterasyon sonunda farklı yeni nesiller üretilerek iterasyonlar tamamlandığında ise iterasyonlar boyunca elde edilen en iyi toplam fayda fonksiyonuna sahip iş sıralaması ve bu iş sıralamasına ait saat bazlı üretim çizelgeleme çıktısı elde edilecektir.

5.4.9. Algoritmanın iterasyona sokulması ve en iyi çözüm

Algoritma parametrelerinden biri olan optimizasyonun sonlandırma parametresi iterasyon sayısı olarak belirlenmiştir. Yapılan n=20 iş senaryosunda iterasyon sayısı bir koşul olarak “iteration<10” koşulu ile model optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Bu bağlamda model toplamda 9 kez optimize edilmiştir. 9 iterasyon boyunca üretilen yeni nesillerden seçilen en iyi çözümlere ait toplam fayda fonksiyon değerleri Tablo 5.67’de verilmiştir.

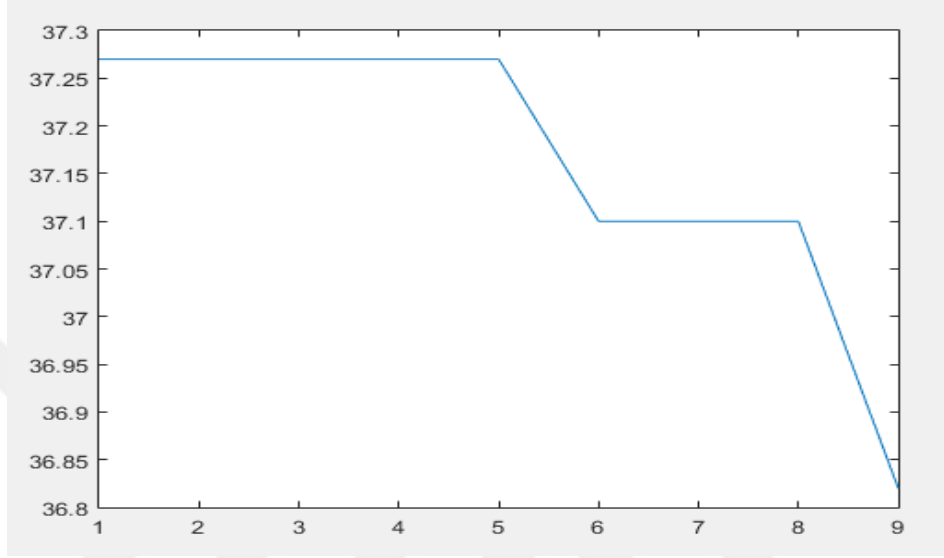
Tablo 5.67. İterasyonlara ait toplam fayda fonksiyon değerleri

İterasyon-1	İterasyon-2	İterasyon-3	İterasyon-4	İterasyon-5	İterasyon-6	İterasyon-7	İterasyon-8	İterasyon-9
37,27	37,27	37,27	37,27	37,27	37,10	37,10	37,10	36,82

Tablo 5.67’ye baktığımızda iterasyon sayısı sona yaklaştıkça elde edilen değerlerde de iyileşme gerçekleştirilmiştir. İterasyon sayısının belirlenmesinde uygulanan iterasyon

sayılarına ait iyileşme grafiği gözlemlenerek optimum iterasyon sayısı belirlenebilmektedir.

Şekil 5.4'te iterasyon sayısı ve toplam fayda fonksiyonuna ait değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.4. İterasyonlar boyunca toplam fayda fonksiyonu değişim grafiği

Şekil 5.4'e bakıldığında ilk iterasyonda toplam fayda fonksiyonu maksimum değerdedir. Problemdaki amaç fonksiyonu minimizasyon problemi olduğundan dolayı ilk 5 iterasyon boyunca sabit kalmış ve 6. iterasyonda iyileşme göstermiştir. Sonuncu iterasyonda ise en iyi değerine ulaşmıştır. Tablo 5.68'de son iterasyonda oluşan nesil popülasyonuna ait toplam fayda fonksiyon değerleri verilmiştir.

Tablo 5.68. Yeni nesil kromozomlarının toplam fayda değerleri

	U
K-1	37,440
K-2	38,090
K-3	36,820
K-4	39,020

Tabloda görüldüğü üzere en iyi değeri veren kromozom zinciri üçüncü kromozomdur. Üçüncü kromozoma ait iş sıralaması optimizasyonun çıktısı olan en iyi çözümü temsil etmektedir. En iyi çözüm kromozom zinciri elemanları Tablo 5.69'da verilmiştir.

Tablo 5.69. En iyi çözüme ait kromozom zinciri

En iyi çözüm	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
3.kromozom	17	14	6	15	9	16	5	4	11	18	12	10	2	7	19	1	3	13	20	8

En iyi kromozoma bakıldığında iş sıralaması 17 nolu iş ile başlayacak ve 8 nolu iş ile sonlanacaktır. Belirlenen bu optimum sıralamaya göre optimum iş çizelgesi Tablo 5.70'te verilmiştir.

Tablo 5.70. En iyi çözüme ait saat bazlı üretim çizelgeleme

G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20
'21- Nov -	'22- Nov -	'22- Nov -	'22- Nov -	'22- Nov -	'22- Nov -	'22- Nov -	'23- Nov -	'23- Nov -	'23- Nov -	'23- Nov -	'24- Nov -	'24- Nov -	'24- Nov -	'24- Nov -	'24- Nov -	'25- Nov -	'25- Nov -	'25- Nov -	'25- Nov -
201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8	201 8
22:0 0:00	01:0 0:00	03:0 0:00	09:0 0:00	13:0 0:00	19:0 0:00	23:0 0:00	01:0 0:00	08:0 0:00	18:0 0:00	23:0 0:00	07:0 0:00	09:0 0:00	11:0 0:00	20:0 0:00	22:0 0:00	01:0 0:00	07:0 0:00	08:0 0:00	11:0 0:00

Optimum üretim çizelgesine bakıldığında, 21.11.2018 16:00'da başlayan 1. iş 22:00'da tamamlanmaktadır. Sonuncu sıradaki iş ise 25.11.2018 tarihinde saat 11:00'de tamamlanması planlanmıştır. Verilen bu üretim planına göre PRES D makinesinin çalışma zamanına göre yaklaşık 4 günlük üretim çizelgesi oluşturulmuştur. Çalışmanın bu kısmında algoritma çalışma mantığının açıklanabilmesi amacıyla belirlenen parametreler doğrultusunda model simüle edilmiştir. Bir sonraki aşamada, planlama ve genetik algoritmalarına ait parametrelerin algoritmaya etkisi analiz edilmiş ve optimum parametre değerlerine ulaşılmıştır. Belirlenen optimum parametreler ile gerçek problem için optimizasyon çalıştırılmış ve en iyi iş sıralamasına ait üretim çizelgesi elde edilmiştir.

5.5. Deney Tasarımı ile algoritma parametrelerinin optimizasyonu

Gerçek hayat problemini optimize edilmeden önce, en iyi çıktıyı sağlayacak modele ait planlama ve genetik algoritma parametreleri belirlenmiştir. En iyi çözümü verecek parametrelerin optimizasyonu Taguchi deney tasarımı metoduyla belirlenmiştir. Yöntem, Minitab18 programı ile tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Taguchi yöntemi, ürüne, sürece ve değişkenlikleri oluşturan parametrelere karşı, kontrol edilen ve kontrol edilemeyen faktörlere ait en iyi kombinasyonu belirleyerek ürün ve sürece ait değişkenliği minimum seviyeye indirmeye çalışan deney tasarımı yöntemlerinden biridir [79]. Taguchi yöntemi genel olarak üç ana kavramdan oluşmaktadır. Bu

kavramlar sırasıyla sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır. Yöntem uygulamasındaki aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

Problemin tanımlanması,
Faktör ve seviyelerin belirlenmesi,
Ortogonal diziler ve seçimleri,
Faktörlerin kolonlara atanması ve deneylerin gerçekleştirilmesi,
Optimum parametrelerin belirlenmesidir [80].

5.5.1. Problemin tanımlanması

Ele alınan Taguchi deney tasarımı problemi, parametre tasarım problemidir. Burada amaç, en iyi çözümü elde etmek için algoritmaya girdi sağlayan optimum parametre kombinasyonunu bulmaktır.

5.5.2. Faktör ve seviyelerin belirlenmesi

Toplamda beş farklı parametre optimize edilecektir. Her bir parametre ise toplamda dört farklı düzeye sahiptir. Değişen parametreler Taguchi deneylerindeki faktörler olacaktır. Parametre düzeylerinin belirlenmesinde optimizasyon modeli, faktörlerin mevcut çalışma ve literatürde yapılan çalışmalar kapsamında belirli limit aralıklarında denemeler yapılmış ve bu denemelere göre her bir parametre için analize katkı sağlayacağı düşünülen düzeyler belirlenmiştir.

Herhangi bir faktöre ait denemeler yapılırken, diğer dört parametre sabit tutularak parametrenin tek başına değişmesinin toplam fayda fonksiyonundaki değişim gözlemlenerek, dört farklı düzey değerleri deney tasarımına dâhil edilmiştir. Tüm faktörler için yapılan detaylı denemelere ait sonuçlar Ek-B’de sırasıyla verilmiştir.

Yapılan denemelere ilk faktör olarak popülasyon büyüklüğünden başlanmıştır. Popülasyon büyüklüğü için toplamda 5 farklı değerde 10 tekrar olmak üzere toplamda 50 kez program çalıştırılmış ve çıktıları kaydedilmiştir. Deneme sonuçlarına ait özet bilgiler Tablo 5.71’de verilmiştir.

Tablo 5.71. Popülasyon büyüklüğü ve toplam fayda fonksiyonu değişimi

Popülasyon Büyüklüğü (psize)	Toplam Fayda Fonksiyon Değeri (En iyi Değer)
20	87,835
80	86,213
150	86,060
300	84,865
500	84,631

Deneme sonuçlarına bakıldığında popülasyondaki çözüm sayısının arttırılmasının toplam fayda fonksiyonunun iyileştirici yönde etkisi olduğu görülmüştür. Yapılan demeler, popülasyon büyüklüğü [20, 500] arasında olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Denemeler yapılırken takip edilen bir başka parametre de algoritmanın çalışma süresidir. Alt limitte çalıştırılan optimizasyon toplamda 2 dk sürerken, üst limitte çalıştırıldığında ise sonuçların gelmesi 5 dk sürmüştür. Genel anlamda popülasyon büyüklüğünün artması, algoritmadaki alternatif çözüm sayısının artmasına dolayısıyla alternatif çözüm sayısının artmasına neden olmaktadır. Alternatif çözüm sayısı artarken aynı zamanda algoritmada çalışan matris boyutu da artmaktadır. Bu da iş sayısının ya da diğer parametrelerin değişmesiyle algoritmada gerek olmayan ağırlaşmalara, yüklenmelere sebep olabilir. Bu nedenle çalışma boyutları kapsamında değişiklik gözlemlenebilecek düzeylere karar verilmelidir. Tablo 5.74'te bulunan sonuçlara göre popülasyon büyüklüğü için deney tasarımında kullanılacak düzeyler sırasıyla; 20,150, 300 ve 500 olarak belirlenmiştir.

İkinci faktör olan iterasyon sayısındaki değişim analiz edilmiştir. İterasyon sayısı için 5 farklı değer ve her değer için 4'er tekrar olmak üzere toplamda 20 farklı deneme yapılmıştır. Yapılan gözlemlerde iterasyon sayısının algoritma çalışma süresine etkisinin fazla olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, iterasyon sayısı 20 iken algoritma 5dk içerisinde sonlanırken, iterasyon sayısının 100 olduğu durumda ise algoritma sonlanması yaklaşık 1 saat sürmüştür. Toplam fayda fonksiyon değerleri ise aynı oranda değişiklik göstermemiştir. Bunun nedeni ise iterasyon sayısı arttırılsa da toplam fayda fonksiyon değerinin belirli bir iterasyondan sonra sabit kalıyor olmasıdır. Tablo 5.72'de yapılan iterasyon değişiklikleri ve deneme sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.72. İterasyon sayısı ve toplam fayda fonksiyonu değişimi

İterasyon Sayısı	Toplam Fayda Fonksiyon Değeri (En İyi Değer)
20	87,505
40	85,617
60	87,164
80	86,679
100	85,630

Yapılan denemelerde çeşitli iterasyon değerlerinde algoritma sonlandıktan sonra plot grafiği alınarak iterasyonlar süresince toplam fayda fonksiyonlarındaki değişim gözlemlenmiştir. Ek-B’de alınan iterasyon plot grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerden de görüldüğü üzere, iterasyonlar boyunca süren değişim maksimum 30-35 iterasyonu görüp yine sabit olarak algoritma tamamlanmıştır. Yapılan çalışmadaki problem boyutu kapsamında, plot grafikleri incelenen iterasyon sayısı düzeyleri [2, 40] arasında olacak şekilde sırasıyla; 2, 10, 25, 40 olarak belirlenmiştir.

Üçüncü faktör çaprazlama oranıdır. Çaprazlama oranı içinde toplamda 50 tekrar ile algoritma sonuçları incelenmiştir. Yapılan literatür çalışmalarının sonucunda çaprazlama oranının genellikle 0,5 ile 0,95 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle tekrarlar [0,5, 0,95] arasındaki değerler ile yapılmıştır. Çaprazlama olasılığındaki değişimin toplam fayda fonksiyonu üzerindeki değişiklikleri içeren özet veriler Tablo 5.73’te verilmiştir.

Tablo 5.73. Çaprazlama oranı ve toplam fayda fonksiyonu değişimi

Çaprazlama Olasılığı	Toplam Fayda Fonksiyon Değeri (En İyi Değer)
0,200	88,858
0,500	88,068
0,700	87,912
0,800	89,241
0,950	89,447

Yapılan denemeler sonucunda aldığı değerlere göre toplam fayda fonksiyonunda hem iyileşme hem de kötüleşme gözlemlenmiştir. Genel olarak maksimum ve minimum toplam fayda fonksiyonu arasındaki fark %1 civarındadır. Çaprazlama oranındaki değişim algoritmanın sonlanmasında geçen süreye herhangi bir etkide bulunmamıştır. Sonuç

olarak tek başına çaprazlama olasılığının değişiminde, toplam fayda fonksiyonun iyileşmesiyle ilgili doğru bir orantı kurulamamıştır. Deney tasarımında yapılacak kombinasyonlar için ise belirlenen dört düzey sırasıyla; 0,200, 0,500, 0,700 ve 0,950'dir.

Dördüncü faktör ise mutasyon oranıdır. Literatürde yapılan çalışmalar ve genetik algoritma prensiplerine göre mutasyon oranı 0,01'den küçük olmalıdır. Yapılan denemeler kapsamında alt ve üst limitler [0,002, 0,009] olmak üzere toplamda 50 tekrar ile algoritma çalıştırılmıştır. Mutasyon oranı ve toplam fayda fonksiyonundaki değişime ait özet tablo aşağıda verilmiştir (Tablo 5.74).

Tablo 5.74. Mutasyon oranı ve toplam fayda fonksiyonu değişimi

Mutasyon Olasılığı	Toplam Fayda Fonksiyon Değeri (En iyi Değer)
0,002	88,814
0,004	88,329
0,006	89,333
0,007	88,945
0,009	88,774

Mutasyon oranının artırılmasıyla toplam fayda fonksiyonundaki değişim arasında doğrusal bir değişim görülememiştir. Diğer bir takip edilen algoritmanın çalışma süresinde de herhangi bir değişiklik olmamıştır. En iyi deneme ortalamasını 0,007 oranında almıştır. Mutasyon olasılığı için seçile düzeyler sırasıyla, 0,002, 0,004, 0,007 ve 0,009'dur.

Dört faktör boyunca kullanılan ağırlıklandırma yöntemi eşit ağırlıklandırma yöntemi idi. Son faktörün kendisi olan birbirinden farklı ağırlıklandırma yöntemlerinin analiz edilmesiyle toplamda her parametre için dört düzey oluşturulmuş olacaktır.

Son faktör olarak ağırlıklandırma yöntemlerinin değişimi ile toplam fayda fonksiyonunu değişimi gözlemlenmiştir. Diğer tüm parametreler sabit bir değerde tutularak ağırlıklandırma yöntemleri değiştirilmiştir. Toplamda 4 farklı ağırlıklandırma yöntemi ve 10 tekrar sayısı için bu aşamada da 40 kez optimizasyon çalıştırılmıştır. Program sonuçlarına ait özet tablo aşağıda verilmiştir (Tablo 5.75).

Tablo 5.75. Ağırlıklandırma yöntemi ve toplam fayda fonksiyonu değişimi

Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi	Toplam Fayda Fonksiyon Değeri (En İyi Değer)
Eşit Ağırlıklandırma	89,984
SWARA	82,363
Max100	85,135
İkili Karşılaştırma	84,179

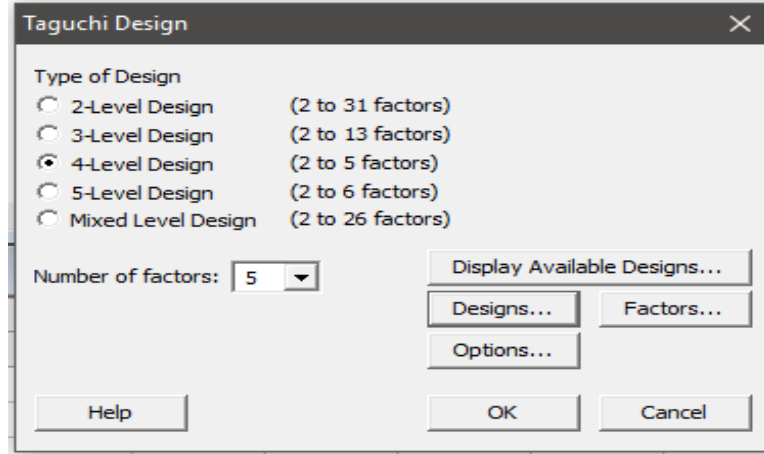
Toplam fayda fonksiyonundaki değişim gözlemlendiğinde en iyi çözüm diğer değişkenler sabit iken SWARA ve İkili karşılaştırma yönteminde alınmıştır. Yapılan parametre değişikliklerinde, toplam fayda fonksiyonunun en fazla değişim gösterdiği parametre ağırlıklandırma yöntemi olmuştur. Bu da üretim çizelgeleme problemlerinde öncelik kriterlerinin birbirlerine göre üstünlüklerinin son derece önemli olduğunu göstermektedir. Geciken iş sayısı daha fazla olan, işlem süreleri daha uzun olan iş kümelerinde bu değişimin daha da fazla olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda yöntem sonuçları arasındaki açıklığı artık gösterdiği görülmüştür.

Yapılan tekrarlı gözlemler sonucunda deney tasarımında kullanılacak olan faktörler ve belirlenen düzeylere ait Tablo 5.76'da verilmiştir.

Tablo 5.76. Taguchi deney tasarım problem bilgileri

Faktörler	Düzy-1	Düzy-2	Düzy-3	Düzy-4
Popülasyon Büyüklüğü (A)	20	150	300	500
İterasyon Sayısı (B)	2	10	25	40
Çaprazlama Oranı (C)	0,200	0,500	0,700	0,950
Mutasyon Oranı (D)	0,002	0,004	0,007	0,009
Ağırlıklandırma Yöntemi (E)	Eşit Ağırlıklandırma	Max100	İkili Karşılaştırma	SWARA

Minitab18 programı aracılığıyla problem ve deney tasarım parametrelerin tanımlanması Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.5. Minitab18 ile faktör ve düzeylerin tanımlanması

Toplamda 5 faktör ve 4 düzeyden oluşan Taguchi deney tasarım problemi, optimum sonuçlara ulaşmayı sağlayacak yapılması gereken deney kombinasyonlarını verecektir. Bu aşamadan sonra “Design” kısmına tıklanarak faktör ve düzeylerine ait dilsel ifadeler tanımlanır.

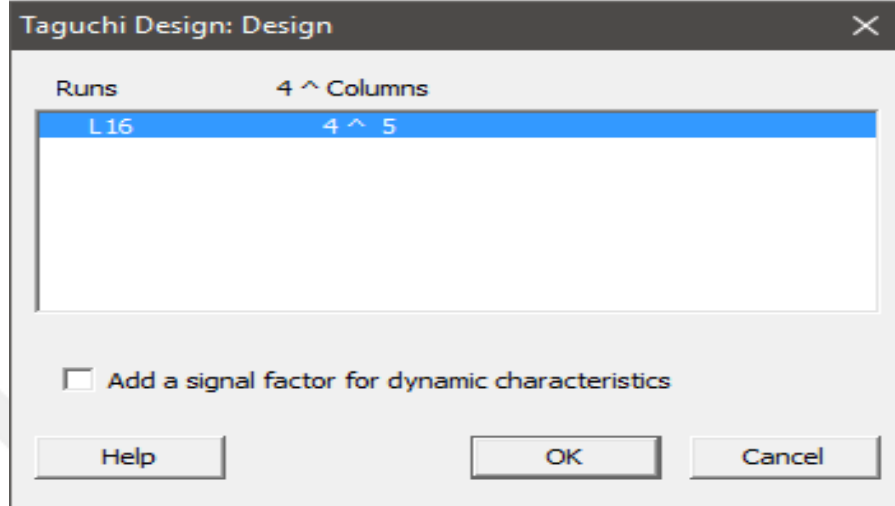
Facto	Name	Level Values	Column	Level
A	Psize	20 150 300 500	1	4
B	İterasyon	2 10 25 40	2	4
C	Pcross	0,200 0,500 0,700 0,950	3	4
D	Pmutasyo	0,002 0,004 0,007 0,009	4	4
E	Ağ. Yönt.	EA M100 İK SW	5	4

Şekil 5.6. Minitab18 ile faktör ve düzey detayları

5.5.3. Probleme uygun ortogonal dizinin seçilmesi

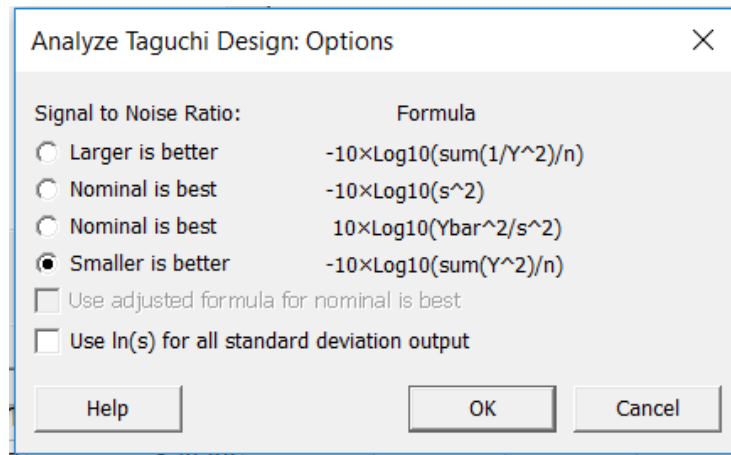
Şekil 5.6’da görüldüğü üzere deney tasarım bilgileri tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında bulunan 5 faktörün 4 farklı düzeyde incelendiğinde, tam eşleştirmeli (full factorial) deney için $4^5=1024$ deneme, 1/2 eşleştirmeli deney için ise 512 deney yapılması gerekmektedir. Deneyin güvenilirliğini arttırmak için ise tekrar sayıları 3 olarak belirlendiği düşünülürse, toplamda yapılması gereken deney sayısı 1536 deney olmaktadır. Taguchi, yüzlerce binlerce deney yapmak yerine, ortogonal diziler geliştirerek yapılması gereken deney sayısını minimuma indirmiştir.

Minitab18 programında faktör ve düzeylerin tamamlanmasının ardından “Ok” butonuna basıldığında, girilen parametre ve düzeylere en uygun ortogonal diziyi karşımıza çıkarmaktadır. Parametre optimizasyonu problemi kapsamında mevcut boyutlara göre en uygun dizi L16 olarak seçilmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Minitab18 ile probleme uygun ortogonal dizi belirlenmesi

Ortogonal dizinin seçilmesinin ardından süreçteki değişkenliğin ölçüsü S/N (Signal to Ratio) oranı için amaç fonksiyonunun minimizasyon olması doğrultusunda Şekil 5.8’de görüldüğü gibi minimum en iyi seçimi de yapılarak. Deney tasarımının dizayn kısmı tamamlanır.



Şekil 5.8. Minitab18 ile S/N oranı seçimi

5.5.4. Faktörlerin kolonlara atanması ve deneylerin gerçekleştirilmesi

Ortogonal dizinin belirlenmesinin ardından, Minitab18 programı yapılması gereken deney kombinasyonları çıktısını tablo halinde Tablo 5.77'deki gibi oluşturmuştur.

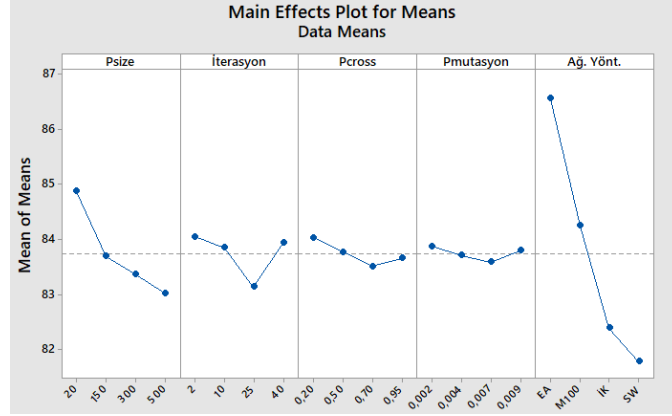
Tablo 5.77. Yapılması gereken deney kombinasyonları

Deney No	Psize	İterasyon	Pcross	Pmutasyon	Ağırlıklandırma Yöntemi
1	20	2	0,2	0,002	EA
2	20	10	0,5	0,004	M100
3	20	25	0,7	0,007	İK
4	20	40	0,95	0,009	SW
5	150	2	0,5	0,007	SW
6	150	10	0,2	0,009	İK
7	150	25	0,95	0,002	M100
8	150	40	0,7	0,004	EA
9	300	2	0,7	0,009	M100
10	300	10	0,95	0,007	EA
11	300	25	0,2	0,004	SW
12	300	40	0,5	0,002	İK
13	500	2	0,95	0,004	İK
14	500	10	0,7	0,002	SW
15	500	25	0,5	0,009	EA
16	500	40	0,2	0,007	M100

Verilen kombinasyonlar doğrultusunda deneyler 3'er kez tekrarlı olacak şekilde toplamda 48 deney gerçekleştirilmiştir. Tüm deney kombinasyonlarına ait sonuçları içeren detay tablo Ek-C'de verilmiştir. Toplamda 48 deney sonuçlarına göre sonuçlar yorumlanarak optimum parametreler belirlenmiştir.

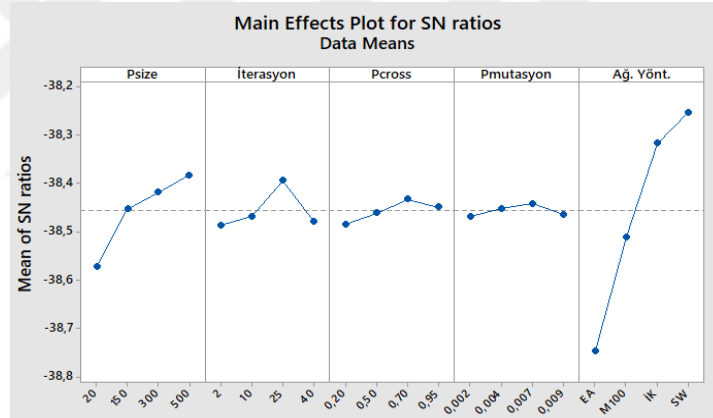
5.5.5. Deney sonuçlarına göre optimum parametrelerin belirlenmesi

Yapılan çalışmada elde edilen verilerin analizinde, faktör etkilerine ait grafiksel gösterim metodu ve faktörlerin önem derecesini belirleyen S/N oranı değişimi uygulanmıştır. Taguchi yöntemine göre yapılan deney sonuçları Minitab18 programı yardımıyla analiz edilmiştir. Taguchi yöntemi yardımıyla, ortalamalar ve S/N oranları olacak şekilde 2 farklı sonuç çıktılar alınmıştır. Ortalamalara göre plot grafiği 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. Ortalamalara göre ana etki plot grafikleri

Şekil 5.9'a bakıldığında deney sonuçlarına (amaç fonksiyon değerine) en çok etki eden parametrenin ağırlık yöntemi olduğu görülmektedir. Çaprazlama ve mutasyon oranındaki değişimin ise deney sonucuna etkisinin daha az olduğu görülmektedir. Şekil 5.10'da ise S/N oranı plot grafiği verilmiştir.



Şekil 5.10. S/N oranlarına göre ana etki plot grafikleri

Şekil 5.10 grafiğine de bakıldığında parametrelerin en etkiliden en etkisize doğru sıralandıklarında ağırlık yöntemi, popülasyon büyüklüğü, iterasyon sayısı, çaprazlama oranı, ve mutasyon oranı olduğu görülmüştür. Parametrelere ait en iyi düzeylerin belirlenmesi için deney sonuçlarına ait S/N oranları Tablo 5.80'de verilmiştir. Verilen tabloda S/N oranları, i; parametre ve j; parametreye ait düzeyi temsil edecek şekilde S/N (i,j) şeklinde verilmiştir. Parametrelere ait en iyi düzeyler ise tabloda kalın yazı tipi ile belirtilmiştir.

Tablo 5.78. Yapılan deney sonuçlarına ait S/N oranları

S/N(i,j)	Oran Değeri
S/N(1,1)	-38,57
S/N(1,2)	-38,45
S/N(1,3)	-38,42
S/N(1,4)	-38,38
S/N(2,1)	-38,49
S/N(2,2)	-38,47
S/N(2,3)	-38,39
S/N(2,4)	-38,48
S/N(3,1)	-38,48
S/N(3,2)	-38,46
S/N(3,3)	-38,43
S/N(3,4)	-38,45
S/N(4,1)	-38,47
S/N(4,2)	-38,45
S/N(4,3)	-38,44
S/N(4,4)	-38,46
S/N(5,1)	-38,75
S/N(5,2)	-38,51
S/N(5,3)	-38,32
S/N(5,4)	-38,25

Ele alınan problem boyutları doğrultusunda, Tablo 5.78’de de görüldüğü üzere en iyi çıktıyı sağlayacak parametre düzeyleri sırasıyla, popülasyon büyüklüğü (psize) 4. düzeyi, iterasyon parametresinin 3.düzeyi, çaprazlama oranının (pcross) 3.düzeyi, mutasyon oranının (pmutasyon) 3.düzeyi ve ağırlıklandırma yönteminin de 4.düzeyi olarak belirlenmiştir. Optimize edilen parametre değerlerine ait bilgiler Tablo 5.79’da verilmiştir.

Tablo 5.79. Optimum parametre düzeyleri

Parametre	Optimum Düzey
Psize	500
İterasyon	25
Pcross	0,700
Pmutasyon	0,007
Ağırlıklandırma Yönt.	SWARA

Çalışma kapsamındaki gerçek hayat problemi belirlenen optimum parametrelerine göre çalıştırılacaktır. Belirlenen parametreler kapsamında Taguchi deney tasarımı sonuçlarını doğrulamak amacıyla optimum parametre seviyelerinde Taguchi

metodolojisi altında Minitab 18 programı ile “Taguchi Prediction” yapılmıştır. Yapılan bu tahmine göre ve program tarafından hesaplanan standart sapma sonuçları verilmiştir. Deney sonuçlarının doğruluğunu izlemek amacıyla 10 adet deneme daha yapılarak, Taguchi deney tasarımı standart sapması içerisinde bu parametreler ile alınması beklenen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan 10 deneme sonuçları Ek-C’de verilmiştir.

5.6. Gerçek problem optimizasyonu

Kurulan algoritma, optimize edilen parametrelere göre çalıştırılmıştır. Optimizasyon süresi mevcut problem boyutları için toplamda 20 dk sürmüştür. Çalışma kapsamındaki 115 işe ait optimum iş sıralaması ve saat bazlı üretim çizelgesi elde edilmiştir.

Tablo 5.80. Probleme ait optimum iş sırası

İş Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
İş No	76	17	93	78	67	112	43	69	52	75	46	96	82
İş Sıra	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
İş No	20	103	71	64	22	29	85	114	89	9	51	11	2
İş Sıra	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
İş No	35	56	87	110	18	106	27	42	37	39	4	111	6
İş Sıra	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
İş No	109	77	63	28	45	12	23	14	48	70	10	102	83
İş Sıra	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
İş No	13	73	33	81	68	101	25	88	62	1	34	79	100
İş Sıra	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
İş No	41	98	53	104	107	15	38	44	49	108	36	94	91
İş Sıra	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
İş No	113	50	95	55	21	86	5	105	66	61	58	40	80
İş Sıra	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
İş No	74	59	7	65	26	30	3	60	24	19	32	47	84
İş Sıra	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	-	-
İş No	31	72	97	115	54	16	99	8	57	90	92	-	-

Elde edilen optimum iş sırası doğrultusunda oluşan detay çizelgeleme tablosu Ek-D’de verilmiştir. Bu tablolara bakıldığında, birinci iş, 76 nolu iş olarak planlanmış, sonuncu iş ise 92 nolu iş olarak planlanmıştır. Planlama başlangıcı ise 21.11.2018 16:00 olup,

planlama bitişi 14.12.2018 13:00'dir. Toplamda yaklaşık olarak 23 günlük üretim çizelgelenmiştir. Elde edilen bu optimum iş sırası Tablo 5.80'de verilmiştir.

Tablo 5.80'de elde edilen iş sıralamasına ait toplam fayda fonksiyon değerleri ve alt amaç fonksiyon değerleri Tablo 5.81'de verilmiştir. Elde edilen iş çizelgesinin uygulanması esnasında planlanan çizelgenin performansı tablodaki değerler olacaktır.

Tablo 5.81. En iyi çözüme ait amaç fonksiyon değerleri

AA Fonksiyonu	AAF Değeri	Kriter Ağırlığı	TFF Etkisi
Obj 1	68,000	0,438	29,784
Obj 2	3,234	0,206	0,666
Obj 3	206,217	0,192	39,594
Obj 4	24,304	0,093	2,260
Obj 5	118,000	0,071	8,378
TF Fonksiyonu			80,682

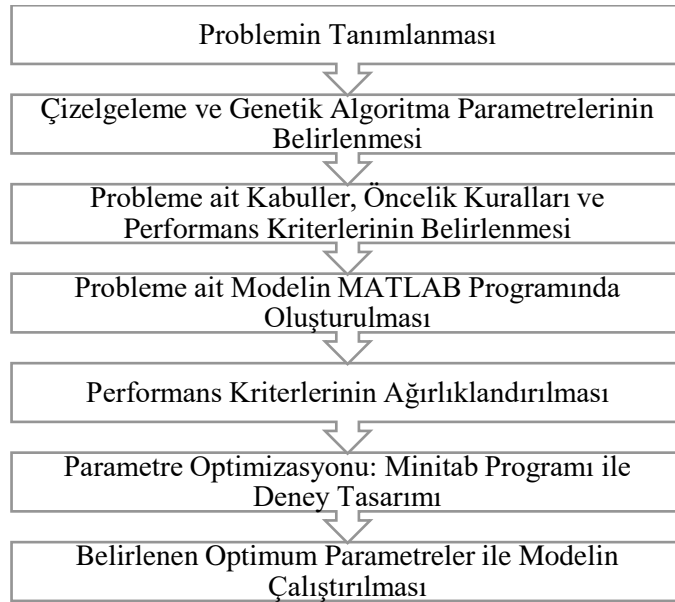
Tablo 5.81'e bakıldığında, en önemli kriter olan toplam geciken iş sayısı alt amaç fonksiyon değeri 68 abr'dir. Bunun anlamı yapılan sıralamada 68 iş gecikecektir. Geciken bu işlerin gecikme gün sürelerinin ortalaması ise ort. 3 gün olarak hesaplanmıştır. AA fonksiyon değeri ise 3,234 abr'dir. Sıralanan optimum iş sırasına göre PRES'D'deki planlanan işlerin ortalama akış süresi 206,217 (sa) abr olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer sa olarak işlemlere alınmıştır. Bu bağlamda ortalama akış süresini gün bazlı ifade edecek olursak, 8,592 gündür. Planlanan işlerin ortalama Dördüncü AA fonksiyonuna bakıldığında ortalama ceza maliyetleri (geciken işler ve müşteri önem düzeyine göre) 24,304 abr'lik ceza maliyeti olarak hesaplanmıştır. Son alt amaç fonksiyonu olan toplam hazırlık süresi ise 118 (sa) abr olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda üretim çizelgesi uygulandığında, 68 adet iş gecikecek ve her bir iş ortalama 3,234 gün gecikecek. PRES'D makinasında her bir ürüne ait ortalama akış, 206,217 saat olarak gerçekleşecek, geciken siparişler için

toplamda 24,304 abr'lik maliyet ödenecek ve bu iş sıralamasını gerçekleştirmek için ise toplamda 118 saatlik bir hazırlık süresi harcanacak anlamına gelmektedir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada alüminyum sektöründe faaliyet gösteren işletmeye ait gerçek tek makineli çizelgeleme problemi çözülmüştür. Problemin çözümlenmesinde probleme özgü olan sezgisel metodlardan genetik algoritma kullanılmıştır. Firma stratejilerine ve üretim sürecine ait en yakın çizelgenin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda işleri bu strateji ve hedeflere yönelik sıralanmasını sağlayacak 5 farklı amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Minimizasyon hedefleyen tüm amaç fonksiyonları toplam fayda fonksiyonu altında birleştirilmiş ve oluşturulan çizelgeleme çözümlerinin performansını temsil etmektedir. İşletmede farklı özelliklere sahip aynı üretim prosesini gerçekleştiren 7 pres içerisinde mevcut durumda en fazla iş sayısına (n) sahip pres üzerinden algoritma ve çözüm anlatımları gerçekleştirilmiştir. Algoritma ve çözüm uygulamaları diğer 6 pres için de problem parametreleri ve işlere ait liste güncellenerek kolayca uygulanabilmektedir. Gerçek boyut probleminin çözümlenmesine ilişkin adımlar Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Probleme ait çözümlenme adımları

Çalışma kapsamında işletmenin hedef ve stratejilerine en uygun iş sırasını elde etmek amacıyla, öncelikle belirlenen 5 farklı amaç fonksiyonlarına ait önem dereceleri belirlenmiştir. Önem derecelerinin belirlenmesi için 4 farklı kriter ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Ağırlıklandırma yöntemindeki farklılığın çizelgeleme problemi sonucuna etkisi analiz edilmiştir. İlk yöntem olan eşit ağırlıklandırma yöntemi, çizelgeleme problemi için belirlenen kısıtların gerçek hayat akışı içerisindeki etkisinin yansıtılması arasındaki farkı ortaya koymak için kullanılmıştır. Yapılan kriter ağırlıklandırma sonuçlarına bakıldığında, yöntemler arasında kriter sıralamalarının paralel olduğu gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bir diğer durum ise sıralamalar paralel olsa dahi sıralamalar arasındaki açıklık farklarının çizelgeleme performansına etki ettiği gözlemlenmiştir.

Çalışmada yapılan denemeler kapsamında eşit ağırlıklandırma yöntemi diğer yöntemler arasında en kötü performansı vermiştir. Max100 ve İkili Karşılaştırma yöntemlerine ait kriter önem sıralaması 5 alt amaç fonksiyonu için de paralel olarak analiz edilmiştir. Fakat çizelgeleme performansları gözlemlendiğinde İkili Karşılaştırma yönteminin Max100 yöntemine göre daha iyi sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir. Max100 yönteminde kriterler arası önem ağırlıkları birbirlerine çok yakın iken, İkili Karşılaştırma yönteminde ise, kriterler önem ağırlıkları arasında açıklık ve dolayısıyla belirginlik çok daha fazladır. En iyi çizelgeleme performans değerlerini veren SWARA yöntemi İkili karşılaştırma yöntemine göre en önemli ilk iki kriterin açıklıklarının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu kapsamda, çizelgeleme optimizasyonları için işletmenin mevcutta işleyen prosesine ve hedeflerine en uygun sonuçları elde etmek için kriter ağırlıklandırmanın en önemli faktör olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda kriter ağırlıklandırma yöntemi olarak, kriterleri birbirlerinden daha iyi ayırt edebilen sistematiğe sahip yöntemin seçilmesinin de işletmenin sahip olduğu hedeflere en yakın ve dolayısıyla en iyi sonuca ulaştırdığı gözlemlenmiştir.

Hedeflenen alt amaç fonksiyonlarına ait önem ağırlıklarının oluşturulması sonrasında, genetik algoritma içerisinde değişiklik gösteren parametreler ve modele etki eden kriter ağırlıklandırma yöntemi parametresi optimize edilmiştir. Parametre optimizasyonu için deney tasarımı metodolojisi kullanılmıştır. Toplamda ele alınan 5 farklı parametreye ait alt ve üst sınır belirlemek için algoritma üzerinde deneme

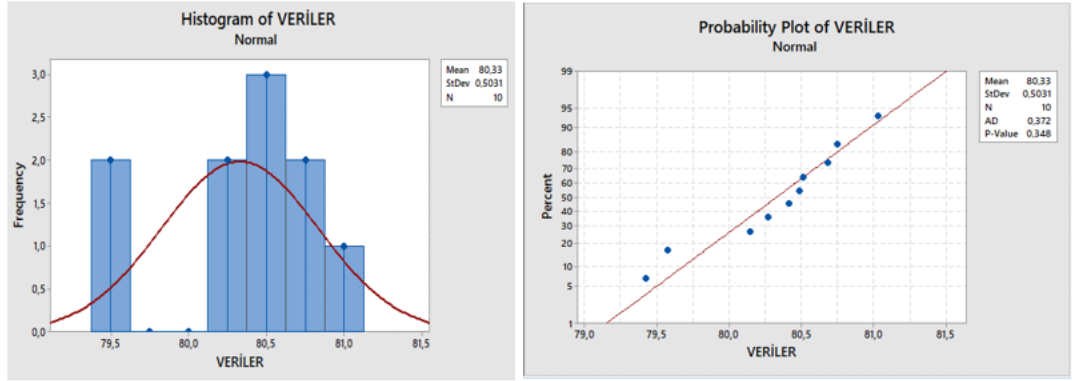
çalışmaları yapılmıştır. Bu deneme çalışmalarının amacı mevcut problem boyutları kapsamında deney tasarımı düzeneğine en iyi analiz sonucunu verecek faktör düzeylerini belirlemektir. Tüm parametreler için toplamda 240 adet deneme yapılmıştır. Bu denemeler süresince ele alınan parametreler dışında kalanlar sabit tutulmuştur. Bu bağlamda parametrelerin tek başlarına toplam fayda fonksiyonuna etkisi gözlemlenerek, deney tasarımı için faktör düzeyleri belirlenmiştir.

İlk parametre olan popülasyon büyüklüğü tek başına değiştiğinde, popülasyon büyüklüğü arttırıldığında sonuçlarda iyileşme gözlemlenmiştir fakat belirli bir düzeyden sonra arttırıldığında da iyileşmenin seviyesinin azaldığı çoğu zaman da sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Diğer bir parametre olan çaprazlama olasılığında ise, tek başına değişmesinde herhangi bir düzenli artış ya da azalış gözlemlenmemiştir. Mutasyon olasılığı değiştiğinde de aynı şekilde mevcut problem boyutlarında (n=115) düzenli bir kural gözlemlenmemiştir. İterasyon sayısı parametresi incelendiğinde ise toplam fayda fonksiyonu değerleri yerine iterasyonların plot grafikleri incelenerek değerlerin sabit kalmaya başladığı noktalar üzerinden değerlendirme yapılmıştır. İterasyon sayısındaki değişimin en çok etki ettiği durum ise optimizasyon süresi olmuştur. Bu nedenle grafikler incelenerek iterasyon parametresine ait alt ve üst limitler daraltılmıştır. Son parametre olan ağırlıklandırma yönteminde ise ilk paragrafta da bahsedildiği üzere, tek başına etkisi incelendiğinde de en iyi değerleri SWARA yöntemi, en kötü değerleri ise Eşit Ağırlıklandırma yöntemi verdiği görülmüştür.

Toplamda optimize edilecek olan 5 parametre (popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı, iterasyon sayısı, ağırlıklandırma yöntemi) için birbirinden farklı dört düzey belirlenmiştir. En iyi çizelgeyi verecek parametreleri belirlemek amacıyla, Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır. Deney tasarımı ile parametrelerin toplam fayda fonksiyonuna tek tek etkisi yerine aynı anda değişimlerinin toplam fayda fonksiyonuna etkisi gözlemlenerek optimum parametreler analiz edilmiştir. Taguchi metodu kapsamında toplam 48 deney gerçekleştirilmiş ve optimum parametreler belirlenmiştir. Taguchi yöntemine göre belirlenen parametreler ile çalıştırılan optimizasyonun tahmini sonucu ve standart sapma değerine göre doğrulama amaçlı algoritma 10 kez daha çalıştırılmış ve çıkan değerlerin standart sapma içerisinde olduğu gözlemlenmiştir (Ek-C).

Taguchi tahminlerine göre 1 sigma değeri 1,145 ve ortalaması 80,065 olarak kabul edilip incelendiğinde çıkan sonuçlar minimum ve maksimum limitlere bakıldığında +/- 1 sigma aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Verilerin kendi içerisindeki dağılımı ile değerlendirdiğimizde ise standart sapması 0,503 ortalama değer ise 80,330 olup, +/- 2 sigma aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu denemelerin normallik testi sonuçlarına bakıldığında ise %95 güven aralığında p-value analiz sonucu >0.05 olduğundan normallik testi sonuçları anlamlı çıktığı görülmüştür.

Doğrulama verilerinin dağılımındaki varyasyon oranlarına bakıldığında, taguchi tahmin sistemine göre verilerin dağılımında %1,43'lük bir varyasyon yani değişim söz konusudur. Toplamda 10 tekrardan oluşan verilerin kendi içerisindeki varyasyonları analiz edildiğinde ise %0,63'lük bir varyasyon oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Normal dağılım özelliklerini taşıyan başarılı süreçler, küçük varyasyon oranlarına sahiptir. Aynı zamanda verilerin dağılım aralığının ölçüsü olan +/-1 sigma aralığında olması da sürecin ve sürece ait parametrelerin kararlı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Normal dağılım testi sonuç grafikleri Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2. Taguchi deneme sonuçlarına ait normal dağılım grafikleri

Yapılan çalışmanın işletmeye katkısı ve mevcut çizelgeleme sürecine ait değişim ise toplamda 6 farklı kategoride incelenmiştir. Belirlenen 6 iyileşme kategorisi sırasıyla, kullanılan program, kullanılan yöntem, ölçülebilir plan performansı, planlanan max iş süresi, planlama için harcanan süre, plan revizesi olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Mevcut durum ve çizelgeleme optimizasyonu sonrası olmak üzere iki durumu karşılaştıran tablo aşağıda verilmiştir (Tablo 6.1).

Tablo 6.1. Yapılan çalışma öncesi ve sonrası durum karşılaştırması

Karşılaştırma Kriterleri	Yapılan Çalışma Öncesi	Yapılan Çalışma Sonrası
Kullanılan Program	Excel	Matlab
Kullanılan Yöntem	Kişisel görüşler, tahminler, manuel işlemler	Algoritma optimizasyonu
Ölçülebilir Plan Performansı	Ölçülüyor	5 alt amaç fonksiyonu ve bunları birleştiren toplam fayda fonksiyonu ile plan performansı ölçülüyor.
Planlanan İş Süresi (gün)	3	25+
Planlama için Harcanan Süre (sn/iş)	136,32	10,38
Plan Revize	Excel'e ekleme, çıkartma vs., planlama ilk hali, son hali herhangi bir karşılaştırma söz konusu değildir.	Revize edilen kısım ve sonrası optimizasyon tekrar çalıştırılabilir, performanslar değişimler tekrar hesaplanabilir.

Tablo 6.1'e bakıldığında, mevcut çizelgeleme excel programı yardımıyla yapılmaktadır. Geliştirme sonrası ise çizelgeleme Matlab programı aracılığıyla yapılacaktır. Kullanılan yönteme bakıldığında mevcut durumda herhangi bir planlama yöntemi kullanılmamaktadır. ERP sisteminden çekilen toplu iş emirleri listesi başlangıçta terminler küçükten büyüğe sıralanarak ve çevreden gelen acil bilgilerine göre iş sıralaması yapılmaktadır. Geliştirme sonrasında ise çevreden gelen tüm bilgiler ve planlama performansını ölçecek değişkenlerin tümü algoritma içerisine tanımlanmıştır ve genetik algoritma yöntemi ile optimize edilmektedir. Mevcut durumda yapılan plana ait performans herhangi bir şekilde ölçülmemektedir. Yapılan bu plan doğrultusunda hangi işler tamamlanacak hangileri gecikecek vs herhangi bir performans ölçütü bulunmamaktadır. Algoritma sonrası ise geciken işler, harcanacak toplam hazırlık süreleri vs. birbirinden farklı 5 alt amaç fonksiyonu ile plan ölçülebilir düzeye getirilmiştir. Mevcut durumda genel olarak 1 presi 3 gün planlamak için ortalama harcanan süre 45 dk'dır. Optimizasyon sonrası ise n=115 iş boyutu karşılığı olarak 25 gün için bu süre 20 dk olarak hesaplanmıştır. Mevcut planlamada mesai saatleri içerisinde max 3 günlük plan yapıp gönderilebiliyorken, problem kapsamında maksimum iş sayısına sahip pres için 25 günlük plan çıkarılmıştır. Planda yapılan revizeler mevcut durumda plan listesi atıldıktan sonra mailler ile bilgilendirme yapılıyorken, algoritma sonucu elde edilen sıralamaya ait iş sırası değiştirilip çizelgeleme performansı tekrar ölçülerek daha sağlıklı ve hızlı bir şekilde karar

verilebilmektedir. Geliştirmelere ek olarak, PRESD için 21.11.2018 tarihinde mevcut duruma göre planlanan 20 işe (yaklaşık 3 günlük) ait performans göstergeleri ve algoritmanın çalıştırılması sonucu oluşan iş sıralamalarına ait bilgiler Tablo 6.2’de ve optimum iş çizelgesine ait performans değerleri Tablo 6.3’te verilmiştir.

Tablo 6.2. Mevcut durum ve geliştirilen algoritma sonrası iş sıralamaları

Mevcut Durum	1	9	2	3	4	5	6	7	8	10	11	16	12	13	14	15	17	18	20	19
Geliştirme Sonrası	3	8	4	6	11	15	7	2	20	14	5	12	9	17	19	13	18	10	16	1

Tablo 6.3. Mevcut durum ve algoritma karşılaştırılması

MEVCUT DURUM				GELİŞTİRME SONRASI			
AA Fonksiyonu	AAF Değeri	Kriter Ağırlığı	TFF Etkisi	AA Fonksiyonu	AAF Değeri	Kriter Ağırlığı	TFF Etkisi
Obj 1	20,000	0,2	4,000	Obj 1	18,000	0,438	7,884
Obj 2	10,750	0,2	2,150	Obj 2	10,500	0,206	2,163
Obj 3	31,550	0,2	6,310	Obj 3	28,150	0,192	5,405
Obj 4	21,350	0,2	4,270	Obj 4	21,150	0,093	1,967
Obj 5	29,000	0,2	5,800	Obj 5	18,000	0,071	1,278
TF Fonksiyonu			22,530	TF Fonksiyonu			18,697

Belirlenen amaç fonksiyon kriterlerine ait sonuçlara baktığımızda, etki ağırlığı daha düşük fakat amaç fonksiyonunun bulunduğu seviyeyi büyük oranda belirleyen ölçüt ortalama akış süresidir. İlgili atölye tipi üretim sisteminde ortalama akış süresi ile ilgili bir iyileştirme yapıldığında, amaç fonksiyonu daha iyi seviyelere inecek olup bu doğrultuda en önemli ağırlıklara sahip ilk iki kriterde de iyileşme söz konusu olacaktır.

Aynı zamanda farklı proses iyileştirme çalışmalarıyla birlikte hazırlık ve ürün geçişleri zamanları azaltılarak, daha kısa işlem süreleri elde edilebilir. Hazırlık sürelerinin azalması da amaç fonksiyon değerini azaltırken dolaylı olarak tüm kriterlerde de iyileşme etkisi meydana gelecektir. Terminler açısından mevcut prosesin durumuna göre ortalama gecikme süresi kadar daha ileri tarihlere termin vererek, üretim sistemine uygun terminli siparişler gelmiş olacaktır. Bu sayede geciken iş süresi ve ortalama gecikme süresi de azalacaktır.

Çalışma süresince karşılaşılmış olunan program ve kullanılan bilgisayar sürümünün algoritma hızını etkilediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle çalışmanın yapıldığı bilgisayar özellikleri ve Matlab optimizasyon programı özellikleri paylaşılmıştır. İşletim sisteminin daha yüksek ve tüketim ömrünün daha gerisinde olan bir bilgisayar yardımıyla algoritma süresinin kısılacağı öne sürülmektedir.

Tablo 6.4. Çalışma süresince kullanılan bilgisayar ve program özellikleri

Özellikler	Özellik Türleri
İşlemci	Intel® Core™ i7-4700MQ CPU @ 2.40 Ghz. 2. GHz
Yüklü Bellek (RAM)	16,0 GB
Sistem Türü	64 bit İşletim Sistemi, x64 tabanlı işlemci
Satınalma Tarihi (Yıl)	2012 (Bilgisayar yaklaşık 7 yıldır kullanılmaktadır.)
MATLAB Sürümü	MATLAB R2015a

KAYNAKLAR

- [1] Doğan E., T., *Dünden Bugüne Zanaatkârlık: Cam İşçiliği Örneği*, 1. Baskı, Özyurt Matbaacılık, Ankara, 2013.
- [2] Küçükkalay M., Endüstri Devrimi ve Ekonomik Sonuçlarının Analizi, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1997, 2(2), 51-68.
- [3] Kent E., Endüstrinin Gelişimine Bakış, <http://www.endüstri.com/endüstrinin-gelisimine-bakis/>, (Ziyaret Tarihi: 30.06.2018).
- [4] Sır A., Endüstriyel Devrim ve Süreçleri Nelerdir?, <https://www.kreatifbiri.com/endustriyel-devrimler/>, (Ziyaret Tarihi: 30.06.2018).
- [5] <http://www.euroteknik.com.tr/haber/44/endustri-tarihine-kisa-bir-yolculuk.html>, (Ziyaret Tarihi: 30.06.2018).
- [6] Baskak M., Tanyaş M., *Üretim Planlama ve Kontrol Kitabı*, 5. Baskı, Alioğlu Matbaacılık, İstanbul, 2017.
- [7] Gersil A., Üretim Sistemleri ve Teknolojilerindeki Gelişmelerin ve Küreselleşmenin Geleneksel Maliyet Muhasebesine Etkileri, *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 2007, 62(4), 107-123.
- [8] Pinedo M. L., *Scheduling - Theory, Algorithms, and Systems*, Fifth Edition, Springer, New Jersey, 2016.
- [9] Çörekçioğlu M., Dokuma Tezgâhlarında Çizelgeleme Yaklaşımının İş Süreçleri Modelleme Notasyonu (Business Process Modeling Notation - BPMN) ile Gösterimi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2006.
- [10] Aydemir E., Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Öncelik Kuralı Tabanlı Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Simülasyon Destekli Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta, 2009, 234198.
- [11] Kellegöz T., Toplam Geç Bitirme Zamanının En Küçüklenmesi Performans Ölçütlü Permütasyon Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözümünde Genetik Algoritma Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2006, 184733.

- [12] Eren T., Güner E., Tek ve Paralel Makinalı Problemlerde Çok Ölçütlü Çizelgeleme Problemleri İçin Bir Literatür Taraması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2002, **17**(4), 37-69.
- [13] Smith W. E., Various Optimizers for Single-Stage Production, *Naval Research Logistics*, 1956, **3**(1-2), 59-66.
- [14] Heck H., Roberts S., A Note on The Extension of A Result on Scheduling with Secondary Criteria, *Naval Research Logistics*, 1972, **19**(2), 403-405.
- [15] Gupta S., Kyparisis J., Single Machine Scheduling Research, *OMEGA International Journal of Management Science*, 1987, **15**(3), 207-227.
- [16] Nelson T., Sarin R. K., Daniels R. L., Scheduling with Multiple Performance Measures: The One - Machine Case, *Management Science*, 1986, **32**(4), 464-479.
- [17] John T. C., Trade off Solution in Single Machine Production Scheduling for Minimizing Flowtime and Maximum Penalty, *Computers and Operations Research*, 1989, **16**(5), 471-479.
- [18] Hoogeveen J. A., Van de Velde S. L., Minimizing Total Completion Time and Maximum Cost Simultaneously is Solvable in Polynomial Time, *Operations Research Letters*, 1995, **17**(5), 205-208.
- [19] Kirkpatrick S., Gelatt C. D., Vecchi M. P., Optimization by Simulated Annealing, *Management Science*, 1983, **220**(4598), 671-680.
- [20] Miyazaki S., One Machine Scheduling Problem with Dual Criteria, *Journal of Operations Research Society of Japan*, 1981, **24**(1), 37-50.
- [21] Shanthikumar J., Buzacott J. A., On The Use of Decomposition Approaches In A Single Machine Scheduling Problem, *Journal of The Operations Research Society of Japan*, 1983, **25**(1), 29-47.
- [22] Bansal S. P., Single Machine Scheduling to Minimize Weighted Sum of Completion Times With Secondary Criterion: A Branch and Bound Approach, *European Journal of Operational Research*, 1980, **5**(3), 177-181.
- [23] Potts C. N., Van Wassenhove L. N., An Algorithm for Single Machine Sequencing with Deadlines to Minimize Total Weighted Completion Time, *European Journal of Operational Research*, 1983, **12**(4), 379-387.
- [24] Posner M. E., Minimizing Weighted Completion Times with Deadlines, *Operations Research*, 1985, **33**(3), 562-574.
- [25] Chand S., Schneeberger H., A Note on The Single - Machine Scheduling Problem with Minimum Weighted Completion Time and Maximum Allowable Tardiness, *Naval Research Logistic*, 1986, **33**(3), 551-557.
- [26] Bagchi U., Ahmadi R. H., An Improved Lower Bound for Minimizing

- Weighted Completion Times with Deadlines, *Operations Research*, 1987, **35**(2), 311-313.
- [27] Köksalan M., A Heuristic Approach to Bicriteria Scheduling, *Naval Research Logistic*, 1999, **46**(7), 777-789.
- [28] Kondakci S. K., Bekiroğlu T., Scheduling with Bicriteria Scheduling: Total Flowtime and Number of Tardy Jobs, *International Journal of Production Economics*, 1997, **53**(1), 91-99.
- [29] Karasakal E. K., Köksalan M., A Simulated Annealing Approach to Bicriteria Scheduling Problems on a Single Machine, *Journal of Heuristics*, 2000, **6**(3), 311-327.
- [30] Fry T., Leong G., A Bi-criterion Approach to Minimizing Inventory Costs on A Single Machine When Early Shipments Are Forbidden, *Computers and Operations Research*, 1987, **14**(5), 363-368.
- [31] Sen T., Raiszadeh F. M. E., Dileepan P., A Branch-and-Bound Approach To The Bicriterion Scheduling Problem Involving Total Flowtime and Range of Lateness, *Management Science*, 1988, **34**(2), 255-260.
- [32] Dileepan P., Sen T., Bicriteria Scheduling with Total Flowtime and Sum of Squared Lateness, *Engineering Cost and Production Economics*, 1991, **21**(8), 295-299.
- [33] Hoogeveen J. A., Van De Velde S. L., Scheduling with Target Start Times, *European Journal of Operational Research*, 2001, **129**(1), 87-94.
- [34] Daniels R. L., Incorporating Preference Information Into Multi - Objective Scheduling, *European Journal of Operational Research*, 1994, **77**(2), 272-286.
- [35] Liao C.-J., Huang R.-H., An Algorithm for Minimizing The Range of Lateness on A Single Machine, *Journal of Operations Research Society*, 1991, **42**(2), 183-186.
- [36] De P., Grosh J. B., Wells C. E., Heuristic Estimation of The Efficient Frontier For A Bi - Criteria Scheduling Problem, *Decision Sciences*, 1992, **23**(3), 596-609.
- [37] Cheng T. C. E., Chen Z.-L., Li C.-L., Lin B. M. T., Scheduling to Minimize The Total Compression and Late Costs, *Naval Research Logistics*, 1998, **45**(1), 67-82.
- [38] Cheng T. C. E., Janiak A., Kovalyov M. Y., Bicriterion Single Machine Scheduling with Resource Dependent Processing Time, *SIAM Journal on Optimization*, 1998, **8**(2), 617-630.
- [39] Diskup D., Cheng T. C. E., Single - Machine Scheduling with Controllable Processing Times and Earliness, Tardiness and Completion Time Penalties,

- Engineering Optimization*, 1999, **31**(3), 329-336.
- [40] Klamroth K., Wiecek M. M., A Time - Dependent Multiple Criteria Single Machine Scheduling Problem, *European Journal of Operational Research*, 2001, **135**(1), 17-26.
- [41] Lin C-H., Lee C-Y., Single - Machine Stochastic Scheduling with Dual Criteria, *IIE Transactions*, 1995, **27**(2), 244-249.
- [42] Crabill T. B., Maxwell W. L., Single - Machine Sequencing with Random Processing Time and Random Due - Dates, *Naval Research Logistics*, 1969, **16**(4), 549-554.
- [43] Hodgson T. J., A Note on Single - Machine Sequencing with Random Processing Times, *Management Science*, 1977, **23**(10), 1144-1146.
- [44] Frost F. G., Bicriterion Stochastic Scheduling on One or more Machines, *European Journal of Operational Research*, 1995, **80**(2), 404-409.
- [45] Biroğul S., Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005, 166118.
- [46] Şevkli M., Yenisey M. M., Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri İçin Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemi, *İtü Dergisi/Mühendislik*, 2006, **5**(2), 58-68.
- [47] Seyfi G., Metasezgisel Algoritmalar Kullanılarak Sınav Çizelgeleme, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2018, 489340.
- [48] Yağmahan B., Yenisey M., Akış Tipi Çizelgeleme Problemi İçin KKE Parametre Eniyileme, *İtü Dergisi/Mühendislik*, 2006, **5**(2), 133-141.
- [49] Ertuğrul İ., Gürel S., Organ A., Bütünleşik Üretim Planlamasının Hedef Programlamayla Optimizasyonu ve Denizli İmalat Sanayiinde Uygulanması, *Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi*, 2013, **6**(1), 96-115.
- [50] Mitchell M. ve Forest S., Genetic Algoritms and Artificial Life, *MIT Press Journal*, 1994, **1**(3), 267-289.
- [51] Goldberg D., *Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning*, 1st edition, Addison-Wesley Professional, Boston, 1989.
- [52] Mitchell M., *An Introduction to Genetic Algorithms*, 1st edition, MIT Press Cambridge, USA, 1998.
- [53] Gen M., Cheng R., Genetic Algorithms and Engineering Optimization, USA, www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol1/tcw2/article1.html., (Ziyaret Tarihi: 07.05.2002).
- [54] Davis L., Applying Adaptive Algorithms to Epistatic Domains, *Proceedings*

of the International Joint Conference on Artificial Intelligence, Los Angeles California, 18-23 August 1985.

- [55] Chen C.L., Vempati V.S., Aljaber N., An Application of Genetic Algorithms For Flowshop Problems, *European Journal of Operational Research*, 1995, **80**(2), 389-396.
- [56] Reeves C.R., *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*, 1st edition, McGraw-Hill Book Company Inc., Europe, 1995.
- [57] Murata T., Ishibuchi H., Tanaka H., Genetic Algorithms for Flow Shop Scheduling Problems, *Computers and Industrial Engineering*, 1996, **30**(4), 1061-1071.
- [58] Cheng T. C. E., Kovalyov M. Y., Tuzikov A. V., Single Machine Group Scheduling with Two Ordered Criteria, *Journal of Operational Research Society*, 1996, **47**(2), 315-320.
- [59] Kulluk S., Türkbey O., Tesis Yerleşim Problemleri için Bir Genetik Algoritma *YAEM 2004 - Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi*, Adana, 5-18 Haziran 2004.
- [60] 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, 15-19 July 1995.
- [61] Goldberg D. E., *Sizing Populations for Serial and Paralel Genetic Algorithms*, 1st edition, University of Alabama, USA, 1988.
- [62] Goldberg D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, 1st edition, Addison-Wesley Longman Publishing, Boston, 1989.
- [63] Emel G. G., Taşkın Ç., Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, *Uludağ Üniversitesi İİBF Dergisi*, 2002, **21**(1), 129-152.
- [64] Paksoy S., Genetik Algoritmalar ile Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana, 2007, 217059.
- [65] İşci Ö., Korukoğlu S., Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulama, *Celal Bayar Üniversitesi İİBF Dergisi*, 2003, **10**(2), 191-208.
- [66] Fırlı A., Engin O., Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yardımı ile Çözümünde Uygun Çaprazlama Operatörünün Belirlenmesi, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 2011, **3**(2), 27-35.
- [67] Baskak M., Erol V., Sipariş Tipi Atölyelerde İş Sıralama Problemi İçin Bir Genetik Algoritma Uygulaması, *YAEM 2004*, Gaziantep-Adana, 2004.
- [68] Yiğit T., Aydemir M., Paket Döndürmeksizin Genetik Algoritma Kullanarak

- Konteyner Yükleme Problemi Optimizasyonu, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2018, **6**(1), 21-28.
- [69] Croce F. D., Tadei R., Volta G., A Genetic Algorithm for the Job Shop Problem, *Computers and Operations Research*, 1995, **22**(1), 15-24.
- [70] Mizutani E., Jang J.S.R., Sun C.T., *Neuro – Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*, 1st edition, Prentice Hall, USA, 1997.
- [71] Bolat B., Erol K. ve İmrak E., Mühendislik Uygulamalarında Genetik Algoritma ve Operatörlerin İşlevleri, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2004, **22**(4), 264-271.
- [72] Gökpınar Y. E., Firmaların Performanslarının Belirlenmesi İçin Kriter Ağırlıklandırılmasında Kullanılan Hedef Programlama Yaklaşımı Ve Uygulanması, *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2012, **1**(2), 110-121.
- [73] Saaty T. L., *Decision Making for Leaders*, 5th edition, RWS Publications, USA, 1995.
- [74] Zeleny M., *Multiple Criteria Decision Making*, 1st edition, McGraw-Hill, New York, 1982.
- [75] Durmuş M., Tayyar N., AHP ve TOPSIS ile Farklı Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinin Kullanılması ve Karar Verici Görüşleriyle Karşılaştırılması, *Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 2018, **12**(3), 65 – 80.
- [76] Kakiashvili T., Koczkodaj W., Woodbury M., Improving the Medical Scale Predictability by The Pairwise Comparisons Method: Evidence from A Clinical Data Study, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2012, **105**(3), 210-216.
- [77] Çakır E., Akar S. G., Bütünleşik SWARA – TOPSIS Yöntemi ile Makine Seçimi: Bir Üretim İşletmesinde Uygulama, *International Journal of Academic Value Studies*, 2017, **3**(13), 206-216.
- [78] Çakır E., Kriter Ağırlıklarının SWARA - Copeland Yöntemi ile Belirlenmesi: Bir Üretim İşletmesinde Uygulama, Adnan Menderes Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2016, **4**(1), 42-56.
- [79] Ross P. J., *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, 1st edition, McGraw-Hill, Singapore, 1989.
- [80] Kaya İ. E., Minitab ile Taguchi Deney Tasarımı Projesi, (Ziyaret Tarihi: 5.12.2018).
- [81] <https://www.endustri40.com/endustri4-0-uygulama-icin-yol-haritasi>, (Ziyaret Tarihi: 3.11.2018).

- [82] <https://www.endustri40.com/endustri-tarihine-kisa-bir-yolculuk/>, (Ziyaret Tarihi: 3.11.2018).
- [83] <https://tr.scribd.com/presentation/194116117/Ekstruzyon>, (Ziyaret Tarihi: 7.11.2018).
- [84] <http://w3.balikesir.edu.tr/ay/lectures/iy2/lecture8.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 7.11.2018).
- [85] Wu C., Liu S., Lin T., Yang T., Chung I., Lin W., Bicriterion Total Flowtime And Maximum Tardiness Minimization for an Order Scheduling Problem, *Computers & Industrial Engineering*, 2018, **117**, 152-163.
- [86] Shavari O., Logendran R., A Comparison of Two Stage - Based Hybrid Algorithms for a Batch Scheduling Problem in Hybrid Flow Shop With Learning Effect, *International Journal of Production Economics*, 2018, **195**, 227-248.
- [87] Ying K., Lu C., Chen J., Exact Algorithms for Single - Machine Scheduling Problems with a Variable Maintenance, *Computers & Industrial Engineering*, 2016, **98**, 427-433.
- [88] Cheng M., Tadikamalla P., Shang J., Zhang B., Single Machine Scheduling Problems With Exponentially Time Dependent Learning Effects, *Journal of Manufacturing Systems*, 2015, **34**, 60-65.
- [89] Li D., Wang Y., Xiao G., Tang J., Dynamic Parts Scheduling in Multiple Job Shop Cells Considering Intercell Moves and Flexible Routes, *Computers & Operations Research*, 2013, **40**(5), 1207-1223.
- [90] Mati Y., Lahlou C., Dauzere-Peres, S., A General Approach for Optimizing Regular Criteria in the Job - Shop Scheduling Problem, *European Journal of Operational Research*, 2011, **212**(1), 33-42.
- [91] Janiak A., Januszkiewicz R., Preemptive Parallel Processor Scheduling with Distinct Due Windows and Min-Max Criterion, *IFAC Proceedings Volumes*, 2009, **42**(13), 234-237.
- [92] Moslehi G., Mirzaee M., Vasei M., Modarres M., Azaron A., Two - Machine Flow Shop Scheduling to Minimize The Sum of Maximum Earliness and Tardiness, *International Journal of Production Economics*, 2009, **122**(2), 763-773.
- [93] Birman M., Mosheiov G., A Note on A Due - Date Assignment on A Two Machine Flow - Shop, *Computers & Operations Research*, 2004, **31**(3), 473-480.
- [94] Zhi H., Liu S., Face Recognition Based on Genetic Algorithm, *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2019, **58**, 495-502.
- [95] Cheng F., Tijun F., Dandan F., 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.

- [96] Alavipour S. M. R., Arditi D., Time-Cost Tradeoff Analysis with Minimized Project Financing Cost, *Automation in Construction*, 2019, **98**, 110-121.
- [97] Jankauskas K., Papageorgiou G. L., Farid S. S., Fast Genetic Algorithm Approaches to Solving Discrete - Time Mixed Integer Linear Programming Problems of Capacity Planning and Scheduling of Biopharmaceutical Manufacture, *Computers & Chemical Engineering*, 2019, **121**, 212-223.
- [98] https://tr.wikipedia.org/wiki/Genetik_algoritma, (Ziyaret Tarihi: 10.1.2019)





EKLER

EK-A

Tablo A.1. Çalışma kapsamında probleme dâhil edilen işlere ait detay bilgiler

#	Sipariş Termini	Pres No	Alaşım Kodu	Ekstrüzyon İşlem Süresi (sa)	Diğer Operasyonlar İşlem Süreleri (sa)	Müşteri Önem Düzeyi
1	08.10.2018	PRES D	6xxx-03	2	6	2
2	15.10.2018	PRES D	6xxx-01	2	7	2
3	19.10.2018	PRES D	6xxx-02	1	5	2
4	19.10.2018	PRES D	6xxx-01	2	7	2
5	19.10.2018	PRES D	6xxx-01	1	8	2
6	23.10.2018	PRES D	6xxx-01	1	5	2
7	23.10.2018	PRES D	6xxx-02	1	6	2
8	25.10.2018	PRES D	6xxx-02	2	7	2
9	25.10.2018	PRES D	6xxx-03	4	8	2
10	26.10.2018	PRES D	6xxx-01	8	10	3
11	30.10.2018	PRES D	6xxx-02	4	10	1
12	30.10.2018	PRES D	6xxx-03	5	10	1
13	30.10.2018	PRES D	6xxx-01	5	9	2
14	01.11.2018	PRES D	6xxx-01	1	10	3
15	02.11.2018	PRES D	6xxx-03	3	5	3
16	02.11.2018	PRES D	6xxx-03	6	9	1
17	02.11.2018	PRES D	6xxx-03	6	7	1
18	02.11.2018	PRES D	6xxx-01	7	7	3
19	02.11.2018	PRES D	6xxx-03	7	9	2
20	05.11.2018	PRES D	6xxx-01	1	5	1
21	25.11.2018	PRES D	6xxx-03	2	5	1
22	25.11.2018	PRES D	6xxx-02	2	6	3
23	25.11.2018	PRES D	6xxx-02	4	9	2
24	25.11.2018	PRES D	6xxx-02	8	6	3
25	26.11.2018	PRES D	6xxx-03	2	6	2
26	26.11.2018	PRES D	6xxx-02	1	7	2
27	27.11.2018	PRES D	6xxx-02	3	8	1
28	27.11.2018	PRES D	6xxx-01	6	7	3
29	28.11.2018	PRES D	6xxx-03	1	10	2
30	28.11.2018	PRES D	6xxx-02	9	7	1
31	29.11.2018	PRES D	6xxx-01	1	5	3
32	29.11.2018	PRES D	6xxx-03	3	5	1
33	29.11.2018	PRES D	6xxx-01	2	6	1
34	29.11.2018	PRES D	6xxx-03	2	6	1
35	29.11.2018	PRES D	6xxx-02	3	8	2
36	02.12.2018	PRES D	6xxx-03	1	10	2
37	02.12.2018	PRES D	6xxx-02	1	7	1
38	02.12.2018	PRES D	6xxx-03	3	5	3
39	02.12.2018	PRES D	6xxx-01	3	10	1

Tablo A.1. (Devam) Çalışma kapsamında probleme dâhil edilen işlere ait detay bilgiler

40	02.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	4	10	3
41	02.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	5	8	3
42	03.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	2	5	2
43	03.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	1	9	3
44	03.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	3	7	3
45	03.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	7	10	1
46	04.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	2	7	2
47	04.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	2	9	3
48	04.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	3	10	1
49	04.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	3	6	2
50	04.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	3	10	2
51	04.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	3	10	2
52	04.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	4	9	1
53	04.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	5	9	3
54	04.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	6	6	3
55	04.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	6	6	1
56	05.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	5	9	2
57	05.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	5	8	3
58	05.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	5	6	3
59	06.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	6	8	1
60	06.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	8	5	3
61	07.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	3	7	2
62	08.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	4	10	2
63	08.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	6	8	1
64	08.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	6	6	2
65	08.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	6	7	2
66	08.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	10	7	3
67	08.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	5	7	1
68	09.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	1	5	1
69	09.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	4	10	2
70	09.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	1	9	2
71	09.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	2	10	3
72	10.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	3	10	3
73	11.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	3	7	2
74	11.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	3	7	1
75	11.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	2	8	2
76	11.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	2	6	2
77	11.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	3	8	3
78	11.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	3	9	2
79	11.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	4	6	2
80	11.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	4	10	2
81	12.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	6	5	2
82	12.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	8	5	2
83	12.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	2	5	1

Tablo A.1. (Devam) Çalışma kapsamında probleme dâhil edilen işlere ait detay bilgiler

84	12.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	4	8	2
85	12.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	5	7	2
86	15.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	1	6	2
87	15.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	1	10	1
88	15.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	1	7	3
89	15.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	2	10	3
90	15.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	3	6	3
91	15.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	7	7	2
92	16.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	6	9	2
93	16.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	2	10	1
94	16.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	2	9	2
95	16.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	6	8	1
96	17.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	7	7	3
97	17.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	7	6	2
98	17.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	7	9	3
99	17.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	5	10	2
100	18.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	6	5	1
101	18.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	4	7	2
102	19.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	4	6	1
103	20.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	1	9	3
104	20.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	2	6	3
105	20.12.2018	PRESĐ	6xxx-03	2	6	2
106	24.12.2018	PRESĐ	6xxx-02	3	5	3
107	29.12.2018	PRESĐ	6xxx-01	5	8	3
108	11.01.2019	PRESĐ	6xxx-03	4	5	2
109	13.01.2019	PRESĐ	6xxx-01	5	5	3
110	19.01.2019	PRESĐ	6xxx-02	5	10	2
111	20.01.2019	PRESĐ	6xxx-01	5	6	1
112	03.02.2019	PRESĐ	6xxx-03	3	10	2
113	06.02.2019	PRESĐ	6xxx-02	5	5	1
114	09.07.2019	PRESĐ	6xxx-03	3	10	2
115	05.08.2019	PRESĐ	6xxx-02	3	5	2

EK-B

Tablo B.1. Popülasyon büyüklüğünün değişimine ait deneme sonuçları

İş Sayısı	Popülasyon Büyüklüğü (psize)	İterasyon Sayısı (iterasyon)	Çaprazlama Olasılığı (pcorss)	Mutasyon Olasılığı (pmutasyon)	Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi	Toplam Fayda Fonksiyon Değeri (En iyi Değer)	Başlangıç sa	Bitiş sa
115	20	10	0,8	0,008	EA	86,02	21:58	22:00
115	20	10	0,8	0,008	EA	88,327	22:01	22:03
115	20	10	0,8	0,008	EA	89,045	22:04	22:06
115	20	10	0,8	0,008	EA	88,403	22:07	22:09
115	20	10	0,8	0,008	EA	86,568	22:10	22:12
115	20	10	0,8	0,008	EA	88,398	22:14	22:16
115	20	10	0,8	0,008	EA	87,53	22:18	22:20
115	20	10	0,8	0,008	EA	85,829	22:21	22:23
115	20	10	0,8	0,008	EA	88,947	22:24	22:26
115	20	10	0,8	0,008	EA	89,278	22:27	22:29
115	80	10	0,8	0,008	EA	87,078	22:54	22:56
115	80	10	0,8	0,008	EA	87,539	22:57	22:59
115	80	10	0,8	0,008	EA	86,24	23:00	23:02
115	80	10	0,8	0,008	EA	87,163	23:03	23:05
115	80	10	0,8	0,008	EA	84,384	23:06	23:08
115	80	10	0,8	0,008	EA	87,008	23:09	23:11
115	80	10	0,8	0,008	EA	83,163	23:12	23:14
115	80	10	0,8	0,008	EA	86,862	23:15	23:17
115	80	10	0,8	0,008	EA	85,643	23:18	23:20
115	80	10	0,8	0,008	EA	87,052	23:21	23:23
115	150	10	0,8	0,008	EA	84,756	23:30	23:34
115	150	10	0,8	0,008	EA	85,727	23:34	23:38
115	150	10	0,8	0,008	EA	85,763	23:39	23:43
115	150	10	0,8	0,008	EA	86,892	23:44	23:48
115	150	10	0,8	0,008	EA	85,057	23:49	23:53
115	150	10	0,8	0,008	EA	86,76	23:54	23:58

Tablo B.1. (Devam) Popülasyon büyüklüğünün değişimine ait deneme sonuçları

İş Sayısı	Popülasyon Büyüklüğü (psize)	İterasyon Sayısı (iterasyon)	Çaprazlama Olasılığı (pcross)	Mutasyon Olasılığı (pmutasyon)	Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi	Toplam Fayda Fonksiyon Değeri (En iyi Değer)	Başlangıç sa	Bitiş sa
115	150	10	0,8	0,008	EA	85,946	23:59	00:03
115	150	10	0,8	0,008	EA	87,055	00:05	00:09
115	150	10	0,8	0,008	EA	86,233	00:10	00:14
115	150	10	0,8	0,008	EA	86,415	00:14	00:18
115	300	10	0,8	0,008	EA	84,04	00:11	00:15
115	300	10	0,8	0,008	EA	84,316	00:17	00:21
115	300	10	0,8	0,008	EA	83,899	00:22	00:26
115	300	10	0,8	0,008	EA	85,245	00:27	00:31
115	300	10	0,8	0,008	EA	86,031	00:32	00:36
115	300	10	0,8	0,008	EA	85,219	00:37	00:41
115	300	10	0,8	0,008	EA	84,542	00:42	00:46
115	300	10	0,8	0,008	EA	87,067	00:48	00:52
115	300	10	0,8	0,008	EA	84,563	00:54	00:58
115	300	10	0,8	0,008	EA	83,723	01:00	01:04
115	500	10	0,8	0,008	EA	83,382	01:10	01:15
115	500	10	0,8	0,008	EA	85,015	01:16	01:21
115	500	10	0,8	0,008	EA	82,687	01:22	01:27
115	500	10	0,8	0,008	EA	84,984	01:30	01:35
115	500	10	0,8	0,008	EA	84,633	01:37	01:42
115	500	10	0,8	0,008	EA	85,17	01:43	01:48
115	500	10	0,8	0,008	EA	84,968	01:50	01:55
115	500	10	0,8	0,008	EA	85,149	02:00	02:05
115	500	10	0,8	0,008	EA	83,954	02:07	02:12
115	500	10	0,8	0,008	EA	86,37	02:15	02:20

Tablo B.2. Çaprazlama olasılığı değişimine ait deneme sonuçları

İş Sayısı	Popülasyon Büyüklüğü	İterasyon Sayısı	Çaprazlama Olasılığı	Mutasyon Olasılığı	Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi	Toplam Fayda Fonksiyon Değeri (En İyi Değer)	Başlangıç sa	Bitiş sa
115	20	10	0,2	0,008	EA	90,38	14:32	14:35
115	20	10	0,2	0,008	EA	87,422	14:35	14:38
115	20	10	0,2	0,008	EA	90,575	14:40	14:43
115	20	10	0,2	0,008	EA	87,245	14:45	14:48
115	20	10	0,2	0,008	EA	88,68	14:50	14:53
115	20	10	0,2	0,008	EA	87,949	14:55	14:58
115	20	10	0,2	0,008	EA	90,615	15:00	15:03
115	20	10	0,2	0,008	EA	90,655	15:05	15:08
115	20	10	0,2	0,008	EA	85,21	15:10	15:13
115	20	10	0,2	0,008	EA	89,852	15:15	15:18
115	20	10	0,5	0,008	EA	90,012	15:25	15:28
115	20	10	0,5	0,008	EA	89,38	15:30	15:33
115	20	10	0,5	0,008	EA	88,28	15:35	15:38
115	20	10	0,5	0,008	EA	87,173	15:40	15:43
115	20	10	0,5	0,008	EA	87,5	15:45	15:48
115	20	10	0,5	0,008	EA	88,17	15:50	15:53
115	20	10	0,5	0,008	EA	90,127	15:55	15:58
115	20	10	0,5	0,008	EA	85,596	16:00	16:03
115	20	10	0,5	0,008	EA	88,074	16:05	16:08
115	20	10	0,5	0,008	EA	86,37	16:10	16:13
115	20	10	0,7	0,008	EA	89,502	20:00	20:03
115	20	10	0,7	0,008	EA	84,593	20:05	20:08
115	20	10	0,7	0,008	EA	87,593	20:10	20:13
115	20	10	0,7	0,008	EA	88,561	20:15	20:18
115	20	10	0,7	0,008	EA	85,739	20:20	20:23
115	20	10	0,7	0,008	EA	89,335	20:25	20:28
115	20	10	0,7	0,008	EA	89,274	20:30	20:33
115	20	10	0,7	0,008	EA	89,271	20:35	20:38
115	20	10	0,7	0,008	EA	87,761	20:40	20:43
115	20	10	0,7	0,008	EA	87,495	20:45	20:48
115	20	10	0,8	0,008	EA	88,387	20:50	20:53
115	20	10	0,8	0,008	EA	88,805	20:55	20:58
115	20	10	0,8	0,008	EA	89,667	21:01	21:04
115	20	10	0,8	0,008	EA	88,459	21:05	21:08
115	20	10	0,8	0,008	EA	89,725	21:10	21:13
115	20	10	0,8	0,008	EA	90,587	21:15	21:18
115	20	10	0,8	0,008	EA	89,671	21:21	21:24
115	20	10	0,8	0,008	EA	88,365	21:25	21:28
115	20	10	0,8	0,008	EA	88,706	21:30	21:33

Tablo B.2. (Devam) Çaprazlama olasılığı değişimine ait deneme sonuçları

İş Sayısı	Popülasyon Büyüklüğü	İterasyon Sayısı	Çaprazlama Olasılığı	Mutasyon Olasılığı	Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi	Toplam Fayda Fonksiyon Değeri (En iyi Değer)	Başlangıç sa	Bitiş sa
115	20	10	0,8	0,008	EA	90,036	21:35	21:38
115	20	10	0,95	0,008	EA	88,892	22:00	22:03
115	20	10	0,95	0,008	EA	90,979	22:05	22:08
115	20	10	0,95	0,008	EA	87,123	22:10	22:13
115	20	10	0,95	0,008	EA	89,278	22:14	22:17
115	20	10	0,95	0,008	EA	89,594	22:20	22:23
115	20	10	0,95	0,008	EA	88,419	22:25	22:28
115	20	10	0,95	0,008	EA	89,069	22:30	22:33
115	20	10	0,95	0,008	EA	90,528	22:35	22:38
115	20	10	0,95	0,008	EA	90,462	22:40	22:43
115	20	10	0,95	0,008	EA	90,13	22:45	22:48

Tablo B.3. Mutasyon olasılığı değişimine ait deneme sonuçları

İş Sayısı	Popülasyon Büyüklüğü	İterasyon Sayısı	Çaprazlama Olasılığı	Mutasyon Olasılığı	Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi	Toplam Fayda Fonksiyon Değeri (En iyi Değer)	Başlangıç sa	Bitiş sa
115	20	10	0,8	0,002	EA	89,031	20:00	20:03
115	20	10	0,8	0,002	EA	89,123	20:05	20:08
115	20	10	0,8	0,002	EA	88,64	20:10	20:13
115	20	10	0,8	0,002	EA	88,488	20:16	20:19
115	20	10	0,8	0,002	EA	90,372	20:20	20:23
115	20	10	0,8	0,002	EA	89,88	20:25	20:28
115	20	10	0,8	0,002	EA	88,137	20:30	20:33
115	20	10	0,8	0,002	EA	88,549	20:35	20:38
115	20	10	0,8	0,002	EA	87,01	20:40	20:43
115	20	10	0,8	0,002	EA	88,907	20:45	20:48
115	20	10	0,8	0,004	EA	89,869	20:50	20:53
115	20	10	0,8	0,004	EA	88,342	20:55	20:58
115	20	10	0,8	0,004	EA	89,533	21:00	21:03
115	20	10	0,8	0,004	EA	89,864	21:05	21:08
115	20	10	0,8	0,004	EA	87,22	21:10	21:13
115	20	10	0,8	0,004	EA	86,633	21:15	21:18
115	20	10	0,8	0,004	EA	88,415	21:20	21:23
115	20	10	0,8	0,004	EA	85,309	21:25	21:28

Tablo B.3. (Devam) Mutasyon olasılığı değişimine ait deneme sonuçları

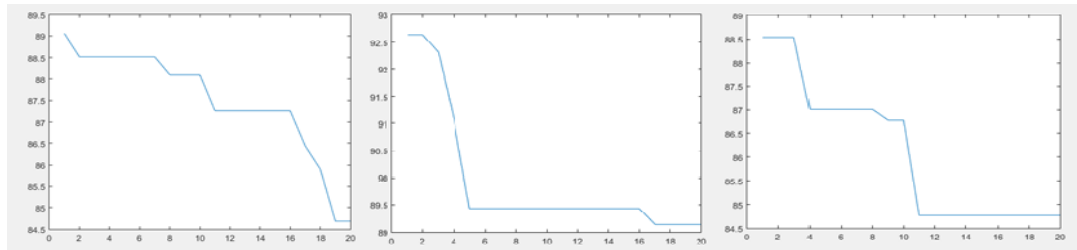
İş Sayısı	Popülasyon Büyüklüğü	İterasyon Sayısı	Çaprazlama Olasılığı	Mutasyon Olasılığı	Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi	Toplam Fayda Fonksiyon Değeri (En iyi Değer)	Başlangıç sa	Bitiş sa
115	20	10	0,8	0,004	EA	87,855	21:30	21:33
115	20	10	0,8	0,004	EA	90,25	21:35	21:38
115	20	10	0,8	0,006	EA	87,398	15:10	15:13
115	20	10	0,8	0,006	EA	89,241	15:15	15:18
115	20	10	0,8	0,006	EA	89,735	15:20	15:23
115	20	10	0,8	0,006	EA	89,195	15:25	15:28
115	20	10	0,8	0,006	EA	89,062	15:30	15:33
115	20	10	0,8	0,006	EA	89,179	15:35	15:38
115	20	10	0,8	0,006	EA	90,361	15:40	15:43
115	20	10	0,8	0,006	EA	88,965	15:45	15:48
115	20	10	0,8	0,006	EA	90,153	15:50	15:53
115	20	10	0,8	0,006	EA	90,043	15:55	15:58
115	20	10	0,8	0,007	EA	89,593	20:05	20:08
115	20	10	0,8	0,007	EA	89,942	20:10	20:13
115	20	10	0,8	0,007	EA	90,386	20:15	20:18
115	20	10	0,8	0,007	EA	90,212	20:20	20:23
115	20	10	0,8	0,007	EA	88,801	20:25	20:28
115	20	10	0,8	0,007	EA	88,725	20:30	20:33
115	20	10	0,8	0,007	EA	87,271	21:00	21:03
115	20	10	0,8	0,007	EA	89,154	21:05	21:08
115	20	10	0,8	0,007	EA	88,001	21:15	21:18
115	20	10	0,8	0,007	EA	87,368	21:20	21:23
115	20	10	0,8	0,009	EA	87,201	19:17	19:20
115	20	10	0,8	0,009	EA	91,015	19:30	19:33
115	20	10	0,8	0,009	EA	90,292	19:35	19:38
115	20	10	0,8	0,009	EA	87,353	19:40	19:43
115	20	10	0,8	0,009	EA	87,412	19:45	19:48
115	20	10	0,8	0,009	EA	85,316	19:50	19:53
115	20	10	0,8	0,009	EA	90,506	19:55	19:58
115	20	10	0,8	0,009	EA	88,038	20:00	20:03
115	20	10	0,8	0,009	EA	89,947	20:05	20:08
115	20	10	0,8	0,009	EA	90,659	20:10	20:13

Tablo B.4. Ağırlıklandırma yöntemi değişimine ait deneme sonuçları

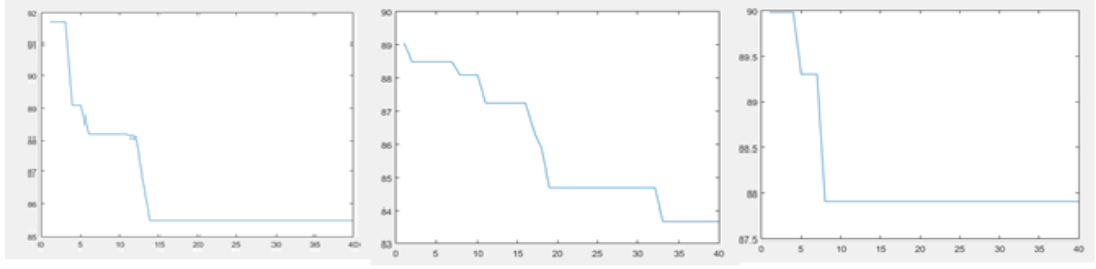
İş Sayısı	Popülasyon Büyüklüğü	İterasyon Sayısı	Çaprazlama Olasılığı	Mutasyon Olasılığı	Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi	Toplam Fayda Fonksiyon Değeri (En iyi Değer)	Başlangıç sa	Bitiş sa
115	20	10	0,8	0,009	EA	96,145	22:09	22:12
115	20	10	0,8	0,009	EA	87,918	22:15	22:18
115	20	10	0,8	0,009	EA	89,963	22:20	22:23
115	20	10	0,8	0,009	EA	87,363	22:26	22:29
115	20	10	0,8	0,009	EA	89,201	22:30	22:33
115	20	10	0,8	0,009	EA	87,873	22:35	22:38
115	20	10	0,8	0,009	EA	90,987	22:40	22:43
115	20	10	0,8	0,009	EA	88,699	22:45	22:48
115	20	10	0,8	0,009	EA	93,545	22:50	22:53
115	20	10	0,8	0,009	EA	88,142	22:55	22:58
115	20	10	0,8	0,009	EA	81,272	23:00	23:03
115	20	10	0,8	0,009	EA	83,143	23:05	23:08
115	20	10	0,8	0,009	EA	81,785	23:10	23:13
115	20	10	0,8	0,009	EA	83,543	23:15	23:18
115	20	10	0,8	0,009	EA	82,175	23:20	23:23
115	20	10	0,8	0,009	EA	83,961	23:26	23:29
115	20	10	0,8	0,009	EA	81,214	23:30	23:33
115	20	10	0,8	0,009	EA	82,9	23:35	23:38
115	20	10	0,8	0,009	EA	81,292	23:40	23:43
115	20	10	0,8	0,009	EA	82,348	23:45	23:48
115	20	10	0,8	0,009	EA	85,219	10:24	10:27
115	20	10	0,8	0,009	EA	85,446	10:30	10:33
115	20	10	0,8	0,009	EA	84,296	10:35	10:38
115	20	10	0,8	0,009	EA	85,689	10:40	10:43
115	20	10	0,8	0,009	EA	85,054	10:45	10:48
115	20	10	0,8	0,009	EA	84,759	10:50	10:53
115	20	10	0,8	0,009	EA	85,418	10:55	10:58
115	20	10	0,8	0,009	EA	84,801	11:00	11:03
115	20	10	0,8	0,009	EA	85,219	11:05	11:08
115	20	10	0,8	0,009	EA	85,446	11:10	11:13
115	20	10	0,8	0,009	EA	85,047	16:17	16:20
115	20	10	0,8	0,009	EA	83,768	16:25	16:28
115	20	10	0,8	0,009	EA	85,63	16:30	16:33
115	20	10	0,8	0,009	EA	84,031	16:35	16:38
115	20	10	0,8	0,009	EA	83,838	16:40	16:43
115	20	10	0,8	0,009	EA	82,939	16:45	16:48
115	20	10	0,8	0,009	EA	85,184	16:50	16:53
115	20	10	0,8	0,009	EA	83,806	16:55	16:58
115	20	10	0,8	0,009	EA	83,169	17:00	17:03
115	20	10	0,8	0,009	EA	84,378	17:05	17:08

Tablo B.5. İterasyon sayısının değişimine ait deneme sonuçları

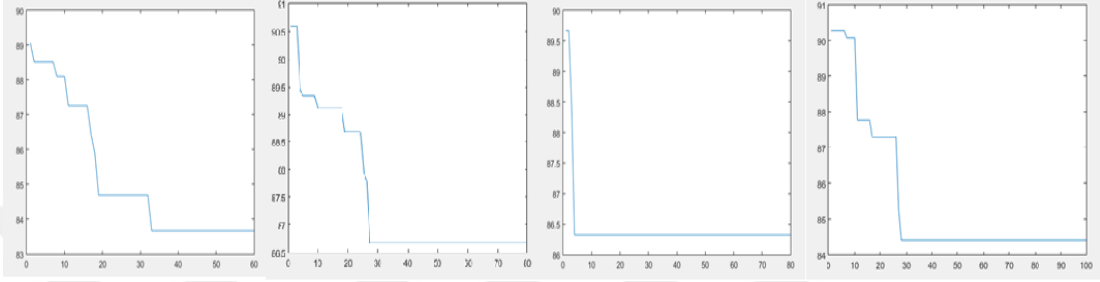
İş Sayısı	Popülasyon Büyüklüğü	İterasyon Sayısı	Çaprazlama Olasılığı	Mutasyon Olasılığı	Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi	Toplam Fayda Fonksiyon Değeri (En İyi Değer)	Başlangıç sa	Bitiş sa
115	20	20	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	87,690	01:39	01:44
115	20	20	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	84,692	10:02	10:07
115	20	20	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	88,500	10:15	10:20
115	20	20	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	89,137	10:33	10:38
115	20	40	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	85,488	02:03	02:11
115	20	40	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	83,671	02:15	02:23
115	20	40	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	85,389	02:30	02:38
115	20	40	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	87,918	02:40	02:48
115	20	60	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	85,546	11:44	12:04
115	20	60	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	89,137	12:05	12:30
115	20	60	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	86,690	12:45	13:05
115	20	60	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	87,281	13:30	13:55
115	20	80	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	86,878	14:26	14:56
115	20	80	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	86,673	15:00	15:30
115	20	80	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	86,840	15:34	16:04
115	20	80	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	86,325	16:05	16:35
115	20	100	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	84,419	17:00	18:00
115	20	100	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	85,452	18:03	19:00
115	20	100	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	86,986	19:05	19:58
115	20	100	0,80	0,009	Eşit Ağırlıklandırma	85,663	20:00	21:00



Şekil B.1. İterasyon =20 için örnekler



Şekil B.2. İterasyon=40 için örnekler



Şekil B.3. İterasyon=60,80 ve 100 için örnekler

EK-C

Tablo C.1. Taguchi deney tasarımı sonuçları

Deney No	Psize	İterasyon	Peross	Pmutasyon	Ağırlıklandırma Yöntemi	Deney Tekrarı-1	Deney Tekrarı-2	Deney Tekrarı-3
1	20	2	0,2	0,002	EA	89,495	87,387	88,365
2	20	10	0,5	0,004	M100	86,126	84,568	85,746
3	20	25	0,7	0,007	İK	81,765	82,170	83,619
4	20	40	0,95	0,009	SW	84,072	82,350	82,802
5	150	2	0,5	0,007	SW	82,703	80,718	82,298
6	150	10	0,2	0,009	İK	83,005	82,213	83,165
7	150	25	0,95	0,002	M100	84,246	83,937	82,735
8	150	40	0,7	0,004	EA	87,347	86,487	85,487
9	300	2	0,7	0,009	M100	83,532	83,834	84,645
10	300	10	0,95	0,007	EA	84,280	87,942	85,939
11	300	25	0,2	0,004	SW	81,549	80,613	81,019
12	300	40	0,5	0,002	İK	82,114	83,221	81,789
13	500	2	0,95	0,004	İK	81,809	82,398	81,365
14	500	10	0,7	0,002	SW	81,065	81,611	80,537
15	500	25	0,5	0,009	EA	86,433	85,594	83,953
16	500	40	0,2	0,007	M100	81,748	85,456	84,360

Tablo C.2. Deney sonuçları doğrulama denemeleri (ort. 80,330)

Deneme	Taguchi Tahmini Değeri	Standart Sapma	Max Değer	Min Değer	Algoritma Sonucu
1	80,065	1,145	81,21	78,92	80,490
2	80,065	1,145	81,21	78,92	81,028
3	80,065	1,145	81,21	78,92	80,414
4	80,065	1,145	81,21	78,92	80,752
5	80,065	1,145	81,21	78,92	80,513
6	80,065	1,145	81,21	78,92	79,578
7	80,065	1,145	81,21	78,92	80,145
8	80,065	1,145	81,21	78,92	79,425
9	80,065	1,145	81,21	78,92	80,270
10	80,065	1,145	81,21	78,92	80,682

EK-D

Tablo D.1. En iyi çözüme istinaden üretim çizelgesi

İş Sı r a	1. iş bit iş	2. iş bit iş	3. iş bit iş	4. iş bit iş	5. iş bit iş	6. iş bit iş	7. iş bit iş	8. iş bit iş	9. iş bit iş	10. iş bit iş	11. iş bit iş	12. iş bit iş	13. iş bit iş	14. iş bit iş	15. iş bit iş	16. iş bit iş	17. iş bit iş	18. iş bit iş	19. iş bit iş	20. iş bit iş	21. iş bit iş	22. iş bit iş	23. iş bit iş
İş N o	'21 - No v-20 18 18:00:00'	'22 - No v-20 18 18:00:00'	No v-20 18 05:00:00'	No v-20 18 08:00:00'	No v-20 18 14:00:00'	No v-20 18 19:00:00'	No v-20 18 22:00:00'	'23- No v-201 8 04:00:00'	'23- No v-201 8 10:00:00'	'23- No v-201 8 12:00:00'	'23- No v-201 8 14:00:00'	'23- No v-201 8 21:00:00'	'24- No v-201 8 06:00:00'	'24- No v-201 8 07:00:00'	'24- No v-201 8 08:00:00'	'24- No v-201 8 10:00:00'	'24- No v-201 8 17:00:00'	'24- No v-201 8 19:00:00'	'24- No v-201 8 22:00:00'	'25- No v-201 8 03:00:00'	'25- No v-201 8 06:00:00'	'25- No v-201 8 08:00:00'	'25- No v-201 8 12:00:00'
İş Sı r a	24. iş bit iş	25. iş bit iş	26. iş bit iş	27. iş bit iş	28. iş bit iş	29. iş bit iş	30. iş bit iş	31. iş bit iş	32. iş bit iş	33. iş bit iş	34. iş bit iş	35. iş bit iş	36. iş bit iş	37. iş bit iş	38. iş bit iş	39. iş bit iş	40. iş bit iş	41. iş bit iş	42. iş bit iş	43. iş bit iş	44. iş bit iş	45. iş bit iş	46. iş bit iş
İş N o	'25 - No v-20 18 18:00:00'	'26 - No v-20 18 18:01:00'	No v-20 18 06:00:00'	No v-20 18 10:00:00'	No v-20 18 16:00:00'	No v-20 18 17:00:00'	No v-20 18 23:00:00'	'27- No v-201 8 07:00:00'	'27- No v-201 8 11:00:00'	'27- No v-201 8 14:00:00'	'27- No v-201 8 17:00:00'	'27- No v-201 8 19:00:00'	'27- No v-201 8 23:00:00'	'28- No v-201 8 01:00:00'	'28- No v-201 8 06:00:00'	'28- No v-201 8 07:00:00'	'28- No v-201 8 12:00:00'	'29- No v-201 8 00:00:00'	'29- No v-201 8 09:00:00'	'29- No v-201 8 00:00:00'	'29- No v-201 8 01:00:00'	'29- No v-201 8 2:00:00'	'30- No v-201 8 02:00:00'
İş Sı r a	47. iş bit iş	48. iş bit iş	49. iş bit iş	50. iş bit iş	51. iş bit iş	52. iş bit iş	53. iş bit iş	54. iş bit iş	55. iş bit iş	56. iş bit iş	57. iş bit iş	58. iş bit iş	59. iş bit iş	60. iş bit iş	61. iş bit iş	62. iş bit iş	63. iş bit iş	64. iş bit iş	65. iş bit iş	66. iş bit iş	67. iş bit iş	68. iş bit iş	69. iş bit iş
İş N o	'30 - No v-20 18 03:00:00'	'30 - No v-20 18 06:00:00'	No v-20 18 07:00:00'	No v-20 18 16:00:00'	No v-20 18 20:00:00'	No v-20 18 22:00:00'	'01 - De c-201 8 03:00:00'	'01- De c-201 8 09:00:00'	'01- De c-201 8 14:00:00'	'01- De c-201 8 22:00:00'	'02- De c-201 8 04:00:00'	'02- De c-201 8 06:00:00'	'02- De c-201 8 07:00:00'	'02- De c-201 8 13:00:00'	'02- De c-201 8 17:00:00'	'03- De c-201 8 19:00:00'	'03- De c-201 8 02:00:00'	'03- De c-201 8 11:00:00'	'03- De c-201 8 19:00:00'	'04- De c-201 8 03:00:00'	'04- De c-201 8 08:00:00'	'04- De c-201 8 12:00:00'	
İş Sı r a	70. iş bit iş	71. iş bit iş	72. iş bit iş	73. iş bit iş	74. iş bit iş	75. iş bit iş	76. iş bit iş	77. iş bit iş	78. iş bit iş	79. iş bit iş	80. iş bit iş	81. iş bit iş	82. iş bit iş	83. iş bit iş	84. iş bit iş	85. iş bit iş	86. iş bit iş	87. iş bit iş	88. iş bit iş	89. iş bit iş	90. iş bit iş	91. iş bit iş	92. iş bit iş
İş N o	'04 - De c-20 18 20:00:00'	'05 - De c-20 18 02:00:00'	No v-20 18 05:00:00'	No v-20 18 08:00:00'	No v-20 18 11:00:00'	No v-20 18 15:00:00'	No v-20 18 16:00:00'	'05 - De c-201 8 00:00:00'	'06- De c-201 8 04:00:00'	'06- De c-201 8 10:00:00'	'06- De c-201 8 15:00:00'	'07- De c-201 8 00:00:00'	'07- De c-201 8 06:00:00'	'07- De c-201 8 11:00:00'	'07- De c-201 8 15:00:00'	'07- De c-201 8 16:00:00'	'08- De c-201 8 21:00:00'	'08- De c-201 8 10:00:00'	'08- De c-201 8 14:00:00'	'08- De c-201 8 20:00:00'	'09- De c-201 8 00:00:00'	'09- De c-201 8 05:00:00'	'09- De c-201 8 09:00:00'
İş Sı r a	93. iş bit iş	94. iş bit iş	95. iş bit iş	96. iş bit iş	97. iş bit iş	98. iş bit iş	99. iş bit iş	100. iş bit iş	101. iş bit iş	102. iş bit iş	103. iş bit iş	104. iş bit iş	105. iş bit iş	106. iş bit iş	107. iş bit iş	108. iş bit iş	109. iş bit iş	110. iş bit iş	111. iş bit iş	112. iş bit iş	113. iş bit iş	114. iş bit iş	115. iş bit iş
İş N o	'09 - De c-20 18 16:00:00'	'09 - De c-20 18 17:00:00'	'10 - De c-20 18 01:00:00'	'10 - De c-20 18 04:00:00'	'10 - De c-20 18 13:00:00'	'10 - De c-20 18 14:00:00'	'11 - De c-201 8 00:00:00'	'11- De c-201 8 10:00:00'	'11- De c-201 8 19:00:00'	'11- De c-201 8 22:00:00'	'12- De c-201 8 00:00:00'	'12- De c-201 8 04:00:00'	'12- De c-201 8 08:00:00'	'12- De c-201 8 11:00:00'	'12- De c-201 8 19:00:00'	'12- De c-201 8 22:00:00'	'13- De c-201 8 12:00:00'	'13- De c-201 8 19:00:00'	'13- De c-201 8 21:00:00'	'14- De c-201 8 02:00:00'	'14- De c-201 8 06:00:00'	'14- De c-201 8 13:00:00'	

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Şahin Y., **Sara D.**, Demircan T., From Automation Systems to Industry 4.0: An Energy Sector Application, *International Symposium for Production Research*, Vienna, 13-15 September 2017.



ÖZGEÇMİŞ

Deniz Merve SARA 1994 yılında Kocaeli ilinde doğdu. İlköğretimini ve Ortaöğrenimini İzmit 50. Yıl Cumhuriyet İlköğretim Okulu'nda, Lise eğitimini 2012 yılında 24 Kasım Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Lisans eğitimini 2012-2016 yıllarında Kocaeli Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümünde tamamladı. 2015-2017 yılları arasında Polisan Kimya San. A.Ş.'de Üretim Yetkilisi ve Üretim Planlama Yetkilisi olarak çalışmıştır. 2018 yılından itibaren ASAŞ Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş.de Planlama Uzmanı görevinde çalışmalarını sürdürmektedir.

