

**ÜRETİM SİSTEMLERİNDE DİNAMİK İŞ ÇİZELGELEME
PROBLEMLERİNİN SEZGİSEL YÖNTEMLERLE ÇÖZÜLMESİ**

Nilsen KUNDAKCI

Mayıs 2013

DENİZLİ

**ÜRETİM SİSTEMLERİNDE DİNAMİK İŞ ÇİZELGELEME
PROBLEMLERİNİN SEZGİSEL YÖNTEMLERLE ÇÖZÜLMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Doktora Tezi
İşletme Anabilim Dalı
Genel İşletme Doktora Programı**

Nilsen KUNDAKCI

**I. Danışman: Prof. Dr. Feyzullah EROĞLU
II. Danışman: Doç. Dr. Ercan BALDEMİR**


**Mayıs 2013
DENİZLİ**

DOKTORA TEZİ ONAY FORMU


İşletme Anabilim Dalı, Genel İşletme Bilim Dalı doktora programı öğrencisi Nilsen Kundakçı tarafından Prof. Dr. Feyzullah Eroğlu ve Doç. Dr. Ercan Baldemir yönetiminde hazırlanan "Üretim Sistemlerinde Dinamik İş Çizelgeleme Problemlerinin Sezgisel Yöntemlerle Çözülmesi" başlıklı tez aşağıdaki jüri üyeleri tarafından 31.05.2013 tarihinde yapılan tez savunma sınavında başarılı bulunmuş ve Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.


Jüri Başkanı- I. Danışman
Prof. Dr. Feyzullah EROĞLU



Jüri II. Danışman
Doç. Dr. Ercan BALDEMİR


Jüri
Prof. Dr. Osman KULAK


Jüri
Doç. Dr. İrfan ERTUĞRUL


Jüri
Yrd. Doç. Dr. Sezgin IRMAK

Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 21/06/2013 tarih ve ..11/13.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Turhan KAÇAR
Enstitü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza:



Öğrenci Adı Soyadı: Nilsen KUNDAKCI

ÖNSÖZ

Akademik hayatta fikirleri ile bana ışık tutan ve doktora eğitimim boyunca her türlü desteği sağlayan danışmanım Prof. Dr. Feyzullah EROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Doktora tezimde vermiş olduğu öneriler ve olumlu eleştiriler için ikinci danışmanım Doç. Dr. Ercan BALDEMİR'e teşekkür ederim. Doktora tezimin konusunun belirlenmesinden tezin sonuçlanmasına kadar her aşamada fikirleri ve deneyimleri ile bana destek olan Prof. Dr. Osman KULAK'a ne kadar teşekkür etsem azdır. Ayrıca tez izlemelerdeki katkılarından dolayı Doç. Dr. Halil SAVAŞ, Doç. Dr. Ali ÖZDEMİR ve Prof. Dr. Sabahat BAYRAK KÖK'e teşekkür ederim. Tezin uygulama bölümünde bilgisayar programının hazırlanmasında katkılarından dolayı Murat Kemal BAYGÜN'e de teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora çalışmalarım boyunca "2211 Yurt İçi Doktora Burs Programı" ile burs desteği sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na ve bu tez çalışmasının hazırlanmasında 2011SOBE036 numaralı proje ile destek sağlayan Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Okul hayatımda beni yalnız bırakmayan Yrd. Doç. Dr. Esra AYTAÇ ve Yrd. Doç. Dr. Ayşegül TUŞ IŞIK'a da teşekkürler. Son olarak, beni bugünlere getiren aileme ve desteğiyle her zaman yanımda olan eşim Onur Emre KUNDAKCI'ya da sonsuz teşekkürler.

ÖZET

ÜRETİM SİSTEMLERİNDE DİNAMİK İŞ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN SEZGİSEL YÖNTEMLERLE ÇÖZÜLMESİ

Kundakçı, Nilsen
Doktora Tezi
İşletme ABD
Genel İşletme Doktora Programı
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Feyzullah Eroğlu

Mayıs 2013, 193 Sayfa

Günümüz rekabet ortamında işletmeler, az miktarda kaynak kullanarak müşteri gereksinimlerine en hızlı yanıt verebilecek şekilde ve yüksek kalitede ürünler üretmeyi amaçlar. Gerek üretim öncesi gerekse üretime başladıktan sonra, kıt kaynakların daha etkin ve verimli kullanılmasında işletme süreçlerinden üretim planlama önemli bir yere sahiptir. Değişen müşteri talepleri karşısında üretim planlarını hızlı bir şekilde oluşturan işletmeler, rekabette bir adım öne geçecektir. Üretim planlama sürecinde iş çizelgeleme, işletmelerin üretim hızlarını arttırmalarında önemli bir işleve sahiptir. Ayrıca, işletmeler sürekli değişen bir çevrede faaliyet gösterdiklerinden çizelgelemenin dinamik faktörleri dikkate alması etkin bir çizelgeleme için gereklidir.

Bu tez çalışmasında, makine arızası, yeni iş gelişleri ve işlem sürelerinde değişiklik dinamik faktörlerinin dikkate alındığı dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemlerini çözmek için Genetik Algoritma ve Tabu Arama esaslı yeni yöntemler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yeni yöntemler ile dinamik iş çizelgeleme problemlerine çözüm aranmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İş Çizelgeleme, Dinamik Atölye Tipi Çizelgeleme, Sezgisel Yöntemler, Genetik Algoritma, Tabu Arama.

ABSTRACT**SOLUTION OF DYNAMIC JOB SCHEDULING PROBLEMS WITH
HEURISTIC METHODS IN PRODUCTION SYSTEMS**

Kundakcı, Nilsen

Doctoral Thesis

Business Administration Department

General Business Administration Program

Advisor of Thesis: Prof. Dr. Feyzullah EROĞLU

May 2013, 193 Pages

In today's competitive environment, businesses aim to respond quickly to the customer needs and produce high-quality products using limited resources. Production planning plays an important role in using the scarce resources more effectively and efficiently at the pre-production and also after the start of the production. Businesses, which rapidly make production plans in the face of changing customer demands, go one step further in the competition. In the process of production planning, job scheduling has an important function in increasing the production rate of businesses. Furthermore, as businesses are operating in ever-changing environment, scheduling that takes the dynamic factors into account is required for efficient scheduling.

In this thesis, new methods based on Genetic Algorithm and Tabu Search have been proposed to solve dynamic job shop scheduling problems that take into account dynamic factors like machine breakdown, new job arrivals and the changes in the processing times. These proposed methods have been used to solve dynamic job scheduling problems and the obtained results have been compared.

Keywords: Job Scheduling, Dynamic Job Shop Scheduling, Heuristic Methods, Genetic Algorithm, Tabu Search.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	x
SİMGELEr VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

ÜRETİM SİSTEMLERİNDE İŞ ÇİZELGELEME

1.1. Çizelgeleme	4
1.2. İşletmelerde Çizelgelemenin Yeri ve Önemi	10
1.3. Çizelgeleme İlgili Tanımlamalar ve Notasyon	14
1.4. Çizelgeleme Açısından Üretim Ortamları	15
1.4.1. Tek makineli çizelgeleme ortamı	15
1.4.2. Paralel makineli çizelgeleme ortamı	16
1.4.3. Akış tipi çizelgeleme ortamı	17
1.4.4. Atölye tipi çizelgeleme ortamı	17
1.5. İşlem Kısıtları	19
1.6. Performans Ölçütleri	20
1.6.1. Tamamlanma zamanına dayalı performans ölçütleri	23
1.6.2. Teslim zamanına dayalı performans ölçütleri	23
1.6.3. Stok ve makine kullanım maliyetine dayalı performans ölçütleri	24
1.7. Çizelgelemede Kullanılan Öncelik Kuralları	25
1.7.1. İlk gelen ilk servis alır (İGİS)	25
1.7.2. Son gelen ilk servis alır (SGİS)	25
1.7.3. En kısa işlem süresi (EKİS)	26
1.7.4. En uzun işlem süresi (EUİS)	26
1.7.5. En erken teslim zamanı (EETZ)	26
1.7.6. En az kalan işlem sayısı (EAKİS)	27
1.7.7. En çok kalan işlem sayısı (EÇKİS)	27
1.7.8. En kısa kalan işlem süresi (EKKİS)	28
1.7.9. En uzun kalan işlem süresi (EUKİS)	28
1.7.10. Rastsal seçim (RS)	29
1.8. Statik ve Dinamik Çizelgeleme	29
1.8.1. Statik çizelgeleme	29
1.8.2. Dinamik çizelgeleme	30
1.8.2.1. Dinamik çizelgelemede gerçek zamanlı olaylar	32
1.8.2.2. Dinamik çizelgelemenin sınıflandırılması	34
1.9. Dinamik Çizelgeleme Literatürü	41

İKİNCİ BÖLÜM

SEZGİSEL YÖNTEMLER

2.1. Kombinatoryal Optimizasyon.....	67
2.2. Kombinatoryal Optimizasyon Problemlerinin Karmaşıklığı.....	67
2.3. Sezgisel Yöntemler	69
2.3.1. Genetik algoritmalar (GA).....	71
2.3.1.1. Genetik algoritmalarda temel kavramlar	72
2.3.1.2. Genetik algoritmaların özellikleri	73
2.3.1.3. Genetik algoritmalarda işlem adımları	74
2.3.1.4. Genetik algoritmalarda kodlama işlemi.....	76
2.3.1.4. 1. İkili kodlama.....	76
2.3.1.4. 2. Sıralı kodlama	77
2.3.1.4. 3. Değer kodlaması	77
2.3.1.5. Genetik algoritmalarda popülasyon oluşturma	77
2.3.1.6. Genetik algoritmalarda uygunluk değeri ve uygunluk fonksiyonu.....	78
2.3.1.7. Genetik algoritmalarda kullanılan operatörler	78
2.3.1.7.1. Çoğalma operatörü.....	79
2.3.1.7.2. Çaprazlama operatörü	83
2.3.1.7.3. Mutasyon operatörü	89
2.3.1.8. Genetik algoritmalarda parametre seçimi.....	92
2.3.1.9. Durdurma kriteri	93
2.3.2. Tabu arama.....	94
2.3.2.1. Tabu aramanın temel kavramları	97
2.3.2.2. Tabu arama algoritmasının işlem adımları	100
2.3.2.3. Tabu arama algoritmasında komşuluk yapıları.....	102
2.3.2.4. Tabu arama algoritmasında hafıza kullanımı.....	111

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DİNAMİK ATÖLYE TİPİ İŞ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SEZGİSEL YÖNTEMLER

3.1. Atölye Tipi İş Çizelgeleme Probleminin Matematiksel Modeli	115
3.2. Genetik Algoritmalar Esaslı Geliştirilen Yöntem	116
3.2.1. GA'da çözümün kodlanması ve kromozom yapısının oluşturulması.....	118
3.2.2. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması	118
3.2.3. Uygunluk	122
3.2.4. Kromozomların eşleştirme havuzuna alınması.....	122
3.2.5. Çoğalma işlemi	123
3.2.6. Çaprazlama operatörü.....	123
3.2.7. Mutasyon operatörü	124
3.2.8. Tamir fonksiyonu.....	126
3.3. Tabu Arama Esaslı Geliştirilen Yöntem.....	127
3.4. Geliştirilen Program ve Özellikleri	130
3.5. Deneysel Çalışmalar	134
3.5.1. En iyi parametre setinin belirlenmesi.....	135
3.5.1.1. Normallik testi.....	137
3.5.1.2. F testi.....	139
3.5.1.3. Çoklu karşılaştırma testleri.....	139
3.5.2. Yöntemlerin farklı boyuttaki problemler üzerinde karşılaştırılması.....	147

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	156
KAYNAKLAR.....	159
EKLER.....	169
ÖZGEÇMİŞ.....	193

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 (a) Makineye göre Gantt şeması (b) İşe göre Gantt şeması	8
Şekil 1.2. Bir üretim sisteminde çizelgeleme fonksiyonunun yeri.....	11
Şekil 1.3. Makine ortamları arasındaki ilişkiler	19
Şekil 1.4. j işinin gecikme süresi L_j	22
Şekil 1.5. j işinin teslim gecikme süresi T_j	22
Şekil 1.6. j işine ait birim ceza U_j	22
Şekil 1.7. Üretim sürecinde öncelik kuralları	25
Şekil 1.8. Gerçek zamanlı olayların sınıflandırması	33
Şekil 1.9. Belirsizlik durumunda dinamik çizelgeleme yaklaşımları.....	35
Şekil 1.10. Tahmine dayalı / reaktif çizelgeleme süreci.....	37
Şekil 2.1. GA akış diyagramı	75
Şekil 2.2. İkili kodlama yapısı	76
Şekil 2.3. Sıralı kodlama yapısı.....	77
Şekil 2.4. Değer kodlama yapısı.....	77
Şekil 2.5. Rulet tekeri yöntemine örnek	80
Şekil 2.6. Sıralama yöntemine örnek.....	81
Şekil 2.7. Turnuva yöntemine örnek	82
Şekil 2.8. Yeni nesil seçimi.....	83
Şekil 2.9. Tek nokta çaprazlama operatörü.....	84
Şekil 2.10. İki nokta çaprazlama operatörü	85
Şekil 2.11. Düzgün çaprazlama operatörü	85
Şekil 2.12. Rastsal iki noktanın seçilmesi.....	86
Şekil 2.13. Kromozomlarda ilgili yerlere H yazılması.....	86
Şekil 2.14. Kromozomlarda H'ların iki kesim noktası arasına taşınması	86
Şekil 2.15. Sıralı çaprazlama operatörü ile elde edilen kromozom X' ve Y'	87
Şekil 2.16. Pozisyona dayalı çaprazlama operatörü.....	87
Şekil 2.17. Sıraya dayalı çaprazlama operatörü	87
Şekil 2.18. Kısmi eşleşmeli çaprazlama operatörü	88
Şekil 2.19. Dairesel çaprazlama operatörü	89
Şekil 2.20. Alt dizi değiştirme çaprazlama operatörü	89
Şekil 2.21. Değer değiştirme.....	90

Şekil 2.22. Ters mutasyon.....	90
Şekil 2.23. Komşu iki geni değiştirme	91
Şekil 2.24. Keyfi iki geni değiştirme.....	91
Şekil 2.25. Keyfi üç geni değiştirme	91
Şekil 2.26. Sağa rotasyon.....	92
Şekil 2.27. Sola rotasyon	92
Şekil 2.28. Tabu Arama algoritmasının akış diyagramı	101
Şekil 2.29. FT06 test problemi için genel komşuluk yapısı.....	103
Şekil 2.30. Birinci kritik yol üzerinde yer alan N1 komşuluğu	104
Şekil 2.31. İkinci kritik yol üzerinde yer alan N1 komşuluğu	104
Şekil 2.32. Üçüncü kritik yol üzerinde yer alan N1 komşuluğu	104
Şekil 2.33. Birinci kritik yol üzerinde yer alan N2 komşuluğu	105
Şekil 2.34. İkinci kritik yol üzerinde yer alan N2 komşuluğu	105
Şekil 2.35. Üçüncü kritik yol üzerinde yer alan N2 komşuluğu	106
Şekil 2.36. Uygun çözüm.....	106
Şekil 2.37. Optimal çözüm.....	107
Şekil 2.38. N3 komşuluğuna örnek	107
Şekil 2.39. N5 komşuluğuna örnek	108
Şekil 2.40. N6 komşuluğuna örnek	110
Şekil 2.41. Birinci kritik yol üzerinde yer alan N7 komşuluğu	110
Şekil 2.42. İkinci kritik yol üzerinde yer alan N7 komşuluğu	111
Şekil 2.43. Üçüncü kritik yol üzerinde yer alan N7 komşuluğu	111
Şekil 3.1. Geliştirilen GA esaslı yöntemine ait akış diyagramı	117
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan kromozom yapısı.....	118
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan kromozom yapısına örnek.....	118
Şekil 3.4. 3x4 boyutlu problemin yeni önceliklendirme sezgiseli ile çözümü .	121
Şekil 3.5. 5x5 boyutlu problemin yeni önceliklendirme sezgiseli ile çözümü .	122
Şekil 3.6. Kromozomların eşleştirme havuzuna alınması	123
Şekil 3.7. PBX çaprazlama operatörüne örnek	124
Şekil 3.8. OBX çaprazlama operatörüne örnek.....	124
Şekil 3.9. Ters mutasyon operatörüne örnek	125
Şekil 3.10. Keyfi iki geni değiştirme mutasyon operatörüne örnek.....	125
Şekil 3.11. Sağa rotasyon mutasyon operatörüne örnek.....	125
Şekil 3.12. Sola rotasyon mutasyon operatörüne örnek	126

Şekil 3.13. Tamir fonksiyonuna örnek	127
Şekil 3.14. Geliştirilen TA yöntemine ait akış diyagramı	129
Şekil 3.15. GA parametrelerini girme ekranı.....	130
Şekil 3.16. TA parametrelerini girme ekranı	131
Şekil 3.17. Veri ekranı	131
Şekil 3.18. Sonuçların sıralandığı ekran.....	132
Şekil 3.19. Sonuca ait çözüm detayını gösteren ekran	132
Şekil 3.20. Çözüme ilişkin Gantt şemasını gösteren ekran	133
Şekil 3.21. Uygunluk değişimini gösteren grafik ekranı	133
Şekil 3.22. 3x2 boyutlu probleme ait GA ile elde edilen Gantt şeması.....	142
Şekil 3.23. 3x2 boyutlu probleme ait TA ile elde edilen Gantt şeması.....	142
Şekil 3.24. 5x5 boyutlu probleme ait GA ile elde edilen Gantt şeması.....	142
Şekil 3.25. 5x5 boyutlu probleme ait TA ile elde edilen Gantt şeması	143
Şekil 3.26. 6x6 boyutlu probleme ait GA ile elde edilen Gantt şeması.....	144
Şekil 3.27. 6x6 boyutlu probleme ait TA ile elde edilen Gantt şeması.....	144
Şekil 3.28. 10x5 boyutlu probleme ait GA ile elde edilen Gantt şeması.....	145
Şekil 3.29. 10x5 boyutlu probleme ait TA ile elde edilen Gantt şeması	145

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Dinamik iş çizelgelemeye ilişkin literatür taraması.....	59
Tablo 2.1. TA'nın uygulama alanları.....	96
Tablo 3.1. 3x4 boyutlu örneğe ilişkin veriler.....	120
Tablo 3.2. 5x5 boyutlu örneğe ilişkin veriler.....	121
Tablo 3.3. 3x4 boyutlu örneğe ilişkin veriler.....	126
Tablo 3.4. Deneysel çalışmada kullanılan GA parametre değerleri.....	134
Tablo 3.5. Deneysel çalışmada kullanılan TA parametre değerleri.....	135
Tablo 3.6. ANOVA testi için seçilen GA parametre grupları.....	136
Tablo 3.7. ANOVA testi için seçilen TA parametre grupları.....	137
Tablo 3.8. GA için normallik testi sonuçları.....	138
Tablo 3.9. TA için normallik testi sonuçları.....	138
Tablo 3.10. GA F-Test istatistiği sonuçları.....	139
Tablo 3.11. TA F-Test istatistiği sonuçları.....	139
Tablo 3.12. GA çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	140
Tablo 3.13. TA çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	140
Tablo 3.14. Kullanılacak GA parametreleri.....	141
Tablo 3.15. Kullanılacak TA parametreleri.....	141
Tablo 3.16. 6x6 boyutlu test problemine ilişkin veriler.....	143
Tablo 3.17. 10x5 boyutlu test problemine ilişkin veriler.....	144
Tablo 3.18. Literatürde ve bu tezde elde edilen sonuçların karşılaştırılması ...	146
Tablo 3.19. GA esaslı yöntemler ve TA ile elde edilen deney sonuçları.....	148
Tablo 3.20. Elde edilen en iyi uygunluk değerleri.....	153
Tablo 3.21. En iyi uygunluk değerinden sapma yüzdeleri.....	154
Tablo 3.22. Hesaplama süreleri.....	155

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

i	m adet makinenin yer aldığı makineler kümesi
j	n adet işin yer aldığı işler kümesi
w_j	Ağırlık
p_{ij}	İşlem süresi
r_j	Hazır olma zamanı
d_j	Teslim tarihi
α	Makine ortamı
β	İş özellikleri ve çizelgeleme kısıtlarının detayları
γ	Optimize edilecek amaç fonksiyonu
v_i	Makine i 'nin hızı
r_j	Hazır olma (Serbest bırakma) zamanı
S_{jk}	Sıraya bağlı hazırlık süresi
C_{ij}	j işinin i makinesindeki işleminin tamamlanma zamanı
C_j	j işinin sistemden çıkış zamanı
L_j	j işinin gecikme süresi
T_j	j işinin teslim gecikme süresi
U_j	j işine ait birim ceza
F_{enb}	En büyük akış süresi
\bar{F}	Ortalama akış süresi
C_{enb}	En büyük tamamlanma zamanı (Yayımla süresi)
\bar{C}	Ortalama tamamlanma zamanı
$\sum w_j C_j$	Toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı
L_{enb}	En büyük gecikme
\bar{L}	Ortalama en büyük gecikme
T_{enb}	En büyük teslim gecikme süresi
\bar{T}	Ortalama teslim gecikme süresi
$\sum w_j T_j$	Toplam ağırlıklı gecikme süresi
n_t	Geciken iş sayısı
\bar{N}_Q	İşlenmek üzere makinelerde bekleyen ortalama iş sayısı
\bar{N}_U	Tamamlanmamış ortalama iş sayısı

\bar{N}_C	Tamamlanmış ortalama iş sayısı
\bar{N}_P	Süreçteki ortalama iş sayısı
\bar{I}	Ortalama makine boş zamanı
\bar{I}_{enb}	En büyük makine boş zamanı
Z	Duraklama olmadan amaç fonksiyonu
$Z'(\delta)$	Duraklamadan sonraki amaç fonksiyonu
$Z'(\delta) - Z$	Duraklamadan kaynaklanan fark
$f(i)$	i . kromozomun uygunluk değeri
N_{iyi}	Eşleştirme havuzuna eşleştirilmek üzere seçilen kromozom sayısı
P_n	Bir kromozomun seçilme olasılığı
l	Kromozom uzunluğu
S_l	Herhangi bir sezgisel ile elde edilen başlangıç çözümü
$S_{en iyi}$	Elde edilen en iyi çözüm

Kısaltmalar

brkdwn	Makine Arızaları
CX	Dairesel Çaprazlama Operatörü
EAKİS	En Az Kalan İşlem Sayısı
EÇKİS	En Çok Kalan İşlem Sayısı
EETZ	En Erken Teslim Zamanı
EKİS	En Kısa İşlem Süresi
EKKİS	En Kısa Kalan İşlem Süresi
EUİS	En Uzun İşlem Süresi
EUKİS	En Uzun Kalan İşlem Süresi
GA	Genetik Algoritmalar
GAEKİS	Genetik Algoritma- En Kısa İşlem Süresi
GAEKKİS	Genetik Algoritma- En Kısa Kalan İşlem Süresi
GAEUİS	Genetik Algoritma- En Uzun İşlem Süresi
GAEUKİS	Genetik Algoritma- En Uzun Kalan İşlem Süresi
GAK	Genetik Algoritma-Karışım
GAYÖS	Genetik Algoritma-Yeni Önceliklendirme Sezgiseli
İGİS	İlk Gelen İlk Servis Alır
N	Komşuluk

NP	Non-Deterministic Polynomial Time
nwt	Beklemesiz
OBX	Sıraya Dayalı Çaprazlama Operatörü
OX	Sıralı Çaprazlama Operatörü
P	Polynomial Time
PBX	Pozisyona (Konuma) Dayalı Çaprazlama Operatörü
PMX	Kısmi Eşleşmeli Çaprazlama Operatörü
prec	Öncelik Kısıtları
prmp	İş Kesintileri
prmu	Permütasyon
rcrc	Yeniden Dolaşım
REGAL	REal-time Genetic ALgorithm
RS	Rastsal Seçim
SGİS	Son Gelen İlk Servis Alır
SXX	Alt Dizi Değişirme Çaprazlama Operatörü
TA	Tabu Arama
YÖS	Yeni Önceliklendirme Sezgiseli

GİRİŞ

Son yıllarda gelişen teknoloji, artan rekabet ve üretim ortamlarında yaşanan değişimler işletmeleri bu koşullara uyum sağlamaya zorlamaktadır. İşletmeler, üretim süreçlerinde etkinliği sağlayabilmek, müşteri taleplerini hızlı bir şekilde karşılayarak rakiplerine karşı üstünlük sağlayabilmek için iyi bir planlama yapmak durumundadırlar. Günümüz piyasalarında artan ihtiyaçlara cevap verebilmek için büyüyen işletmelerde üretim kolaylıkla kontrol edilemez hale geldiğinden üretim planlamanın önemi artmıştır. Gerek üretim öncesi gerekse üretime başladıktan sonra, kıt kaynakların daha etkin ve verimli kullanılmasında üretim planlama sürecinin bir parçası olan iş çizelgelemenin önemli bir yeri vardır. İş çizelgeleme, üretim planının karşılanabilmesi, siparişlerin söz verilen teslim tarihlerine yetişebilmesi için işlerin hangi kaynaklar tarafından hangi sırayla yapılması gerektiğinin belirlenmesidir.

Günümüzün küresel pazarlarında, zamanında ve maliyet bakımından etkin üretim yapmak artan bir öneme sahiptir. Çizelgeleme; kaynakları, birbiri ile yarışan faaliyetler arasında etkin bir şekilde dağıtarak üretimin zamanında ve düşük maliyetle gerçekleştirilmesine yardımcı olur. İşletmeler, hem mevcut kaynakların verimli kullanımını sağlamak, hem de günümüzün rekabet ortamında varlıklarını sürdürebilmek için etkin iş çizelgelemeye ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, üretim planlama ve iş çizelgeleme ile ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Ancak yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu çizelgeleme ortamının statik olduğunu varsayar. Bu yüzden klasik çizelgeleme teorisinin gerçek üretim çevrelerinde kullanım alanı azdır. Çizelgeleme literatürü ile pratik arasındaki farklılığı ortadan kaldırmak için çalışmalarda dinamik faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir. Bu şekilde, çizelgeleme araştırmaları endüstriye daha çok hitap edecektir.

İş çizelgeleme problemi için hazırlanan programlar, her ne kadar gerçek uygulamaya yaklaşmak isteseler de bir takım şartları yok saydıklarından bunu başaramamaktadır. Bu da yapılan çizelgelemenin tam anlamıyla uygulanamamasına sebep olmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için çeşitli algoritmalar ve yaklaşımlarda bulunulsa da tam bir çözüm üretilmemektedir. İşletmelerin dinamik

koşullar altında iş çizelgeleri oluşturmaları daha zor olduğundan yeni çizelgeleme algoritmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçek hayatta karşılaşılan çizelgeleme problemleri, sadece üretim çevresinin dinamik yapısından değil, işletme hedeflerindeki çatışmalardan ve birçok işletim kısıtının varlığından dolayı karmaşık olarak nitelendirilirler. Ayrıca, dinamik çizelgeleme problemleri *NP-Zor* yapıya sahip kombinatoriyal optimizasyon problemlerindedir. Bu tür karmaşık ve zor problemleri çözmek için literatürde sezgisel yöntemler geliştirilmiştir.

Bu tez çalışması ile amaçlanan; dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemlerinin çözümü için sezgisel yöntemlerden Genetik Algoritmalar (GA) ve Tabu Arama (TA) esaslı yöntemler geliştirmektir. Gerçek üretim çevrelerinde uygulanabilirliği arttırmak adına makine arızası, yeni iş gelişleri ve işlem sürelerinde değişiklik gibi dinamik faktörler dikkate alınmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarda genellikle statik problemler ele alınmış ve dinamik problemleri ele alan az sayıdaki çalışmada ise sadece GA ya da TA arama gibi tek bir sezgisel yöntem kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında bu çalışmalardan farklı olarak GA ile elde edilen çözümleri iyileştirmek ve daha kısa sürede sonuca ulaşmak adına GA'da başlangıç popülasyonunu oluşturmak için yeni bir sezgisel geliştirilmiş ve ayrıca öncelik kurallarından yararlanılmıştır. Önerilen TA yönteminde de tek bir başlangıç çözümü ile başlamak yerine başlangıç çözümleri oluşturulmuş ve bunlardan en iyi uygunluk değerine sahip olan ile aramaya devam edilmiştir. Böylelikle GA ve TA esaslı yeni yöntemler geliştirilmiş ve bu yöntemler dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemlerinin çözümü için önerilmiştir. GA, TA ve bu tez çalışmasında geliştirilen GAYÖS, GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS, GAK yöntemleri ile farklı boyutlardaki dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemleri çözülmüş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu da bu çalışmanın özgünlüğünü ve diğer çalışmalardan farkını ortaya koymaktadır.

Tezin *birinci bölümünde*, öncelikle iş çizelgeleme kavramı tanımlanmış ve işletmelerde çizelgelemenin önemine değinilmiştir. Daha sonra çizelgeleme ile ilgili tanım ve notasyonlara yer verilmiştir. Çizelgeleme açısından üretim ortamlarının sınıflandırılmasına değinilmiştir. Ayrıca işlem kısıtları ve performans ölçütleri tanımlanmış, çizelgelemede kullanılan öncelik kuralları verilmiştir. Son olarak statik ve dinamik çizelgeleme tanımlanmış ve dinamik çizelgeleme literatürüne yer verilmiştir.

İkinci bölümde, öncelikle kombinatoriyal optimizasyon kavramı tanımlanmış ve bu tür problemlerin karmaşıklığına değinilmiştir. Daha sonra, sezgisel yöntemler açıklanmış ve sezgisel yöntemlerden Genetik Algoritmalar ve Tabu Arama hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Tezin *üçüncü bölümünde*, öncelikle GA ve TA yöntemlerinde kullanılacak en iyi parametre setlerinin istatistiksel analizler yardımıyla belirlenmesine yer verilmiştir. Daha sonra, yapılan deneysel çalışmalar ile geliştirilen yöntemlerin farklı boyutlardaki dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemleri üzerinde karşılaştırmaları sunulmuştur.

Sonuç ve öneriler kısmında ise, çalışma sonunda elde edilen sonuçlar tartışılmış ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

ÜRETİM SİSTEMLERİNDE İŞ ÇİZELGELEME

1.1. Çizelgeleme

Çizelgeleme, belirli bir zaman sürecinde kaynakların işlere tahsisi ile ilgilidir ve bir ya da daha çok hedefin optimizasyonunu amaçlayan, üretim ve hizmet sektörlerinin birçoğunda düzenli olarak kullanılan bir karar verme sürecidir (Pinedo, 2008: 1). Çizelgeleme en genel anlamda, bir üretim sisteminde belirli bir dönemde yapılacak işlerin sıralarının ve zamanlarının belirlenmesi ve buna uygun olarak gerekli kaynakların tahsis edilmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Mutlu, 1993: 3). Başka bir tanıma göre çizelgeleme, sınırlı kaynakların (makine, işçi, donanım, alet v.b.) belirli bir amaç veya amaçlar doğrultusunda, belirli kısıtlar altında ve belirli bir zaman aralığında, işleri bitirebilmek için işlere atanması ile ilgili karar verme sürecidir (Büyüksünetçi, 2006: 1). Bir işletmenin neyi, ne zaman, nerede ve ne kadar üreteceği çizelgelerde ayrıntılı hale getirilir (Özkan, 2009: 4). Çizelgeleme ile, amaç fonksiyonunu en iyileyecek şekilde, hangi makinelerde hangi işlerin hangi sırada işlenmesi gerektiği belirlenir ve etkin kaynak kullanımı sağlanarak üretim sistemleri başarıya ulaştırılmaya çalışılır (Cihanlı, 2010: 12).

Çizelgelemede işlerin belirlenen bir sırada gerçekleşmesi için program yapılır ve bu program ile çeşitli kriterler altında çeşitli performans ölçülerinin en iyilenmesi sağlanır. Çizelgelemedeki asıl amaç, işi daha az kaynakla ve daha az sürede istenilen kriterlere uyacak biçimde problemin çözümüne ulaşmaktır (Erdem, 2008: 4) ve bu açıdan çizelgeleme, verimlilik ve etkinlik sağlamak için önemli bir işletme fonksiyonudur (Aydemir, 2009: 5).

Çizelgelemede üretim, kaynak ve zaman olmak üzere üç unsur söz konusudur. Bu unsurlar dikkate alındığında, çizelgeleme ile belirli bir takım işleri yapmak için hangi kaynakların, ne zaman ve nasıl kullanılacakları tespit edilir. Etkin bir çizelgeleme

sayesinde belirli faaliyetlerin daha az kaynak kullanarak daha kısa zamanda yapılabilme olanağı ortaya çıkmaktadır (Seçme, 2006: 4).

Çizelgeleme, otobüs hareket saatleri, ders giriş-çıkış saatleri, uçak kalkış-iniş saatleri gibi basit uygulama örnekleri ile günlük yaşantıda sıkça karşılaşılan ve hayatı kolaylaştıran bir kavramdır (Akçay, 2009: 5). Günlük yaşantının dışında ekonomik faaliyetlerin büyük bir bölümünde de karşılaşılan çizelgeleme problemleri klasik atölye çizelgelemeden iş gücü ve hizmet planlamaya, ürün montaj hattı dengelemeden, lojistik kaynak ataması ve çizelgelemesine kadar birçok yerde ve değişik şekillerde ortaya çıkmaktadır. Klasik olarak atölye tipi çizelgeleme, iş kümeleri ve makineleri içerir. Her bir makine belirli bir anda belirli bir iş için atanır. Her iş belirli bir sırada, belirli makinelerde ve verilen zaman aralığında bir aksama olmadan işlem görmektedir. Amaç; işlemlerin, makineler için uygun zaman aralıklarına atanması ve bütün işlerin olası en kısa zamanda tamamlanmasıdır (Büyüksünetçi, 2006: 1).

Çizelgeleme, bir ya da daha fazla performans ölçütünü optimize etme amacı ile kıt kaynakları faaliyetlere dağıtmaya çalışır. Duruma bağlı olarak, kaynaklar ve faaliyetler birçok farklı durumda ele alınabilir. Kaynaklar montaj hattındaki makineler, bilgisayar sistemindeki merkezi işlem birimi, havaalanlarındaki pist, araba tamirhanesindeki mekanizma vs. olabilir. Faaliyetler ise üretim sürecindeki bir çok işlem, bilgisayar programının uygulanması, havaalanlarındaki uçakların kalkış ve inişleri, araba tamirhanesindeki araba tamirleri vs. olabilir. Ayrıca optimize edilecek birçok performans ölçütü bulunmaktadır. Örneğin, amaç en büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi ya da geciken iş sayısının en küçüklenmesi olabilir (Leung, 2004: 1).

Çizelgeleme, üretim ve hizmet sektörlerinde çok önemli role sahiptir. Bir işletmede çizelgeleme fonksiyonu, matematiksel teknikler veya sezgisel yöntemler kullanarak sınırlı kaynakların görevlere tahsis edilmesi işlemini gerçekleştirir ve böylece kaynakların uygun olarak atanmasıyla işletmenin hedeflerine en iyi şekilde ulaşması sağlanır (Öztuncel, 2007: 2). Ayrıca, çizelgeleme yardımıyla işlerin hangi kaynaklar tarafından hangi sırayla yapılması gerektiği belirlenerek üretim planları karşılanabilmekte ve siparişler söz verilen teslimat tarihlerine yetişebilmektedir. Çizelgelemede kaynaklar; makineler, işçiler, malzemeler veya üretim sistemine kısıt oluşturan her şey olabilir. Çizelgeleme, her kaynak için iş sırasını ve tahmini başlangıç ve bitiş tarihlerini belirler. Bir başka deyişle; planlama ile hangi üründen hangi tarihler

içerisinde ne kadar üretilmesi gerektiği elde edilir, yani ne yapılacağı belirlenmiş olur. Bunun, mevcut sistemin iş yüküne, kaynakların kapasitesi ve stok durumuna göre nasıl yapılacağı, hangi işlemin hangi kaynağa atanacağı, işlemlerin hangi sırada gerçekleştirileceği ise çizelgeleme kapsamına girer (Boray, 2007: 1). Çizelgelemenin ilgilendiği sorunlar şu şekilde sıralanabilir (Aladağ, 2010: 8):

- Hangi iş merkezi hangi işi yapacak?
- Bir işlem/iş ne zaman başlayacak ne zaman bitecek?
- İş hangi donanımla, kim tarafından yapılacak?
- İşlemlerin/işlerin sıralaması ne olacak?

Karmaşık bir yapıya sahip olmasından dolayı çizelgeleme üç farklı açıdan ele alınabilir. Problem çözümü açısından bakıldığında, çizelgeleme bir en iyileme problemidir. Çizelgeleme, üretim planlama ve kontrol alanından izole edilerek, kombinatoryal en iyileme problemi olarak modellenerek, çözülmeye çalışılır. Karar verme açısından bakıldığında çizelgeleme bir insanın alması gereken bir karardır. Çizelgeleme yapan kişi, bunu başarmak için resmi ve gayri resmi bilgileri kullanarak çok çeşitli faaliyetleri yerine getirir. Çizelgeleme yapan kişi belirsizlikleri vurgulamak, darboğazları yönetebilmek ve insanların neden olduğu problemleri önceden sezebilmek durumundadır. Kurumsal açıdan bakıldığında çizelgeleme, üretim planlama ve kontrol sistemindeki karmaşık bilgi akışı ve karar verme akışının bir parçasıdır (Aladağ, 2010: 8-9).

Çizelgeleme probleminde makine kapasitesi kısıtları, teknolojik kısıtlar olmak üzere iki tür kısıt vardır. Çizelgeleme probleminin çözümü bu iki tip kısıtın birbirine bağlı ve uygun çözümüdür. Eğer elde edilen sonuç yerine getirilecek her bir görev için hangi kaynağın tahsis edileceğini ve her bir görevin ne zaman yerine getirileceğini gösteriyorsa işletmeye fayda sağlayacaktır. Dolayısıyla, geleneksel olarak, çoğu çizelgeleme problemi kısıtlara bağlı optimizasyon problemi olarak görülmektedir (Ceran, 2006: 11). Ayrıca, çizelgeleme problemleri; parametrelerin deterministik olduğu durumdan, stokastik olduğu duruma, tek makineliye çok makineliye, geliş sürecinin statikten, dinamiğe değiştiği çeşitli problem yapılarını kapsamaktadır (Öztuncel, 2007: 2).

Çizelgeleme problemlerinde üç ana amaç mevcuttur. Bu amaçlardan ilki teslim tarihi ile ilgilidir; müşterilerin siparişleri geciktirilmemeye çalışılır. İkinci amaç, işlem sürelerinin en küçüklenmesidir. Üçüncü amaç ise, iş merkezlerinin kullanımı ile ilgilidir; makine, teçhizat ve personel açısından iş merkezinin en etkin kullanımı amaçlanır (Boray, 2007: 4).

Çizelgelemenin başarılı olabilmesi için dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır ve bular şu şekilde sıralanabilir:

Kapasite: Kapasitenin ne olduğu bilinmelidir. Uygulanması mümkün olmayan ya da oldukça pahalıya mal olabilecek çizelgelerin herhangi bir faydası yoktur. Ayrıca kapasite sabit bir kavram değildir ve üretilen ürün çeşitlerinin miktarına göre değişir.

Yeterlilik: Bir makine veya işçi diğerlerine göre daha verimli veya hızlı çalışıyor olabilir. Bu kavramın hangi kaynağın hangi işe atanacağına karar verirken kullanılması gerekir.

İşin gereksinimleri: Hangi kalite ve maliyet standartları istendiği, işin ne zaman bitirilmesi gerektiği veya işlemlerin sırası gibi gereksinimler bilinmelidir.

Ölçüm standartları: Zaman, maliyet, kalite ve kapasite ile ilgili bilinen her şey için ve bunların tahsisi ile ilgili standartlar oluşturulmalıdır (Boray, 2007: 4).

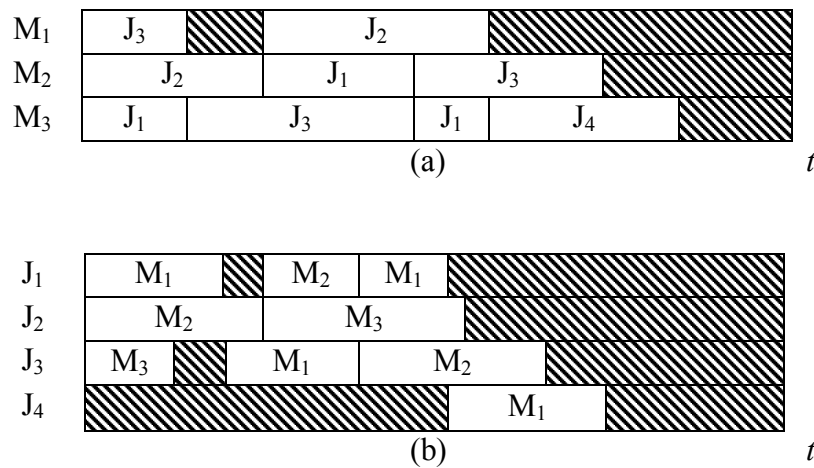
Özetle çizelgeleme, iş emirlerinde bulunan işlemlerin, atölyelerin, üretim olanaklarına en rasyonel şekilde yüklenmesidir. Çizelgelemenin temel amaçları şu şekilde ifade edilebilir:

- Üretim olanaklarının en etkin şekilde kullanımı
- Müşteri taleplerine olabildiğince çabuk cevap verilmesi
- İşlerin, teslim tarihlerinde gecikmeye neden olunmadan tamamlanması
- Yarı mamul envanterinin en küçüklenmesi
- Fazla mesai çalışmalarının en küçüklenmesi (Boray, 2007: 5)

Çizelgeleme problemleri, genellikle problem öğelerinin birbirleri ile olan ilişkilerinden ortaya çıkan çok sayıdaki kısıtla oldukça karmaşık bir yapıya sahip olmaktadır. Örneğin faaliyetlerin öncelik şartları, gecikme toleransları, eş zamanlı işlerin varlığı gibi durumlar çizelgeleme problemleri için kısıtları oluştururlar (Seçme,

2006: 4). Çizelgeleme problemlerine çözüm bulmak oldukça karmaşık bir süreçtir. Sürecin karmaşıklığı ve ihtiyaç duyduğu zaman dolayısıyla, biçimsel yaklaşımlarla çözüm aramak problem çözümünde etkinliği arttırmaktadır. Biçimsel modeller çizelgeleme problemlerini anlamada ve iyi bir çözüm bulmada yardımcı olurlar. Örneğin bir çizelgenin biçimsel ifadesi olan Gantt şeması en sık kullanılan ve en basit modellerden biridir. En temel şekliyle Gantt şeması, kaynakların zaman içinde dağılımını göstermektedir (Baker ve Trietsch, 2009: 2). Başka bir deyişle, her bir makine üzerinde işlere ait işlemleri zaman temelinde görüntülemektedir. Gantt şemasının incelenmesi, çizelgenin makinelerin boş kalma zamanları, toplam üretim süresi ve iş bekleme süreleri açısından değerlendirilmesine imkân vermektedir. Gantt şeması mükemmel bir görüntüleme aracı olmasına rağmen, çizelgenin iyileştirilmesine herhangi yapısal bir yaklaşım getirmez. Analizci, iyileştirilmiş bir çizelge bulabilmek için kendi sezgilerini kullanmak zorunda kalmaktadır (Seçme, 2006: 5).

Sık kullanılan iş programlama ve çizelgeleme yaklaşımlarından biri olan Gantt şeması, bir zaman çizgisi boyunca çizelgenin tüm safhalarının planlanan ve gerçekleşen sürelerinin, başlangıç ve bitiş zamanlarının belirtilmesi ile oluşturulur. Üretim kaynağı üstten alta, zamanlar ise soldan sağa doğru sıralanmıştır (Öztuncel, 2007: 26). Şekil 1.1'de makineye ve işe göre hazırlanmış Gantt şemaları görülmektedir (Brucker, 2007: 2).



Şekil 1.1. (a) Makineye göre Gantt şeması (b) İşe göre Gantt şeması

Gantt şemalarında zaman çizgisi boyunca her üretim kaynağı için yatay barlar çizilir. Bu şemalar herhangi bir zamanda hangi işlemin gerçekleştirilmesi gerektiğini,

daha da önemlisi çizelgenin ilerleyişini günlük olarak gösterebilir ve böylelikle gerektiğinde düzeltici önlemlerin alınabilmesini sağlar.

Düşük maliyetli olan Gantt şemaları yöneticilere şu yararları sağlar:

- Bütün işlemlerin planlanması,
- Bunların performans sıralarının dikkate alınması,
- İşlem zamanlarının tahmin edilip kaydedilmesi,
- Bütün çizelge için gereken zamanın ortaya çıkarılması (Öztuncel, 2007: 27).

Gantt şemasının yetersizlikleri ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Safhalar arasındaki zayıf ilişkileri tanımlamaz,
- Beklenmeyen gecikmelerden ötürü karşılaşılabilecek problemleri göstermez.
- İş programında gereken kaynakları veya şebeke gereksinimlerini koordine etmez.
- Her safhanın ne kadar tamamlanmış olduğunu göstermez (Öztuncel, 2007: 27).

Çizelgeleme çalışmalarının temeli 1950’li yıllara dayanır. Yöneylem araştırması, endüstri mühendisliği ve yönetim alanlarındaki araştırmacılar atölyede meydana gelen çeşitli faaliyetleri yönetmede problemlerle karşılaşmıştır. Bu tür problemlerin üstesinden etkin bir çizelgeleme ile gelinmiştir. İyi çizelgeleme algoritmaları üretim sürecindeki üretim maliyetlerini düşürebilir ve böylece işletmelerin rekabet edebilir konumda kalmalarını sağlar. 1950’lerde çalışılan çizelgeleme problemleri oldukça basittir ve bu problemlerde optimal çözüm elde etmek için etkin algoritmalar geliştirilmiştir. Ancak zaman geçtikçe karşılaşılan problemler karmaşıklaşmış ve araştırmacılar bunlar için etkin algoritmalar geliştirmede güçlük çekmişlerdir. Birçok araştırmacı genelde hızla büyüyen algoritmalar için etkin dal sınır algoritmaları geliştirmişlerdir. Karmaşıklık teorisinin gelişmesiyle, araştırmacılar bu problemlerin birçoğunun çözümünün zor olduğunun farkına varmaya başlamışlardır. 1970’lerde birçok çizelgeleme probleminin *NP-Zor* olduğu gösterilmiştir. 1980’lerde akademik hayatta ve endüstride birçok farklı yöntem takip edilmiş ve bu yıllarda stokastik çizelgeleme problemlerine ilgi artmıştır. Bundan sonra, çizelgeleme alanındaki teori büyük hızla ilerlemiştir. Yaklaşık son elli yılda bu alanda büyük oranda bilgi birikimi oluşmuştur (Leung, 2004: 1).

1.2. İşletmelerde Çizelgelemenin Yeri ve Önemi

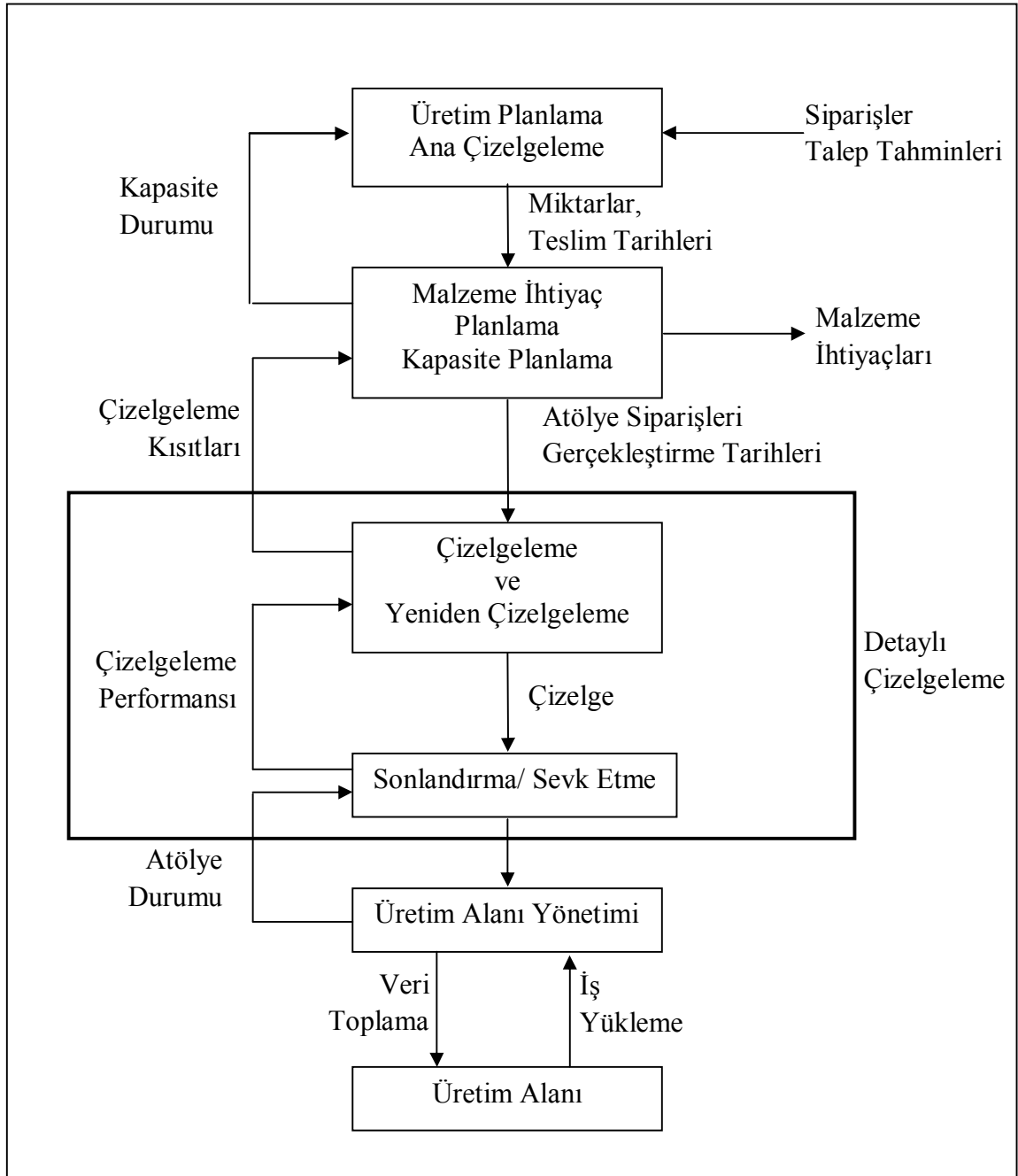
Çizelgeleme, üretim planlama sürecinin önemli bir parçasıdır. Üretim planlama ile işletmelerin genel ürün karması ve uzun dönemli kaynak tahsisi; stok seviyeleri, talep tahminleri ve kaynak ihtiyaçlarına dayanarak optimize edilmeye çalışılır. Bu üst planlama seviyesinde alınan kararlar çizelgeleme sürecini doğrudan etkilemektedir (Pinedo, 2008: 5). Çizelgeleme, üretim planlamaya göre daha ayrıntılı ve kısa dönemlidir. Çizelgeleme, en yakın zamandaki üretim amaçlarına ulaşabilmek için o anki koşulları (uygun makine, iş gücü, malzeme vs.) göz önüne alarak ayrıntılı bir yol ortaya koyar (Boray, 2007: 3). Üretimde, çizelgeleme fonksiyonu fabrikanın diğer karar alma fonksiyonları ile etkileşim içindedir. Birçok işletme tarafından kullanılan malzeme ihtiyaç planlaması sistemi bu fonksiyonlara bir örnektir. Çizelge oluşturulduktan sonra, gerekli tüm hammadde ve kaynakların belirlenen zamanda kullanılabilir olması şarttır. Tüm işlerin hazırlanma tarihleri; üretim planlama, çizelgeleme sistemi ve malzeme ihtiyaç planlaması sisteminde ortaklaşa belirlenir (Pinedo, 2008: 5).

Üretim planlama sürecinde çizelgeleme; tahmin, bütünleşik planlama ve malzeme ihtiyaç planlamasından sonraki adımdır. Malzeme ihtiyaç planlamasında ürünün her bir parçasının ya da bileşeninin ihtiyaç duyacağı zamanlar belirlenir. Çizelgeleme, belirli bir makinede işlem görecekt işleri ve emirleri, işlerin tamamlanma sırasına göre ortaya koyarak planlama sürecini bir adım daha ileri götürür. Çizelgeleme; kaynak kısıtları, işlerin zamanında tamamlanması ve çalışanlar, makineler için bekleme zamanlarının azaltılması gibi hedefleri dikkate alarak, üretimin etkili bir şekilde başarıya ulaşmasına imkân sağlar (Seçme, 2006: 7-8).

Bir üretim sisteminde ya da hizmet işletmesinde çizelgeleme fonksiyonu diğer fonksiyonlar ile etkileşim içinde olmalıdır. Bu etkileşimler sisteme bağlıdır ve bir durumdan diğer duruma değişiklik gösterir. Bunlar genellikle işletmenin genelini kapsayan bilgi sistemi içinde yer alır (Pinedo, 2008: 4). Bir üretim sisteminde çizelgeleme fonksiyonunun yeri ve diğer fonksiyonlar ile etkileşimi Şekil 1.2'de görülmektedir.

Üretim ortamına gelen siparişler ilgili tamamlanma süreleri dikkate alınarak işleme alınır. Çoğunlukla, bu işler iş merkezlerindeki makinelerde belirli bir sırada işlem görmelidir. İlgili makine meşgulse işlerin işleme girmesinde gecikme yaşanabilir

ve daha yüksek önceliğe sahip bir iş geldiğinde mevcut işin yarım bırakılıp öncelikli işe başlanması durumuyla da karşılaşılabilir. Üretim sırasında makinelerin bozulması veya beklenenden daha uzun işlem süresi gibi beklenmedik, öngörülemeyen durumlar çizelgelemede önemli bir etkiye sahip olacaklarından dikkate alınmalıdır. Bu gibi ortamlarda detaylı bir çizelgeleme, işlemlerin etkinliğinin ve kontrolünün sağlanmasına yardımcı olacaktır (Pinedo, 2008: 5).



Şekil 1.2. Bir üretim sisteminde çizelgeleme fonksiyonunun yeri

İşletmelerde çizelgeleme yapılırken genellikle üç temel amaç dikkate alınır. Bunlardan ilki, teslimat tarihleridir ve amaç, çizelge oluşturulduktan sonra geç kalmış işin bulunmamasıdır. İkinci amaç ise, bir işin üretim sistemi içerisinde harcadığı süreyi en aza indirmektir. Üçüncü temel amaç ise, kaynak kullanımının en üst düzeye çıkarılmasıdır. Bu üç temel amaç birbiriyle çelişebilir. Örneğin, teslimat tarihlerini karşılayabilmek için kapasite artırımına gitmek kaynak kullanım yüzdelerini azaltır. Üretim sisteminin ihtiyacı göz önüne alınarak belirlenen performans kriterlerine göre oluşturulan iyi bir çizelgeleme sistemi ile işletmeler, ara stok ve envanter seviyelerini düşürebilmekte, verimlilikte ve teslimat performanslarında artış sağlayabilmektedir. Çizelgeleme, üretim planlama ve kontrol sisteminin, fabrikaya yansıyan ana yüzüdür. Bir sonlu kapasite çizelgeme yazılımı ile fabrikada üretimin o anki durumu hakkında bilgiye sahip olduğundan ani siparişlere daha hızlı cevap verilebilmekte, potansiyel siparişler için test yüklemeleri yaparak, teslimatlar için daha gerçekçi tarihler belirlenebilmektedir. Fazla mesai çalışmanın, üretim kapasitesi üzerindeki etkisi gerçek uygulamaya geçmeden test edilebilmekte, iyi bir çizelgeleme sistemi ile daha gerçekçi iş sıralamaları, parti büyüklüklerinde azalma ve daha kısa üretim zamanları sağlanabilmektedir (Boray, 2007: 1-2). Ayrıca, çizelgeleme yardımıyla işletmeler, müşterilerine ürünleri zamanında teslim edebildiklerinden müşteri memnuniyeti sağlanabilmektedir. Müşteri isteklerine zamanında cevap verilememesi halinde ise işletmelerin sıkı rekabet ortamında önemli kayıpları söz konusu olabilmektedir (Cihanlı, 2010: 2).

Bir üretim sisteminde, atölye içinde çok sayıda yarı mamul yığınının olması veya bir kısım makinelerin çalışırken diğerlerinin boş durması gibi durumların gözlemlenmesi o üretim sisteminde etkin bir çizelgeleme duyulan ihtiyacı göstermektedir. Ayrıca, üretim kayıtları incelendiğinde yüksek seviyede fazla mesai, gecikmiş işlerin varlığı, düşük makine ya da işgücü kullanım oranları gibi istatistikler de etkin bir çizelgelemeye olan ihtiyacın belirtileridir (Seçme, 2006: 4).

Verilen bir amaç üzerinde çizelgelemenin etkisi birçok ortam için hemen açık bir şekilde görülmeyebilir. Ancak özel bir çizelgelemenin seçimi, sistem performansı üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olabilir. Çizelgedeki bir iyileşme, özellikle karmaşık üretim ortamlarında doğrudan ve dolaylı maliyetlerde önemli yüzdelerde azalma sağlayabilir (Güner, 2011: 4). Ayrıca etkin bir çizelgeleme ve kontrol sayesinde

işletmeler kaynaklarını etkin kullanarak verimliliklerini yükseltirler. Bunların yanında, çizelgeleme fonksiyonu, üretim sisteminde siparişlerin yani müşteri taleplerinin karşılanması süreci açısından önemlidir.

Çizelgeleme fonksiyonu, üretim planlama verileri ve atölye verileri arasında köprü vazifesi görür. Üretim planlamadan gelen sipariş bilgileri (sipariş miktarı, başlama ve teslim zamanları vb.) dikkate alınarak mevcut atölye durumuna göre en iyi ve etkin çizelge belirlenir ve üretim planlama ile atölye yöntemine geri bildirim yapılması sağlanır (Akçay, 2009: 6).

Üretim tesisleri karmaşık, dinamik ve rastsal sistemlerdir. Planlı bir üretim faaliyetinin başından itibaren, işçiler, yöneticiler, mühendisler ve üst yöneticiler, üretim faaliyetlerini kontrol altında tutabilmek için çeşitli pratik yöntemler geliştirirler. Birçok üretim işletmesi, kontrol edilebilen belirli aktivitelerin yerine getirilebilmesi için, üretim çizelgeleri hazırlar ve bunları sürekli günceller. Üretim çizelgeleri, faaliyetleri koordine ederken, üretkenliği artırır ve işletme maliyetlerini düşürür. Bir üretim çizelgesi kaynak çatışmalarını tanımlar, işlerin atölyeye gelişlerini kontrol eder, ihtiyaç duyulan hammaddenin zamanında sipariş edilmesini sağlar, sipariş teminatlarının karşılanıp karşılanamayacağına karar verir ve önleyici bakım için gerekli zaman aralıklarının belirlenmesini sağlar (Aladağ, 2010: 8). Atölye faaliyetlerinin etkili planlama ve zamanlaması ile birçok sistemin performansı en iyilenebilir (Büyüksünetçi, 2006: 1).

Karar verme süreci olarak çizelgeleme, ilk kez endüstriyel üretim alanında ortaya çıksa da günümüzde hizmet, tedarik, taşıma, dağıtım ve bilginin işlenmesi ve iletimi alanlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çizelgelemenin önemli uygulama alanlarından birisi de hastane, restoran ve bankalar gibi hizmet sistemleridir. Hizmet sistemlerinde üzerinde durulan nokta, personel ve müşterilerin çizelgelenmesidir. Hizmet endüstrilerinde, bazen stoklarla ilgilenilse de daha çok müşteri sayısındaki artış ve azalışlar dikkate alınmaktadır. Buradaki amaç, müşteri taleplerindeki dalgalanmalara mümkün olduğunca cevap verebilmektir. Hizmet endüstrilerinde randevulu sistemler (doktorlar, hakimler gibi) ve ilk gelen ilk servis alır sistemleri (perakende satış gibi) olmak üzere iki tip sistem vardır. Çizelgelemenin anahtar rol oynadığı alanlardan birisi de ulaştırma endüstrisidir. Havayolları; uçaklar, pilotlar, uçuş görevlileri ve müşteriler gibi birçok değişkeni dikkate alarak çizelgeleme yapmak zorundadırlar. Oluşturdukları çizelgeler hava şartları gibi beklenmeyen olaylara

karşı her zaman için esnek olmalıdır. Etkili çizelgeler sadece müşteri memnuniyetinin arttırılmasını değil, aynı zamanda maliyetlerin azaltılmasını da sağlar (Seçme, 2006: 9).

1.3. Çizelgeleme İlgili Tanımlamalar ve Notasyon

Çizelgeleme problemlerinin tümü, işlenmesi gereken işler kümesini ve bu işleri gerçekleştirmek için gereken elverişli kaynaklar kümesini içermektedir. Aynı zamanda tüm çizelgeleme problemlerinde işlerin ve makinelerin sonlu sayıda olduğu varsayılır. İşlerin sayısı n ile, makinelerin sayısı m ile ifade edilir. Genellikle j alt indisi işi gösterirken, i alt indisi ise makineyi gösterir. Eğer bir iş, bir dizi işlemde geçecekse (i, j) ikilisi j işinin i makinesindeki işlem adımını gösterir (Pinedo, 2008: 13). Aşağıda, çizelgeleme problemine ilişkin bazı önemli tanımlar ve notasyonlar verilmiştir:

i : $\{1, \dots, m\}$ ve j : $\{1, \dots, n\}$ olmak üzere;

i : m adet makinenin yer aldığı makineler kümesini,

j : n adet işin yer aldığı işler kümesini göstermektedir.

İşlem süresi (p_{ij}): i makinesinde j işinin işlem süresini ifade eder. Eğer j işinin işlem süresi makineye göre değişmiyorsa ya da j işi sadece tek bir makinede işlem görüyorsa i alt indisi kullanılmaz ve p_j olarak ifade edilir.

Hazır olma zamanı (r_j): j işine ait r_j yani hazır olma ya da serbest bırakma zamanı, işin sisteme geldiği zamanı gösterir ve j işinin işleme başlayabileceği en erken zamanı gösterir.

Teslim tarihi (*Due date*) (d_j): j işinin tamamlanmasının beklendiği tarihi gösterir. İşin bitiş tarihinden sonra tamamlanmasına izin verilir ancak bunun bir maliyeti vardır.

Ağırlık (w_j): w_j olarak gösterilen j işine ait ağırlık temelde öncelik faktörüdür ve j işinin sistemde yer alan diğer işlere göre önemini gösterir (Pinedo, 2008: 14).

Graham vd. (1979) çizelgeleme problemleri için $\alpha|\beta|\gamma$ üçlü gösterimini önermiştir. Bu gösterimde α alanı, makine ortamını tanımlar ve bir girdiye sahiptir. β alanı, iş özellikleri ve çizelgeleme kısıtlarının detaylarını içerir. Bu alan birden fazla

girdiye sahip olabileceği gibi hiç girdi de olmayabilir. γ alanı, optimize edilecek amaç fonksiyonunu içerir ve genelde tek bir girdiye sahiptir (Leung, 2004: 6).

1.4. Çizelgeleme Açısından Üretim Ortamları

Çizelgeleme probleminin türü belirlenirken temel alınan kriterlerden en önemlisi üretim ortamının türüdür. Üretim sistemlerinde oldukça farklı yapı ve özellikte üretim ortamlarına rastlanmaktadır. Çizelgeleme yapılacak üretim ortamının yapısı, çizelgeleme probleminin kısıtlarını ve kaynakların özelliklerini de etkileyecektir. Atölye tipi üretim ortamından akış tipi üretim ortamına kadarki çeşitli yerleşim düzenleri için farklı özelliklerde çizelgeleme problemleri oluşturulabilir (Seçme, 2006: 1). Çizelgeleme ortamları, tek makineli küçük atölyelerden, çok makineli karmaşık atölyelere kadar farklı yapıda olabilir. α alanındaki olası makine ortamları şu şekilde özetlenebilir:

1.4.1. Tek makineli çizelgeleme ortamı

Sistemde sadece bir makinenin bulunduğu durumu gösterir. Tek makineli çizelgeleme ortamı, diğer tüm karmaşık makine ortamlarının özel bir durumudur ve diğerlerine göre çözülmesi en kolay olan problem sınıfını tanımlar (Pinedo, 2008: 14). Tek makine ortamında elde edilen sonuçlar, sadece tek makineli çizelgeleme problemlerine ışık tutmakla kalmayıp aynı zamanda daha karmaşık problemler için sezgisel yöntemlere de temel oluşturmaktadır. Pratikte, daha karmaşık çizelgeleme problemleri çoğunlukla tek makineli alt problemlere dönüştürülür (Cihanlı, 2010: 5). Tek makineli modeller, çeşitli özel koşullar ve kısıtlar altında farklı amaç fonksiyonları için analiz edilir (Güner, 2011: 11).

Birçok üretim sistemi, tek makineli modelleri ortaya çıkarır. Örneğin, çok makineli bir ortamda darboğaz bir makine varsa dar boğaz makinedeki tüm sistemin performansını tayin eder. Dar boğaz makine çizelgelendikten sonra, bu makinenin yukarısındaki ve aşağısındaki işlemler çizelgelenir (Güner, 2011: 11).

1.4.2. Paralel makineli çizelgeleme ortamı

Çoğu işlemin mevcut m makineden herhangi birinde yapılabileceği durumlarda hangi işlerin, hangi makinelerde ve hangi sıralarda yapılması halinde etkinlik ölçütünün en iyileneceğinin incelendiği ortama paralel makineli çizelgeleme ortamı denir (Erbasta, 2010: 3). Paralel makineli çizelgeleme ortamı tek makine modelinin geliştirilmiş şekli olup, bu ortamda makineler paralel olarak kümelenmiştir. Birçok üretim ortamı çok sayıda aşamadan oluşmuştur. Özel bir iş merkezinde dar boğaz olduğunda bu iş merkezindeki çizelgeleme tüm sistemin performansını belirleyecektir. O dar boğaz paralel makinelerin bir yığını olarak modellenebilir ve üzerinde analiz gerçekleştirilebilir (Güner, 2011: 11).

Paralel makineler her zaman benzer olmayabilir. Bazı makineler diğerlerinden daha eski olabilir ve daha yavaş hızda çalışabilir veya bir makine daha iyi bakıma sahip olduğu için diğerlerinden daha iyi ve daha yüksek kalitede iş yapabilir. Bazı işler, m paralel makinenin herhangi biri üzerinde işlem görebilirken diğerleri sadece m makinenin spesifik bir alt seti üzerinde işlem görebilir (Güner, 2011: 12). Paralel makineli çizelgeleme ortamları şu şekilde çeşitlendirilebilir:

Özdeş paralel makineler: Özdeş, paralel m tane makinenin olduğu durumu tanımlar. Gösterimde m 'in yer almaması makine sayısının isteğe bağlı olduğu anlamına gelir.

Farklı hızda paralel makineler: Farklı hızlara sahip paralel m tane makine vardır. Makine i 'nin hızı v_i ile gösterilir. j işinin i makinesinde harcadığı p_{ij} zamanı p_j/v_i 'ye eşittir. Burada j işinin hep makine i 'de işlem gördüğü varsayılmaktadır. Eğer, tüm makineler aynı hıza sahipse, örneğin tüm i 'ler için $v_i = 1$ ve $p_{ij} = p_j$ ise ortam paralel özdeş makine ortamının aynısı olacaktır (Pinedo, 2008: 14).

Farklı paralel makineler: Paralel m tane farklı makine vardır. j işi, makine i 'de v_{ij} hızı ile işlem görür. j işinin makine i 'de harcadığı p_{ij} zamanı p_j/v_{ij} 'ye eşittir. Burada j işinin hep makine i 'de işlem gördüğü varsayılmaktadır. Eğer makinelerin hızı işlerden bağımsız ise, örneğin tüm i ve j 'ler için $v_{ij} = v_i$ ise ortam paralel farklı hızda makine ortamının aynısı olacaktır (Pinedo, 2008: 14).

1.4.3. Akış tipi çizelgeleme ortamı

Akış tipi çizelgeleme, seri olarak bağlı m tane makinenin olduğu ve her işin aynı rotayı izleyerek makinelerin her birinde işlem gördüğü çizelgeleme ortamıdır. Bir işin bir makinedeki işlemi tamamlandıktan sonra, bu iş bir sonraki makinenin sırasına girer. Bir makinedeki işlemi tamamlanan iş, sonraki makinede işlem görmek üzere kuyruğa girer ve genellikle ilk gelen ilk servis alır (İĞİS) kuralına göre işlem görür ve işler bir sırada beklerken diğerine geçemez (Pinedo, 2008: 15). Bu sistemlerde tek bir ürün veya birbirine benzeyen birkaç ürün vardır. İş merkezleri, ürünün üretimi için gerekli işlemlere göre oluşturulmuştur. Özel amaçlı donanımlar üretim akışına göre sıralanmış olup, oldukça düzgün ve hızlı bir ürün akışı vardır. İşlerin bütün makinelerdeki işlem sırası birbirinin aynıdır. Bu düzgün iş akışı, üretim içi stoklara olan ihtiyacı azaltmakta, dolayısıyla çizelgeleme ve planlama çalışmaları büyük ölçüde kolaylaşmaktadır (Aladağ, 2010: 13). Akış tipi atölye ortamının çeşitleri şu şekilde özetlenebilir:

Esnek akış tipi çizelgeleme ortamı: Esnek akış tipi, akış tipi ve paralel makine ortamının geliştirilmiş şeklidir. Seri halde m tane makine yerine seri olarak c tane aşama vardır ve her aşamada birkaç paralel özdeş makine yer almaktadır. Her iş öncelikle aşama 1, aşama 2, ..., aşama c olmak üzere bütün aşamalardan geçmek zorundadır.

Permütasyon akış tipi çizelgeleme ortamı: Akış tipinin tüm işlerin tüm makinelerde işlem sıralarının aynı olması şeklinde kısıtlandığı şeklidir.

Karmaşık akış tipi çizelgeleme ortamı: Çok işlemler atölyelerde işler farklı rotalara sahiptir. Bu ortam karmaşık akış tipi olarak adlandırılır ve akış tipinin geliştirilmiş bir şeklidir. En basit karmaşık akış tipi modellerinde bir işin özel bir makine üzerinde rotası gereği en fazla bir kez işlem görebileceği varsayılır. Diğer taraftan bazı durumlarda bir iş rotasına bağlı olarak bir makineye bir defadan fazla uğrayabilir. Bu, yeniden devir kısıdı altında çalışıldığını ifade eder (Güner, 2011: 13).

1.4.4. Atölye tipi çizelgeleme ortamı

Atölye tipi çizelgeleme ortamında n tane iş, m tane makinede işlem görür ve her iş keline özgü önceden belirlenmiş bir rotaya sahiptir. İşler bazı makineleri bir defadan fazla ziyaret edebilirken bazı makineleri ziyaret etmeyebilir (Leung, 2004: 6).

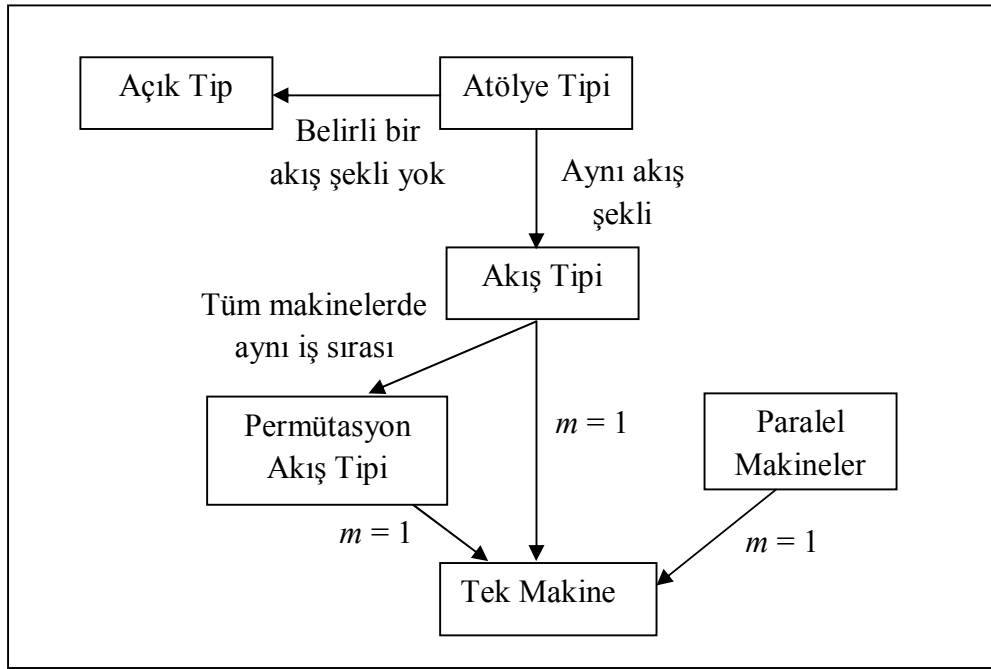
Atölye tipi çizelgeleme problemi, verilen bir amaç fonksiyonunu eniyileyecek şekilde her bir makinede iş sıralarının bulunmasıdır. Her bir makinede, işlerin $n!$ sayıda farklı sıralaması olduğu düşünülürse m adet makine için toplam $(n!)^m$ sayıda olası durum mevcuttur. n ve m 'in küçük değerleri için bile bu sayı oldukça büyüktür. İş gelişlerinin belirsizliği ve makine arızalanmaları gibi belirsizlikler de göz önüne alındığında, çok basit atölye tipi çizelgeleme problemleri bile çok karmaşık hale gelmektedir (Cihanlı, 2010: 7).

Atölye tipi üretim ortamlarında iş merkezleri, bazı donanımlara veya işlemlere göre oluşturulmuştur. Örneğin pres, delme, montaj v.b. işlemlere gidecek olan ürünler, partiler halinde iş merkezlerinden geçerler. İş merkezleri arasındaki akış, herhangi bir sırayı izleyebilir. Bu sistemlerde ürün çeşitliliği çoktur. Donanım genel amaçlı olup donanımın kullanım oranı yüksektir. Bunun yanı sıra, ürün üretim aşamalarından yavaş yavaş geçer ve bundan dolayı üretim içi stok gereksinimleri doğar. Bu stokların kontrolü oldukça zordur. Doğal olarak çizelgeleme maliyetleri yüksektir. Donanım hazırlama maliyetleri de yüksek olup genel amaçlı donanımı tam anlamıyla kullanacak nitelikli iş gücü gereksinimi, personel giderlerini arttırmaktadır. Kısaca atölye tipi üretim sistemlerinde çizelgeleme işlevi zor ve pahalıdır (Aladağ, 2010: 13).

Esnek atölye tipi çizelgeleme ortamı: Esnek atölye tipi, atölye tipi ve paralel makine ortamının genelleştirilmiş şeklidir. Seri halde m tane makine yerine, özdeş paralel makinelerin olduğu c tane iş merkezi bulunmaktadır. Her iş kendine ait bir rotaya sahiptir. j işi her iş merkezinde sadece bir makinede işlem görür, bu makine herhangi bir makine olabilir (Pinedo, 2008: 15).

Açık atölye tipi çizelgeleme ortamı: Açık atölye, m tane makinenin olduğu ve her işin bu m makinenin her birinde işlem gördüğü, işlemlerin makine ortamında izleyeceği rota ile ilgili herhangi bir kısıdın olmadığı üretim ortamıdır. Ayrıca bazı işlem süreleri sifıra eşit olabilir (Pinedo, 2008: 15). Başka bir deyişle atölyeye gelen işler atölyedeki makinelerde herhangi bir sırada işlenebilir ve işler için bir rotalama kısıdı söz konusu değildir.

Makine ortamları arasındaki ilişki Şekil 1.3'te özetlenmiştir (MacCarthy ve Liu, 1993: 62).



Şekil 1.3. Makine ortamları arasındaki ilişkiler

1.5. İşlem Kısıtları

β alanındaki işlem kısıtları birden çok girdi içerebilir. Bu alandaki olası girdiler şu şekilde özetlenebilir (Pinedo, 2008: 15-17):

Hazır olma (serbest bırakma) zamanı (r_j): β alanında bu sembolün yer alması j işinin kendine ait serbest bırakma zamanı r_j 'den önce işlem görmeye başlayamayacağını ifade eder. Eğer β alanında bu sembol yer almıyor ise, j işinin herhangi bir zamanda işleme başlayabileceği anlamına gelir.

İş kesintileri ($prmp$): İş kesintileri, bir işin başladığı andan tamamlanmasına kadar bir makinede devam etmesinin zorunlu olmadığını ifade eder. Çizelgeyi hazırlayan kişiye, bir işin işlemini herhangi bir zamanda durdurması ve ilgili makinede onun yerine farklı bir işi işleme koyması için izin verilir. İşlemi yarıda kesilen iş daha sonra ilgili makineye tekrar yüklendiğinde sadece geri kalan süre kadar işlem görür. İş kesintilerine izin verildiği durumlarda, β alanı içinde $prmp$ yer alır. Eğer $prmp$ ifadesi yer almıyorsa iş kesintilerine izin verilmediği anlaşılır.

Öncelik kısıtları (prec): Öncelik kısıtları tek makine veya paralel makine ortamlarında, bir işin işleminin başlayabilmesi için kendinden önceki bir ya da daha fazla işin tamamlanmasının gerektiğini ifade eder. Öncelik kısıtlarının birçok özel çeşidi vardır. Eğer her iş en fazla bir öncül ve bir ardıl işe sahipse kısıtlar “zincir” olarak ifade edilir. Eğer her iş en fazla bir ardıla sahipse “intree”, eğer her iş en fazla bir öncüle sahipse “outtree” adını alır. Eğer β alanı içinde *prec* tanımlanmamışsa, işler arasında öncelik kısıdı bulunmamaktadır.

Sıraya bağlı hazırlık süresi (S_{jk}): S_{jk} sıraya bağlı hazırlık süresini ifade eder. j ve k işlerinin işlem görmeleri arasında katlanılan zamanı gösterir. S_{0k} , eğer iş k ilk sırada ise k işinin kurulum zamanını ve S_{j0} son sıradaki j işinin tamamlandıktan sonraki toparlanma zamanını gösterir (S_{0k} ve S_{j0} sifıra eşit olabilir). Eğer j ve k işleri arasındaki kurulum zamanı makineye bağlı ise, alt indis i kullanılır (Pinedo, 2008: 16).

Makine arızaları (brkdw): Makine arızaları, makinenin daha fazla uygun olmadığını yani kullanılamaz durumda olduğunu ifade etmektedir.

Permütasyon (prmu): Akış tipi atölyede ortaya çıkan bu kısıt, her makine önünde işlem görmek üzere kuyrukta bekleyen işlerin ilk gelen ilk servis alır (İĞİS) kuralına göre işleme alınmasını ifade eder. Bu işlerin hangi sırayla (ya da permütasyonla) ilk makineden geçtiğini ve sistem boyunca sürdürdüğü sırayı gösterir.

Beklemesiz (nwt): Bu kısıt da akış tipi atölyede ortaya çıkar ve işlerin birbirini izleyen makineler arasında beklemelerine izin verilmemesi durumunu ifade eder. Böyle bir durumda gerekirse, bir işin sonraki makinelerde beklememesini sağlamak için ilk makinede bekletilmesi söz konusu olabilir. Burada da ilk gelen ilk servis alır kuralının geçerli olacağı açıktır.

Yeniden dolaşım (rcrc): Yeniden dolaşım, bir işin bir makine ya da iş merkezini birden fazla ziyaret etmesi durumunda atölye tipi ya da esnek atölye tipi ortamlarda görülebilir (Pinedo, 2008: 17).

1.6. Performans Ölçütleri

Çizelgelemede amaçları ifade etmek her zaman kolay değildir. Amaçlar çok karmaşıktır ve genellikle birbirleriyle bağdaşmaz. Ancak çizelgenin ne derece başarılı

olduğuna karar vermek için bir takım kriterleri tanımlamak gerekir. Aksi halde matematiksel olarak çizelge oluşturmak imkânsızlaşır. Örnek olarak; karşılaştırılmış teslim tarihlerine uymak zorunda kalınabilir. Aksi takdirde güvenilirlik kaybına uğranılabilir ve finansal ceza maliyeti söz konusu olabilir. Bu durumda en büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi istenecektir. Bazen teslim tarihi önemli olmayabilir ve çizelgeleme zamanının uzunluğu en küçüklenmek istenebilir. Tüm işler tamamlandıktan sonra bazı makineler başka işler için kullanılabilir. Böylece makinelerin boş kalma zamanları en küçüklenmek istenebilir. Ayrıca stok maliyeti de en küçüklenmek istenebilir (Erdem, 2008: 10).

γ alanında problemin amaç fonksiyonuna ait girdiler yer alır. En küçüklenmeye çalışılan amaç, daima tamamlanma zamanının bir fonksiyonudur ve dolayısıyla çizelgeye bağlıdır. j işinin i makinesindeki işleminin tamamlanma zamanı C_{ij} ile gösterilir. j işinin sistemden çıkış zamanı C_j , teslim tarihi d_j ile ifade edilir. Ayrıca, amaç teslim tarihinin bir fonksiyonu da olabilir. Bu fonksiyonlardan j işinin gecikme süresi (lateness) şu şekilde tanımlanır:

$$L_j = C_j - d_j$$

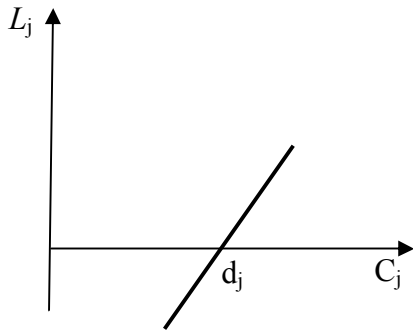
Gecikme süresi, işin geç tamamlanması durumunda pozitif değer alırken, işin erken tamamlanması durumunda ise negatif değer alır. j işinin teslim gecikme süresi ise (tardiness) şu şekilde tanımlanır:

$$T_j = \text{Enb}(C_j - d_j, 0) = \text{Enb}(L_j, 0)$$

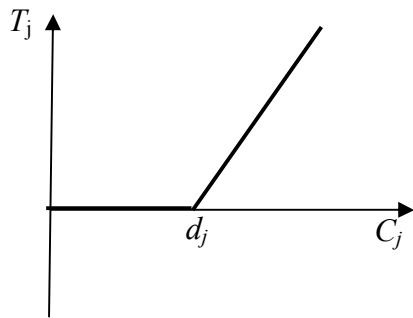
Gecikme süresi (L_j) ve teslim gecikme süresi (T_j) arasındaki fark, teslim gecikme süresinin hiçbir zaman negatif değer almamasıdır. j işine ait birim ceza şu şekilde tanımlanır (Pinedo, 2008: 18):

$$U_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer } C_j > d_j \\ 0, & \text{aksi taktide} \end{cases}$$

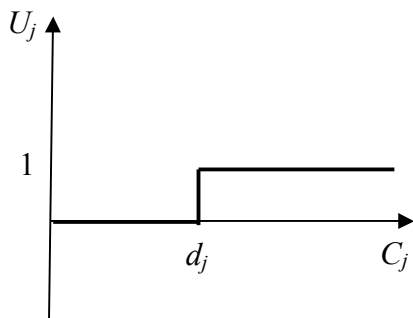
Gecikme süresi, teslim gecikme süresi ve birim ceza, teslim tarihine bağlı üç temel fonksiyondur. Bu fonksiyonlar sırasıyla Şekil 1.4, Şekil 1.5 ve Şekil 1.6'da görülmektedir (Pinedo, 2008: 18).



Şekil 1.4. j işinin gecikme süresi L_j



Şekil 1.5. j işinin teslim gecikme süresi T_j



Şekil 1.6. j işine ait birim ceza U_j

Çizelgelerin ne ölçüde başarılı olduğunu değerlendirmek için kullanılan ölçütler performans ölçütü olarak tanımlanmaktadır. Çizelgeleme problemlerinin çözümünde performans ölçütünü belirlemek oldukça zordur. Bunun nedeni ölçütlerin çok fazla olması, karmaşıklığı ve birbirleriyle çakışmasıdır. Bu yüzden performans ölçütü belirlenirken çok dikkatli olunmalıdır. Bir amaca göre elde edilen çözüm iyiyken bir diğerine göre bu durumun bozulabilmesi söz konusu olabilir. Bu nedenle yapılan çizelgenin başarısının ölçümü için performans ölçütleri belirlenmeli ve geliştirilen çözümler bu ölçütlere göre değerlendirilmelidir (Cihanlı, 2010: 8). Tek bir performans ölçütü kullanılabileceği gibi birden fazla ve birbiri ile çelişen ölçütler kullanmak mümkündür

(Mutlu, 1993: 17). Yapısına göre problemi çözmek için kullanılan teknikler belirli performans ölçütlerini en iyilemektedir. Bu nedenle çözüm tekniği belirlenirken performans ölçütünün de dikkate alınması gerekmektedir. Performans ölçütlerine göre çizelgeleme problemleri üç ana başlık altında incelenebilir. Bunlar, tamamlanma zamanına dayalı performans ölçütleri, teslim zamanına dayalı performans ölçütleri ile stok ve makine kullanım maliyetine dayalı performans ölçütleridir. γ alanında yer alan en küçüklenecek bu amaçlar şu şekilde verilebilir:

1.6.1. Tamamlanma zamanına dayalı performans ölçütleri

Tamamlanma zamanı ile ilgili performans ölçütleri aşağıda sıralanmıştır. Etkinliğin arttırılması bu ölçütlerin en küçüklenmesi ile sağlanır.

En büyük akış süresi: $F_{enb} = Enb(F_1, F_2, \dots, F_n)$

Ortalama akış süresi: $\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F_j$

En büyük tamamlanma zamanı (Yayıma süresi): $C_{enb} = Enb(C_1, C_2, \dots, C_n)$

Ortalama tamamlanma zamanı: $\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n C_j$

Toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı: $\sum_{j=1}^n w_j C_j$

En büyük akış süresini (F_{enb}) en küçüklemek en fazla atölyede kalan işin süresini azaltarak maliyeti düşürmek anlamına gelir. En büyük tamamlanma zamanı (C_{enb}) iş merkezinin ilgili işlere tahsis edilmesinden oluşan maliyetlerle ilişkilidir. İşin atölyeye geliş zamanı sıfırsa bu iki ölçüt birbirine eşdeğerdir. Ortalama tamamlanma ve ortalama akış sürelerini en küçüklemek ile, işlerin atölyede kalma süreleri en küçükleneceğinden erken bitirmenin üstünlük sağlayabileceği durumlarda performans ölçütü olarak kullanılabilir (Cihanlı, 2010: 8-9).

1.6.2. Teslim zamanına dayalı performans ölçütleri

İşlerin teslim zamanından önce ya da sonra bitirilmesi, süreçteki stokları ve bitmiş ürün stoklarını arttıracığından maliyetlerin artmasına neden olur. Bu yüzden işlerin teslim zamanında bitirilmesi hedeflenir. Teslim zamanına ağırlık veren

performans ölçütleri aşağıda verilmiştir (Cihanlı, 2010: 9). Etkinliğin artırılması bu ölçütlerin en küçüklenmesi ile sağlanır.

$$\text{En büyük gecikme: } L_{enb} = Enb(L_1, L_2, \dots, L_n)$$

$$\text{Ortalama gecikme: } \bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n L_j$$

$$\text{En büyük teslim gecikme süresi: } T_{enb} = Enb(T_1, T_2, \dots, T_n)$$

$$\text{Ortalama teslim gecikme süresi : } \bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j$$

$$\text{Toplam ağırlıklı gecikme süresi : } \sum_{j=1}^n w_j T_j$$

$$\text{Geciken iş sayısı: } n_t$$

\bar{L} ve L_{enb} ölçütleri en küçüklendiğinde erken tamamlanan işler ödüllendirilir. \bar{T} ve T_{enb} ölçütlerinde ise erken biten işler dikkate alınmaz, başka bir deyişle ödüllendirilmez, sadece geç biten işler cezalandırılır. Bazı durumlarda ise işin gecikme süresinin cezalandırılması anlamsız olabilir. Bu gibi durumlarda geciken iş sayısı en küçüklenir (Cihanlı, 2010: 9).

1.6.3. Stok ve makine kullanım maliyetine dayalı performans ölçütleri

Bu ölçütün amacı süreçteki mal stokunu en küçüklemek ve makinelerin etkin kullanımını sağlamaktır. Bu performans ölçütleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

$$\text{İşlenmek üzere makinelerde bekleyen ortalama iş sayısı: } \bar{N}_Q$$

$$\text{Tamamlanmamış ortalama iş sayısı: } \bar{N}_U$$

$$\text{Tamamlanmış ortalama iş sayısı: } \bar{N}_C$$

$$\text{Süreçteki ortalama iş sayısı: } \bar{N}_P$$

$$\text{Ortalama makine boş zamanı: } \bar{I}$$

$$\text{En büyük makine boş zamanı: } \bar{I}_{enb} \text{ (Cihanlı, 2010: 9-10).}$$

\bar{N}_U ve \bar{N}_C ölçütleri süreçteki stok maliyetleriyle doğrudan ilişkili göstergelerdir. \bar{N}_C ölçütünü en küçüklemek, bitmiş ürünlerin stok maliyetini en küçükler. Amaç, makinelerin verimli kullanımı ise \bar{N}_P değerini en büyükleyen veya \bar{I} ve \bar{I}_{enb} değerini en küçükleyen çizelgeler tercih edilir (Cihanlı, 2010: 10).

1.7. Çizelgelemede Kullanılan Öncelik Kuralları

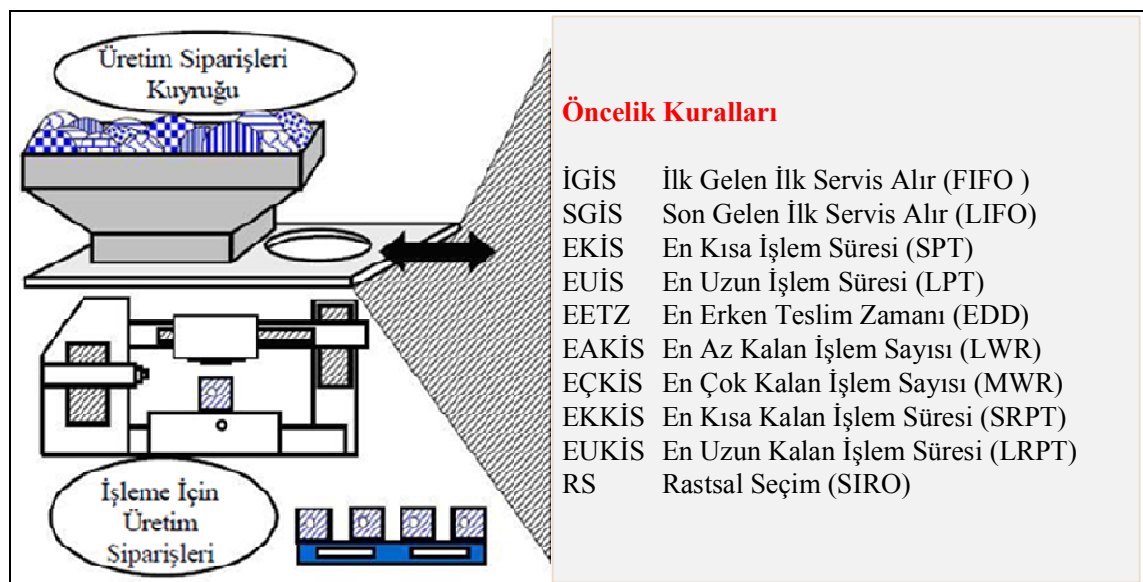
Çizelgeleme problemlerinde sıralama yapılırken dikkate alınan kurallara öncelik kuralları denir. Öncelik kurallarına göre siparişlere ait işlemler çizelgede sıralanır. Öncelik kuralları Şekil 1.7’de gösterilmiştir (Aydemir, 2009: 24).

1.7.1. İlk gelen ilk servis alır (İGİS)

Sisteme ilk gelen işin ilk önce çizelgelenmesi şeklindeki öncelik kuralıdır. Başka bir deyişle, işlemler işletmeye gelişlerine göre sıraya dizilirler ve bu sıra ile işlenirler.

1.7.2. Son gelen ilk servis alır (SGİS)

Sisteme son gelen işin ilk önce çizelgelenmesi şeklindeki öncelik kuralıdır. Bu öncelik kuralında, işlerin geliş sıraları dikkate alınıp son işten başlanarak ilk işe kadar işler sırasıyla çizelgelenir.



Şekil 1.7. Üretim sürecinde öncelik kuralları

1.7.3. En kısa işlem süresi (EKİS)

Bu öncelik kuralında, işlemler sürelerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanır ve en kısa süreye sahip işlem ilk olarak ilgili makineye atanır (Küçük, 2010: 45). Bu öncelik kuralı uygulanırken izlenecek adımlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Adım: Her işe ait ilk işlemlerin işlem sürelerine bakılarak, tüm işler arasında en kısa işlem süresine sahip işlem ilgili makineye atanır. Eğer sistemde en kısa aynı işlem süresine sahip birden fazla işlem varsa, sıralama rastsal olarak ya da çizelgelemeyi yapan kişi tarafından belirlenecek bir kurala göre yapılır.

2. Adım: Daha sonra, çizelgelenen işlem ilgili işten çıkartılır. Bu işin takip eden işlemleri ve diğer işlerin ilk işlemleri sıralanır ve bunlardan en kısa işlem süresine sahip olan ilgili makineye atanır. Tüm işlerin işlemlerinin atamaları tamamlanıncaya kadar 1. Adım ve 2. Adım tekrarlanarak çizelgeleme tamamlanır.

1.7.4. En uzun işlem süresi (EUİS)

Bu öncelik kuralı, en kısa işlem süresi kuralının tersi bir yapıya sahiptir. Burada, işlemler sürelerine göre büyükten küçüğe sıralanır ve en uzun süreye sahip işlem ilk olarak ilgili makineye atanır (Küçük, 2010: 44). Bu öncelik kuralı uygulanırken izlenecek adımlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Adım: Her işe ait ilk işlemlerin işlem sürelerine bakılarak, tüm işler arasında en uzun işlem süresine sahip işlem ilgili makineye atanır. Eğer sistemde en uzun aynı işlem süresine sahip birden fazla işlem varsa, sıralama rastsal olarak ya da çizelgelemeyi yapan kişi tarafından belirlenecek bir kurala göre yapılır.

2. Adım: Daha sonra, çizelgelenen işlem ilgili işten çıkartılır. Bu işin takip eden işlemleri ve diğer işlerin ilk işlemleri sıralanır ve bunlardan en uzun işlem süresine sahip olan ilgili makineye atanır. Tüm işlerin işlemlerinin atamaları tamamlanıncaya kadar 1. Adım ve 2. Adım tekrarlanarak çizelgeleme tamamlanır.

1.7.5. En erken teslim zamanı (EETZ)

Bu öncelik kuralında; ilk atanan iş teslim süresi en erken olan iştir. Bu kurala göre, işler teslim süresi en erken olandan en geç olana doğru sıralanır ve işler bu sıraya

göre ilgili makinelere atanır (Küçük, 2010: 46). Böylelikle işletme, ürünleri zamanında teslim edebilir ve dolayısıyla müşteri memnuniyeti sağlanmış olur.

1. Adım: Teslim zamanı en kısa olan iş sisteme ilk önce alınır. Eğer sistemde aynı teslim zamanlı birden fazla iş varsa; sıralama rastsal olarak ya da çilegelemeyi yapan kişi tarafından belirlenecek yeni bir kurala göre yapılabilir.

2. Adım: Seçilen işin tüm işlemleri iş akış sırasına göre atanan makinelerde gerçekleştirilir. Tüm işlerin işlemleri tamamlanıncaya kadar 1. Adım ve 2. Adım tekrarlanır (Aydemir, 2009: 30).

1.7.6. En az kalan işlem sayısı (EAKİS)

Bu öncelik kuralında, bir işletmede her bir iş için kalan işlem sayısı en az olan işler daha önce çizelgelenir. Böylece, işlem sayısı az olan işler daha önce işlem görür ve toplam iş tesliminin daha fazla olması beklenir. Bu öncelik kuralında izlenecek adımlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Adım: Öncelikle her bir iş için mevcut işlem sayıları tespit edilir.

2. Adım: İşlem sayısı en az olan iş için iş akışına göre birinci işlemten itibaren başlama zamanları dikkate alınarak çizelgelemeye başlanır. Daha sonra tüm işler için tekrar kalan işlem sayıları tespit edilir.

3. Adım: Kalan işlem sayısı en az olan işin sıradaki ilk işlemi çizelgelenir. Burada aynı sayıda kalan işlemi olan işler varsa rastsal olarak seçim yapılır. Bu şekilde tüm işlemler tamamlanana kadar 2. Adım tekrarlanır (Aydemir, 2009: 30).

1.7.7. En çok kalan işlem sayısı (EÇKİS)

Bu öncelik kuralında, üretim sisteminde bulunan işlerin geriye kalan işlem sayılarının fazlalığı ile doğru orantılı olarak sıralama önerilmektedir. Kurala göre, geriye kalan işlemlerin sayısı en fazla olan iş ilk olarak atanmakta (Çörekcioğlu, 2006: 21) ve kapasite kullanım oranının daha yüksek seviyelerde olması beklenmektedir. Bu öncelik kuralı uygulanırken izlenecek adımlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Adım: Öncelikle her bir iş için mevcut işlem sayıları tespit edilir.

2. Adım: İşlem sayısı en fazla olan iş için iş akışına göre birinci işlemten itibaren başlama zamanları dikkate alınarak çizelgelemeye başlanır. Daha sonra tüm işler için tekrar kalan işlem sayıları tespit edilir.

3. Adım: Kalan işlem sayısı en çok olan işin sıradaki ilk işlemi çizelgelenir. Burada aynı sayıda kalan işlemi olan işler varsa rastsal olarak seçim yapılır. Bu şekilde tüm işlemler tamamlanana kadar 2. Adım tekrarlanır (Aydemir, 2009: 31).

1.7.8. En kısa kalan işlem süresi (EKKİS)

Bu öncelik kuralında; bir işletmede her zaman diliminde her bir işin kalan işlemlerinin toplam işlem süresi en kısa olan önce çizelgelenir. EKKİS ile yapılan çizelgelemede tamamlanma zamanı ve son işin sistemi terk etme zamanının en küçük olması hedeflenir. Bu öncelik kuralı uygulanırken izlenecek adımlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Adım: Öncelikle her bir iş için toplam işlem süreleri (tamamlanma süreleri) tespit edilir.

2. Adım: Toplam işlem süresi en kısa olan iş için iş akışına göre birinci işlemten itibaren başlama zamanları dikkate alınarak çizelgelemeye başlanır. Daha sonra tüm işler için tekrar kalan toplam işlem süreleri tespit edilir.

3. Adım: Kalan tüm işlem süresi en kısa olan iş, sıradaki ilk işleminden itibaren çizelgelenir. Burada kalan toplam işlem süresi aynı olan işler varsa rastsal olarak seçim yapılır. Bu şekilde tüm işlemler tamamlanana kadar 2. Adım tekrarlanır (Aydemir, 2009: 33).

1.7.9. En uzun kalan işlem süresi (EUKİS)

Bu öncelik kuralında, üretim sisteminde bulunan işlerin geriye kalan işlem sürelerinin uzunluğu ile doğru orantılı bir şekilde sıralanmaları önerilmektedir. Kurala göre, geriye kalan işlemlerinin toplam süresi en fazla olan iş ilk önce yapılmaktadır (Çörekcioğlu, 2006: 21). Bu sayede işlem süresi fazla olan işler daha önce gerçekleştirilerek kapasite kullanım oranının daha yüksek seviyelerde olması beklenir.

Bu öncelik kuralı uygulanırken izlenecek adımlar şu şekilde özetlenebilir (Aydemir, 2009: 33):

1. Adım: Öncelikle her bir iş için toplam işlem süreleri tespit edilir.

2. Adım: Toplam işlem süresi en uzun olan iş için iş akışına göre birinci işlemten itibaren başlama zamanları dikkate alınarak çizelgelemeye başlanır. Daha sonra tüm işler için tekrar kalan toplam işlem süreleri tespit edilir.

3. Adım: Kalan tüm işlem süresi en uzun olan iş, sıradaki ilk işleminden itibaren çizelgelenir. Burada kalan toplam işlem süresi aynı olan işler varsa rastsal olarak seçim yapılır. Bu şekilde tüm işlemler tamamlanana kadar 2. Adım tekrarlanır.

1.7.10. Rastsal seçim (RS)

Çizelgelemede sisteme gelen tüm işlerin sayısı n iken $[1, n]$ aralığından rastsal olarak üretilen bir sayı ile çizelgelemeye başlanılacak iş belirlenir. Belirlenen işin ilk işlemi ile çizelgelemeye başlanır. Daha sonraki adımlarda zaman boyunca çizelgelenebilecek işlemler kümesinden rastsal seçimler yapılarak en son işin son işlemi tamamlanana kadar çizelgelemeye devam edilir.

Sonuç olarak; öncelik kuralları çizelgeleme problemleri için problemin gerçek hayata benzetilmesinde önemlidir. Gerçek hayat problemlerinde bazı işlerin diğer işlere göre birtakım öncelikleri veya kısıtları söz konusudur. Bu kısıtlara göre müşteri siparişleri gerçekleştirilir (Aydemir, 2009: 35).

1.8. Statik ve Dinamik Çizelgeleme

1.8.1. Statik çizelgeleme

Çizelgeleme periyodu boyunca üretilecek gereksinimlerin miktarı ve buna bağlı olarak atölye ortamına giren işlerin miktarı önceden saptanır ve atölye ortamına sonradan ek iş girişi yapılmaz ve atölye ortamında hiçbir belirsizlik durumu söz konusu değil ise, çizelgeleme ortamı statik olarak tanımlanır. Başka bir deyişle, eğer çizelgelenecek işler zamanla değişiklik göstermiyorsa, sistem statiktir. Statik modeller dinamik modellere göre daha kolay kontrol edilebilir bir yapıdadır ve daha geniş bir çalışma alanına uygulanmıştır. Ayrıca statik modellerin analizi, daha genel durumların

çözümünde faydalı olabilecek faydalı girdiler ve sezgisel yaklaşımların bulunmasında etkili olmuştur (Aladağ, 2010: 14).

Statik çizelgeleme olarak bilinen geleneksel çizelgeleme yaklaşımı problemi çözebilse de genelde optimal olmayan çözüm verir ve gerçekçi olmayan kısıtlar içerdiğinden pratiğe geçirilmesi, gerçek hayatta uygulanması zordur. Bunun nedeni çok sayıda ürün ve sürece sahip gerçek üretim sistemlerinin kompleks ve dinamik yapıda olmalarıdır. Bu dinamiklik, yeni ürünlerin gelmesi, sırada olan işlerin ertelenmesi, bazı işlerin zaman içinde daha çok ya da daha az önemli hale gelmeleri, teknolojik donanımda arızanın meydana gelmesi, sevkiyattaki gecikmelerden dolayı kaynakların geçici olarak mevcut olmaması, hammaddelerin tükenmesi, çalışanların hastalanması gibi nedenlerden kaynaklanabilir (Madejski, 2010: 66).

1.8.2. Dinamik çizelgeleme

Dinamik çevrede yapılan çizelgede işler rastsal zamanlarda gelir, işlem süreleri değişkenlik gösterir, sistemde durmadan bir rastsallık ve siparişin iptal edilmesi gibi tahmin edilemeyen olayların gerçekleşme olasılığı vardır. Dinamik, olasılıklı üretim sistemlerinde, arızalanmalar, beklenmeyen acil işler, kalite problemleri, malzeme sıkıntısı, üretim süreci boyunca meydana gelebilir. Bu tür olaylar, en etkili çizelgeleri bile etkisiz hale getirebilir (Büyüksünetçi, 2006: 3).

Dinamik çizelgelemede, problem çizelgeleme periyodu boyunca üretilecek gereksinimlerin miktarı ve buna bağlı olarak atölye ortamına giren işlerin miktarına göre sonradan ek iş girişi yapılabilecek biçimde tanımlanabilir. Başka bir deyişle, çizelgeleme periyodu boyunca atölye ortamına herhangi bir anda yeni iş girdileri olabilir ve bu durumda atölye ortamı dinamik olarak tanımlanır. Gerçekte, çizelgeleme problemleri stokastik ve dinamiktir. Ancak, çoğu problem, statik ve deterministik olarak tasarlanır. Bunun nedeni, çeşitli varsayımlarla basitleştirilen statik ve deterministik modellerin iyi anlaşılması, gerçek zamanlı modellerin ortaya konmasının ilk adımını oluşturmasıdır (İpek, 2007: 4). Gerçek hayatta üretim sistemlerinin çoğu, kaçınılmayan ve beklenmedik olayların meydana gelerek planlanan çizelgelerde değişikliğe neden olduğu dinamik çevrelerde faaliyet gösterdiklerinden çizelgeleme problemlerini statik olarak ele almak gerçekçi olmayacaktır. Dinamik, değişken çevrelerde faaliyet gösteren

işletmelere etkin ve faydalı çizelgeler sunabilmek için çizelgelerin dinamik olarak ele alınması gerekmektedir.

Literatürde birçok çalışmada çizelgeleme teorisi ile uygulama arasındaki farklılık üzerinde durulmuştur. MacCarthy ve Liu (1993), çizelgeleme teorisi ile uygulama arasındaki farklılığı dikkate almışlar ve çizelgelerin gerçeğe daha uygun, uygulanabilir olması adına yapılan araştırmalardaki yeni eğilimleri incelemişlerdir. Ayrıca klasik çizelgelemenin uygulamada, çevrenin ihtiyaçlarını karşılamada başarısız olduğunu belirtmişlerdir. Cowling ve Johansson (2002) da çizelgeleme teorisi ile uygulamadaki çizelgeleme arasında önemli bir boşluk olduğunu belirterek çizelgeleme modellerinin ve algoritmalarının gerçek zamanlı bilgiyi kullanmada yetersiz olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca çizelgeleme araştırmalarının, süreç kontrol ve denetleme sistemlerindeki teknolojik gelişmelere ayak uydurmada başarısızlığa uğradığı görüşündedirler. Pratik ile çizelgeleme teorisi arasındaki farklılığı azaltmak adına çalışmalarında süreç kontrol ve denetleme sistemlerinin ürettiği gerçek zamanlı bilgiyi çizelgeleme problemlerine adapte etmeye yönelik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu çalışmalarda da belirtildiği üzere teorideki çizelgeleme yaklaşımları ile gerçek hayatta işletmelerin karşılaştığı çizelgeleme problemleri arasında farklar doğmaktadır. Bu farklılığı ortadan kaldırıp, teori ile pratik arasındaki boşluğu ortadan kaldırmak adına üretim ortamlarının dinamik yapıda oldukları göz önünde bulundurularak çizelgeleme yapılmalıdır.

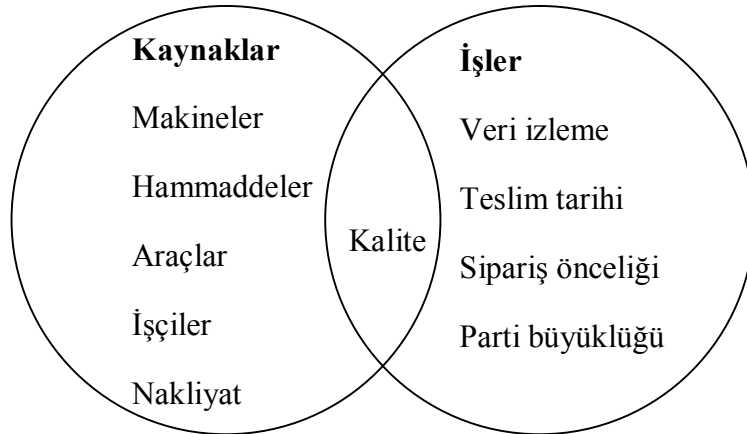
Endüstri çevrelerinde, çizelgeleme probleminin zorluğu çevrenin dinamik yapısından kaynaklanmaktadır. Zaman içinde işler sisteme dinamik olarak gelmekte ve geliş zamanlarının tahmin edilmesi güç olmaktadır. Ayrıca makinelerde beklenmedik bozulmalar meydana gelebilmekte, işçilerin işe devamsızlığı problem yaratabilmekte ve bir iş üzerinde yeniden çalışma yapmak gerekebilmektedir. Tüm bu faktörler önceden belirlenen çizelge ile onun atölye ortamında fiili gerçekleşmesi arasında önemli farklılıklara neden olur. Literatürde, dinamik ortamda bu farklılıkları dikkate alan çizelgeleme yaklaşımları geliştirilmiştir. Bunlardan ilki ve belki de en çok kullanılanı, makine boş kaldığında öncelik kurallarından yararlanarak hangi işin işlem göreceğine karar vermektir. Bu kurallar hesaplama bakımından hızlıdır ve uygulanmaları kolaydır. Fakat yakın zamanı iyi analiz edip geleceği iyi görememe özellikleri nedeniyle uzun zaman diliminde optimal altı çözümler üretirler. Literatürde yer alan diğer bir alternatif

yaklaşım ise yeniden çizelgeleme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda öncelikle belirli bir zamanda çizelge oluşturulur daha sonra sistemde yeni iş gelişleri, makine arızaları gibi değişiklikler olması durumunda çizelgede değişiklik yapılır (Church ve Uzsoy, 1992: 153).

1.8.2.1. Dinamik çizelgelemede gerçek zamanlı olaylar

Üretim sistemlerinin çoğu, genellikle kaçınılmaz ve beklenmedik gerçek zaman olaylarının çizelgeleme planlarında değişikliğe neden olduğu dinamik çevrelerde faaliyet göstermektedir. Ayrıca, üretim çevreleri doğaları gereği dinamiktir ve bu çevrelerde sistem durumunda değişikliğe neden olan, performansı etkileyen çeşitli kesintilerle karşılaşılır. Bu durumda daha önce uygun olan çizelge üretim sürecine başlanacağı zaman uygun olmayabilir. Bu tür gerçek zaman olaylarına örnek olarak, makine arızaları, acil işlerin gelmesi, teslim tarihinde değişiklik vs. verilebilir (Quelhadj ve Petrovic, 2009: 417). Dinamik çizelgeleme alanında yapılan çalışmalara bakıldığında önemli sayıda gerçek zamanlı olayın dikkate alındığı ve bu olayların tek makine, paralel makine, akış tipi, atölye tipi ve esnek üretim sistemleri gibi çeşitli üretim sistemlerine olan etkilerinin incelendiği görülmektedir (Quelhadj, 2003: 52).

Stoop ve Weirs (1996), çizelgelemenin karmaşıklığı ile ilgili çalışmalarında kaynak ilişkili ve sipariş ilişkili olmak üzere iki çeşit gerçek zamanlı olaya değinmişlerdir. Suresh ve Chaudhuri (1993), dinamik çizelgeleme alanında yaptıkları çalışmada gerçek zamanlı olayların etkilerini tartışmışlar ve gerçek zamanlı olayları; iş ilişkili, kaynak ilişkili ve işlem ilişkili olmak üzere üç kategoride incelemişlerdir. Mehta ve Uzsoy (1999), Cowling ve Johanson (2002), gerçek zamanlı olayları kaynak ilişkili ve iş ilişkili olmak üzere iki sınıfa ayırmışlardır. Kaynakların durumu ile ilgili gerçek zamanlı olaylar; makineler, hammaddeler, araçlar, işçiler ve nakliye ile ilgili olayları içerir. İş ile ilgili gerçek zamanlı olaylar ise her işlem ile ilgili verilerin izlenmesini, başarı ile tamamlanmış süreçler ile ilgili olayları ve çizelgeye bağlı olayları içerir. Cowling ve Johansson'un yapmış olduğu bu sınıflama Şekil 1.8'de görülmektedir (Cowling ve Johansson, 2002: 232).



Şekil 1.8. Gerçek zamanlı olayların sınıflandırması

Quelhadj ve Petrovic (2009) de gerçek zamanlı olayları kaynak ilişkili ve sipariş ilişkili olmak üzere iki grupta incelemiştir. Kaynak ilişkili olaylar; makine arızalanmaları, operatörün hastalanması, donanımın uygun olmaması ya da arızalanması, yükleme limitleri, hammadde kıtlığı ya da hammaddenin beklenenden geç gelmesi ve kusurlu hammaddeyi içermektedir. Sipariş ilişkili olaylar ise acil işler, sipariş iptalleri, teslim tarihi değişiklikleri, işin geç ya da erken gelmesi, iş önceliğinde meydana gelen değişimler ve işlem süresinde meydana gelen değişikliklerden oluşmaktadır (Quelhadj ve Petrovic, 2009: 418).

Literatürde çeşitli yazarlar tarafından belirtilen gerçek zamanlı olaylar şu şekilde özetlenebilir (Vieira vd., 2003: 42):

- Makine arızaları,
- Yeni gelen işler, acil işlerin gelişi,
- İş iptalleri,
- İşlem / teslim sürelerinde değişiklik,
- Malzeme sıkıntısı ve malzeme gelişlerinde gecikme,
- İşlerin önceliklerinde değişme,
- Kalite problemleri,
- Operatör devamsızlığı,
- İşlem süresinin fazla ya da az tahmin edilmesi.

1.8.2.2. Dinamik çizelgelemenin sınıflandırılması

İşletmeler dinamik bir ortamda faaliyet gösterirler ve sık sık belirsiz durumlar ile karşılaşır. Atölyede belirsizlik durumunda oluşan kesintilerin doğasını ve sıklığını anlamak etkin çizelgeleme oluşturabilmek için önemlidir. Üretim çevrelerinde üç tip belirsizlikten bahsedilebilir:

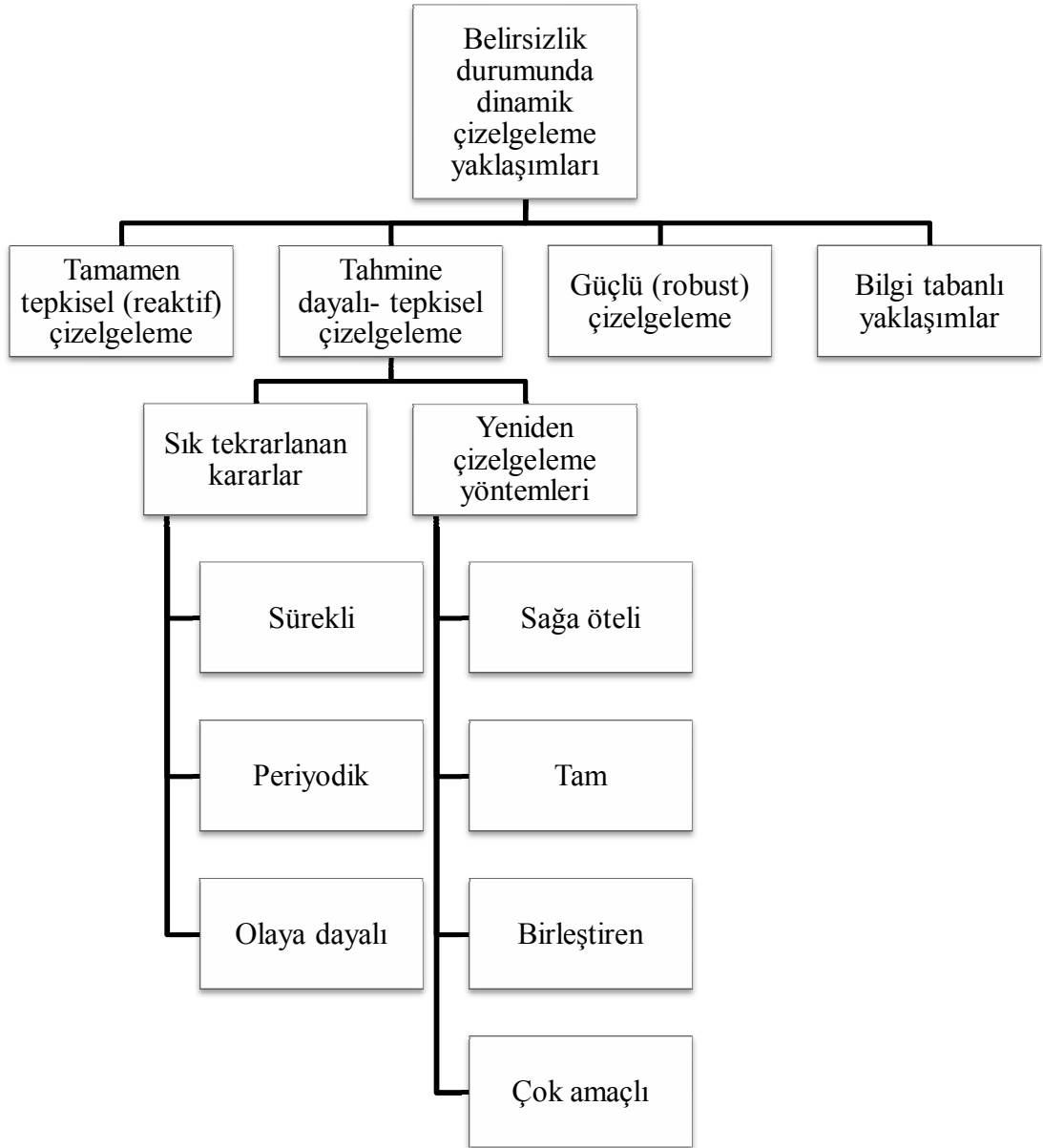
- Tam bilinmeyen belirsizlikler
- Gelecek hakkındaki şüpheler
- Bilinen belirsizlikler

Tam bilinmeyen belirsizlikler, ani bir grev gibi hakkında mevcut bilgi olmayan tamamen tahmin edilemez olaylardır. Bu tür bir belirsizlik durumunda tahmine dayalı çizelge oluşturmak zordur. Gelecek hakkında şüpheler, çizelgelemeyi yapan kişinin deneyim ve sezgilerinden kaynaklanır. Bu tür belirsizlikleri ölçmek zor olduğu için çizelgeye dâhil etmek de güçtür. Bilinen belirsizlikler ise, tahmine dayalı çizelgeleme yapılırken bazı bilgilerin mevcut olduğu belirsizliklerdir. Tahmine dayalı çizelge oluştururken bu tip belirsizlikler dikkate alınabilir.

Üretim ortamında belirsizliklerin olması durumunda dinamik çizelgeleme yöntemlerinden yararlanır. Dinamik çizelgeleme, dört kategori altında sınıflandırılmıştır (Mehta ve Uzsoy, 1999: 17; Quelhadj ve Petrovic, 2009: 418):

- Tamamen tepkisel (reaktif) çizelgeleme
- Tahmine dayalı- tepkisel çizelgeleme
- Güçlü (robust) çizelgeleme
- Bilgi tabanlı yaklaşımlar

Belirsizlik durumunda kullanılan dinamik çizelgeleme yaklaşımları Şekil 1.9'da özetlenmiştir (Mehta ve Uzsoy, 1999: 17).



Şekil 1.9. Belirsizlik durumunda dinamik çizelgeleme yaklaşımları

Belirsizlik durumunda kullanılan dinamik çizelgeleme yaklaşımlarına kısaca değinilecek olunursa;

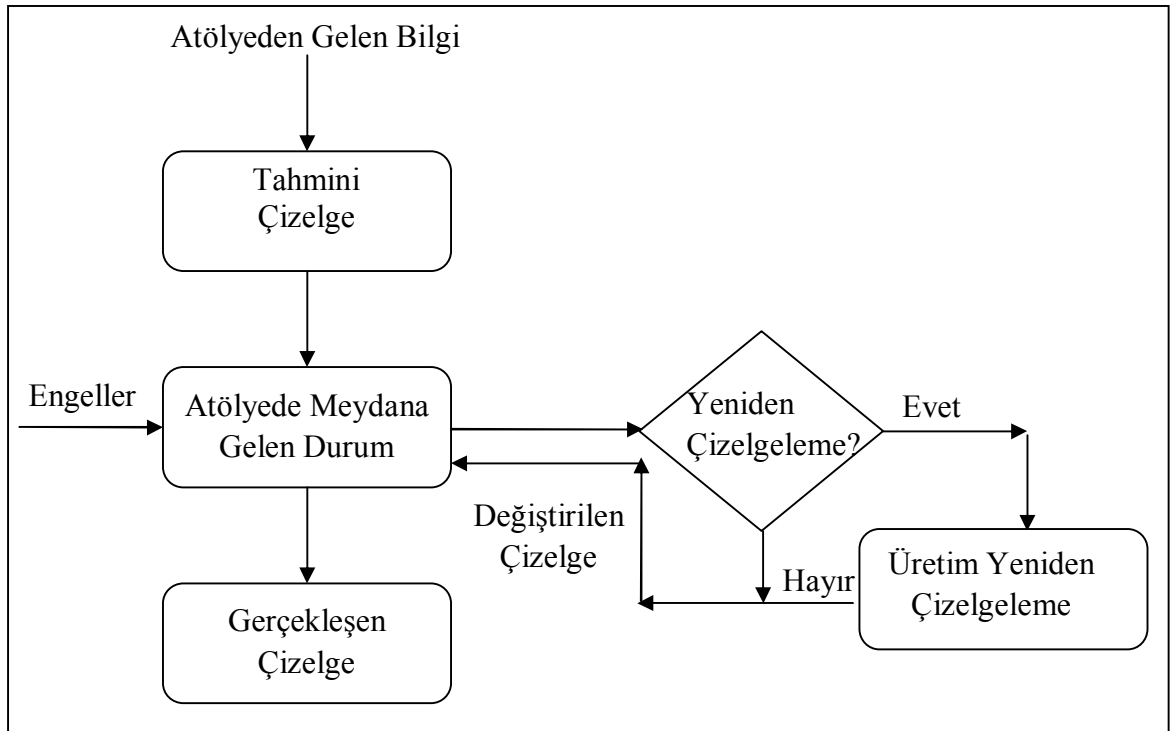
Tamamen tepkisel (reaktif) çizelgeleme: Tamamen tepkisel çizelgelemede sabit bir çizelge oluşturulmaz ve kararlar zaman içinde yerel olarak verilir. Bu yaklaşım, diğer faaliyetler için plan yapmada başarısız olmaktadır ve gerçek zamanda kararlar yerel olarak alındığından sistem performansını tahmin etmek güçtür. Sıklıkla kullanılan tepkisel çizelgeleme yöntemi, makine boş kaldıkça önceliği yüksek, hazır olan işin

işlem için seçildiği öncelik kurallarıdır. Bir işin önceliği işin ve makinenin özelliklerine göre belirlenir (Mehta ve Uzsoy, 1999: 17).

Öncelik kuralları hızlı çözüme ulaşmayı sağlamasına rağmen genel bilgiyi bir arada dikkate almadığından geleceği göremeyen bir yapıya sahiptir. Ayrıca sistem performansının en iyi düzeyde kalmasını garanti edemez. Bu yaklaşımda kararlar yerel olarak alındığından diğer faaliyetler için bir plan sunmaz ve sistem performansını tahmin etmek güçleşir (Quelhadj, 2003: 53).

Tahmine dayalı- tepkisel çizelgeleme: Tahmine dayalı- tepkisel çizelgelemede, atölyede meydana gelebilecek olası kesintileri dikkate almadan atölye performansını optimize etmek amacıyla tahmine dayalı bir çizelge oluşturulur. Uygulama esnasında kesintiler ile karşılaşıldığında performansı arttırmak veya uygulanabilirliği korumak için tahmine dayalı çizelge yeniden düzenlenir, yani yeniden çizelgeleme yapılır. Tahmine dayalı çizelge, diğer atölye faaliyetlerini de içine alan bütün bir plan olarak fayda sağlar. Bu tür faaliyetlere örnek olarak kısa dönemli işçi planlaması, hammaddenin siparişi ve hazırlanması, kurulum faaliyetleri ve araç planlaması verilebilir. Atölye içi faaliyetlerin zamanlamasını planlayarak daha iyi bir koordinasyon sağlar ve üretkenliği arttırmaya, işlem maliyetlerini azaltmaya yardımcı olur. Tahmine dayalı bir çizelge ile kaynak çakışmaları belirlenirken atölyeye işlerin girişi kontrol edilir ve gerekli hammaddelerin zamanında sipariş verildiğinden emin olunur (Quelhadj, 2003: 53).

Birçok üretim sisteminde çizelgeleme süreci şu şekilde işler. Öncelikle gelecekte belirli bir zaman periyodu için mevcut sipariş bilgilerine ve atölyenin durumuna göre tahmine dayalı bir çizelge oluşturulur. Periyodun başlangıcında, çizelgeye göre üretime başlanır. Makine arızası gibi önceden görülemeyen kesintiler meydana geldiği zaman yapılabirliği korumak veya performansı arttırmak için mevcut çizelgede değişikliğe gidilir. Çizelgede yapılan bu değişiklik faaliyetine *yeniden çizelgeleme* adı verilir. Planlama döneminin sonunda, atölyede gerçekleşen çizelge ile başlangıçta planlanan çizelge arasında yapılan yeniden çizelgelemeden dolayı fark görülmektedir. Bu süreç Şekil 1.10'da özetlenmiştir (Mehta ve Uzsoy, 1999: 15).



Şekil 1.10. Tahmine dayalı / reaktif çizelgeleme süreci

Yeniden çizelgeleme yapılmasına gerek duyulmadığı durumlarda çizelgede düzeltmeler yapılabilir. *Çizelgelemenin düzeltilmesi*, mevcut çizelgede bazı yerel ayarlamaların yapılmasıdır. Bir olay karşısında, mevcut çizelgede değişiklik yapmanın sağladığı değer ile çizelgelemeyi yeniden yapmanın sonuçları kıyaslandıktan sonra hangisinin seçileceğine karar verilir (Cowling ve Johansson, 2002: 232).

Tahmine dayalı çizelge iki amaca hizmet eder. Bunlardan ilki atölye performansını optimize etmek için kaynakları atölyedeki farklı işlere dağıtmaktır. İkincisi ise, malzeme tedarigi, önleyici bakım, siparişlerin iç ve dış müşterilere sevkiyatı gibi planlama faaliyetlerini sağlar. Atölyedeki yeniden çizelgeleme ile olayların planlandığı gibi olmasını engelleyen durumlarda performansı arttırmak amaçlanmaktadır. Sık yapılan yeniden çizelgeleme atölyedeki durumun tahminini güçleştirir ve daha yüksek seviyedeki üretim planlama sistemlerinin etkinliğini azaltır. Bu yüzden tahmine dayalı çizelgeler oluşturmak, planlanan faaliyetler üzerindeki engellerin etkisini azaltırken yüksek atölye performansını korur. Bu tür iki amaçlı çizelgelemeye *Tahmin Edilebilir Çizelgeleme* adı verilir (Mehta ve Uzsoy, 1999: 15).

Tahmine dayalı tepkisel çizelgeleme yaklaşımında, belirli bir kesinti karşısında yeniden çizelgeleme yapılıp yapılmayacağı ya da yeniden çizelgeleme yöntemlerinden

hangisinin kullanılacağıın belirlenmesi önem arz etmektedir. Yeniden çizelgeleme yöntemleri “sürekli çizelgeleme”, “periyodik çizelgeleme” ve “olaya dayalı yeniden çizelgeleme” olarak üçe ayrılmaktadır. *Sürekli çizelgelemede*, sistemin durumunda değişikliğe neden olan bir olay meydana gelmesi halinde her defasında yeniden çizelgeleme yapılır (örneğin sisteme her yeni iş gelişinde). *Periyodik çizelgelemede*, çizelgeleme zaman içinde belirli aralıklarla yapılır. Sürekli çizelgelemenin en önemli dezavantajı, hızlı bir şekilde birçok olayın meydana geldiği işletmelerde sistemde sürekli yeniden çizelgeleme yapmaya gereksinim duyulmasıdır. Bu durumda, yapılan hesaplama miktarında da büyük artış olacaktır. Periyodik çizelgelemenin dezavantajı ise önemli bir değişimin meydana gelmesi durumunda daha önce oluşturulmuş çizelgeye bağlı kalınarak sistem performansından taviz verilmesidir. Sürekli yeniden çizelgeleme, periyodik yeniden çizelgelemeye göre daha iyi çizelge performansı sağlamasına karşın, daha düşük öngörülebilirliğe sahiptir. Bu yüzden çeşitli araştırmacılar tarafından iki yaklaşımın arasında kalan melez (hibrid) yeniden çizelgeleme yaklaşımı önerilmiştir. Church ve Uzsoy (1992), sürekli ve periyodik yeniden çizelgelemenin karışımına dayanan bu melez çizelgeleme yaklaşımına *olaya dayalı yeniden çizelgeleme* adını vermiştir. Olaya dayalı yeniden çizelgeleme, kesinti ile karşılaşıldığında yeniden çizelgeleme yapılıp yapılmayacağıında karar verip, aynı zamanda yeniden çizelgelemeyi periyodik aralıklarla da yaparak sürekli ve periyodik yeniden çizelgelemenin avantajlarını birleştirir. Olaya dayalı yeniden çizelgeleme, sürekli çizelgelemeye göre daha az hesaplama gerektirmektedir ve daha yüksek öngörülebilirliğe sahiptir. Fakat makine arızaları gibi bazı engeller karşısında sürekli yeniden çizelgeleme tercih edilebilir (Mehta ve Uzsoy, 1999: 17).

Yeniden çizelgelemenin zamanlamasına karar verildikten sonra, yeniden çizelgelemenin nasıl yapılacağıına karar verilir. Mevcut yeniden çizelgeleme yöntemleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Sağa ötel (right shift) yeniden çizelgeleme,
- Tam (complete) yeniden çizelgeleme,
- Birleştiren (match-up) yeniden çizelgeleme,
- Çok amaçlı (multi-objective) yeniden çizelgeleme.

Sağa öteli (right shift) yeniden çizelgelemede, çizelge işlemlerin orijinal sırası korunarak kesinti sona erene kadar zaman içinde ileri doğru hareket ettirilir. Eğer mümkünse işlemler arası boş zaman kullanılır.

Tam (complete) yeniden çizelgelemede, engel meydana geldikten sonraki tüm işlemler yeniden çizelgelenir. Bu da sağa öteli yeniden çizelgelemeye göre daha iyi performans ve daha düşük öngörülebilirliğe neden olur.

Birleştiren (match up) yeniden çizelgelemede, değiştirilen çizelge tahmine dayalı çizelgeyi gelecekte bir zamanda yakalar. Bu yeniden çizelgeleme optimale yakın sonuç verirken tam çizelgelemeye göre daha öngörülebilirdir.

Çok amaçlı (multi-objective) yeniden çizelgeleme, hem öngörülebilirliği hem de çizelge performansını dikkate alır.

Güçlü (robust) çizelgeleme: Tahmine dayalı-tepkisel çizelgeleme yaklaşımlarının çoğu basit çizelge düzenleme stratejilerine dayalıdır ve bu da düşük performansa neden olur. Bu yüzden güçlü çizelgelere ihtiyaç vardır (Quelhadj, 2003: 54). Güçlü çizelgeleme, gerçekleşen çizelgenin performansı üzerinde kesintilerin etkisini en küçükleme için tahmine dayalı tepkisel çizelgeleme yapmaya odaklanır. Bu yaklaşımda, tahmin edilen ve gerçekleşen çizelgeler iş tamamlanma süreleri bakımından ciddi farklar içermezken yüksek çizelge performansı korunur (Mehta ve Uzsoy, 1999: 17).

Leon vd.'ne (1994) göre, güçlü kavramı kesintilerin olması durumunda çizelgenin performansının yüksek olmasını ifade etmektedir. Shafaei ve Brunn'a (1999) göre ise, bir çizelgeleme yöntemi belirsizliklerin olması durumunda yüksek performans gösteriyorsa, bu yöntemin güçlü olduğu söylenir. Wu vd. (1991, 1993), makine arızalarının meydana geldiği tek makine çizelgeleme problemi için iki kriterli, güçlülük ölçüsü tanımlamıştır. Bu kriterler en büyük tamamlanma zamanının ve çizelge değişiminin etkisinin en küçüklemesini içerir. Abumaizar ve Svestka (1997), güçlü çizelgeyi tanımlamak için etkinlik (en büyük tamamlanma zamanı) ve istikrar/değişmezlik (başlama zamanındaki sapma ve sıra sapması) olmak üzere iki ölçü kullanmıştır. Çizelgelemedeki amaçları, atölye performansını arttırmak ve aynı zamanda çizelgede meydana gelen değişikliklerin sistem üzerindeki etkilerini en küçükleme. Jensen (2001), gecikme süresini azaltmak ve makine arızalarının meydana gelmesi

durumunda toplam akış süresinin azaltılmasına yönelik farklı güçlülük ölçülerini araştırmıştır. Leon vd. (1994), güçlülük ölçüleri tanımlamışlar, makine arızaları ve işlem sürelerindeki değişmeler ile başa çıkabilecek güçlü bir çizelge geliştirmişlerdir. Çizelgenin güçlülüğü, beklenen en büyük tamamlanma zamanı ve gecikmenin en küçüklenmesi olarak tanımlanmıştır. Cowling and Johanson (2002), güçlü çizelgeler oluşturabilmek için fayda ve istikrar (değişmezlik) ölçüleri tanımlamışlardır. Fayda, çizelge düzenlemesi nedeniyle orijinal çizelgenin geliştirilme düzeyini ölçerken, istikrar ise orijinal çizelgeden ne kadar sapıldığını ölçer. Daha sonra tek makine çizelgeleme modeli için denge ve istikrar ölçülerini araştırmışlar ve ortalama tamamlanma zamanının en küçüklenmesini amaçlamışlardır.

Pinedo (2008)'ya göre çizelgenin güçlülüğü, ölçülmesi ve tanımlanması zor bir kavramdır. Bir işin tamamlanma zamanının makine arızası veya acil bir işin gelmesi gibi durumlarda δ kadar geciktiği varsayılınsın. Tüm işlemlerin makinelerdeki sıralarının değişmediği varsayımıyla $C'_j(\delta)$, j işinin yeni tamamlanma zamanını gösterebilir. Tüm işlerin yeni tamamlanma zamanları δ 'nin bir fonksiyonu olacaktır. Z duraklama olmadan amaç fonksiyonu değerini göstermek üzere $Z'(\delta)$, duraklamadan sonraki amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Bu durumda $Z'(\delta) - Z$ duraklamadan kaynaklanan farkı gösterir. Güçlülüğün bir göstergesi şu şekilde tanımlanır:

$$\frac{Z'(\delta) - Z}{\delta} \quad (1.1)$$

Bilgi tabanlı yaklaşımlar: Bilgi tabanlı yaklaşımlar, alternatifler arasından uygun yeniden çizelgeleme politikasını belirlerken bir mekanizma sağlar. Bu tür sistemler çizelgeyi hazırlayan kişiye elle müdahale etme yetkisini sunar (Mehta ve Uzsoy, 1999: 17).

Smith (1994), bilgi tabanlı çizelgeleme sistemi geliştirmiştir. Dutta (1990), farklı kesintiler karşısında alınacak düzeltici önlemleri belirlemek için gözlem ve kontrol mekanizması geliştirmiştir. Baptiste ve Favrel (1993), tahmine dayalı bir çizelge geliştirirken alternatif çizelge planlarını tartışmıştır. Yeniden çizelgelemenin gerekli olduğu durumlarda alternatif çizelge seçeneklerinden biri seçilerek uygulanmaktadır. Szelke ve Kerr (1994), çalışmalarında bilgi tabanlı tepkisel çizelgeleme hakkında ayrıntılı incelemelere yer vermiştir.

1.9. Dinamik Çizelgeleme Literatürü

Holloway ve Nelson (1974), deterministik işlem sürelerine sahip atölye tipi çizelgeleme problemleri için çok geçişli sezgisel çizelgeleme yöntemi geliştirmiştir. Beklenen işlem sürelerini kullanan sezgisel yöntem gecikmeli çizelgeyi oluşturmaktadır. Sezgisel yöntem ile elde edilen çizelgenin performansını kıyaslamak için simülasyondan yararlanılmıştır ve dört tane tek geçişli sıralama kuralı ile gecikmesiz çizelgeler elde edilmiştir. Dikkate alınan kriterler; geciken işlerin oranı, ortalama gecikme, gecikmenin varyansı ve en büyük gecikmedir. Kesin durumlarda, sezgisel yöntem ile oluşturulan gecikmeli çizelge üstün bulunmuştur. Diğer koşullar altında, çizelgeleme kurallarının göreceli performanslarının yüksek oranda probleme bağlı olduğu belirtilmiştir.

Nelson, Holloway ve Wong (1977), dinamik iş gelişlerine ve istatistikî işlem sürelerine sahip atölye tipi üretim çizelgeleme problemlerini ele almıştır. Bu çalışmada, statik problemler için yeniden gözden geçirme zamanlarında öncelikleri dikkate alan Merkezi (Centralized) çizelgeleme yöntemi önerilmiştir. Her yeniden gözden geçirme zamanında güncellenen statik çizelgeleme problemi için çok geçişli sezgisel program uygulanmıştır. Yeniden gözden geçirme zamanları arasındaki atölyedeki öncelikleri uygulamak için bir prosedür önerilmiştir. Bu prosedür yeni gelen işlerin de çizelgeye dahil edilerek çizelgenin düzenlenmesini içermektedir. İstatistiksel analizler ile gecikmeler dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler sonucunda çalışmada önerilen yöntemin etkin olduğu gösterilmiştir.

Farn ve Muhlemann (1979), tek makine çizelgeleme problemini yeni iş gelişlerinin olduğu dinamik ortamda ele almıştır. Çalışmada, optimum çözüm prosedürü ve çeşitli sezgiseller incelenmiş, bu sezgisellerin dinamik ortamda performansları kıyaslanmıştır. İncelenen sezgiseller arasında ilk gelen ilk servis alır, en az tezgah değişimi, gezgin satıcı yöntemleri bulunmaktadır. Bu sezgiseller ile çeşitli iş geliş oranlarında deneyler yapılmıştır. Her yeni iş gelişinde yeniden çizelgeleme yapılması durumunda, ideal çözüme ulaşıldığı görülmüştür. Ancak işlem yoğunluğu açısından bakıldığında bu pek mümkün görülmemektedir, bu yüzden yeniden çizelgeleme daha az sıklıkta yapılabilir. Yeniden çizelgelemenin yapılış sıklığı önem arz etmektedir ve bazı sezgiseller, bu duruma daha iyi adapte olabilmektedir. Ayrıca elde edilen

sonuçlar, statik problemlerde en iyi çözümü veren sezgisellerin, dinamik durumda aynı başarıyı sağlayamadıklarını göstermektedir.

Muhlemann, Lockett ve Farn (1982), işlerin zaman içinde aralıklı geldiği, makine arızalarının ve işlem sürelerinin tahmininde hataların ya da belirsizliklerin olduğu dinamik ortamda iş çizelgeleme problemlerini incelemiştir. Öncelik kurallarına dayalı sezgiseller ile farklı çizelgeleme durumları ele alınmış ve bu yöntemlerin performansları değerlendirilmiştir. Performans ölçütü olarak; akış süresinin işlem süresine oranının ortalaması, ortalama kuyruk süresi, ortalama gecikme, geciken işlerin oranı, en büyük tamamlanma zamanı ve çizelgele oluşturmak için gereken net işlem süreleri dikkate alınmıştır. Yaptıkları değerlendirmeler sonucunda en kısa işlem süresi kuralının, yeniden çizelgelemenin az sıklıkta yapıldığı durumlarda en iyi sonucu verdiği, fakat çizelgeleme periyodunun kısa olması durumunda ise en düşük birleşik öncelik fonksiyonu kuralının daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Genel olarak sonuçlar, çizelgelerin daha sık yapılmasının atölye performansında önemli iyileşme sağladığını göstermektedir.

Bean vd. (1991), daha önceden planlanan çizelgenin kullanılmasına engel olacak kesintiler meydana geldiğinde işlemlerin yeniden çizelgenmesini ele almıştır. İzlenen strateji, kesinti meydana gelene kadar mevcut çizelgeyi kullanmaktır. Kesinti meydana geldikten sonra, gelecekte bir noktada mevcut çizelgeye yetişmek için bu çizelgenin bir bölümü yeniden düzenlenmektedir. Çalışmada test problemleri ile birleştiren (match-up) yeniden çizelgeleme yaklaşımının avantajları gösterilmiştir.

Church ve Uzsoy (1992), dinamik iş gelişleri olması durumunda yeniden çizelgeleme problemini ele almıştır. Bu çalışmada, tek makine ve paralel makine modelleri üzerinde periyodik ve olaya dayalı yeniden çizelgeleme stratejileri incelenmiştir. Performans ölçütü olarak, en büyük gecikme (L_{enb}) alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, olaya dayalı stratejiler ile sürekli yeniden çizelgeleme stratejilerine göre daha yüksek kalitede çizelgeler elde edildiğini göstermektedir.

MacCarthy ve Liu (1993), pratikteki çizelgeleme ile çizelgeleme teorisi arasındaki boşluğa dikkat çekmiştir. Öncelikle klasik çizelgeleme teorisinin gelişimi incelenmiş, ayrıca klasik çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılmasına, notasyonlarına ve bu problemleri çözmek için geliştirilmiş yöntemlere (dinamik programlama, dal sınır

algoritması, grafik yöntemi, sezgisel yöntemler, eleme yöntemi, Johnson algoritması, öncelik kuralları vs.) yer verilmiştir. Aynı zamanda bu çalışmada klasik çizelgeleme problemlerinden tek makine çizelgeleme problemi, uygulamalı örnek üzerinde incelenmiştir. Amacın ortalama tamamlanma zamanının en küçüklenmesi olduğu problem, üç farklı sezgisel yöntem ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Daha sonra çizelgeleme araştırmalarını daha yararlı ve uygulanabilir yapacak son eğilimler incelenmiştir. Çizelgeleme teorisi ile pratik arasındaki fark tartışılarak, çizelgelemenin yapıldığı çevrede klasik çizelgeleme teorisinin başarısız olduğu belirtilmiştir.

Leon vd. (1994), beklenmedik ve tahmin edilemeyen atölye aksaklıklardan etkilenmeyen güçlü çizelgeleme yöntemleri geliştirmiştir. Sağa ötelik kontrol stratejisinin izlenmesi durumunda güçlü çizelgeleme yöntemleri ve güçlülük ölçütleri geliştirilmiştir. Sağa ötelik stratejide aksaklığın meydana gelmesi durumunda, çizelgedeki sıra korunarak gerektiği sürece bitmemiş işler geciktirilerek uyum sağlanır. Çalışmada, planlama döneminde tek bir aksaklığın meydana geldiği durum için güçlü çizelge ölçütü geliştirilmiştir. Birden fazla aksaklığın meydana geldiği daha karmaşık durumlar için de güçlülük ölçütü geliştirilmiş ve genetik algoritma ile birleştirilerek atölye tipi üretim ortamları için güçlü çizelgeler elde edilmiştir.

Daniels ve Kouvelis (1995), belirsiz ya da değişken işlem süreleri olması durumunda güçlü çizelgeleme yaklaşımı tanımlamıştır. Çalışmada, çözüm yaklaşımlarının gelişimini göstermek adına performans ölçütünün toplam akış süresi olduğu tek makine çizelgeleme problemi ele alınmıştır. İki tane çizelge güçlülük ölçütü tanımlanarak güçlü çizelgeleme problemi formüle edilmiştir. Ayrıca bu problemin karmaşıklığı ortaya konmuş, optimal çizelgenin özellikleri açıklanarak kesin ve sezgisel çözüm prosedürleri sunulmuştur. Önerilen çözüm prosedürlerinin etkinliğini ve verimliliğini gösteren kapsamlı hesaplamalara da yer verilmiştir.

Efstathiou (1996), hem otomatik olarak hem de çizelgeyi hazırlayan çalışanın yardımı ile dinamik durumlara cevap verebilmek için çizelge iyileştirmeye izin veren bir yazılım geliştirmiştir. Ayrıca çalışmada, dinamik ortamdaki çizelgeleme problemleri için çizelge iyileştirme sezgiselleri tanımlanmış ve bu sezgisellerin performansları kıyaslanmıştır.

Jain ve Elmaraghy (1997), esnek üretim sistemlerinde çizelgeleme problemlerinin başlangıç çözümünü elde etmede genetik algoritma yönteminden yararlanmışlardır. Daha sonra, üretim çevresindeki belirsizlikler hazırlanan çizelgelerin geçerliliğini kaybetmesine neden olduğundan yeniden çizelgeleme yapılmaktadır. Bu çalışmada, makine arızaları, acil işlerin gelişi, iş önceliklerinde değişme ve iş ertelenmesi olmak üzere dört çeşit belirsizlik dikkate alınmıştır. Bu belirsiz durumlar ile karşılaşıldığında yeniden çizelgeleme yapılarak esnek üretim sisteminin etkinliği artırılmaya çalışılmıştır.

Chang (1997), dinamik atölyelerde işlerin kalan işlemleri için kuyruk sürelerinin gerçek zamanlı tahminini yaparak bu tahminleri çizelgeleme sezgiselleri ile birleştiren yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu şekilde, elde edilen çizelgelerin performansını arttırmayı amaçlamıştır. Çalışmada yapılan sayısal deneyler sonucunda, yeni yaklaşımın uygulandığı çizelgeleme sezgiselleri ile teslim zamanına dayanan performans ölçütlerinde istatistiksel olarak önemli iyileşme olduğu görülmektedir.

Fang ve Xi (1997), dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemi için genetik algoritma ve öncelik kurallarına dayanan melez bir yaklaşım önermiş ve performans ölçütü olarak en büyük tamamlanma zamanını almıştır. Makine arızaları, makine tamiri ve tamamlanma zamanında değişikliklerin meydana geldiği dinamik çizelgeleme problemini çözebilmek için periyodik ve olay güdümlü “Rolling Horizon” çizelgeleme stratejisi kullanılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, rolling horizon stratejisi problem boyutunu düşürmekle kalmamakta aynı zamanda işlerdeki değişimi de izlemekte ve statik olana göre daha iyi çizelgeleme sonuçları vermektedir. Aynı zamanda süre olarak daha kısa sürdüğü için maliyetleri de düşürmektedir. Yani rolling horizon çizelgeleme stratejisi hem işlerin tamamlanma süresinde hem de maliyette statik çizelgelemeye göre daha iyi sonuç vermektedir. Ayrıca statik çizelgeleme, çevredeki değişimleri yakalayamamaktadır. Uygulamada rolling horizon stratejisi, statik olana göre daha fazla yeniden çizelgeleme gerektirmesine rağmen problem daha düşük boyuta indirildiğinden daha az hesaplama zamanı gerektirmektedir. Bu yüzden gerçek zamanlı uygulamalarda rolling horizon stratejisinin kullanılmasının daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Quelhadj, Hanachi ve Bouzouia (1998), esnek üretim sistemleri için gerçek zamanlı hücre kontrol mimarisi sunmuştur. Bu mimari, yapay zekânın çok etmenli

(multi-agent) tasarımına dayanmaktadır. Bu çok etmenli prototip çizelgeleme; dağıtım, kontrol ve hatayı tutma gibi fonksiyonları içermektedir. Dinamik çizelgeleme için net protokolü geliştirilmiştir. Bu protokolün amacı, üretim sistemindeki kaynakları işlemlere dinamik olarak atamaktır. Bu protokol, kural dışı durumlarla başa çıkabilmektedir.

Lee ve Uzsoy (1999), dinamik iş gelişlerinin olması durumunda tek parti üretim sürecinde en büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi problemini ele almıştır. Bu problem için sezgisel yöntemler sunulmuş, önerilen yöntemlerin uygulanabilirliğini göstermek için yarı iletken üretimine ilişkin problemler ele alınmış ve bu sezgisellerin performanslarını değerlendirmek üzere kapsamlı deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen sezgisel yöntemlerin iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Mehta ve Uzsoy (1999), tek makine çizelgeleme problemleri için tahmin edilebilir çizelgeleme sezgiselini önermiştir. Makine arızalarının ve dinamik iş gelişlerinin olduğu tek makine çizelgeleme probleminde en büyük gecikmenin en küçük yapılması amaçlanmıştır. Bu problem, tahmine dayalı tepkisel (reaktif) çizelgeleme ve tahmin edilebilir çizelge ile ele alınıp bunun için farklı sezgisel yöntemler önerilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, tahmin edilebilir çizelgeleme, tahminlerde önemli bir iyileşme sağlarken en büyük gecikmede çok küçük bir azalma sağlamıştır.

Rajendran ve Holthaus (1999), akış tipi, atölye tipi ve eksik işlemlerli akış tipi dinamik üretim sistemlerinde öncelik kurallarının performanslarının kıyaslamalı bir analizini sunmuştur. Bu çalışmada, üç tane yeni öncelik kuralı önerilmiştir. Toplam on üç tane öncelik kuralının; ortalama akış süresi, en büyük akış süresi, akış süresinin varyansı, geciken işlerin oranı, ortalama gecikme, en büyük gecikme ve gecikmenin varyansının en küçüklenmesi amaçları altında göreceli performans analizi yapılmıştır. İlk simülasyon çalışması, işlerin tüm makinelerde sırayla işlem gördüğü akış tipi çizelgeleme ve rastgele rotaya sahip atölye tipi çizelgeleme üzerinde yapılmıştır. İkinci simülasyon çalışmasında ise, eksik işlemlerli akış tipi çizelgeleme ile rastgele rotaya sahip atölye tipi çizelgeleme dikkate alınmıştır. Öncelik kurallarının performansının, işlerin rotası ve atölye şekline göre etkilendiği tespit edilmiştir.

Aktürk ve Görgülü (1999), akış tipi çizelgelemede makine arızalarının meydana gelmesi durumunda, mevcut çizelge ile ileride bir noktada birleşen yeniden çizelgeleme yaklaşımı önermiştir. Amaç, malzeme akışı, araçların dağıtımı ve satın alma gibi planlama kararları ile tutarlı yeni bir çizelge hazırlamaktır. Bu çalışmada, hem çizelge kalitesini hem de istikrarını arttırmak için geri besleme mekanizması ile yeni bir yeniden çizelgeleme stratejisi ve birleşme noktası belirleme yöntemi önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, çeşitli koşullar altında alternatif reaktif çizelgeleme yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

Zhang ve Chen (1999), düşük hacimli ve ürün çeşidinin fazla sayıda olduğu esnek akış tipi üretim ortamları için bilgi tabanlı dinamik iş çizelgeleme sistemi geliştirmiştir. Bu sistem, makine kurulum zamanı, hücre değişiklikleri, makinelerin değişmesi, makineler arası yük dengesi ve personelin fazla çalışması gibi faktörlerin etkilerini dikkate almaktadır. Sistem, sezgisel algoritmalara ve intranet teknolojisine dayanmaktadır. Sistemin amacı, teslim zamanlarını karşılayan ve makine kullanımını en büyükleyen, işleri ve işçileri makinelere veya ürün hattına dinamik olarak atayan bir çizelgeleme yaklaşımı sunmaktır. Çalışmanın sonucunda, düşük hacimli ve ürün çeşidinin fazla olduğu üretim ortamlarındaki kompleks çizelgeleme problemleri için bilgi tabanlı model ve intranet teknolojisinin kullanışlı olduğu görülmüştür.

Aydın ve Öztemel (2000), zeki etmen tabanlı dinamik çizelgeleme sistemi önermiştir. Bu sistem, zeki etmen ve simüle edilmiş çevre olmak üzere iki bağımsız bileşen içermektedir. Zeki etmen tabanlı bileşen gerçek zamanda atölye durumuna göre en uygun öncelik kuralını seçerken, simüle edilmiş çevre seçilen öncelik kuralını kullanarak çizelgelemeyi gerçekleştirir. Zeki etmen tabanlı bileşen, öğrenme algoritması ile geliştirilir ve bu sayede işlemleri çizelgelerken başarılı kararlar verir. Bu şekilde tamamen otomasyona dayalı zeki üretim sistemi geliştirilmesi için başlangıç oluşturulmuştur.

Sabuncuoğlu ve Bayız (2000), stokastik üretim çevresinde reaktif çizelgeleme problemlerini ele almıştır. Çalışmada özellikle, klasik atölye tipi sistemde makine arızalarının meydana gelmesi durumunda birçok çizelgeleme yaklaşımı test edilmiştir. Ayrıca sistem büyüklüğünün ve iş dağılım çeşidinin (düzgün-darboğaz) sistem performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sistem performansı ölçülürken ortalama gecikme ve en büyük tamamlanma zamanı kriterleri dikkate alınmıştır. Aynı zamanda

stokastik çizelgeleme ortamında parçalı çizelgelemenin etkinliği de incelenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar ise şu şekilde özetlenebilir: Öncelikle çizelgeleme yöntemlerinin performanslarının sistem büyüklüğünden ciddi anlamda etkilenmediği, daha çok sistem yük düzeyinden etkilendiği tespit edilmiştir. İkinci olarak, yük dağılımının sistem performansı üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. Özellikle makineler arası yük düzgün dağılmamışsa optimizasyon tabanlı offline çizelgeleme yöntemi, online öncelik kurallarına göre daha iyi performans göstermektedir. Üçüncü olarak, makine arızaları gibi stokastik karışıklıkların medyana gelmesi durumunda offline çizelgeleme online çizelgelemeye göre daha çok etkilenmektedir. Dördüncü olarak, stokastik karışıklıkların olması durumunda offline çizelgelemenin performansı çizelgeleme sıklık düzeyi arttıkça iyileşmektedir. Son olarak, parçalı çizelgeleme yüksek düzeyde dinamik ve stokastik çevrelerde pratik bir çizelgeleme aracı olarak kullanılabilir.

Jahangirian ve Conroy (2000), kaynaklarda, işlerin detaylarında ve yönetimin beklentilerinde meydana gelen değişimleri dikkate alan kapsamlı bir dinamik çizelgeleme modeli sunmuştur. Önerilen yaklaşım, zeki simülasyon ve aşamalı öğrenme olmak üzere iki modülden oluşmaktadır. Zeki simülasyon modülü, üretim sistemini modellemek için tasarlanmıştır. Aşamalı öğrenme aşamasında, genetik algoritma geniş arama alanına sahip problemi ele almada yardımcı olmaktadır. Karar kurallarından oluşan küme, kromozom olarak tanımlanır ve kural kümesinin uyum değeri çizelgeleme performansı ile ilgilidir. En iyi kural kümesini bulmak için çaprazlama ve üç çeşit mutasyon bir arada kullanılmıştır. Yapılan bir seri test sonucunda, önerilen sistemin öğrendiği, dinamik şartlara adapte olduğu ve optimum sonuca ulaştığı gözlenmiştir.

Rossi ve Dini (2000), esnek üretim sistemlerinde optimal üretim planları oluşturmak için genetik algoritmaya dayalı REGAL (REal-time Genetic ALgorithm) adında bir yöntem sunmuştur. Önerilen yöntemde, birbiri ile çelişen iki amaç olan makinelerin boş kalma zamanlarının ve en büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi dikkate alınmıştır. Bu yöntemin performansı, öncelik kuralları (İĞİS, SGİS, EKİS ve EUİS) ve genetik algoritma ile karşılaştırılmış ve yapılan testler, önerilen yöntemin hızlı ve optimal sonuçlar verdiğini göstermiştir. Ayrıca, karmaşık üretim sistemlerinde de REGAL yönteminin, öncelik kurallarına göre en büyük tamamlanma zamanını ciddi oranda düşürdüğü gözlenmiştir.

Qi, Burns ve Harrison (2000), yeni iş gelişlerini dikkate alan dinamik atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde çok popülasyonlu genetik algoritmanın kullanımını açıklamıştır. Etkin optimal arama yapabilmek için özel olarak formüle edilmiş genetik operatör kullanılarak değiştirilmiş bir yöntem benimsenmiştir. Geliştirilen paralel çok popülasyonlu genetik algoritma, mevcut çaprazlama ve mutasyon operatörleri geliştirilerek yer değiştirme (migration) modeli ile birlikte kullanılmaktadır. Önerilen genetik algoritma, klasik genetik algoritma yönteminin hesaplama zamanının uzun olması, çok fazla amaç fonksiyonunun değerlendirilmesi, kolaylıkla yerel optimuma takılması gibi zayıf yönlerinin üstesinden gelmektedir. Önerilen genetik algortmada, çaprazlama işlemi için normal çok noktalı çaprazlama ile sıraya dayalı çaprazlama operatörünün birleşimi olan iş sıralı çaprazlama operatörü geliştirilmiştir. Tek noktalı çaprazlamaya göre bu çalışmada uygulanan çok noktalı çaprazlamanın avantajı, aramanın başında yüksek derecede uygun bireylere yakınsamaktansa, arama alanını araştırmasıdır. Bu da, aramayı daha güvenilir yapmaktadır. Bu çalışmada kullanılan mutasyon operatörleri ise, sıraya dayalı ve pozisyona dayalı mutasyondur. Yer değiştirmede, paralel çok popülasyonlu uygulama hesaplama süresini kısaltır aynı zamanda daha az amaç fonksiyonunun değerlendirilmesini gerektirir ve tek popülasyonlu algoritma ile karşılaştırıldığında global optimuma daha sık ulaşır. Önerilen yöntem, MATLAB programının genetik algoritma araç kutusu kullanılarak atölye tipi çizelgeleme için başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Önerilen genetik algoritmanın, atölye tipi çizelgeleme problemlerini çözebilen geleneksel yöntemlerle (EETZ, İGİS, EAKİS gibi öncelik kuralları) karşılaştırıldığında başarılı bir şekilde geliştirilmiş bir yöntem olduğu görülmektedir.

Chryssolouris ve Subramaniam (2001), dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemlerinde genetik algoritmayı kullanmıştır. Bu yaklaşımın etkinliğini değerlendirmek için performans ölçütlerinden ortalama iş gecikmesi ve ortalama iş maliyetleri kullanılarak dinamik atölye tipi işlerin simülasyonu yapılmıştır. Genetik algoritma, popülasyonu atölyede tamamlanmamış iş yüküne bağlı olarak oluşturmakla başlar. Popülasyonu oluşturan bireyler, ilgili performans ölçütlerine bağlı olarak değerlendirilir. Çok kriterli çizelgelemeyi gerçekleştirebilmek için performans ölçütleri normalize edilir. Kromozom seçim mekanizması olarak rulet tekeri, çaprazlama için sıraya dayalı çaprazlama operatörü kullanılmıştır. İki tip mutasyon operatörü önerilmiştir. Bunlar, keyfi iki geni değiştirme ve alternatif iş rotalama operatörleridir.

Bu çalışmada ele alınan dinamik atölye tipi problem, hem makine arıza ve tamirlerini hem de alternatif iş rotalamayı dikkate almaktadır. Bu problem üzerinden genetik algoritma ve bazı sık kullanılan öncelik kuralları karşılaştırılmıştır. Uygulamada çaprazlama esnasında elitizm stratejisinin kullanılması durumunda önerilen yöntemin performansının arttığı gözlenmiştir. Genetik algoritma yöntemi, atölye tipi işlerin çeşitli koşullar altında simüle edilerek öncelik kuralları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, genetik algoritma daha iyi sonuçlar vermiş fakat hesaplama zamanı bakımından genetik algoritma, öncelik kurallarına göre çok daha uzun sürmüştür.

Kutanoğlu ve Sabuncuoğlu (2001), dinamik atölye tipi üretim çevrelerinde beklenmedik makine arızalarına karşı reaktif çizelgeleme yaklaşımları geliştirmiştir. Bu reaktif yaklaşımlar, işin atandığı ilk makinede arıza meydana gelmesi durumunda işlerin güzergâhlarının değiştirilmesine dayanır. Önerdikleri yaklaşımların uzun dönem performansları çeşitli durumlar için test edilmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, makine arızası durumunda yeni gelen işlerin başka makinelere yönlendirilmesi, makinelerin sık arızalanması ve arızanın tamir edilme süresinin kısa olduğu durumlarda tercih edilmelidir. Ayrıca, sonuçlara göre en iyi reaktif çizelgeleme yaklaşımının; kullanım oranı, malzeme taşıma sisteminin kapasitesi, makine arızalarının sıklığı ve süreleri gibi birçok etkene bağlı olduğu görülmüştür.

Yang (2001), esnek üretim sistemlerinde statik çizelgeler oluşturmak için genetik algoritmaya dayanan yeni bir dinamik programlama yaklaşımı sunmuştur. Burada genetik algoritma, işlerin sıralamasını elde etmede kullanılırken; kesikli dinamik programlama ise, elde edilen sıralamaya uygun çizelgelenmeler oluşturmakta kullanılmaktadır. Performans ölçütü olarak en büyük tamamlanma zamanı alınmıştır. Bu çalışmada önerilen genetik algoritma-kesikli dinamik programlama yaklaşımı, esnek üretim sistemlerinde iyi kalitede çizelgeler elde etmek için alternatif bir yol sağlamıştır. Genetik algoritma aşamasında, iş sıralarının evrimsel olarak oluşturulması ve kesikli dinamik programlama aşamasında, parçalı çizelgelerin yerel optimizasyonu ile kaliteli sonuçlar elde edilmiştir. Genetik algoritma-kesikli dinamik programlama yaklaşımının ayırt edici özellikleri arasında, çoklu performans kriterlerine uygun olmasından kaynaklanan esnekliği ve paralel programlama çevrelerine uygulanması sayılabilir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, geleneksel yöntemler ile sezgisel yöntemleri birleştiren

melez yöntemlerin esnek üretim sistemlerinde iş çizelgelemede uygulanabileceğini desteklemektedir.

Sun ve Xue (2001), üretim kaynaklarında ve siparişlerinde bir değişme meydana geldiğinde geçersiz hale gelen orijinal çizelgelerin değiştirilmesi için dinamik reaktif üretim çizelgeleme mekanizması geliştirmiştir. Üretim siparişlerindeki değişiklikler, siparişin müşteri tarafından ertelenmesini veya kısa sürede tamamlanması gereken siparişlerin araya alınmasını içerirken, üretim kaynaklarındaki değişiklikler ise makinelerin arızalanmasını ve işçilerin acil hastalanmasını içerir. Bu çalışmada birleştiren (match-up) yeniden çizelgeleme ve etmen bazlı sistem yaklaşımları, daha önceden hazırlanan çizelgelerin değiştirilmesinde kullanılmıştır. Bu yolla çizelge kalitesi korunurken çizelge etkinliği arttırılmıştır.

Cowling ve Johansson (2002), çizelgeleme kararlarını iyileştirmek için gerçek zamanlı bilgileri kullanan bir yaklaşım geliştirmiş ve bu bilgilere karşı uygulanabilecek yeniden çizelgeleme ve çizelge düzeltme olmak üzere iki temel strateji tanımlamıştır. Yeniden çizelgelemede, sistem çapında önemli değişiklikler yapılırken, çizelge düzeltmede ise yerel değişiklikler yapılmaktadır. Hangi durumlarda hangi stratejinin uygulanacağına ilişkin kararları almak için fayda ve istikrar olmak üzere iki tane genel ölçü tanımlanmıştır. Bu ölçüler, gerçek zamanlı bilgileri dikkate alan stratejileri değerlendirmede kullanılmaktadır. Tek makine çizelgeleme probleminde, önerilen yaklaşım ile gerçek zamanlı bilgi kullanılarak strateji geliştirme ele alınmış ve çelik dökümünün karmaşık üretim sürecinde gerçek zamanlı bilginin çizelgelemeye nasıl dâhil edileceği tartışılmıştır.

Mohanasundaram vd. (2002), en büyük akış süresini ve akış süresinin standart sapmasını en küçükleme için etkin öncelik kuralları geliştirmeye çalışmıştır. Ayrıca işlerdeki gecikmenin standart sapmasını ve en büyük gecikmeyi en küçüklemeye yönelik de öncelik kuralları geliştirilmiştir. Rastsal olarak üretilmiş farklı yapıda işler üzerinde mevcut öncelik kuralları ile önerilen öncelik kurallarının performansları, simülasyon yardımıyla incelenmiştir. Çalışmada önerilen ve teslim süresine dayanan kurallardan ilki İGİS-EKİS iken ikincisi, EKİS-EUİS'dir. Ayrıca işlerin teslim edilme süresine dayanan iki kural daha geliştirilmiştir. Bunlar ise, EETZ-İGİS ve EUİS-EETZ'dir. Simülasyon çalışması sonucunda en büyük akış süresi ile bu sürenin en

büyük standart sapmasını ve en büyük gecikmeyi en küçükleme için önerilen kuralların etkin sonuçlar verdiği bulunmuştur.

Cowling, Quelhadj ve Petrovic (2003), çelik üretiminde dinamik çizelgeleme için çok etmenli mimari sunmuştur. Bu süreçlerin dinamik çizelgeleme sistemleri, çok farklı amaçlara ve kısıtlara sahiptir ve üretim arızaları, müşteri gereksinimleri ile ilgili birçok gerçek zamanlı bilginin olduğu bir çevrede faaliyet göstermektedir. Her süreç, gerçek zamanlı bilgileri ve diğer etmenlerden aldıkları bilgileri dikkate alarak yerel düzeyde ayrı ayrı dinamik optimal çizelgeyi araştıran bir etmene atanmıştır. Bu çalışmada, tahmine dayanan ve reaktif çizelgeleri hızlıca oluşturmak için özellikle tabu arama sezgiselini kullanan etmen üzerinde odaklanılmıştır. Diğer etmenler, siparişlerin üretiminin simülasyonunu yapmaktadır. Gerçek zamanlı olaylar meydana geldiğinde etmen, mevcut çizelgeyi düzeltmeye ya da en baştan yeniden çizelgeleme yapmaya karar vermektedir. Bu çalışmada, çizelge düzeltme ve yeniden çizelgeleme stratejileri araştırılmış ve fayda, istikrar ve güçlülük açısından performansları simülasyon çalışmaları ile değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlara göre, hem istikrar hem de fayda açısından çizelge düzeltme stratejileri daha iyi performans göstermektedir. Fakat çok sayıda gerçek zamanlı olayın meydana gelmesi durumunda yeniden çizelgeleme çoğu zaman daha iyi sonuç vermektedir.

Sabuncuoğlu ve Kızılışık (2003), dinamik ve stokastik esnek üretim sistemlerinde tepkisel çizelgelemeyi ele almıştır. Ayrıca çalışmada, esnek üretim sistemlerinde simülasyona dayanan bir çizelgeleme sistemi geliştirilmiştir. Bunların yanında birçok tepkisel çizelgeleme kuralı da önerilmiş ve bunların performansları çeşitli koşullarda, işlem sürelerinde değişmelerin ve makine arızalarının olması gibi durumlarda test edilmiştir. Bunların yanında, dinamik imalat ortamında kapsamlı simülasyon deneylerinin sonucunda, offline ve online çizelgeleme planlarındaki değişken zamanlı tepkinin, sabit zamanlı tepkiye göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tüm çizelgeleme planı, genellikle kısmi çizelgelemeden daha iyi sonuç vermektedir. Online çizelgeleme, offline çizelgelemeye göre belirsizlik altında ve işlem sürelerinde değişmeler olması durumunda daha sağlıklı sonuç vermektedir.

Dominic, Kaliyamoorthy ve Kumar (2004), dinamik atölye tipi çizelgeleme için farklı öncelik kurallarını birleştirerek etkin öncelik kuralları oluşturmaya çalışmıştır. Çalışmada farklı öncelik kuralları ve performans ölçütleri altında dinamik atölye tipi

çizelgeleme problemlerinin, ARENA 4.0 paket programı kullanılarak simülasyonu yapılmıştır. Ele alınan öncelik kuralları; EKİS, EUİS, EÇKİS, EAKİS, İGİS ve SGİS'dir. Altı makine, atölye tipi işlerin kompleks yapısını göstermek için yeterli olduğundan simülasyon deneyi altı tane makine içermektedir. İş gelişleri, üstel dağılım kullanılarak oluşturulmuştur. Uygulamada çeşitli öncelik kurallarının performansını test etmek için çok sayıda simülasyon deneyi yapılmış ve tek bir kuralın tüm performans ölçütlerini en küçüklemede yetersiz olduğu tespit edilmiştir. EÇKİS_İGİS ve EÇKİS_EKİS bileşimlerinin, performans ölçütlerinin çoğunu en küçüklemede yararlı olduğu görülmüştür. Ortalama gecikmenin en küçüklenmesinde en iyi sonucu, EÇKİS_EKİS kurallarının birleşimi vermiştir. Geciken işlerin oranını en küçüklemek için ise, İGİS kuralı en iyidir. Ortalama akış süresini en küçüklemek için ise, EKİS kuralı ile EÇKİS_EKİS kuralı en iyi sonucu vermiştir.

Rangsaritratsamee, Ferrell ve Kurz (2004), hem etkinlik hem de güvenilirlik ölçülerini içeren bir yeniden çizelgeleme yöntemi önermiştir. Bu yöntem, her yeniden çizelgeleme noktasında çok kriterli amaç fonksiyonu olarak genetik yerel arama prosedürünün uyum fonksiyonunu kullanan periyodik yeniden çizelgelemeye dayanmaktadır. Önerilen yöntemin amaç fonksiyonunda, istikrarı da içeren etkisini belirlemek için gerçeğe uygun atölye tipi üretim simülasyonu yapılmıştır. Yapılan deneyler ve analizler sonucunda, çok kriterli amaç fonksiyonu kullanılarak hazırlanan çizelgelerin daha istikrarlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, önerilen yöntemde yerel genetik arama kullanılarak çizelgeler daha hızlı oluşturulmaktadır.

Liao ve Chen (2004), sıklıkla makine arızalarının meydana geldiği bir tekstil işletmesinin çizelgeleme problemini ele almışlar ve bu problemin çözümü için sezgisel bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu sezgisel yöntem, makine arızalarını azaltarak kurulum sürelerinin ya da boş sürelerin uzatılmasını sağlamaktadır. Bu sezgisel yöntemin performansı, mevcut çizelgeleme yöntemi ve dal sınır algoritması ile kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Tekstil işletmesinden alınan gerçek veriler ile geliştirilen sezgiselin etkinliği gösterilmiştir.

Liu, Ong ve Ng (2005), makine arızaları ve yeni iş gelişlerinin olması durumunda dinamik iş çizelgeleme probleminin özelliklerini analiz ederek dinamik çizelgeleme problemini statik bir problem olarak modelleyebilmek için bir yöntem sunmuştur. Bu yöntem kullanılarak statik problemler için önerilmiş meta sezgisel

yöntemler dinamik problemlere uygulanmıştır. Bu çalışmada önerilen meta sezgisel yöntem, dört temel aşamaya sahiptir. Dinamik karma iş çizelgeleme probleminin grafiksel olarak gösterimi ilk aşamayı oluşturur. İkinci aşamada, ilk düğümden son düğüme en uzun yolun uzunluğu hesaplanır. Önerilen meta sezgisel yöntemin üçüncü aşamasında, komşuluk ilişki yapısı incelenir ve bu yapı, yerel aramada kritik rol oynar. Eğer komşuluk ilişkisi yeterince kuvvetli ise sınırlı sayıda iterasyondan sonra optimuma yakın sonuçlar elde edilir. Dördüncü ve son aşama ise, meta sezgisel yöntemin iş çizelgeleme problemlerine nasıl uygulanacağını içerir. Bu çalışmada, esneklik ve etkinlik özelliklerinden dolayı meta sezgisel yöntemlerden tabu arama yöntemi seçilmiştir. Önerilen meta sezgisel yöntem; Microsoft Windows XP işletim sistemi, Intel Pentium IV 1.9 GHz ve 256 RAM'e sahip dizüstü bilgisayarda Visual C++ 6.0 programında kodlanmıştır. Çalışmanın sonuçları, sezgisel yöntemlerin statik problemlerde başarılı bir şekilde kullanıldığı gibi dinamik problemlerde de etkin bir şekilde kullanıldığını göstermektedir.

Zhang, Freiheit ve Yang (2005), esnek montaj sisteminde optimal üretim sıralama için çizelgeleme modeli önermiştir. Sistem, aynı çalışma alanında birlikte çalışan makinelerden oluşmaktadır. Her makine, işlemlerin bir bölümünü yapmaktadır. Çalışmada, üç adet kısıt dikkate alınmıştır. Bunlar; montaj ağacı şeklinde belirtilen işlemler arasındaki öncelik ilişkisi, eş zamanlı işleri kısıtlayan çalışma alanı ve işlem süresindeki değişkenliktir. Amaç, hem işlemlerin makinelere uygun atanması hem de tek bir ürün ya da yığın ürün için tamamlanma zamanını en küçükleyerek çizelgeleme yapmaktır. Montaj süreci, Petri ağları kullanılarak modellenmiş ve işlerin çizelgelenmesi dinamik programlama algoritması ile çözülmüştür. Bu yöntem, gerekli zamanı tam olarak hesaplamaktadır. Detaylı bir örnek olay üzerinde modelin ve algoritmanın etkinliği incelenmiştir.

Suwa ve Sandoh (2007), reaktif çizelgelerde çizelgenin yapılması gerektiği zamanın belirlenmesi için yeni bir strateji önermiştir. Bu stratejide, çizelgenin revizyonu işlerin kümülatif gecikmelerine dayalı olarak yapılmaktadır. Önerilen strateji, makine arızalarının olması durumunda, atölye tipi çizelgeleme probleminde uygulanmış ve en büyük teslim gecikmesi ile çizelgeleme sıklığı en küçüklenmeye çalışılmıştır. Çalışmada önerilen strateji, düşük çizelgeleme sıklığında bile temel etkin reaktif

çizelgeleme yöntemlerinden biri olan olaya dayalı çizelgelemeye göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Leitao ve Restivo (2008), karmaşık geleneksel yöntemlerin yerine hızlı bir şekilde global optimuma ulaşan dinamik yeniden çizelgeleme yaklaşımı sunmuştur. Bu yaklaşımda amaç, kompleks çizelgeleme algoritmaları yerine, basit yerel çizelgeleme algoritmaları yardımıyla hızlı bir şekilde global optimuma ulaşarak yeniden çizelgeleme yapmaktır.

Vinod ve Sridharan (2008), sıraya bağlı kurulum zamanları olan atölye tipi çizelgeleme için simülasyona dayalı deneysel bir çalışma sunmuştur. Çalışmada, atölye tipi sistemin kesikli olay simülasyonu geliştirilmiştir. Simülasyon modelinde literatürden yedi tane çizelgeleme kuralı birleştirilmiştir. Beş tane yeni kurulumla dayalı çizelgeleme kuralı önerilerek uygulanmıştır. Simülasyon deneyleri, iş yükü, kurulum zamanı oranı ve teslim süresindeki sıkışıklık gibi çeşitli deneysel koşullar altında yapılmıştır. Sonuçlar, kurulumla dayalı çizelgeleme kurallarının sıradan kurallara göre daha iyi performans sağladığını göstermektedir.

Gao vd. (2009), atölye tipi çizelgeleme problemi için karınca koloni algoritması ve genetik algoritmaya dayanan melez bir yöntem önermiştir. Amaç toplam tamamlanma zamanını, maliyeti ve sapmayı en küçükmektir. Önerilen yöntemde karınca koloni algoritması yardımıyla makine ataması yapılırken, genetik algoritma ve komşuluk arama yardımıyla ise işlerin sıralaması optimize edilmektedir. Çalışmanın sonunda önerilen algoritmanın etkinliğini göstermek için sayısal bir simülasyon çalışması yapılmıştır.

Cheng vd. (2009), yeni iş gelişlerini dikkate alan dinamik iş çizelgeleme problemi için genetik algoritmaya dayanan bir yaklaşım önermiştir. Sadece genetik algoritma içeren yaklaşımlar çaprazlama ve mutasyon operatörleri yüzünden kullanışsız çizelgeler üretebilir. Bu durumda çizelgeleme problemini çözmek için genetik algoritma, başka yöntemler ile birleştirilebilir. Bu çalışmada genetik algoritmayı veya genetik operatörleri değiştirmeden kullanışlı çizelgeler üretebilmek için kolay anlaşılır bir genotip tasarlanmıştır. Önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için, üç adet çizelgeleme probleminden oluşan deney gruplarının simülasyonu yapılmıştır. Birinci ve ikinci deney grubunda, 10 iş, 3 işlemci, 4 farklı kaynak tipi varken; üçüncü deney

grubunda ise, 20 iş, 5 işlemci, 5 farklı kaynak tipi vardır. Bu deney gruplarının her biri için dört tane çizelgeleme problemi mevcuttur ve her problemdeki işler için farklı zaman kısıtları ve kaynak gereksinimleri mevcuttur. Popülasyon büyüklüğü 20, çaprazlama oranı 0,4, mutasyon oranı ise 0,06'dır. Bir adet yeni iş geldiğinde fazla yükleme olmadığı sürece yeniden çizelgelemenin yapılmadığı dinamik çizelgeleme sonuçlarının % 100'ü başarılı iken statik çizelgeleme sonuçlarının sadece % 76,92'sı başarılıdır. İki adet yeni iş gelmesi durumunda ikinci deney grubu için fazla yükleme olmadığı sürece yeniden çizelgelemenin yapılmadığı dinamik çizelgeleme sonuçlarının % 100'ü başarılı iken statik çizelgeleme sonuçlarının sadece % 13,46'sı başarılıdır. Ayrıca üçüncü deney grubunda yani üç adet yeni iş gelmesi durumunda dinamik çizelgeleme sonuçlarının % 100'ü başarılı iken, statik çizelgeleme sonuçlarının sadece % 46,15'i başarılıdır. Sonuçlar göstermektedir ki; statik çizelgelemede çoğu durumda diğer kalan işler için yeniden çizelgelemeye ihtiyaç duyulmaktadır ve dinamik yaklaşım etkin sonuçlar vermektedir.

Li ve Chen (2009), yeni iş gelişlerinin ve makine arızalarının olması durumunda dinamik çizelgeleme probleminin yapısını incelemiştir. Dinamik çizelgeleme problemi, statik bir problem gibi ele alınarak yapay sinir ağları ve genetik algoritma içeren melez bir yaklaşım yardımıyla çözülmüştür. Amaç fonksiyonu olarak, en büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi alınmıştır. Çalışmanın sonucunda, statik problemleri başarıyla çözen melez yaklaşımın, dinamik çizelgeleme problemlerinde de etkin sonuçlar verdiği görülmüştür.

Quelhadj ve Petrovic (2009), gerçek zaman bilgilerinin olması durumunda statik çizelgenin yeterli olamadığını belirterek dinamik çizelgeleme ile ilgili son yıllarda gündeme gelen konuları ele almıştır. Gerçek zamanlı bilgi, kaynaklarla ve işlerle ilgili gerçek zamanlı olaylar olarak iki gruba ayrılmıştır. Gerçek zamanlı olayların meydana gelmesi durumunda, çizelge düzeltme ve yeniden çizelgeleme olmak üzere iki alternatif üzerinde durulmuştur. Yeniden çizelgelemenin, optimal sonuçlar vermeye daha yatkın olduğunu fakat fazla hesaplama süresi gerektirdiği belirtilmiştir. Ayrıca, dinamik çizelgeleme tekniklerinden sezgisel, meta-sezgisel, çok etmenli sistemler ve diğer yapay zekâ teknikleri ayrıntılarıyla incelenmiş ve bu yöntemler kıyaslanmıştır.

Zhou, Nee ve Lee (2009), dinamik atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde karınca koloni optimizasyonunu kullanmıştır. Önerilen algoritma, üç farklı

makine kullanım düzeyi, üç farklı performans ölçütü ve üç farklı işlem süresi dağılımında test edilmiştir. Karınca koloni algoritmasının performansı; farklı deneysel çevrelerde ortalama akış süresi, ortalama gecikme, en büyük tamamlanma zamanı bakımından İĞİS, EKİS ve en küçük gevşeklik süresi gibi öncelik kuralları ile karşılaştırılmıştır. İki tane deneysel çalışma yardımıyla farklı işlem sürelerinde en iyi karınca koloni optimizasyonu stratejisi ile en iyi sıralama kuralı karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda karınca koloni optimizasyonunun; makine kullanımı çok yüksek olmadığına, örneğin % 90'ın altında ve işlem sürelerindeki çeşitliliğin fazla olmaması durumunda iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Adibi, Zandieh ve Amiri (2010), dinamik atölye tipi iş çizelgeleme probleminin çözümü için değişken komşuluk arama ve yapay sinir ağlarına dayanan bir yaklaşım önermiştir. Bu yöntemin etkinliğini arttırmak için, kullanılan parametreler herhangi bir yeniden çizelgeleme noktasında yapay sinir ağları ile güncellenmektedir. Yani, yapay sinir ağları ile elde edilen ağırlıklar parametre olarak alınmaktadır. Rastgele iş gelişleri ve makine arızalarını içeren dinamik atölye tipi çizelgeleme problemi, önerilen yöntem yardımıyla çözülmüştür. Çok amaçlı performans ölçütü olarak, en büyük tamamlanma zamanı ile toplam gecikme alınmıştır. Herhangi bir yeniden çizelgeleme noktasında yapay sinir ağları yöntemi ile bulunan ağırlıklar değişken komşuluk arama için uygun parametreleri vermektedir. Önerilen yöntem, çeşitli koşullar altında simüle edilmiş atölye tipi işler için, öncelik kuralları yardımıyla elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre önerilen yöntemin öncelik kurallarına göre daha iyi performansa sahip olduğu söylenebilir.

Fattahi ve Fallahi (2010), dinamik esnek atölye tipi iş çizelgeleme probleminin çözümü için genetik algoritmaya dayanan bir yöntem önermiştir. Etkinlik faktörü en büyük tamamlanma zamanı, güvenilirlik faktörü ise başlama zamanındaki sapma ve toplam sapmanın ceza fonksiyonu ile ölçülmüştür. Sayısal örnekler ele alınarak önerilen yöntemin etkinliği araştırılmıştır. Çizelgelemenin etkinliği ile istikrarı arasındaki dengeyi sağlamak için iki amaç dikkate alınmıştır. Çizelgelemenin etkinliğini arttırmak ve istikrarı sağlamak için yerel arama yapan genetik algoritma ile dinamik esnek atölye tipi iş çizelgeleme problemi için çok amaçlı performans ölçüsü kullanılmıştır. Öncelikle problemin çok amaçlı matematiksel modeli kurulmuştur. Kurulan modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları çalışmada ayrıntıları ile verilmiştir. Etkinlik faktörü, en büyük

tamamlanma zamanı kriteri ile güvenilirlik faktörü de başlama zamanındaki sapma ve toplam sapmanın ceza fonksiyonu ile ölçülmüştür. Ele aldıkları ilk örnekte 11 işlem den oluşan 4 iş, 4 tane makinede yapılmaktadır. Öncelikle problem matematiksel model ile çözülmüş ve en büyük tamamlanma zamanı 16 gün olarak bulunmuştur. Üretim esnasında beklenmedik arızalar meydana gelmiş ayrıca yeni bir makine alınmış ve iki yeni iş eklenmiştir. Ayrıca bir işlemin işlem süresinde artış olmuştur. Sonuç olarak yeniden çizelgeleme yapılmasına karar verilmiş ve bunun için dört tane strateji ele alınmıştır. Birinci stratejide tek amaç, en büyük tamamlanma zamanını en küçüklemektir. Bu stratejide yeni işler, eski çizelge tamamlandıktan sonra çizelgelenmiştir. İkinci stratejide, yeni koşullara göre işlerin çizelgelemesi ilgili makineler boş olur olmaz yapılmış ve sonuç iyileştirilmiştir. Üçüncü stratejide, kalan işlerin ve yeni işlerin çizelgelemesi tek bir amaca bağlı kalınarak (etkinlik ya da en büyük tamamlanma zamanı) eş zamanlı olarak yapılmıştır. Bunun sonucunda en büyük tamamlanma zamanı daha da kısaltılarak sonuç iyileştirilmiştir. Dördüncü stratejide ise, iki amaca göre (etkinlik ve en büyük tamamlanma zamanı) çizelgeleme yapılmış ve en büyük tamamlanma zamanı, bir önceki strateji ile aynı bulunmuş, yani etkinlik kriteri değişmemiş fakat güvenilirlik kriteri iyileştirilmiştir. Daha sonra problem, çalışmada önerilen genetik algoritmaya dayanan yöntem ile çözülmüştür. Önerilen algoritmayı test edebilmek için küçük (15 işlem den az), orta (15-20 işlem) ve büyük (20 işlem den fazla) boyutlu problemler üretilmiştir. Önerilen algoritmanın performansı, dal sınır algoritması ile karşılaştırılmıştır. Üç problem tipine (küçük, orta, büyük) ait veriler rastgele üretilmiş ve bu problemler, her iki yöntemle de Pentium IV 1.6 GHz, 512 GB RAM'e sahip bilgisayarda çözülmüştür. Matematiksel model, dal sınır algoritması kullanılarak Lingo paket programı ile çözülmüştür. Küçük boyutlu problemlerde bu yöntem, sonuç vermiş; orta boyutlu problemlerde ise, programın çalışması uzun zaman almış ve alt ve üst sınırlar elde edilebilmiştir. Büyük boyutlu problemlerde ise, işlem süresi çok artmış ve sonuç elde edilememiştir. Ayrıca bu problemlerin tümü, önerilen yöntemle de 10 kez çözülmüştür. Önerilen algoritma, FORTRAN programlama dilinde kodlanmıştır. Küçük boyutlu problemlerde, dal sınır algoritması ile aynı sonuçları vermiş, orta boyutlu problemlerde ise elde edilen sonuçlar, dal sınır algoritması ile elde edilen alt ve üst sınırlar arasında kalmıştır. Yani önerilen algoritma, orta boyutlu problemler için optimale yakın sonuçlar vermektedir. Büyük boyutlu problemlerde ise, dal sınır algoritması ile çözüme ulaşılamazken önerilen yöntemde sonuca ulaşılmıştır. Önerilen

yöntem yardımı ile elde edilen sonuçların standart sapması küçük boyutlu problemlerde sifıra eşitken, orta ve büyük boyutlu problemlerde standart sapma artmaktadır.

Zandieh ve Adibi (2010), rastgele iş gelişlerini ve makine arızalarını dikkate alan dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemleri için değişken komşuluk arama yöntemini önermiştir. Herhangi yeniden çizelgeleme noktasında, yapay sinir ağları ile elde edilen ağırlıklar kullanılarak değişken komşuluk arama yöntemindeki uygun parametrelere ulaşılmıştır. Bu da çizelgeleme yönteminin performansını önemli derecede arttırmıştır. Atölye tipi işlerde, gerçek koşulları daha iyi yansıtabilme için rastgele iş gelişleri ve makine arızaları da dikkate alınmıştır. Atölye tipi işlerde, iş gelişleri Poisson dağılımına sahiptir. Yani iş gelişleri arasındaki süre, üssel olarak dağılır. Makine arızaları ve tamir zamanları arasındaki sürenin de üssel dağıldığı varsayılmıştır. Önerilen yöntem, çeşitli koşullar altında simüle edilmiş atölye tipi işler kullanılarak literatürde sık kullanılan öncelik kuralları (EKİS, İGİS, SGİS) ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntem, öncelik kurallarına göre önemli derecede iyi sonuç vermiştir.

Kapanoğlu ve Alikalfa (2011), dinamik atölye tipi çizelgeleme problemleri için GA'ya dayalı öğrenen bir sistem önermiştir. Çalışmada önerilen yaklaşım ile aralık bazlı duruma bağlı öncelik kuralları oluşturularak belirlenen amaç için en uygun öncelik kuralı seçilebilmektedir. Yapılan deneyler, önerilen yöntem ile elde edilen aralık bazlı duruma bağlı öncelik kurallarının literatürdeki diğer öncelik kurallarına göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Qiu ve Lau (2013), sürekli yeni iş gelişlerinin olduğu ve beklenmedik arızaların meydana geldiği dinamik atölye tipi çizelgeleme problemi için yapay zeka, yapay bağışıklık sistemi yöntemleri ile öncelik kurallarının birleşimine dayanan bir yaklaşım önermiştir. Ortalama akış süresi, maksimum akış süresi, akış süresinin ağırlıklı varyansı, ağırlıklı toplam teslim gecikme, en büyük teslim gecikme, teslim gecikmenin ağırlıklı varyansı, geciken işlerin oranı, ağırlıklı ortalama gecikme, en büyük gecikme, gecikmenin ağırlıklı varyansının en küçüklenmesi ve makine kullanım seviyesinin en büyüklenmesi olmak üzere toplam on bir adet performans ölçütü dikkate alınmıştır. Çalışmada önerilen yaklaşımın etkinliğini ve diğer yöntemlere göre üstünlüğünü göstermek adına deneyler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1.1. Dinamik iş çizelgemeye ilişkin literatür taraması

Yazarlar	Makale Adı	Yıl	Problem Tipi	Dinamiklik	Yöntem	Karşılaştırılan Yöntem	Optimize Edilecek Problem Kısıtları
Holloway ve Nelson	Job Shop Scheduling with Due Dates and Variable Processing Times	1974	Atölye tipi çizelgeleme	Rastsal işlem süreleri	Çok geçişli sezgisel yöntem	Simülasyon	Geciken işlerin oranı, ortalama gecikme, gecikmenin varyansı, en büyük gecikme
Nelson, Holloway ve Wong	Centralized Scheduling and Priority Implementation Heuristics for a Dynamic Job Shop Model	1977	Atölye tipi çizelgeleme	Dinamik iş gelişleri, istatistiksel işlem süreleri	Çok geçişli sezgisel yöntem	Öncelik kuralları	Geciken işlerin oranı, ortalama gecikme, gecikmenin varyansı, en büyük gecikme
Farn ve Muhlemann	The Dynamic Aspects of a Production Scheduling Problem	1979	Tek makine çizelgeleme	Yeni iş gelişleri	Sezgisel yöntemler	Simülasyon	En büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi
Muhlemann, Lockett ve Farn	Job Shop Scheduling Heuristics and Frequency of Scheduling	1982	Atölye tipi çizelgeleme	Yeni iş gelişleri, belirsiz işlem süreleri, makine arızaları	Sezgisel yöntemler	Simülasyon	Akış süresinin işlem süresine oranının ortalaması, ortalama kuyruk süresi, ortalama gecikme, geciken işlerin oranı, en büyük tamamlanma zamanı
Bean vd.	Matchup Scheduling with Multiple Resources, Release Dates and Disruptions	1991		Makine arızaları, araçların mevcut olmaması, yeni iş gelişleri, hazır olma zamanında değişiklik	Sezgisel yöntemler	Alt sınır değerleri, öncelik kuralları	Teslim gecikme süresinin en küçüklenmesi
Church ve Uzsoy	Analysis of Periodic and Event-Driven Rescheduling Policies in Dynamic Shops	1992	Tek makine ve paralel makine çizelgeleme	Dinamik iş gelişleri	Periyodik, olaya dayalı ve melez yeniden çizelgeleme	Simülasyon	En büyük gecikmenin en küçüklenmesi

Yazarlar	Makale Adı	Yıl	Problem Tipi	Dinamiklik	Yöntem	Karşılaştırılan Yöntem	Optimize Edilecek Problem Kısıtları
MacCarthy ve Liu	Addressing the Gap in Scheduling Research: A Review of Optimization and Heuristic Methods in Production Scheduling	1993	Tek makine çizelgeleme	İşlem süreleri, hazırlık süreleri	Sezgisel yöntemler	Dal sınır algoritması	Ortalama tamamlanma zamanının en küçüklenmesi
Leon, Wu ve Storer	Robustness Measures and Robust Scheduling for Job Shops	1994	Atölye tipi çizelgeleme	Makine arızaları, işlem sürelerinde değişiklik	Genetik algoritma	MKS (GAROB) GA1 GA0 GA85	En büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi
Daniels ve Kouvelis	Robust Scheduling to Hedge against Processing Time Uncertainty in Single-Stage Production	1995	Tek makine çizelgeleme	Değişken işlem süreleri	Sezgisel yöntemler		Toplam akış süresinin en küçüklenmesi
Efstathiou	Anytime Heuristic Schedule Repair in Manufacturing Industry	1996			Çizelge iyileştirme sezgiselleri	Inserts ve LE sezgiselleri	
Fang ve Xi	A Rolling Horizon Job Shop Rescheduling Strategy in the Dynamic Environment	1997	Atölye tipi çizelgeleme	Yeni iş gelişleri, makine arızaları, makinelerin tamiri, işlerin tamamlanma zamanındaki değişiklik	Genetik algoritma	Öncelik kuralları	En büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi
Jain ve Elmaraghy	Production Scheduling/Rescheduling in Flexible Manufacturing	1997	Esnek üretim sistemi	Makine arızaları, acil işlerin gelişi, iş önceliklerinde değişme, iş ertelenmesi	Genetik algoritma	Öncelik kuralları	Ortalama akış süresinin en küçüklenmesi, ortalama teslim gecikme süresinin en küçüklenmesi, ortalama kaynak kullanımının en büyüklenmesi
Chang	Heuristics for Dynamic Job Shop Scheduling with Real-Time Updated Queueing Time Estimates	1997	Atölye tipi çizelgeleme	Yeni iş gelişleri	Sezgisel yöntemler	Diğer sezgisel yöntemler	Ortalama teslim gecikme ve geciken işlerin oranının en küçüklenmesi

Yazarlar	Makale Adı	Yıl	Problem Tipi	Dinamiklik	Yöntem	Karşılaştırılan Yöntem	Optimize Edilecek Problem Kısıtları
Quelhadj, Hanachi ve Bouzouia	Multi-Agent System for Dynamic Scheduling and Control in Manufacturing Cells	1998	Esnek üretim sistemlerinde çizelgeleme	Dinamik üretim koşulları	Yapay zeka, çok etmenli mimari		
Lee ve Uzsoy	Minimizing Makespan on a Single Batch Processing Machine with Dynamic Job Arrivals	1999	Tek parti makine çizelgeleme	Dinamik iş gelişleri	Sezgisel yöntemler	Alt sınır	En büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi
Mehta ve Uzsoy	Predictable Scheduling of a Single Machine Subject to Breakdowns	1999	Tek makine çizelgeleme	Dinamik iş gelişleri, rastsal makine arızaları	Tahmin edilebilir çizelgeleme sezgiseli		En büyük gecikmenin en küçüklenmesi
Rajendran ve Holthaus	A Comparative Study of Dispatching Rules in Dynamic Flowshops and Jobshops	1999	Akış tipi, atölye tipi ve eksik işlemlerli akış tipi dinamik üretim çizelgeleme	Dinamik iş gelişleri	Öncelik kuralları	Simülasyon	Ortalama akış süresi, en büyük akış süresi, akış süresinin varyansı, geciken işlerin oranı, ortalama gecikme, en büyük gecikme ve gecikmenin varyansının en küçüklenmesi
Zhang ve Chen	A Knowledge-Based Dynamic Job-Scheduling in Low-Volume/High-Variety Manufacturing	1999	Esnek akış tipi çizelgeleme	Makinelerde ve hücrelerde değişiklik	Sezgisel yöntemler ve intranet teknolojisi		Makine kullanımının en büyüklenmesi, teslim tarihlerinin karşılanması
Aktürk ve Görgülü	Match-Up Scheduling under a Machine Breakdown	1999	Akış tipi çizelgeleme	Makine arızaları	Reaktif çizelgeleme yaklaşımı	Öncelik kuralları	Tamamlanma süresinin en küçüklenmesi, teslim gecikme süresinin en küçüklenmesi
Jahangirian ve Conroy	Intelligent Dynamic Scheduling System: the Application of Genetic Algorithms	2000	Dinamik çizelgeleme	Dinamik iş gelişleri, makine arızaları, tamir süreleri	Zeki sistemler, genetik algoritma	Öncelik kuralları	Ortalama akış süresi, ortalama gecikme
Rossi ve Dini	Dynamic Scheduling of FMS Using a Real-Time Genetic Algorithm	2000	Esnek üretim sistemlerinde çizelgeleme	Yeni iş gelişleri, işlem görece parçalarda gecikme, makine arızaları	REGAL (Real-time Genetic Algorithm)	Öncelik kuralları ve genetik algoritma	Makinelerin boş kalma zamanlarının ve en büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi

Yazarlar	Makale Adı	Yıl	Problem Tipi	Dinamiklik	Yöntem	Karşılaştırılan Yöntem	Optimize Edilecek Problem Kısıtları
Qi, Burns ve Harrison	The Application of Parallel Multipopulation Genetic Algorithms to Dynamic Job-Shop Scheduling	2000	Atölye tipi çizelgeleme	Yeni iş gelişleri	Paralel çok popülasyonlu genetik algoritma	Öncelik kuralları	Ortalama akış süresinin en küçüklenmesi
Aydın ve Öztemel	Dynamic Job-Shop Scheduling Using Reinforcement Learning Agents	2000	Atölye tipi çizelgeleme	Yeni iş gelişleri	Zeki etmen ve simülasyon tabanlı sistem	Öncelik kuralları	Ortalama teslim gecikmenin en küçüklenmesi
Sabuncuoğlu ve Bayız	Analysis of Reactive Scheduling Problems in a Job Shop Environment	2000	Atölye tipi çizelgeleme	Makine arızaları	Reaktif çizelgeleme		Ortalama teslim gecikme, en büyük tamamlanma zamanı
Chrysolouris ve Subramaniam	Dynamic Scheduling of Manufacturing Job Shops Using Genetic Algorithms	2001	Atölye tipi çizelgeleme	Rastasal iş gelişleri, makine arızaları, makine tamiri, alternatif iş rotaları	Genetik algoritma	Öncelik kuralları	Ortalama iş maliyeti, ortalama iş gecikmesi
Kutanoğlu ve Sabuncuoğlu	Routing-based Reactive Scheduling Policies for Machine Failures in Dynamic Job Shops	2001	Atölye tipi çizelgeleme	Yeni iş gelişleri, beklenmeyen makine arızaları	Reaktif çizelgeleme	Alt sınır değeri	Ağırlıklı gecikmenin en küçüklenmesi
Yang	GA-Based Discrete Dynamic Programming Approach for Scheduling in FMS Environments	2001	Esnek üretim sistemlerinde çizelgeleme		Genetik algoritmaya dayanan kesikli dinamik programlama	Öncelik kuralları	En büyük tamamlanma zamanının, toplam akış süresinin ve toplam gecikme maliyetinin en küçüklenmesi
Sun ve Xue	A Dynamic Reactive Scheduling Mechanism for Responding to Changes of Production Orders and Manufacturing Resources	2001	Dinamik reaktif çizelgeleme	Acil işler, makine arızaları, işlerin ertelenmesi, işçilerin ani hastalanması	Çoklu etmen tabanlı yaklaşım ve zeki sistemler		

Yazarlar	Makale Adı	Yıl	Problem Tipi	Dinamiklik	Yöntem	Karşılaştırılan Yöntem	Optimize Edilecek Problem Kısıtları
Cowling ve Johansson	Using Real Time Information for Effective Dynamic Scheduling	2002	Tek makine çizelgeleme	İşlem süresindeki değişiklik, makine arızaları, hammaddeye ilişkin sorunlar	Simülasyon	Yeniden çizelgeleme, çizelge düzeltme, bir şey yapmama stratejileri	Ortalama tamamlanma süresinin en küçüklenmesi
Mohanasundaram vd.	Scheduling Rules for Dynamic Shops that Manufacture Multi-Level Jobs	2002	Montaj hatlı atölye tipi çizelgeleme	Dinamik iş gelişleri	Öncelik kuralları	Öncelik kuralları	Ortalama akış süresinin ve hazırlık süresindeki ve kuyruktaki gecikmenin en küçüklenmesi
Cowling, Quelhadj ve Petrovic	A Multi-Agent Architecture for Dynamic Scheduling of Steel Hot Rolling	2003	Dinamik çizelgeleme	Üretim hataları, müşteri isteklerinde değişiklik	Çok etmenli mimari	Simülasyon yeniden çizelgeleme ve çizelge düzeltme stratejilerinin karşılaştırılması	Fayda ve istikrar ölçülerinin en büyüklenmesi
Sabuncuoğlu ve Kızılışık	Reactive Scheduling in a Dynamic and Stochastic FMS Environment	2003	Esnek imalat sisteminde tepkisel çizelgeleme	İşlem süresinde değişiklik, makine arızaları	Simülasyon bazlı çizelgeleme sistemi		
Dominic, Kaliyamoorthy ve Kumar	Efficient Dispatching Rules for Dynamic Job Shop Scheduling	2004	Atölye tipi çizelgeleme	Yeni iş gelişleri	Öncelik kurallarının birleşimine dayanan yöntem	Öncelik kuralları	Ortalama akış süresi, ortalama gecikme, en büyük akış süresi geciken iş sayısı ve gecikmenin varyansının en küçüklenmesi
Rangsaritratamee, Ferrell ve Kurz	Dynamic Rescheduling that Simultaneously Considers Efficiency and Stability	2004	Atölye tipi çizelgeleme	Dinamik iş gelişleri	Genetik yerel arama	İstatistiksel analiz	En büyük tamamlanma zamanı ve gecikmenin en küçüklenmesi

Yazarlar	Makale Adı	Yıl	Problem Tipi	Dinamiklik	Yöntem	Karşılaştırılan Yöntem	Optimize Edilecek Problem Kısıtları
Liao ve Chen	Scheduling Under Machine Breakdown in a Continuous Process Industry	2004	Sürekli üretim	Makine arızaları	Sezgisel yöntemler	Dal sınır algoritması ve en erken teslim süresi öncelik kuralı	Teslim sürelerini dikkate alarak toplam kurulum sürelerinin en büyüklenmesi
Liu, Ong ve Ng	Metaheuristics for Minimizing the Makespan of the Dynamic Shop Scheduling Problem	2005	Karma iş çizelgeleme	Makine arızaları ve yeni iş gelişleri	Tabu Arama	Alt sınır değerleri (LB, Lower bound)	En büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi
Zhang, Freiheit, ve Yang	Dynamic Scheduling in Flexible Assembly System Based on Timed Petri Nets Model	2005	Esnek montaj sistemi	Değişken işlem süreleri ve sıraları	Petri ağları, dinamik programlama		
Suwa ve Sandoh	Capability of Cumulative Delay Based Reactive Scheduling for Job Shops with Machine Breakdowns	2007	Atölye tipi	Makine arızaları	Reaktif çizelgelemede ne zaman çizelgeleme yapılacağını belirten yeni bir yaklaşım	Olaya dayalı reaktif çizelgeleme yaklaşımı	En büyük teslim gecikmenin en küçüklenmesi
Vinod ve Sridharan	Scheduling a Dynamic Job Shop Production System with Sequence-dependent Setups: An Experimental Study	2008	Atölye tipi	Sıraya bağlı kurulum zamanları	Öncelik kuralları, simülasyon	Farklı öncelik kuralları ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması	Ortalama akış süresi ve ortalama gecikmenin en küçüklenmesi
Leitao ve Restivo	A Holonic Approach to Dynamic Manufacturing Scheduling	2008	Dinamik yeniden çizelgeleme	Siparişlerin ertelenmesi, makine arızaları, acil siparişler	Etmen tabanlı (agent based) çizelgeleme yaklaşımı		Gecikme süresi ve teslim gecikme süresinin en küçüklenmesi, makine kullanım oranının en büyüklenmesi
Cheng, Shiau, Huang ve Lin	Dynamic hard-real-time scheduling using genetic algorithm for multiprocessor task with resource and timing constraints	2009	Zor gerçek zaman çizelgeleme	Yeni iş gelişleri	Genetik algoritma	Simülasyon	Enerji fonksiyonunun en küçüklenmesi

Yazarlar	Makale Adı	Yıl	Problem Tipi	Dinamiklik	Yöntem	Karşılaştırılan Yöntem	Optimize Edilecek Problem Kısıtları
Li ve Chen	Neural Network and Genetic Algorithm-based Hybrid Approach to Dynamic Job Shop Scheduling Problem	2009	Atölye tipi çizelgeleme	Yeni iş gelişleri, makine arızaları	Yapay sinir ağları ve genetik algoritmaya dayalı melez bir yöntem	Simülasyon	En büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi
Quelhadj ve Petrovic	A Survey of Dynamic Scheduling in Manufacturing Systems	2009	Dinamik çizelgeleme	Makine arızaları, yeni gelen acil işler, teslim zamanlarında değişiklik	Sezgisel, metasezgisel çok etmenli sistemler, diğer yapay zekâ teknikleri	Bu yöntemlerin birbirleri ile kıyaslamaları	
Zhou, Nee ve Lee	Performance of an Ant Colony Optimisation Algorithm in Dynamic Job Shop Scheduling Problems	2009	Atölye tipi çizelgeleme	Değişken işlem süreleri, yeni iş gelişleri	Karınca kolonisi algoritması	Öncelik kuralları	Ortalama akış süresi ve ortalama gecikmenin en küçüklenmesi
Gao, Ding ve Zhang	Job-Shop Scheduling Considering Rescheduling in Uncertain Dynamic Environment	2009	Atölye tipi çizelgeleme	Makine arızaları ve sipariş ertelenmesi	Karınca koloni algoritması ve genetik algoritmaya dayanan melez yöntem	Genetik algoritma, Melez genetik algoritma, AL, AL+CGA, PSO+SA, HACGA	Tamamlanma zamanının, maliyetin ve sapmanın en küçüklenmesi, kullanma oranının en büyüklenmesi
Adibi, Zandieh ve Amiri	Multi-Objective Scheduling of Dynamic Job Shop Using Variable Neighborhood Search	2010	Atölye tipi çizelgeleme	Rastgele iş gelişleri, makine arızaları	Yapay sinir ağları ve değişken komşuluk arama	Öncelik kuralları	En büyük tamamlanma zamanının ve gecikmenin en küçüklenmesi

Yazarlar	Makale Adı	Yıl	Problem Tipi	Dinamiklik	Yöntem	Karşılaştırılan Yöntem	Optimize Edilecek Problem Kısıtları
Fattahi ve Fallahi	Dynamic Scheduling in Flexible Job Shop Systems by Considering Simultaneously Efficiency and Stability	2010	Esnek atölye tipi çizelgeleme	Yeni iş gelişleri, işlem sürelerinde değişiklik, yeni makine eklenmesi	Genetik algoritma	Dal sınır algoritması	En büyük tamamlanma zamanının ve toplam sapma cezası ile başlama zamanlarındaki sapmanın en küçüklenmesi
Zandieh ve Adibi	Dynamic Job Shop Scheduling Using Variable Neighbourhood Search	2010	Atölye tipi çizelgeleme	Rastgele iş gelişleri makine arızaları	Değişken komşuluk arama ve yapay sinir ağları	Öncelik kuralları	Ortalama akış süresinin en küçüklenmesi
Kapanoğlu ve Alikalfa	Learning IF-THEN Priority Rules for Dynamic Job Shops Using Genetic Algorithms	2011	Atölye tipi çizelgeleme	Yeni iş gelişleri	Genetik algoritma	Öncelik kuralları	Toplam teslim gecikme süresinin en küçüklenmesi
Qui ve Lau	An AIS-Based Hybrid Algorithm with PDRs for Multi-Objective Dynamic Online Job Shop Scheduling Problem	2013	Atölye tipi çizelgeleme	Yeni iş gelişleri, makine arızaları	Yapay zeka, yapay bağışıklık sistemi ve öncelik kurallarının birleşimi	Öncelik kuralları	Ortalama akış süresi, maksimum akış süresi, akış süresinin ağırlıklı varyansı, ağırlıklı toplam teslim gecikme, en büyük teslim gecikme, teslim gecikmenin ağırlıklı varyansı, geciken işlerin oranı, ağırlıklı ortalama gecikme, en büyük gecikme, gecikmenin ağırlıklı varyansı en küçüklenmesi ve makine kullanım seviyesinin en büyülenmesi

İKİNCİ BÖLÜM

SEZGİSEL YÖNTEMLER

2.1. Kombinatoryal Optimizasyon

En basit anlamı ile optimizasyon, eldeki kısıtlı kaynakları en optimum biçimde kullanmaktır. Matematiksel olarak optimizasyon, kısaca bir fonksiyonun en küçüklenmesi veya en büyüklenmesi olarak tanımlanabilir. Optimizasyon problemleri, karar değişkenlerinin sürekli ve süreksiz olmasına göre iki kısma ayrılır. Karar değişkenleri süreksiz (kesikli) olanlara kombinatoryal optimizasyon denir (Körez, 2005: 8). Başka bir deyişle, kombinatoryal optimizasyon kesikli nesnelere seçimi, ya da optimal dizinin, grubun veya sıralamanın bulunmasındaki matematiksel çalışmadır. Kombinatoryal optimizasyon problemlerinde, sonlu ya da sayılabilir sonsuz bir kümeden, bir alt kümeyle, nesneye, bir permütasyona ulaşılmaya çalışılır (Körez, 2005: 10).

Kombinatoryal optimizasyon, verilen konumlarda imkanların en uygun kullanımı, müşterilerin en iyi gruplanması, makinelerde işlerin optimal sıralanması, değişik yatırım ihtimalleri arasında optimal seçim ve bunun gibi uygun çözümlerin sonlu bir sayısı ile karakterize edilen problemlerle ilgilenir (Tektaş ve Topuz, 2001: 12). Bu problemlere örnek olarak çizelgeleme, gezgin satıcı, en kısa yol, atama ve araç rotalama problemleri verilebilir.

2.2. Kombinatoryal Optimizasyon Problemlerinin Karmaşıklığı

Kombinatoryal optimizasyon problemleri genellikle tanımlanması kolay, fakat çözülmesi çok zor olan problemlerdir. Buna göre, algoritmaların hesaplama gereksinimleri ve pratikte karşılaşılan problemler *zor* veya *kolay* olarak sınıflandırılmıştır. Problemin zorluk derecesinin bilinmesi problemin çözümü için en iyi yöntemin uygulanmasını sağlar. Hesap karmaşıklığı teorisi, pratikte karşılaşılan problemlerin algoritmaları ve önemli örneklerin her ikisinin de hesaplamalarının sınıflandırılmasını konu alır. Eğer belirli bir problemin her örneğini çözecek bir

polinom zaman algoritması geliştirilebilirse, kombinatoryal optimizasyon problemlerinin bu sınıfı *kolay* olarak adlandırılır ve P ile gösterilir (Tektaş ve Topuz, 2001: 14). Polinom zaman algoritmalarının çözümlenmesi, incelenmesi kolaydır ve bu algoritmalar sorunu kısa sürede çözüme ulaştırır (Biroğul, 2005: 14).

Bir algoritmanın zaman karmaşıklığı, verilen bir problem örneğini çözmek için algoritmanın gereksinimi olan aritmetik işlem adımlarının sayısı ile ölçülür. k bir sabiti ve n problem uzayının boyutunu göstermek üzere, bir problem $O(n^k)$ hesap karmaşıklığında bir algoritmaya sahipse, bu problem kolaydır. Burada $O(n^k)$;

$$a_k n^k + a_{k-1} n^{k-1} + \dots + a_1 n + a_0$$

şeklinde bir fonksiyonu ifade eder. Bu şekilde bir karmaşıklık, polinom mertebeden olarak ifade edilirken; algoritma k . mertebeden polinom zaman algoritması olarak adlandırılır (Tektaş ve Topuz, 2001: 14).

İşlem süresi $T(n) = O(g(n))$ olan bir A algoritması ele alınsın. Eğer $g(n)$, n 'in polinom fonksiyonu ise A algoritması polinom zaman algoritması olarak adlandırılır. Örneğin $T(n) = O(n^{100})$ ise A polinom zaman algoritmasıdır (Leung, 2004: 2). Diğer bir yandan, çalışma zamanı $x > 1$ için en az x^n kadar hızla artan algoritmaya *üstel zaman algoritması* denir (Tektaş ve Topuz, 2001: 8). Örneğin, $T(n) = O(2^n)$ ise A üstel zaman algoritmasıdır. Üstel fonksiyonlar, polinom fonksiyonlara göre daha hızlı büyüdükünden, üstel zaman algoritmaları küçük boyutlu problemler haricinde pratik değildir (Leung, 2004: 2). Eğer bir problem için o problemi çözecek etkili algoritmalar bulunamazsa, bu problem *zor* olarak adlandırılır. Polinom zaman algoritması ile çözülemeyen *zor* problemler veya üstel işlem zamanı gerektiren problemler, üstel zaman algoritması ile ele alınır (Tektaş ve Topuz, 2001: 14).

Deterministik olmayan algoritmalar yardımıyla polinom zamanda çözülebilen karar problemlerinin sınıfı NP (Non-Deterministic Polynomial Time) sınıfı olarak adlandırılır. NP , NP -Tam (NP -Complete) olarak adlandırılan problemlerin bir alt kümesini içerir. Bu alt kümedeki, her bir problem, NP sınıfına aittir. Eğer bu problem için etkili bir algoritma mevcutsa, NP sınıfındaki her bir problem için etkili bir algoritma mevcuttur. (Örneğin $P=NP$). Bunun anlamı, NP -Tam sınıfı problemlerinin NP sınıfındaki en zor problem sınıfı olmasıdır. Eğer NP sınıfındaki bütün problemler

polinom olarak bir probleme indirgenebilirse, bu problem *NP-Zor (NP-Hard)* sınıfına aittir denir. Başka bir deyişle, eğer bir problem *NP-Zor* sınıfına aitse, sadece $P=NP$ olan bir polinom zaman algoritması ile çözülebilir. Bu problem sınıfları arasında $P \subseteq NP$ ve $NP-Tam \subseteq NP$ şeklinde bir ilişki vardır (Tektaş ve Topuz, 2001: 14;16). P sınıfındaki bir problem, çözüm zamanı problem boyutunun polinom fonksiyonu olarak artan bir algoritma ile çözülebilir. Örneğin atama ve şebeke akış problemleri P sınıfında yer alan kombinatoriyal optimizasyon problemlerindedir. *NP-Zor* sınıfındaki problemlerin çözümü için ise polinom zamanlı bir algoritma yoktur; çünkü optimum çözümü bulmak için gerekli süre, problem boyutuna bağlı olarak üstel artış göstermektedir. *NP-Zor* sınıfındaki problemler için dal sınır ya da kesme düzlemi gibi etkin yöntemlerin başarısız olmasının nedeni, bu yöntemlerin de üstel sınırlara sahip olmasıdır. *NP-Zor* yapıya sahip kombinatoriyal optimizasyon problemlerine örnek olarak ise karesel atama, gezgin satıcı, montaj hattı dengeleme, araç rotalama, çizelgeleme ve yer seçimi problemleri verilebilir (Tapkan, 2010: 2).

Karmaşıklık teorisi çizelgeleme araştırmalarında önemli bir araçtır. Yeni bir çizelgeleme problemi ile karşılaşıldığında denenecek ilk şey problemi çözmek için etkin bir algoritma geliştirmektir. Maalesef çoğu zaman problem üzerinde çok zaman harcanmasına karşın etkin bir çözüme ulaşılamaz. Bu gibi durumlarda, *NP-Zor* teorisi eldeki problem için etkin algoritma olmadığını göstermede yararlıdır (Leung, 2004: 2-1). Yaklaşık çözüm algoritmaları, problemin gerçek sonucuna yakın olan geçerli bir çözümü kısa sürede bulabilirler. Pratikte karşılaşılan problemlerin çoğu için kesin çözümden ziyade kısa sürede yaklaşık bir çözümün bulunması istenmektedir. Bu nedenle, pratikte karşılaşılan *NP* problemlerin çözümünde probleme özgü olarak sezgisel yöntemler yardımıyla geliştirilen algoritmalar kullanılır (Biroğul, 2005: 14).

2.3. Sezgisel Yöntemler

Sezgisel kelimesi, eski Yunancada “problemleri çözmek için yeni yöntemler geliştirme” ya da “problem çözme sanatı” anlamına gelen “heuriskein” kelimesinden gelmektedir. Yöneylem araştırmasında sezgisel terimi, tam çözümü bulunması zor hatta imkansız olan problemler için makul çözümler bulmada kullanılan yöntemler için kullanılır. Özel olarak optimizasyonda bir sezgisel yöntem, optimale yakın ya da

yaklaşık olarak optimal bir çözüme götüren fakat bunu garanti etmeyen, stratejilere dayanan, hızlı ve pratik bir yöntem anlamına gelir (Aladağ, 2009: 6).

Problem boyutunun çok büyük olduğu ya da problemin küçük alt problemlere ayrılmasının zor olduğu kombinatoriyal optimizasyon problemlerine kesin yöntemlerle çözüm bulmak mümkün olmamakta ve bu problemlerin çözümünde sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Sezgisel algoritmalar, optimum çözümü garanti etmeksizin daha az çözüm zamanı ile optimuma yakın iyi bir çözümü elde etmeyi hedefler (Tapkan, 2010: 1-2). Sezgisel yöntemler, kabul edilebilir zaman içerisinde çözüm ve değerlendirmelerin sayısını azaltma bakımından kombinatoriyal optimizasyon problemleri için etkili olmaktadır. Sezgisel yöntemleri kullanmanın getirdiği diğer bazı avantajlar aşağıdaki gibi özetlenebilir (Aladağ, 2009: 7):

- Sezgisel yöntemler karar verici mekanizma için sadeleştirici olabilir.
- Sezgisel yöntem, herhangi bir tam yöntemin parçası olarak öğrenme amacıyla kullanılabilir.
- Gerçek hayatta karşılaşılan problemler için her zaman matematiksel model kurmak kolay olmayabilir ve problemi basitleştirmek gerekebilir. Bu basitleştirme sonucu oluşan hata, bir sezgisel yöntemin sağladığı optimale yakın çözümün sahip olduğu hatadan daha büyük olabilir.

Kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözümünde klasik sezgisel yöntemlerin yanında meta-sezgisel yöntemler olarak da adlandırılan, Tabu Arama, Tavlama Benzetimi, Genetik Algoritmalar, Yapay Sinir Ağları, Karınca Kolonileri, Yapay Bağışıklık Sistemi gibi, doğadan esinlenerek oluşturulan yöntemler kullanılmaktadır. Meta sezgisel terimi öncelikle, Glover'ın (1986) Tabu Arama yaklaşımından ilk kez bahsettiği makalede geçmiştir ve daha sonra literatürde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Meta sezgisel algoritmalar kısaca, bazı yerel arama yöntemlerini ve ileri düzey farklı stratejileri kullanan yapılara sahip algoritmalar olarak tanımlanabilir (Aladağ, 2009: 8). Bu tez çalışmasında meta sezgisel yöntemlerden Genetik Algoritmalar ve Tabu Arama yöntemleri kullanılacağı için bu bölümde bu iki yöntem açıklanmıştır.

2.3.1. Genetik algoritmalar (GA)

Genetik Algoritmalar (GA), doğada gözlemlenen evrimsel sürece benzer bir şekilde çalışan arama ve eniyileme yöntemidir. Karmaşık çok boyutlu arama uzayında en iyinin hayatta kalması ilkesine göre bütünsel en iyi çözümü arar. GA, problemlerin çözümü için evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit eder (Elen, 2011: 11). GA'ın çalışma yöntemi Darwin'in doğal seçim prensibine dayanır ve doğadaki canlıların geçirdiği evrim sürecini dikkate alır. Amaç, doğal sistemlerin uyum sağlama özelliğini dikkate alarak yapay sistemleri tasarlamaktır (Engin ve Fırlalı, 2002: 28).

GA ilk olarak, Michigan Üniversitesi'nin araştırmacılarından biri olan John Holland, onun çalışma arkadaşları ve öğrencileri tarafından geliştirilmiştir. Araştırmalarındaki amaç; doğal sistemlerin süreçlerini açıklamak ve doğal sistemlerin işlem sürecini içeren yapay sistem yazılımları tasarlamaktır. Bu yaklaşım, hem doğal hem de yapay sistemlerde önemli yenilikler yapılmasına neden olmuştur (Goldberg, 1989: 1). Daha sonra, John Holland'ın öğrencisi David Goldberg'in "Gaz Borularının Genetik Algoritma ile Optimizasyonu" başlıklı doktora tezi ile genetik algoritmaların teorik olmaktan öte piyasalarda uygulanabilir olduğu ispatlanmıştır (Kaya, 2006: 17).

GA, günlük hayatta karşılaştığımız çözümü imkânsız ya da çok zor olan karmaşık problemlerin hesaplanmasında kullanılmaktadır (Taşkın ve Emel, 2009: 13) ve diğer eniyileme yöntemleri kullanılırken büyük zorluklarla karşılaşılan, oldukça büyük arama uzayına sahip problemlerin çözümünde başarı göstermektedir. Bir problemin bütünsel en iyi çözümünü bulmak için garanti vermezler. Ancak problemlere makul bir süre içinde, kabul edilebilir, iyi çözümler bulurlar. GA'ın asıl amacı, hiçbir çözüm tekniği bulunmayan problemlere çözüm aramaktır. Genetik algoritmalar ancak;

- Arama uzayının büyük ve karmaşık olduğu,
- Mevcut bilgiyle sınırlı arama uzayında çözümün zor olduğu,
- Problemin belirli bir matematiksel modelle ifade edilemediği,
- Geleneksel eniyileme yöntemlerinden istenen sonucun alınmadığı alanlarda etkili ve kullanışlıdır (Erbaşıta, 2010: 25).

GA hakkında günümüze kadar birçok bilimsel çalışma yayınlanmıştır ve GA bir çok mühendislik problemi ve modelinin çözümünde kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak; optimizasyon, otomatik programlama, mekanik öğrenme, ekonomi, bağışıklık

sistemleri, ekoloji, öğrenme ve değerlendirme, sosyal sistemler verilebilir (Mitchell,1996: 16). Bunların yanında işletmelerdeki uygulama alanları; finans, pazarlama, üretim, montaj hattı dengeleme, çizelgeleme, tesis yerleşim problemi, atama problemi, hücrenel üretim problemi, sistem güvenilirliği problemi, taşıma problemi, gezgin satıcı problemi, araç rotalama problemi, minimum yayılan araç problemi şeklinde özetlenebilir (Emel ve Taşkın, 2002: 138).

2.3.1.1. Genetik algoritmalarda temel kavramlar

GA, doğal evrim sürecine benzer olduğu için kullanılan terminoloji de evrimsel kuramınki ile hemen hemen aynıdır (Taşkın ve Emel, 2009: 26). GA'nın çalışmasında ve başarılı çözüm değerlerine ulaşmada algoritma yapısında kullanılan kavramların ve bu kavram değerlerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir (Biroğul, 2005: 34). Bu bağlamda, bu kavramlar kısaca açıklanacak olursa:

Gen: Kalıtsal moleküllerde bulunan ve organizmanın karakterlerinin belirlenmesinde rol oynayan kalıtsal birimlere denir (Körez, 2005: 18). Yapay sistemlerde ise gen, yapısında probleme ait en küçük bilgiyi taşıyan birimdir. GA'ın kullandığı programlama yapısında bu gen yapıları GA'ı tasarlayan programlayıcının tanımlamasına bağlıdır (Elen, 2011: 16).

Kromozom: Birden fazla genin bir araya gelerek oluşturduğu olası alternatif çözümleri gösteren diziyeye denir (Körez, 2005: 18). Kromozom üzerinde yer alacak bilgiler; GA'nın, çözüm uzayında en iyi çözümü araması için gerekli olan bilgilerin tümünü içerecek şekilde tasarlanmalıdır. Böylece, genetik işlemler ile daha etkili sonuçları üretmek mümkün olmaktadır (Paksoy, 2007: 21).

Popülasyon: Çözüm bilgilerini içeren kromozomların bir araya gelmesiyle oluşan topluluğa denir. Popülasyondaki kromozom sayısı genetik algoritmayı tasarlayan programlayıcı tarafından belirlenir (Biroğul, 2005: 34). Popülasyon büyüklüğü problemin çözüm süresini etkilemektedir. Popülasyondaki birey sayısının gereğinden fazla olması çözüm süresini uzatırken, az olması ise popülasyonun istenen çözüm değerine ulaşamamasına sebep olabilir (Elen, 2011: 16). Bu nedenle, popülasyondaki kromozom sayısı problemin özelliğine göre genetik algoritmayı tasarlayan tarafından iyi belirlenmelidir (Körez, 2005: 18).

Allele: Bir genin alabileceği değeri gösterir. Daha çok niteleyici değişkenlerde ortaya çıkar. Örneğin, göz renginin bir gende temsil edildiği durumlarda bu genin "allele"leri kahverengi, ela, yeşil, mavi olabilecektir.

Genotip: Bir kromozomun genetik yapısını ifade eder. Genlerin temsil edilmiş biçimi genotipin belirlenmesi sürecini yansıtmaktadır. Örneğin, gen yalnız 0 ve 1 değerleri ile ifade edilebiliyorsa genotipi "1001011" şeklinde olabilecektir (Cura, 2008: 88).

Fenotip: Genotipin fiziksel açıklamasını ifade eder. Her genotip haritasının karşılık geldiği özelliklere karşı bir fenotip olacaktır. Örneğin uzun boy, kıvrıkcık saç, mavi göz bir fenotipken bunların karşılık geldiği bir genotip olacaktır. Amaç fonksiyonu hesaplanmasında fenotip kullanılmaktadır (Cura, 2008: 89).

2.3.1.2. Genetik algoritmaların özellikleri

Karmaşık problemleri hızlı ve optimale yakın olarak çözebilen GA ayrıca, parametrik bir yöntem olduğu için çok geniş aralıkta problem çeşidine uygulanabilmektedir. GA'nın ihtiyaç duyduğu şey problemin karar değişkenlerinin uygun bir yöntemle kodlanması ve neyin iyi olduğunu genetik algoritmaya belirtmek üzere tasarlanan bir uygunluk fonksiyonudur. GA, çözüm uzayını taramaya bir topluluk ile başladıkları için global optimum çözüme yaklaşmak diğer yöntemlere göre daha kolay olmaktadır. Genel olarak, global optimum çözümü bulmayı garanti etmeseler de buna yakın bir sonuca ulaşıldığı bir çok araştırmayla ispatlanmıştır. GA, genellikle rastgele oluşturulan bir başlangıç popülasyonu ile başlar ve bu popülasyon üzerinde seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi operatörlerin uygulanmasıyla problemin her aşamasında en iyiye doğru gidiş sağlanır (Kaya, 2006: 18).

GA, rastsal arama yöntemlerinden olmasına rağmen bazı özellikleri bakımından bu yöntemlerden ayrılır (Taşkın ve Emel, 2009: 25). Bu farklılıklar şu şekilde sıralanabilir (Goldberg, 1989: 7):

- GA parametrelerin kendileri ile değil, parametre kümesinin kodlanmış biçimiyle çalışır.
- GA'nın arama alanı, yığının veya popülasyonun tamamıdır; tek noktada arama yapmaz.

- GA, amaç fonksiyonunun türevlerini ve bir takım ek bilgileri değil, doğrudan amaç fonksiyonunun kendisini kullanır.
- GA'da kullanılan operatörler stokastik yöntemlere dayanır, deterministik yöntemler kullanılmaz.

Ayrıca, GA'nın diğer geleneksel yöntemlere göre bir çok avantajı vardır. Bunlardan en önemli ikisi; karmaşık problemlerin üstesinden gelebilmesi ve amaç fonksiyonunun doğrusal ya da doğrusal olmayan, sabit veya sabit olmayan, sürekli veya kesikli olup olmasına bakmaksızın çeşitli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilmesidir (Yang, 2010a: 41).

2.3.1.3. Genetik algoritmalarda işlem adımları

Bir problemin GA ile çözümünde izlenecek işlem adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Aydemir, 2009: 39):

1. Adım: Olası çözümlerin kodlandığı bir çözüm kümesi oluşturulur, bu çözüm kümesi popülasyon olarak, çözümlerin kodları da kromozom olarak adlandırılır. Problemin türüne göre değişik kodlama şekilleri mevcuttur.

2. Adım: Popülasyondaki her bir kromozom için uygunluk değeri hesaplanır. Bulunan uygunluk değerleri kromozomların çözüm kalitesini gösterir. Uygunluk fonksiyonuna göre iyi çözüm sonuçları veren kromozomlar, yeni popülasyona alınmak üzere seçilir. Problemin türüne göre birçok seçim mekanizması mevcuttur.

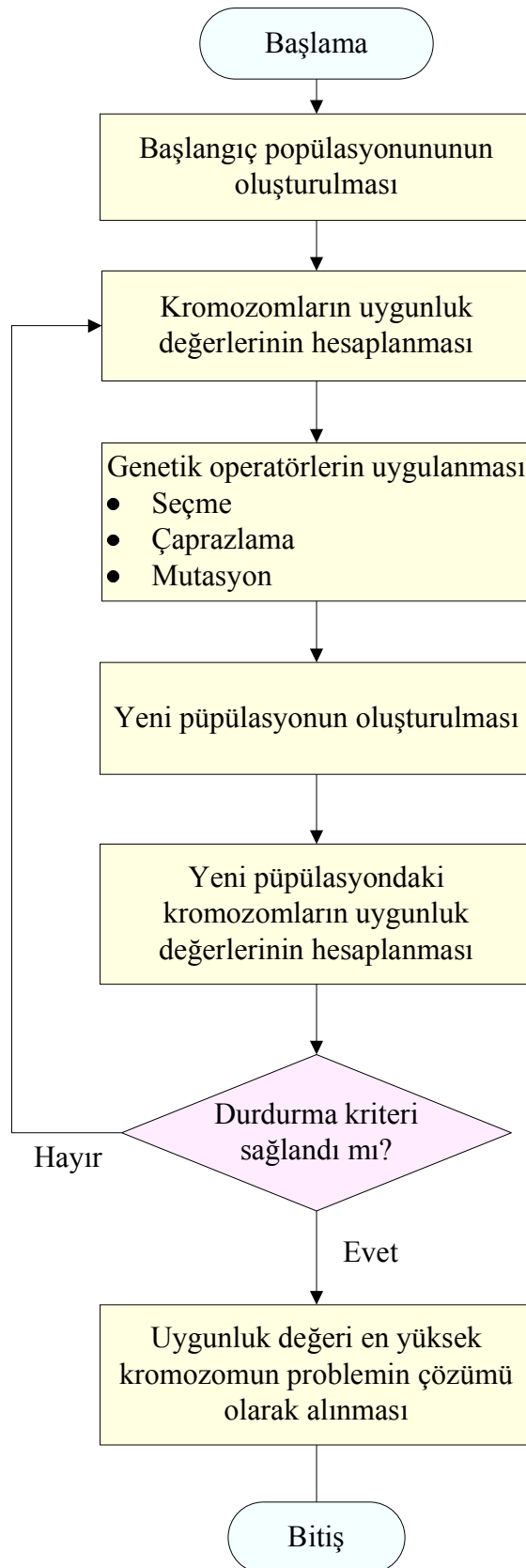
3. Adım: Seçilen kromozomlar eşlenerek, çaprazlama ve mutasyon operatörleri uygulanır bu sayede yeni bir popülasyon oluşturulur.

4. Adım: Tüm kromozomların uygunlukları tekrar hesaplanır.

5. Adım: Eğer, durdurma kriteri sağlanmışsa 6. Adıma, sağlanmamışsa 2. Adıma gidilir. Durdurma kriteri, istenen bir nesil sayısı ya da popülasyondaki durağanlığın gerçekleşmesi olabilir.

6. Adım: O ana kadar bulunmuş uygunluk değeri en yüksek kromozom problemin çözümü olarak alınır.

GA'da izlenen işlem adımlarını gösteren akış diyagramı Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. GA akış diyagramı

2.3.1.4. Genetik algoritmalarda kodlama işlemi

Bir problemin genetik algoritma ile çözümünde ilk olarak kodlama işlemi gerçekleştirilir. Çözümün kodlanması ile probleme özgü bilgiler genetik algoritmanın kullanacağı şekle çevrilir (Taşkın ve Emel, 2009: 33). GA'nın başarısında potansiyel çözümlerin kodlanması kritik bir rol oynar. İyi bir kodlama problemin çözümünü kolaylaştırırken, kötü bir kodlama ise arama sürecini ters yönde etkilemektedir. Başka bir deyişle, herhangi bir probleme GA'nın uygulanmasında kritik nokta etkin aramayı sağlayacak kodlama yapısının tespit edilmesidir (Kellegöz, 2006: 41).

GA'da probleme ilişkin kodlama yapısının seçilmesinde göz önünde bulundurulması gereken iki temel prensip şu şekilde sıralanabilir:

- Kodlama yapısı, problemin anlaşılması açısından kısa ve basit kurallara sahip olmalıdır.
- Problemin doğal yapısını ifade edebilecek şekilde bir kodlama yapısı oluşturabilen en küçük boyutlu alfabe seçilmelidir (Kellegöz, 2006: 51).

Problemlerin yapısına göre farklı kodlama yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler, ikili kodlama, sıralı kodlama ve değer kodlaması olarak sıralanabilir.

2.3.1.4. 1. İkili kodlama

En yaygın olarak kullanılan kodlama yöntemidir. Bu yöntemde kromozomlar 0 ve 1 şeklinde gen değerlerinde kodlanırlar. Bu dizideki her bit, çözümün belirli karakteristiğini temsil eder veya tüm dizi bir sayıyı temsil eder. Genellikle belirli bir fonksiyonun en iyilenmesinde ve sırt çantası gibi problemlerde kullanılır. Şekil 2.2'de ikili düzende kodlama örneği görülmektedir (Aydemir, 2009: 40):

Kromozom X	→	0 0 0 1 1 0 1 0 1
Kromozom Y	→	1 1 0 0 0 1 0 1 0

Şekil 2.2. İkili kodlama yapısı

2.3.1.4. 2. Sıralı kodlama

Sıralı (permütasyon) kodlama yöntemi gezgin satıcı, araç rotalama, çizelgeleme, şebeke tasarımları gibi sıra takibi olan kombinatoriyal optimizasyon problemlerinde kullanılmaktadır. Şekil 2.3'te sıralı kodlamaya bir örnek görülmektedir:

Kromozom X	→	2 5 7 6 4 3 1 9 8
Kromozom Y	→	4 9 6 1 5 7 2 8 3

Şekil 2.3. Sıralı kodlama yapısı

2.3.1.4. 3. Değer kodlaması

Değer kodlama yönteminde ilgili parametre değerleri doğrudan alınır. Bu kodlama karmaşık değerlerin, örneğin gerçek değerlerin kullanıldığı problemler için uygundur. Bu kodlamada her kromozom, bir değerler dizisinden oluşmaktadır. Değerler, probleme göre gerçek sayılar ya da karakterler olabilir (Taşkın ve Emel, 2009: 35). Şekil 2.4'te değer kodlamaya bir örnek görülmektedir:

Kromozom X	→	2.125 4.234 5.643 3.726 0.489 1.632
Kromozom Y	→	B C D F E I F J K H L M O N J F D L T O

Şekil 2.4. Değer kodlama yapısı

2.3.1.5. Genetik algoritmalarda popülasyon oluşturma

GA yaklaşımında, mümkün çözümlerin kodlandığı başlangıç çözüm grubu olmalıdır. Bu çözüm grubuna popülasyon adı verilir. Popülasyon, birden fazla genin bir araya gelerek oluşturduğu diziler yani kromozomlardan oluşur. Kromozomlar, mümkün çözüm alternatiflerinin kodlarını taşır. Kromozomlar aynı zamanda yer aldığı popülasyon için birer bireydir. Genellikle popülasyonda yer alacak kromozom sayısı önceden belirlenir ve çözüm bulununcaya kadar değişmez (Aydemir, 2009: 41). Popülasyon büyüklüğünün küçük değerde olması çözüm uzayının küçük olmasına, bu

da aranan en iyi çözüm değerlerine ulaşamamasına neden olmaktadır. Çözüm uzayının çok büyük değerde olması ise hem GA'nın etkinliğini azaltmakta hem de çözümün farklı noktalarda aranmasına neden olmaktadır (Biroğul ve Güvenç, 2007: 3).

Literatürde, başlangıç popülasyonu en basit şekilde rastsal olarak oluşturulmaktadır. Ancak, özellikle kısıtlı optimizasyon problemlerinde başlangıç popülasyonunun rastsal oluşturulması sonucunda uygun olmayan çözümler ortaya çıkabilmektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak için, problem için geliştirilmiş olan sezgisel yöntemlerden yararlanılabilir (Ceran, 2006: 16) ya da problemin yapısına uygun yeni yöntemler geliştirilebilir.

2.3.1.6. Genetik algoritmalarda uygunluk değeri ve uygunluk fonksiyonu

Uygunluk değeri, popülasyonda yer alan her bir kromozoma ait çözümün hesap değeridir (Aydemir, 2009: 41) ve bu değer, bir sonraki popülasyonu oluşturacak yeni aday çözümlerin elde edilmesi için mevcut popülasyondan hangi aday çözümlerin kullanılacağına belirlenmesinde rol oynamaktadır (Ceran, 2006: 16). Örneğin bir en büyükleme problemi için i . üyenin uygunluk değeri $f(i)$, genellikle o noktadaki amaç fonksiyonunun değeridir. Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksekse, yaşama ve çoğalma şansı o kadar fazladır ve bir sonraki kuşakta temsil edilme oranı da o kadar yüksektir (Emel ve Taşkın, 2002: 133).

Uygunluk fonksiyonu, kromozomların, çözümde gösterdikleri başarı derecesini belirleyen bir değerlendirme fonksiyonudur (Biroğul, 2005: 35) ve kromozomları problemin parametreleri haline getirerek onların bir bakıma şifresini çözmektedir. Bu parametrelere göre uygunluk değeri hesabı yapılarak kromozomların uygunluğu bulunmaktadır. GA'nın başarısı bu fonksiyonun verimli ve hassas olmasına bağlıdır (Biroğul, 2005: 32).

2.3.1.7. Genetik algoritmalarda kullanılan operatörler

GA'da ele alınan probleme göre kodlama yapılıp, başlangıç popülasyonu oluşturularak uygunluk değerleri hesaplandıktan sonra bu popülasyona genetik operatörler uygulanır. Genetik operatörler, var olan popülasyon üzerine uygulanan işlemler olarak tanımlanabilir. Bu işlemlerin amacı, daha iyi özelliklere sahip yeni nesiller üretmek ve aranan en iyi çözüm alanını genişletmektir. Farklı uygulamalarda

farklı operatörler kullanılmakla birlikte genelde üç standart operatör kullanılmaktadır. Bu operatörler şu şekilde sıralanabilir (Kaya, 2006: 23):

- Çoğalma (Seçim, Üreme) operatörü,
- Çaprazlama operatörü,
- Mutasyon operatörü.

Bunlara ilaveten problemlerde sıklıkla kullanılması gereken ve probleme özgü olarak geliştirilen diğer bir operatör de tamir operatörüdür (Elen, 2011: 17). Atölye çizelgeleme gibi kısıtlı en iyileme problemlerinde çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanmasından sonra kromozom yapılarındaki genlerin sıralamaları kısıtları yerine getirmeyebilmektedir. Bu durumda uygunluğu bozulan kromozomları istenilen bilgilere uygun duruma getirmek için probleme göre tamir operatörü tasarlanır (Biroğul ve Yiğit, 2008: 136).

2.3.1.7.1. Çoğalma operatörü

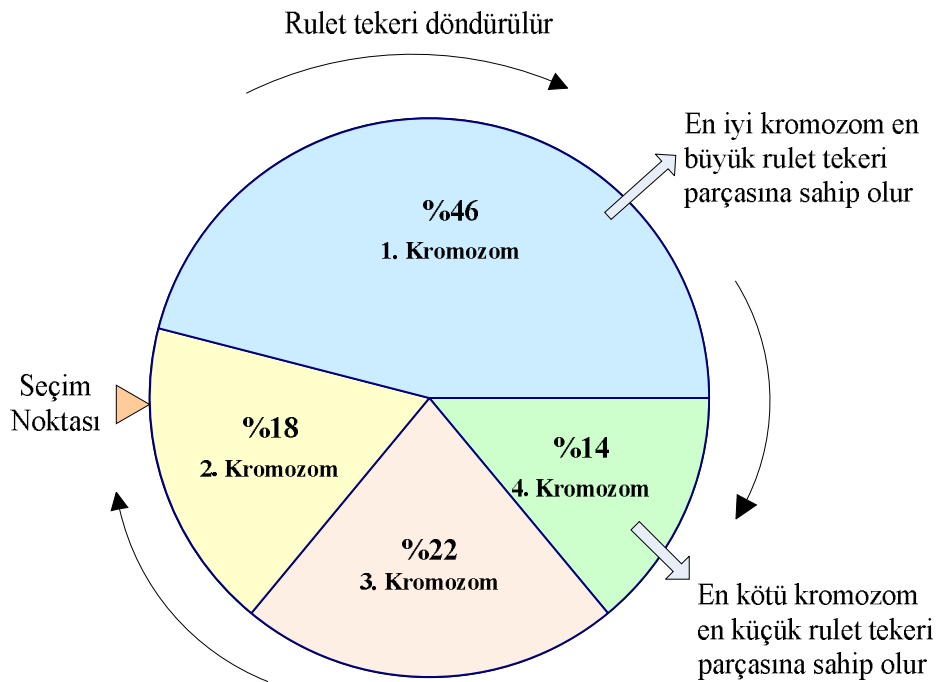
Çoğalma operatörü, başlangıç popülasyonunda rastsal olarak üretilen kromozomların uygunluk değerlerine göre yeni bir popülasyon oluşturma işlemidir. Bu işlem, ilerleyen nesillerde daha yüksek uygunluk değerlerine sahip bireylerin oluşmasını sağlar (Kaya, 2006: 23).

Çoğalma; kromozomların seçilmesi, seçilmiş kromozomların bir eşleşme havuzuna kopyalanması ve havuzda kromozomların genelde çiftler halinde gruplara ayrılması işlemlerinden oluşmaktadır. Literatürde çoğalma operatörü, seçim ya da üreme operatörü olarak da geçmektedir (Taşkın ve Emel, 2009: 46).

Çoğalma operatörleri, genel olarak "en iyi olan yaşar" prensibine dayalıdır. Amaç; yeni nesilde daha yüksek uygunluk değerine sahip kromozomların sayısını arttırmaktır. Uygunluk değeri yüksek olan kromozomların sonraki nesile aktarılma olasılıkları daha yüksek olsa da; çoğalma operatörü, daha düşük değere sahip kromozomların da seçilmesine olanak sağlayacak şekilde dengeli olmalıdır. Aksi takdirde popülasyon tamamen iyi kromozomlardan oluşabilir. Bu durumda sonraki nesillerdeki kromozomların uygunluk değerlerinin iyileşmesini önleyecek farklılıklar kaybolabilir (Elen, 2011: 17). Literatürde önerilen çeşitli çoğalma operatörleri

mevcuttur. Bunlar, "rulet tekeri yöntemi, sıralama yöntemi, turnuva yöntemi, kararlı durum yöntemi ve elitizm" olarak sıralanabilir.

Rulet tekeri yöntemi: Rulet tekeri, ilk defa Holland tarafından ortaya atılmış bir yöntemdir. Bu yöntemde, popülasyondaki tüm kromozomların uygunluk değerleri, hesaplanır. Kromozomların uygunluk değerleri toplanarak popülasyonun uygunluk değeri elde edilir. Her kromozomun uygunluk değeri, popülasyonun uygunluk değerine bölünerek, kromozomların seçilme olasılıkları elde edilir. Kromozomlar, seçilme olasılıkları ölçüsünde rulet tekerinde yer alırlar. Böylece rulet tekeri üzerinde yüksek olasılık değeri ile temsil edilen kromozomların seçilme olasılıkları artmaktadır (Paksoy, 2007: 24). Şekil 2.5'te verilen rulet tekeri üzerinde, popülasyondaki her bir kromozom uygunluk değerine göre yer almaktadır.



Şekil 2.5. Rulet tekeri yöntemine örnek

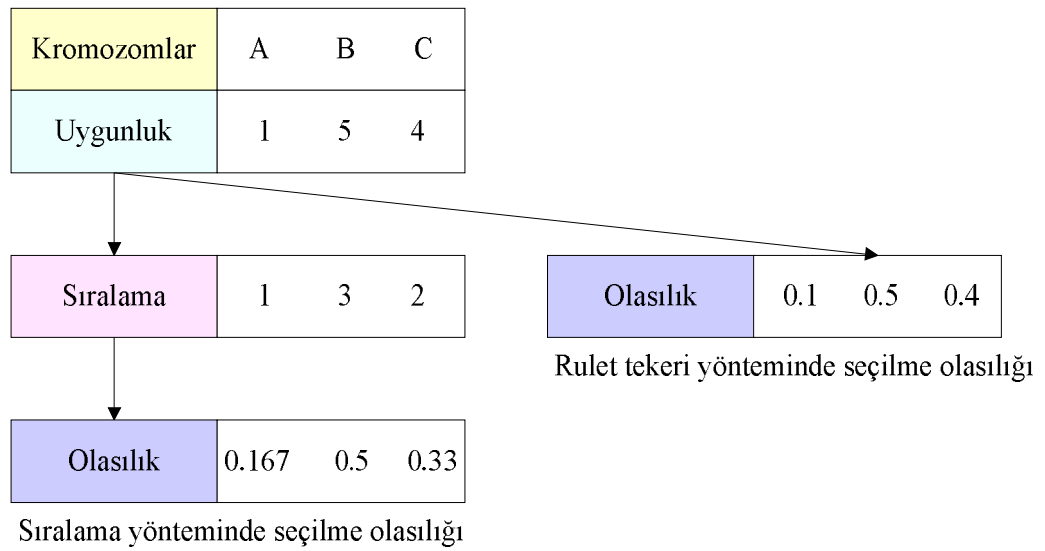
Bu yöntemde, öncelikle rulet tekeri döndürülür ve daha sonra sıfır ile toplam uygunluk değeri arasında rastgele bir sayı üretilerek bu sayının rulet tekerinin hangi parçasına karşılık geldiğine bakılarak kromozom seçilir. Böylece rulet tekerinin bir kez döndürülmesi ile bir sonraki nesile aktarılacak kromozomlardan bir tanesi seçilmiş olur. Benzer şekilde, diğer kromozomlar da belirlenerek eşleşme havuzuna alınır (Biroğul, 2005: 38). Ancak, bu seçim yönteminde uyum değeri büyük olan bireylerin seçilme

olasılığı yüksek olduğu için, hep aynı kromozomların seçilmesine neden olmaktadır. Bu da popülasyon içindeki çeşitliliği etkileyerek sorun yaratabilmektedir (Elen, 2011: 18).

Sıralama yöntemi: Bu yöntemde en kötü çözüm 1 numaralı sıraya yazılır ve en iyi çözüme kadar her bir çözüme, 1 arttırarak N_{iyi} 'e kadar sıra numarası verilir. Burada N_{iyi} eşleştirme havuzuna eşleştirilmek üzere seçilen kromozom sayısını ifade etmektedir. n ise bir kromozomun sıra numarasına karşılık gelmektedir. Tüm bu durumlar dikkate alındığında bir kromozomun seçilme olasılığı (P_n) eşitlik (2.1) ile hesaplanır (Şahin, 2009: 42).

$$P_n = \frac{n}{\sum_{n=1}^{N_{iyi}} n} \quad (2.1)$$

Rulet tekeri, sık kullanılan basit bir yöntem olmasına karşın, eğer bireylerin uygunluk değerleri arasındaki fark çok fazla ise kötü çözümlere çok az bir seçim şansı tanımaktadır. Sıralama yönteminde ise kromozomun seçilme şansı, sıralanan liste içindeki yerine bağlıdır ve her kromozomun seçilme şansı vardır (Elen, 2011: 18). Sıralama seçim yöntemine örnek Şekil 2.6'da görülmektedir (Talbi, 2009: 208).

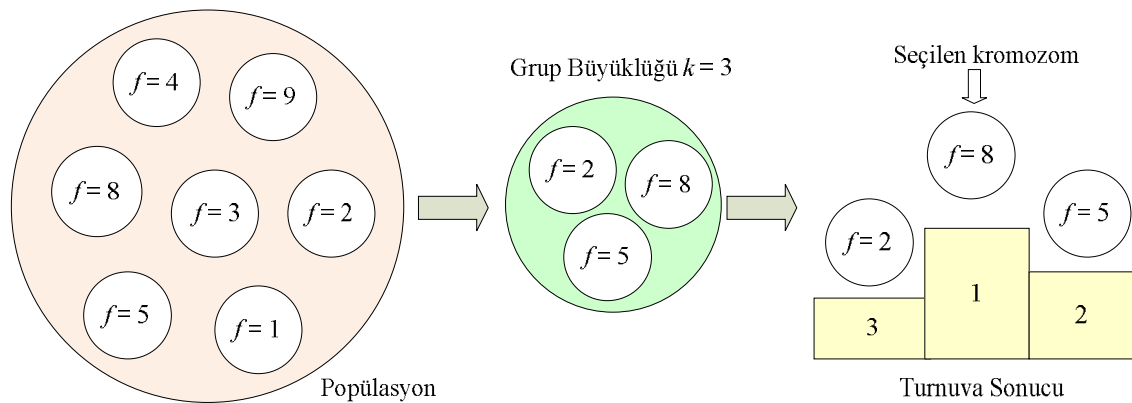


Şekil 2.6. Sıralama yöntemine örnek

Turnuva yöntemi: Bu yöntemde, kromozomlar rastgele olarak gruplanır ve gruptaki kromozomlar aralarında seçim işlemi yapılmak üzere rekabete sokulur. Grup içinde en yüksek uygunluk değerine sahip olan kromozom, yeni nesili oluşturmak için

seçilir. Bu işlem, toplam kromozom sayısına ulaşıncaya kadar devam eder. Bu yöntemde grup büyüklüğü önemlidir ve seçim yönteminin performansını önemli ölçüde etkiler. Genellikle, grup büyüklüğü iki olarak alınır ancak, bu sayının artırılması da mümkündür (Ceran, 2006: 18).

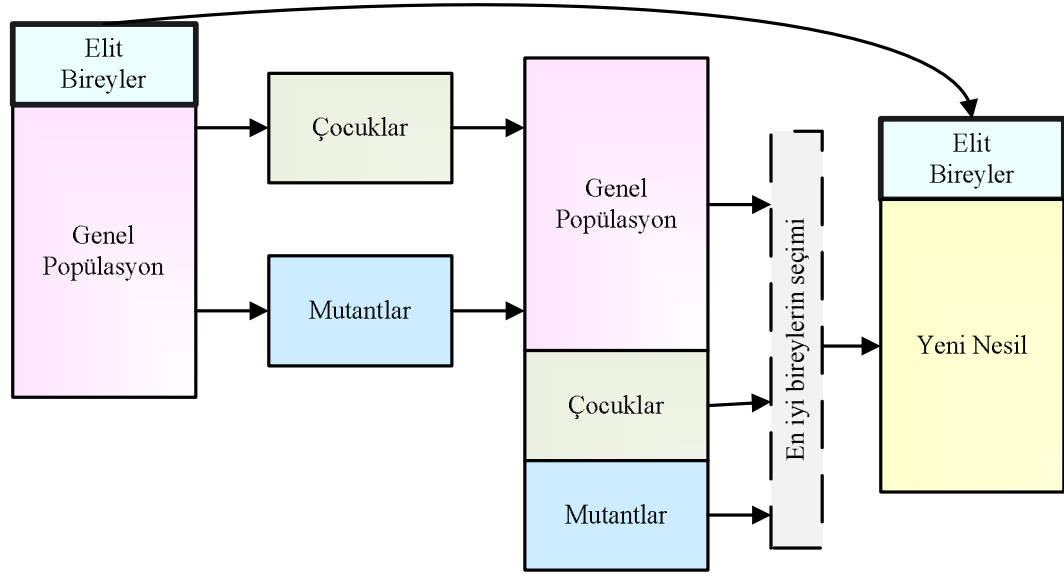
Turnuva yöntemi, küçük popülasyonlu uygulamalarda, uygunluk değeri orantılı çoğalma yöntemlerinden daha iyi sonuç verir. Şekil 2.7'de turnuva yöntemine bir örnek görülmektedir. Popülasyondaki bireylerin uygunluk değerleri f ile bireyler arasından rastgele seçilen grup büyüklüğü k ile gösterilmiştir (Elen, 2011: 19).



Şekil 2.7. Turnuva yöntemine örnek

Kararlı durum yöntemi: Bu yöntemin temel mantığı, seçilen büyük kromozom parçalarının yeni nesiller için hayatta kaldığının kabul edilmesidir. GA'da her bir nesilde seçilen birkaç iyi ya da yüksek uygunluğa sahip kromozomlar ile yeni oğul kromozomlar üretilir. Sonra, bazı kötü ya da düşük uygunluktaki kromozomlar kaldırılarak yeni oğullar ile yer değiştirir. Böylece popülasyonun kalan miktarı yeni nesile aktarılır (Aydemir, 2009: 50).

Elitizm (Seçkinlik): Elitizm, en iyi bir ya da daha fazla iyi çözümü yeni nesile kopyalama işlemini ifade eder. İyi çözümlerin kaybedilmesini önleyerek GA'nın hızlı çözüm vermesini sağlayan önemli bir yöntemdir. Elitler haricinde kalan nüfus çaprazlama ve mutasyon ile elde edilen oğul bireylerden uygunluk değerlerine göre seçilirler. En iyi kromozomların seçimi her nesilde bu şekilde devam eder. Yeni nesilin seçimi Şekil 2.8'de gösterilmiştir (Şahin, 2009: 47).



Şekil 2.8. Yeni nesil seçimi

Elitizm ile bir yandan en yüksek uygunluk değerine sahip bireyin bir sonraki kuşağa aktarılamama olasılığı ortadan kaldırılırken diğer yandan maksimum ya da ortalama uygunluk değerinde beklenen artışın optimum değere yansımaları söz konusu olacaktır (Paksoy, 2007: 23). Elitizm, bulunan en iyi sonucun kaybını önlediğinden GA'nın performansını oldukça hızlı bir şekilde artırır (Alcan, 2008: 69).

2.3.1.7.2. Çaprazlama operatörü

Çaprazlama, yeni nesil oluşturmak üzere genellikle rastsal olarak seçilen iki kromozom arasındaki genlerin değiştirilmesidir. Bu işlemde, kromozomun değişik kısımları yer değiştirilerek yeni nesil üretimi sağlanır. Çaprazlamada amaç, bir önceki neslin kromozom genlerinin yerini değiştirilerek yeni nesil için kromozomlar üretmek ve böylece uygunluk değeri daha yüksek kromozomlar elde etmektir. Bir başka deyişle, çaprazlama operatörünün amacı; mevcut gen havuzunun potansiyelini araştırarak bir önceki kuşaktan daha iyi nitelikler içeren yeni kromozomlar yaratmaktır (Kaya, 2006: 24-25).

İkili düzende kodlanmış değişkenlerde çaprazlama işlemi, kromozomların çaprazlamasına benzemektedir. Ancak, gerçek değerlerin kullanılması gereken problemlerde, klasik çaprazlama yöntemi yerine daha farklı yöntemler kullanılmaktadır (Ceran, 2006: 18). İkili düzende ve sıralı kodlama düzeninde en çok kullanılan çaprazlama yöntemleri ilerleyen bölümlerde verilmiştir. Burada çaprazlama işlemlerinin

gösterilmesinde kullanılan Kromozom X ile Kromozom Y, ebeveynleri (parents) ve Kromozom X' ile Kromozom Y' oğul ya da başka bir deyişle yavru bireyleri (offspring) göstermektedir.

İkili Kodlama Düzeninde Çaprazlama Yöntemleri

İkili kodlama düzeni için çaprazlama yöntemleri, "tek nokta, iki nokta ve üç nokta çaprazlama" yöntemleri olarak sınıflandırılmıştır.

Tek nokta çaprazlama operatörü: Kromozom uzunluğu l olmak üzere, $[0, l-1]$ arasında rastgele bir sayı seçilir ve seçilen nokta çaprazlama noktası olarak kabul edilir. Her iki birey için çaprazlama noktasına kadar yer alan gen hücreleri kromozom parçası olarak yer değiştirilerek çaprazlama işlemi tamamlanır (Aydemir, 2009: 43). Tek nokta çaprazlama operatörüne örnek, Şekil 2.9'da görülmektedir.

Kromozom X	1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1
Kromozom Y	0 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0
Kromozom X'	1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 0
Kromozom Y'	0 1 0 0 0 1 0 0 1 1 1

Şekil 2.9. Tek nokta çaprazlama operatörü

İki nokta çaprazlama operatörü: Bazı durumlarda, tek noktalı çaprazlama operatörü yetersiz kalabilir ya da büyük parçalı blokların bozulması performansı düşürebilir. Bu sebeple iki noktalı çaprazlama yöntemi tercih edilebilir (Elen, 2011: 21). Bu çaprazlama yönteminde kromozom uzunluğu l olmak üzere, $[0, l-1]$ arasında rastgele iki sayı seçilir ve seçilen noktalar çaprazlama noktaları olarak kabul edilir. Her iki birey için çaprazlama noktalarına kadar yer alan gen hücreleri kromozom parçaları olarak yer değiştirilerek çaprazlama işlemi tamamlanır (Aydemir, 2009: 43). Bu yöntem popülasyondaki kromozomların performansını arttırabilir. Şekil 2.10'da bu çaprazlama operatörü için bir örnek verilmiştir.

Kromozom X	1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1
Kromozom Y	0 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0
Kromozom X'	1 0 0 0 0 1 1 0 1 1 1
Kromozom Y'	0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0

Şekil 2.10. İki nokta çaprazlama operatörü

Düzgün (Uniform) çaprazlama operatörü: Düzgün çaprazlamada, öncelikle kromozomlardaki gen uzunluğunda ve rastgele olarak üretilmiş bir bit dizisi (kalıp) oluşturulur. Bu kalıp üzerinde “0” bit değerine sahip olanlar, çaprazlama için gerekli olan geni birinci ebeveynden, “1” bit değerine sahip olanlar ise ikinci ebeveynden alarak çaprazlama yapılır. İkinci oğul birey için bu durumun tersi geçerlidir (Elen, 2011: 21). Şekil 2.11'de bu çaprazlama operatörü için bir örnek verilmiştir.

Kalıp	1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0
Kromozom X	1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1
Kromozom Y	0 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0
Kromozom X'	0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1
Kromozom Y'	1 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0

Şekil 2.11. Düzgün çaprazlama operatörü

Sıralı kodlama düzeninde çaprazlama yöntemleri

Bazı optimizasyon problemlerinin çözümünde yukarıda bahsedilen çaprazlama operatörleri faydalı olmayabilir. Bu tip problemlerde, parametre değerlerinin yanı sıra kullanılan niteliklerin konumu ve düzeni önemlidir. Çizelgeleme problemi ve gezgin satıcı problemi bu tipteki problemlerdir (Elen, 2011: 21). Üretim çizelgeleme problemlerinde sıkça kullanılan sıralı (permütasyon) kodlama düzeninde yer alan çaprazlama yöntemleri; sıralı, pozisyona (konuma) dayalı, sıraya dayalı, kısmi eşleşmeli, dairesel ve alt dizi değiştirme olmak üzere farklı şekilde gerçekleştirilmektedir (Aydemir, 2009: 44).

Sıralı çaprazlama operatörü (OX): Sıralı çaprazlama operatöründe, gen havuzundan rastsal olarak iki kromozom seçilir. Daha sonra Şekil 2.12'de görüldüğü gibi bu kromozomlar üzerinde yine rastsal olarak iki ayrı kesim noktası belirlenir (Goldberg, 1989: 174).

Kromozom X	9 8 4 | 5 6 7 | 1 3 2 10
Kromozom Y	8 7 1 | 2 3 10 | 9 5 4 6

Şekil 2.12. Rastsal iki noktanın seçilmesi

Rastsal iki noktanın belirlenmesinden sonra Şekil 2.13'te görüldüğü gibi, X kromozomunda 2, 3, 10 genleri yerine ve Y kromozomunda 5, 6, 7 genleri yerine H yazılır.

Kromozom X	9 8 4 | 5 6 7 | 1 H H H
Kromozom Y	8 H 1 | 2 3 10 | 9 H 4 H

Şekil 2.13. Kromozomlarda ilgili yerlere H yazılması

Daha sonra, Şekil 2.14'teki gibi her iki kromozomda da H'lar iki kesim noktası arasına taşınır ve diğer genler ikinci çaprazlama bölgesinden başlamak üzere kaydırılarak yerleştirilir.

Kromozom X	5 6 7 | H H H | 1 9 8 4
Kromozom Y	2 3 10 | H H H | 9 4 8 1

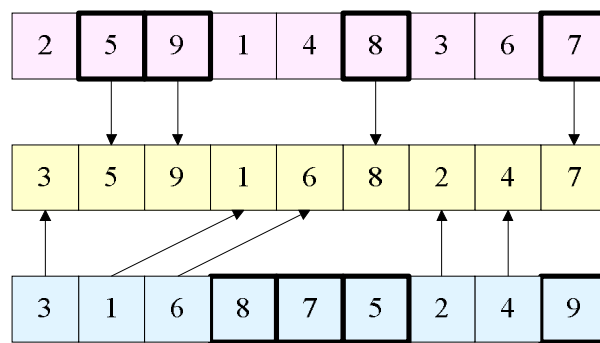
Şekil 2.14. Kromozomlarda H'ların iki kesim noktası arasına taşınması

Son olarak H görülen yerlere kesim noktaları arasında kalan genler karşılıklı değiştirilerek yazılır ve Şekil 2.15'te görülen kromozom X' ile kromozom Y' elde edilir.

Kromozom X'	5 6 7 | 2 3 10 | 1 9 8 4
Kromozom Y'	2 3 10 | 5 6 7 | 9 4 8 1

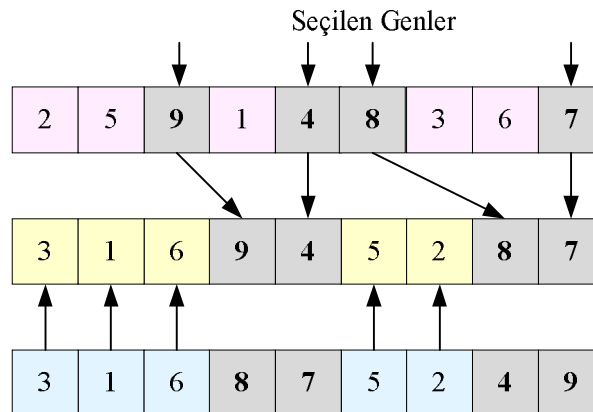
Şekil 2.15. Sıralı çaprazlama operatörü ile elde edilen kromozom X' ve Y'

Pozisyona (Konuma) dayalı çaprazlama operatörü (PBX): Pozisyona dayalı çaprazlama operatöründe rastsal olarak seçilmiş pozisyondaki genler, birinci kromozomdan oğul bireye aktarılır. Diğer genler, diğer kromozomda buldukları sıra ile yerleştirilir. Bu duruma örnek Şekil 2.16'da görülmektedir.



Şekil 2.16. Pozisyona dayalı çaprazlama operatörü

Sıraya dayalı çaprazlama operatörü (OBX): Sıraya dayalı çaprazlama operatöründe, öncelikle birinci kromozomdan bir grup gen rastgele seçilir. Seçilen bu genler dışında kalanlar ikinci kromozomdan pozisyonları korunarak aynen aktarılır. Daha sonra, birinci kromozomda seçilen genler kalan yerlere sıraları korunarak yerleştirilir. Bu tür çaprazlama, kromozomu oluşturan karakterlerin sayı ve sıralarının önem taşıdığı durumlarda kullanılır. Bu çaprazlama operatörüne ait bir örnek Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.17. Sıraya dayalı çaprazlama operatörü

Kısmi eşleşmeli çaprazlama operatörü (PMX): Kısmi eşleşmeli çaprazlama operatöründe tesadüfi olarak kromozomlar üzerinde iki çaprazlama noktası belirlenir. Belirlenen noktalar arasında kalan genler karşılıklı olarak değişim yapılacak eşleşme bölgesini ifade eder. Aynı kromozomda, aynı genin birden fazla bulunması durumunda aralık dışında yer alan, aynı değere sahip olan genler ile diğer kromozomda aynı pozisyona denk gelen genler değiştirilir. Bu operatöre örnek, Şekil 2.18'de görülmektedir (Goldberg, 1989: 171).

Kromozom X	9 8 4 | 5 6 7 | 1 3 2 10
Kromozom Y	8 7 1 | 2 3 10 | 9 5 4 6
Kromozom X'	9 8 4 2 3 10 1 6 5 7
Kromozom Y'	8 10 1 5 6 7 9 2 4 3

Şekil 2.18. Kısmi eşleşmeli çaprazlama operatörü

Bu operatör, gezgin satıcı ve araç rotalama problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip problemlerde dizileri oluşturan genlerin aynı dizi içinde tekrar etmemesi gerekir. PMX tekrarı engelleyen bir yapıya sahiptir. Ayrıca bu operatörde seçilen bir alt dizinin korunması sağlanarak oğul bireye aynen aktarılmaktadır (Elen, 2011: 22).

Dairesel çaprazlama operatörü (CX): Dairesel çaprazlama operatöründe, ilk kromozomdan en baştaki gen seçilir ve bu gen yeni diziye yerleştirilir. Bu gene karşılık gelen ikinci kromozomdaki gen belirlenir; bu değer de yeni kromozom üzerine yerleştirilerek dairesel bir şekilde bütün genler belirlenir (Engin, 2001: 63). Dairesel çaprazlama operatörüne örnek, Şekil 2.19'da görülmektedir (Goldberg, 1989: 175).

Kromozom X	9 8 2 1 7 4 5 10 6 3
Kromozom Y	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Kromozom X'	9 _ _ 1 _ 4 _ _ 6 _
Kromozom Y'	1 _ _ 4 _ 6 _ _ 9 _
Kromozom X'	9 2 3 1 5 4 7 8 6 10
Kromozom Y'	1 8 2 4 7 6 5 10 9 3

Şekil 2.19. Dairesel çaprazlama operatörü

Alt dizi değiştirme çaprazlama operatörü (SXX): Alt dizi değiştirme çaprazlama operatörü ilk olarak Kobayashi, Ono ve Yamamura (1995) tarafından önerilmiştir. Bu çaprazlama operatöründe, X ve Y kromozomlarında aynı genleri içeren bir alt dizi belirlenir. Bu alt diziler X ve Y kromozomlarında karşılıklı yer değiştirilerek X' ve Y' kromozomları oluşturulur. Alt dizi değiştirme çaprazlama operatörüne örnek, Şekil 2.20'de görülmektedir.

Kromozom X	1 2 3 4 5 6 7 8 9
Kromozom Y	9 6 2 1 3 8 4 5 7
Kromozom X'	2 1 3 4 5 6 7 8 9
Kromozom Y'	9 6 1 2 3 8 4 5 7

Şekil 2.20. Alt dizi değiştirme çaprazlama operatörü

2.3.1.7.3. Mutasyon operatörü

Mutasyon operatöründe, var olan bir kromozomun genlerinin bir ya da bir kaçının yerleri değiştirilerek yeni bir kromozom oluşturulur. Mutasyon, çözümün alt optimal noktalara takılmasını önleyen ve çok düşük olasılık değeri ile uygulanan bir operatördür (Kaya, 2006: 25). GA'da belirli bir nesil sayısından sonra, popülasyon içerisindeki bireyler gitgide birbirlerine benzemekte ve bu durum çözüm uzayının daralmasına neden olmaktadır. Bireylere ne kadar çaprazlama operatörü uygulansa da belirli bir nesil sayısından sonra birey çeşitliliği sağlanamamaktadır (Elen, 2011: 26).

Bu nedenle, nesildeki kromozomların çeşitliliğini arttırmak için kromozomlardan bazıları mutasyona uğratılır (Alcan, 2008: 67). Böylelikle popülasyon içindeki bireylerin çeşitliliğinin devamı sağlanmış olunur. Ayrıca, mutasyon oluşan yeni çözümlerin önceki çözümü kopyalamasını önleyerek sonuca daha hızlı ulaşmayı sağlar.

Yapay sistemlerde mutasyon işlemi esnasında kromozomdaki gen sayısı değişmez, sabit kalır. Doğal popülasyonlarda mutasyon oranı oldukça düşüktür. Mutasyon oranı, doğal seleksiyonda olduğu gibi GA işleyişinde de oldukça düşük seçilir (Goldberg, 1989: 14). Mutasyon oranının büyüklüğü GA'nın performansını etkilemektedir. Mutasyon oranına göre, mutasyona uğratılacak kromozomlar popülasyondan rastsal olarak seçilir ve belirlenen mutasyon operatörüne göre değişime uğratılır (Kaya, 2006: 26).

Literatürde, sık kullanılan mutasyon operatörleri "değer değiştirme, ters mutasyon, komşu iki geni değiştirme, keyfi iki geni değiştirme, keyfi üç geni değiştirme, sağa rotasyon ve sola rotasyon" olmak üzere yedi başlık altında incelenebilir:

Değer değiştirme: İkili kodlama düzeninde kodlanmış bir kromozomda herhangi bir genin değerinin 1 iken 0 ya da tersinin yapılması ile gerçekleştirilir. Bu operatöre örnek, Şekil 2.21'de görülmektedir.

Kromozom X	1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1
Kromozom X'	1 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1

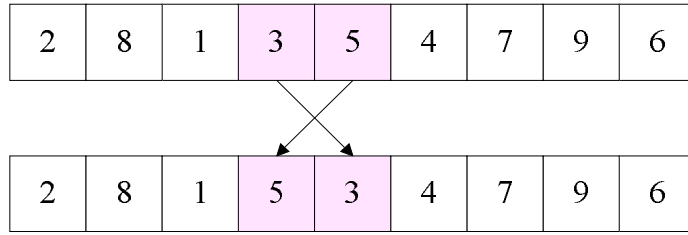
Şekil 2.21. Değer değiştirme

Ters mutasyon: Bir kromozomda rastsal olarak iki nokta seçilir ve bu iki nokta arasında kalan alt dizi ters çevrilir. Ters mutasyona örnek, Şekil 2.22'de görülmektedir.

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

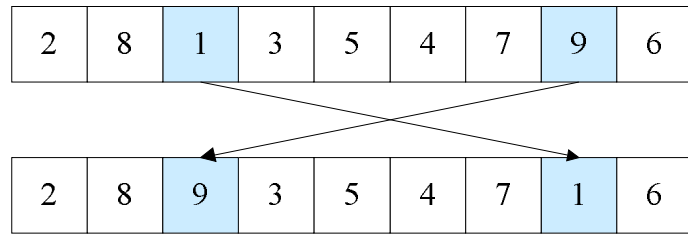
Şekil 2.22. Ters mutasyon

Komşu iki geni değiştirme: Bu operatörde, rastsal olarak seçilen iki komşu gen değiştirilir (Ceran, 2006: 21). Bu operatöre örnek, Şekil 2.23'te görülmektedir.



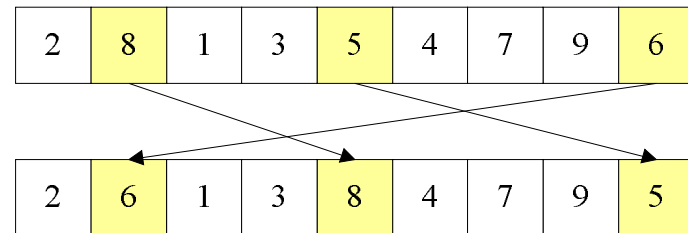
Şekil 2.23. Komşu iki geni değiştirme

Keyfi iki geni değiştirme: Bu operatörde, rastsal olarak seçilen iki gen karşılıklı yer değiştirir. Bu operatöre örnek, Şekil 2.24'te görülmektedir.



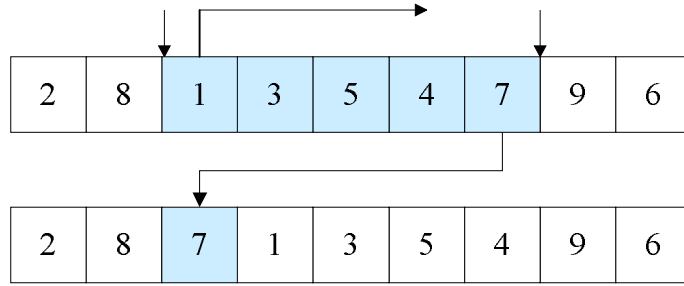
Şekil 2.24. Keyfi iki geni değiştirme

Keyfi üç geni değiştirme: Bu operatörde, rastsal olarak seçilen üç gen keyfi olarak değiştirilir (Ceran, 2006: 22). Bu operatöre örnek, Şekil 2.25'te görülmektedir.



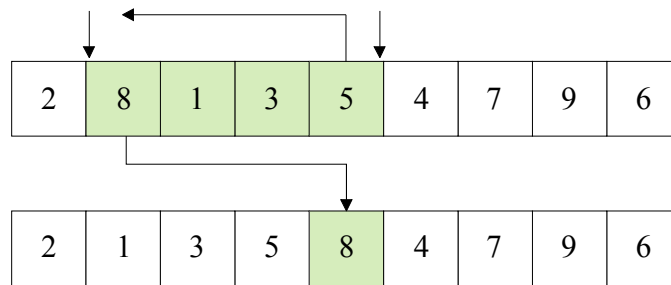
Şekil 2.25. Keyfi üç geni değiştirme

Sağa rotasyon (Kaydırma): Bu mutasyon operatöründe, bir kromozomda rastgele iki nokta seçilir ve seçilen noktalar arasındaki genler kendisinin bir sağına kaydırılır. En sağdaki gen ise en sola yerleştirilir. Böylelikle, gen değerlerine sağa kaydırma uygulanmış olur. Bu operatöre örnek, Şekil 2.26'da görülmektedir.



Şekil 2.26. Sağa rotasyon

Sola rotasyon (Kaydırma): Bu mutasyon operatöründe, öncelikle bir kromozomda rastgele iki nokta seçilir ve daha sonra seçilen noktalar arasındaki genler kendisinin bir soluna kaydırılır. En soldaki gen ise en sağa yerleştirilir. Böylelikle, gen değerlerine sola kaydırma uygulanmış olur. Bu operatöre örnek, Şekil 2.27'de görülmektedir.



Şekil 2.27. Sola rotasyon

2.3.1.8. Genetik algoritmalarda parametre seçimi

GA'nın performansını, kullanılan çoğalma, çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile seçilen çaprazlama ve mutasyon oranları önemli ölçüde etkilemektedir. GA'da uygunluk fonksiyonunun oluşturulması, popülasyon büyüklüğü, çaprazlama ve mutasyon oranlarının seçilmesi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Çünkü, herhangi bir uygun olmayan seçim anlamsız sonuçlar elde edilmesine neden olabilir (Yang, 2010b: 174). Godberg (1989)'a göre GA'da iyi bir performans elde edebilmek için yüksek çaprazlama oranı, düşük mutasyon oranı ve orta büyüklükte popülasyon büyüklüğü tercih edilmelidir (Goldberg, 1989: 71).

De Jong (1975), değişik parametre değerlerinin genetik algoritmanın performansını nasıl etkilediğini incelemiştir. De Jong, yaptığı deneyler sonucunda en iyi

popülasyon büyüklüğünü 50-100, tek nokta çaprazlama oranını 0,60 ve mutasyon oranını da 0,001 olarak bulmuştur. Bu değerler literatürde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır ancak değerlerin De Jong'un problem seti dışında ne kadar iyi sonuç vereceği açık değildir (Mitchell, 1996: 175). Daha sonra Grefenstette (1986), GA optimizasyon yöntemi olarak kullanılabilirdiği için bir başka GA parametrelerini optimize etmede kullanılabileceğini belirtmiştir. Grefenstette'nin deneylerinde popülasyon büyüklüğü 30, çaprazlama oranı 0,95 ve mutasyon oranı 0,01 olarak alınmış ve elitist strateji kullanılmıştır. Schaffer vd. (1989), GA'da geniş bir parametre setini test etmiş ve en iyi popülasyon büyüklüğünü 20-30, çaprazlama oranını 0,75-0,95 ve mutasyon oranını 0,005-0,01 olarak bulmuştur (Mitchell, 1996: 176).

Atölye tipi çizelgeleme problemlerinin GA ile çözümünde, kısa işlem süreleriyle (daha düşük nesil sayılarında) optimum veya optimuma yakın çözümlere ulaşmak için bu parametrelerin seçimi ile ilgili herhangi bir kural mevcut değildir. Herhangi bir problem türü için kullanıldığında GA için optimum veya optimuma yakın çözüm veren bir kontrol parametre seti, başka bir GA uygulaması için genelleştirilemez (Engin ve Fırlalı, 2002: 28).

2.3.1.9. Durdurma kriteri

Çoğalma, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra yeni bir nesil oluşmaktadır. Yeni nesilin uygunluk değeri hesaplanır ve tüm bu işlemler sonsuz döngü içerisinde yapılır. Eğer bir durdurma kriteri belirlenmez ise bu süreç sonsuza dek devam eder (Taşkın ve Emel, 2009: 63). Bu süreç, önceden belirlenen nesil sayısı kadar veya bir hedefe ulaşıncaya kadar ya da başka bir durdurma kriteri sağlanana kadar devam ettirilebilir. İstenen hassasiyet derecesine göre de maksimum iterasyon sayısı belirlenebilmekte ve iterasyon bu sayıya ulaştığında döngü durdurulabilmektedir. Durdurma kriteri iterasyon sayısı olabileceği gibi hedeflenen uygunluk değeri de olabilmektedir (Emel ve Taşkın, 2002: 135). Literatürde çeşitli durdurma kriterleri kullanılmaktadır, en sık kullanılan durdurma kriterleri üç başlık altında özetlenebilir:

Hesaplama zamanı kriteri: Bu yöntemde önceden bir hesaplama zamanı veya döngü sayısı belirlenmekte, bu zaman veya döngü sayısına ulaşıldığında durdurulmaktadır. Bu yöntemde belirlenen döngü sayısı gerektiğinden fazla ya da eksik olabilir (Elen, 2011: 28).

Optimizasyon hedefi kriteri: Önceden ulaşılmaması istenen amaç fonksiyonu değeri bilinmektedir. Uyum değeri bu değere ulaştığında algoritma durdurulmaktadır (Taşkın ve Emel, 2009: 63).

Minimum iyileşme kriteri: Bu yöntem, nesiller boyunca iyileşme miktarları arasındaki farkların alınarak iyileşmenin giderek azaldığı bir döngüde algoritmanın durdurulmasını içermektedir. Uyum fonksiyonunun çözüm sırasındaki seyri izlenerek algoritmanın ne zaman durdurulacağı tespit edilmektedir (Taşkın ve Emel, 2009: 64). GA problemlerinde bulunan en iyi çözümler önce hızlı daha sonra yavaş yavaş artış göstermektedir. Bulunan değerlerdeki iyileşme hızının giderek azalması ve sifıra yaklaşması, artık daha fazla iyileşme beklenmemesi gerektiğini gösterebilmektedir. Bu durumda, çözüme harcanacak zaman ile çözümden beklenecek kalite arasında bir denge kurularak durdurma gerçekleştirilir (Elen, 2011: 28).

2.3.2. Tabu arama

Tabu, sözlüklerde herhangi bir şeyin dini veya ahlaki sebeplerle yasaklanması olarak tanımlanmaktadır. Optimizasyon problemlerinde ise, optimum çözümü elde etmek için kullanılan yasaklar ve kısıtlamaları ifade etmektedir (Değertekin vd., 2006: 3918). Tabu Arama (TA), kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan sezgisel bir yöntemdir (Glover, 1989: 190). TA'nın temeli 1960'lı yılların sonu ve 1970'li yılların başlarına kadar gitse de günümüzdeki şekli Glover (1986) tarafından önerilmiştir ve TA bir çok alanda hızla yayılan bir optimizasyon yaklaşımı haline gelmiştir. Aynı zamanda, TA'nın temel fikirleri Hansen (1986) tarafından geliştirilmiştir (Glover vd., 1993: 4).

TA, daha önce incelenmiş belirli sayıda çözümü, tabu listesi olarak adlandırılan bir listede tutarak, başka bir deyişle bir hafıza fonksiyonu oluşturularak o çözümlere dönmeyi bir müddet yasaklar ve böylece aramayı çözüm uzayının daha iyi noktalarına yönlendirerek yerel optimumlardan kurtulur (Cura, 2008: 65). TA, yerel optimuma takılma riskinin üstesinden gelmesinin yanında doğrusal programlama algoritması ve özel sezgisellerden yararlanma yeteneğine de sahiptir (Glover, 1989: 190).

Yerel arama yöntemleri, mümkün çözümlerin sadece küçük bir kısmıyla, birçok problemi en iyi şekilde çözme veya en iyi çözümü verme yeteneğine sahiptir. Burada mümkün çözümlerden kasıt mevcut çözümün komşularının araştırılmasıdır. Bu esnada

karşılaşılan problemlerden birisi yerel optimum çözüme takılmadır ve bu durum aşırı zaman kaybına sebep olur (Çivril, 2009: 11). Bu nedenle, TA algoritmasının oluşturulmasında temel alınan iki unsur, daha önce denenmiş çözümlerin yeniden işleme alınmaması ve yerel optimum noktadan uzaklaşıp global optimum çözüme ulaşılabilmesidir (Çivril, 2009: 12).

TA algoritması, bir başlangıç çözümü ile aramaya başlar. Algoritmanın her iterasyonunda tabu olmayan bir hareket ile mevcut çözümün komşuları içerisinde bir tanesi seçilerek değerlendirilir. Eğer amaç fonksiyonunun değerinde bir iyileştirme sağlanmışsa komşu çözüm, mevcut çözüm olarak dikkate alınır (Gündüz, 2005: 25). Ancak komşu çözümlerinin çok sayıda olduğu bir araştırma işleminde bütün komşuları incelemek araştırmaya aşırı yük getirebileceğinden, komşu çözüm sayısının azaltılması gereklidir (Gülcü, 2006: 14). Bu nedenle, daha önce yapılan hareketlere tekrar dönüş yapmayı engellemek için yöntem bir veya daha fazla tabu listesini hafızasında tutar. Eğer bir komşu çözüm aday, tabu listesinde yer alan bir çözümle aynıysa, bu durumda bu çözüm zaten daha önce denenmiş olacağından değerlendirme dışı bırakılmaktadır (Tosun, 2011: 54). Yapılan bir hareketin ne kadar süreyle tabu listesinde kalacağı tabu listesi uzunluğu (tabu süresi) ile belirlenir. Tabu olan hareketlerin sayısı, tabu liste uzunluğuna eriştiğinde tabu listesinin en başında olan en eski hareket listeden çıkarılır. Liste, bir sıra yukarı hareket ettirilerek listenin ikinci sırasındaki hareket birinci sıraya, üçüncü sırasındaki hareket ikinci sıraya gelir bu şekilde devam edilerek en son tabu olan hareket sondan bir önceki sıraya gelir. Boşalan son sıraya ise yeni yapılan hareket yerleşir. Belirlenen durdurma kriteri sağlanıncaya kadar her iterasyon için bu işlemler tekrarlanır (Değertekin vd., 2006: 3919).

TA günümüze kadar çizelgeleme, tasarım, yerleşim ve tahsis, yapay zeka, teknoloji, telekomünikasyon, üretim, stok ve yatırım, rotalama, çizge optimizasyonu ve genel kombinatoriyal optimizasyon problemleri gibi birçok farklı alanda uygulanmıştır. TA'nın uygulama alanları Tablo 2.1'de özetlenmiştir (Glover ve Laguna, 2011: 2):

Tablo 2.1. TA'nın uygulama alanları

<p>Çizelgeleme Hücrel üretim Homojen olmayan işlemci çizelgeleme İşgücü planlama Sınıf çizelgeleme Makine çizelgeleme Akış tipi çizelgeleme Atölye tipi çizelgeleme Sıralama ve partileme</p> <p>Tasarım Bilgisayar destekli tasarım Hataya dayanıklı ağlar Ulaşım ağı tasarımı Mimari mekan planlama Sabit bedelli ağ tasarımı Düzensiz kesme problemleri</p> <p>Yerleşim ve Tahsis Tedarik zinciri analizleri Çok ürünlü yerleşim / tahsis Karesel atama Karesel kısmi atama Çok aşamalı genel atama Tesis planlama Açık denizde petrol arama</p> <p>Mantık ve Yapay Zeka Maksimum sağlanabilirlik Olasılıklı zeka Kümeleme Örüntü tanıma / sınıflandırma Veri bütünlüğü Sinir ağları / eğitime ve tasarım</p> <p>Teknoloji Sismik değişme Elektrik dağıtımı Mühendislikte yapısal tasarım Enerji kaynaklarının koordinasyonu Uzay istasyonu inşası DNA sıralama Devre yerleşimi Bilgisayar destekli moleküler tasarım</p>	<p>Telekomünikasyon Çağrı yönlendirme Servisler için ağ tasarımı Rota atama Müşteri indirim planlama Eş zamanlı optik ağlar</p> <p>Üretim, Stok ve Yatırım Esnek üretim Tam zamanında üretim Kapasiteli malzeme ihtiyaç planlama Parça seçimi Çok ürünlü stok planlama Toptan satın alma indirimi Sabit karma yatırım</p> <p>Rotalama Araç rotalama Kapasiteli rotalama Filo rotalama Gezgin satıcı Gezgin satın alıcı</p> <p>Çizge Optimizasyonu Çizge parçalama Çizge boyama Maksimum klik problemi Maksimum planlayıcı çizge P-medyan problemleri</p> <p>Genel Kombinatoriyal Optimizasyon 0-1 programlama Sabit bedelli optimizasyon Doğrusal olmayan programlama Ayrık optimizasyon Hiper düzlem ayırma Karma tamsayı optimizasyon</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.3.2.1. Tabu aramanın temel kavramları

TA, sözel ya da sembolik ifadeler içeren çeşitli karar problemlerine, matematiksel olarak formüle etmeye gerek duymadan uygulanabilmektedir. Bununla birlikte, TA ile ilgili temel kavramları ve TA'nın çalışma prensibini açıklayabilmek adına aşağıda belirtilen şekilde bir kombinatoryal optimizasyon problemi tanımlanabilir (Glover ve Laguna, 1997: 25):

Amaç: $f(x)$ fonksiyonunu optimize etmek (en küçükleme ya da en büyükleme)

Kısıtlamalar: $x \in X$

Bu tür problem sınıfı; $x \in X$ kısıtı altında, $f(x)$ amaç fonksiyonunun optimize edilmesi (en küçükleme ya da en büyükleme) şeklinde tanımlanır. $f(x)$ doğrusal veya doğrusal olmayan fonksiyon olabilir ve X , x karar değişkenleri vektörü üzerindeki kısıtları ifade eder. Kısıtlar, doğrusal veya doğrusal olmayan eşitsizlikleri içerebilir ve x 'in tüm ya da bazı bileşenlerini kesikli değerler almaya zorlayabilir (Glover ve Laguna, 1997: 25). Bu tanımlamalardan yola çıkarak, TA ile ilgili temel kavramlar kısaca açıklanacak olursa:

Başlangıç Çözümü: TA'da başlangıç çözümü, rastsal olarak seçilebileceği gibi ilgilenilen problem için geliştirilmiş bir sezgisel algoritmadan yararlanarak da oluşturulabilir (Gündüz, 2005: 26). İzleyen diğer tüm çözümlere başlangıç çözümündeki bilgilerin kullanımı ile ulaşıldığından başlangıç çözümü kritik öneme sahiptir. Bu nedenle başlangıç çözümünü rastsal olarak belirlemek yerine daha iyi bir noktadan başlamak amacıyla, farklı bir tekniğin çıktısı olan bir çözümün başlangıç çözümü olarak kabul edilmesi tercih edilir (Özsoydan, 2011: 37).

Hareket: TA, sıradan bir lokal arama veya komşuluk arama algoritması gibi çalışmaya başlar ve işlem, belirlenen durdurma kriteri sağlanana kadar bir noktadan (çözümünden) diğerine tekrarlanır. Her $x \in X$, $N(x) \subset X$ şeklinde bir komşuluğa sahiptir ve x çözümünden bir $x' \in N(x)$ çözümüne gitmek için yapılan işlem, *hareket* olarak tanımlanır (Glover ve Laguna, 1997: 25). Mevcut bir çözümde yapılan bir değişiklikle yeni çözümün elde edilmesi hareket mekanizmasıyla gerçekleştirilir. Hareket mekanizmasındaki olası hareketler, mevcut çözümün komşularını oluşturur (Gündüz, 2005: 26). Hareket mekanizması, tüm sezgisel algoritmalarda olduğu gibi, TA

yönteminde de aramanın performansını etkileyen en önemli bileşenlerden biri olduğundan, problemin yapısına göre uygun bir şekilde belirlenmelidir (Aladağ, 2009: 9).

Komşu çözüm: Bir hareketin sonucu olarak x mevcut çözümünden yaratılan bir çözüme komşu çözüm denilir ve x' ile gösterilebilir. Her bir $x \in X$ çözümü, ilgili bir $N(x) \subset X$ komşular kümesine sahiptir. Tanımlanan hareket türü ile x çözümünden $N(x') \subset X$ komşu çözümüne ulaşılır. Normalde komşuluk ilişkisinin simetrik olduğu varsayılır. Yani x' , x çözümünün bir komşusu ise x de x' çözümünün bir komşusudur. Tanımlanan komşuluk yapısı, TA algoritmasının işleyişini etkileyen en önemli faktörlerden biridir (Aladağ, 2009: 9).

Tabu kısıtlaması: Hareketlerin seçilmiş niteliklerini tabu yaparak önceden ziyaret edilmiş çözümlere geri dönmekten kaçınmak için yaratılan yasaklamalardır. Aramanın yerel optimal içeren bir bölgede sıkışıp kalmasını engelleyerek, böyle bölgelerin aşılmasına olanak sağlar (Aladağ, 2009: 11).

Tabu listesi: Aramanın her defasında bazı çözümler arasında gidip gelmesini engellemek amacıyla önceden ziyaret edilmiş komşuluklara giden hareketlerin, yani tabu hareketlerin listesi çıkarılmaktadır ve bu listeye *tabu listesi* adı verilmektedir. Tabu listesi, en son yapılan hareketlerden meydana gelmektedir; böylece, algoritmanın çevrimi önlemesi ve aramayı keşfedilmemiş bölgelere yönlendirmesi sağlanmaktadır (Çelik, 2008: 47). Tabu listesi oluşturulurken her döngüdeki en iyi çözüm listeye alınmakta, listenin dolduğu durumda listedeki ilk kayıtlar yani başlangıçtaki çözümler listeden atılıp, son döngülerde elde edilen çözümler listeye alınmaktadır. Tabu listesi ilk en iyi çözüm kümesinin oluşturularak hafızaya alınması ile oluşturulur. Tabu listesi oluşturmanın önemli bir kuralı da giriş değerleri oluşturulurken çeşitli filtreli işlemlerden geçirilmesidir (Tosun, 2011: 54).

Tabu listesi uzunluğu (Tabu süresi): Belirli bir tabu niteliği barındıran bir hareketin ya da çözümün yasaklı kalma süresidir. Bazı nitelikler, bir tabu kısıtlamasına diğerlerinden daha güçlü katkıda bulunabileceğinden, tabu kısıtlamasını tanımlayan bu farklı niteliklerin tabu liste uzunluğunun belirlenmesinde farklı değerler kullanılması yararlı olabilmektedir. Bu durumda, kısıtın fazla katı olmasından kaçınmak için sözü edilen niteliklere daha kısa bir tabu liste uzunluğu verilmelidir (Aladağ, 2009: 12).

TA'da tabu listesi uzunluğunun (tabu süresinin) doğru belirlenmesi oldukça önemlidir. Eğer tabu listesi çok uzun tutulursa, aramada hareketlerin çoğu tabu olacağından TA'nın hareket kabiliyeti azalacaktır. Aksine tabu liste uzunluğunun kısa seçilmesi durumunda ise, aynı çözümler etrafında çevrim olabileceğinden arama başlangıç çözümünün yakınında yerel bir optimuma yakınsayabilecektir (Değertekin vd., 2006: 3919). TA uygulamaları dikkate alındığında, en iyi tabu liste uzunluğunun 5 ila 12 arasında değerler aldığı görülmektedir. Bir tabu liste uzunluğu, sabit ya da değişken nitelikte olabilir. Bir çok uygulamada, hem başarılı bir sonuç vermesi hem de kullanımının basitliği açısından statik tabu liste tipi ele alınırken, bazı çalışmalarda bir hareketin niteliğine göre tabu durumunun değişkenlik gösterdiği dinamik tabu liste tipine de yer verilmektedir (Çelik, 2008: 48).

Hafıza: Arama sırasında elde edilen çeşitli türde bilginin saklandığı yapıya *hafıza* adı verilir. TA algoritmasının temel elemanlarından birisidir. TA'da hafıza yapıları *yenilik (yakın zamanda olma)*, *frekans (sıklık)*, *kalite* ve *etki* olmak üzere dört boyuta dayanarak işler. Kalite boyutu, arama sırasında ziyaret edilen çözümleri değerlerine göre ayırt etme yeteneğini ifade eder. Etki boyutu ise arama boyunca yapılan seçimlerin sadece kalite üzerinde değil yapı üzerindeki etkilerini dikkate alır. (Glover ve Laguna, 1997: 4). Sık kullanılan kısa dönemli hafıza, yakın geçmişte değişikliğe uğrayan çözümlerin niteliklerini takip eder ve buna yenilik temelli hafıza denir (Glover ve Laguna, 1997: 31). Frekans temelli hafıza ise, tercih edilen hareketlerin seçim işlemini genişleterek yenilik temelli hafızayı tamamlayacak nitelikte bilgi türünü sağlar. Bu bağlamda, yenilik ve frekans temelli hafızalar birbirini tamamlayan yapılardır (Glover ve Laguna, 1997: 94). TA'da uzun ya da kısa dönem hafızalar mevcuttur ve bu hafızalar daha önceki en iyi çözümlerin bilgisini tutmaktadır (Altıntaş, 2011: 24).

Aspirasyon (tabu yıkma) kriteri: İyi bir hareketin tabu olmasına rağmen aspirasyon kriterini sağladığı durumlarda esneklik sağlayarak seçilmesine izin verilme durumunu ifade eder (Glover, 1989: 195). Başka bir deyişle, mevcut durumdan daha iyi bir sonuç verecek tabu hareketinin yapılmasına izin verilmesidir. Bu kriterle kabul edilen bir hareketin tabu olma durumu kaldırılmaz ve hareket tabu listesinden çıkarılmaz. Sadece hareketin tabu olma durumu, hareket aspirasyon kriterini sağladığı için geçici olarak göz ardı edilir (Değertekin vd., 2006: 3919). Aspirasyon kriteri,

araştırma işlemi sırasında karşılaşılan kaliteli çözümlerin kayıp edilmemesi için alınmış önlemler olarak da düşünülebilir (Gülcü, 2006: 17). Uygun aspirasyon kriterinin kullanılması, tabu arama performansı üzerinde oldukça etkilidir.

Aday liste: TA algoritması, yapılması mümkün olan, tabu olmayan ve amaç fonksiyonunun değeri açısından en iyi sonucu veren hareketlerin seçilmesi kuralına dayalı olarak çalışır. Aday liste, mümkün hareketleri içeren listedir ve bu listeden hareketler belirli stratejilere göre seçilir (Gündüz, 2005: 26). Mevcut bir çözümün komşu kümesi geniş veya bu kümedeki elemanların değerlendirilmesinin hesaplama maliyeti yüksek ise, aday liste stratejileri ile incelenen çözüm sayısını kısıtlamak mümkün olmaktadır (Altıntaş, 2011: 24).

Durdurma koşulu: TA algoritması, bir veya birden fazla durdurma koşulunu sağlayıncaya kadar aramasını sürdürmektedir. Bu koşullardan bazıları aşağıda verilmiştir (Gündüz, 2005: 27):

- Seçilen bir komşu çözümün komşusunun olmaması,
- Belirli bir iterasyon sayısına ulaşılması,
- Belirli bir çözüm değerine ulaşılması,
- Algoritmanın bir yerde tıkanması ve daha iyi sonuç üretememesi.

2.3.2.2. Tabu arama algoritmasının işlem adımları

En küçükleme problemleri için temel bir TA algoritması, şu adımlardan oluşmaktadır (Çelik, 2008: 49):

1. Adım:

$$k = 1$$

Bir takım sezgisel yöntemlerle ya da rastsal olarak bir başlangıç çözüm, S_1 , elde et; en iyi çözümü bu çözüme eşitle, $S_{eniyi} = S_1$

2. Adım:

İlgili çözüme ait bir komşu seç, $S \in N(S_k)$

Eğer $S_k \rightarrow S_c$ tabu listesinde yer alan bir hareket tarafından yasaklanmışsa, 2. Adıma geri dön.

Eğer $S_k \rightarrow S_c$ tabu listesinde yer alan bir hareket tarafından yasaklanmamışsa,

$S_{k+1} = S_c$ yap

Hareketin tersini tabu listesinin başına yaz.

Tabu listesindeki diğer tüm girdileri bir sıra aşağıya çek.

Tabu listesinin en altında yer alan girdiyi sil.

Eğer $f(S_c) < f(S_{en\ iyi})$ ise $S_{en\ iyi} = S_c$ yap.

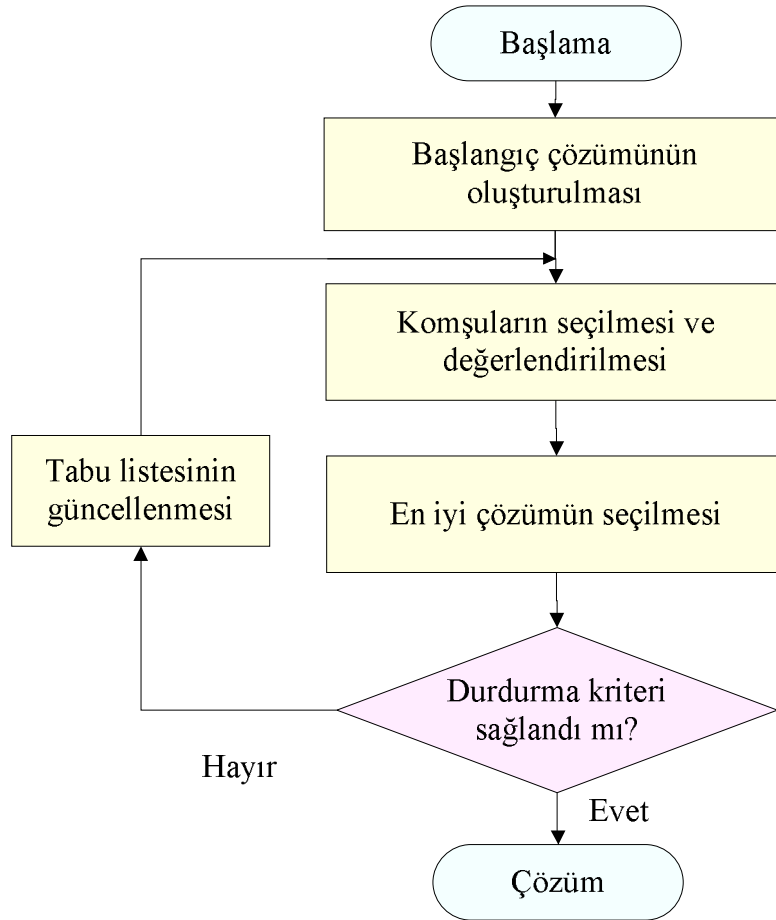
3. Adıma git.

3. Adım:

$k = k+1$

Eğer durdurma kriteri = doğru ise DUR; değilse, 2. Adıma git.

TA'da izlenen işlem adımlarını gösteren akış diyagramı Şekil 2.28'de görülmektedir (Tosun, 2011: 57).



Şekil 2.28. Tabu Arama algoritmasının akış diyagramı

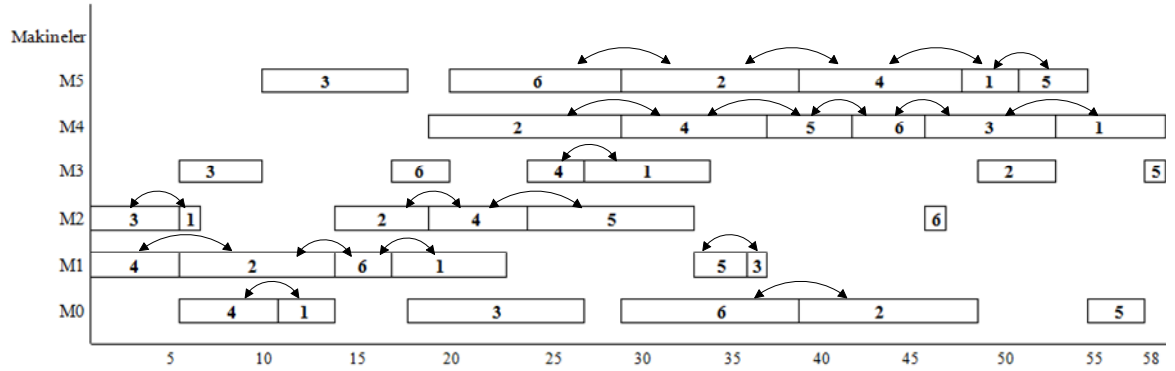
2.3.2.3. Tabu arama algoritmasında komşuluk yapıları

Çizelgeleme probleminin tabu arama yöntemi ile çözümünde kullanılacak farklı komşuluk yapıları açıklanmadan önce, bazı kavramların açıklanması gerekmektedir. Bu kavramlardan ilk ikisi iş öncülü ve iş ardılıdır. Aynı işe ait bitişik iki işlemden öndekine arkadakine *iş öncülü* denirken, arkadakine de öndeki işlemin *iş ardılı* denir. Benzer şekilde, aynı makinede yapılacak bitişik iki işlemden öndeki arkadaki işlemin *makine öncülü* ve arkadaki işlem öndeki işlemin *makine ardılı* olarak adlandırılmaktadır. Gantt şeması üzerinde en uzun yol *kritik yol*, kritik yolun değeri amaç fonksiyonu (C_{enb}), kritik yol üzerindeki işlemler *kritik işlem* olarak adlandırılmaktadır. Eğer kritik işlemlerden aynı makinede işlem görenler, bitişik olarak kritik yol üzerinde bir grup oluşturmuşlarsa bu gruba *blok* denmektedir (Geyik ve Cedimoğlu, 2001a: 98).

Komşuluk yapıları ile var olan çözümde, önceden belirlenmiş kurallar yardımıyla değişiklikler yapılarak yeni çözümler üretilir. Çizelgeleme probleminde mevcut çizelgeden yeni çizelgeler oluşturmak için komşuluk yapılarından yararlanır. Komşuluk yapısının içeriğine göre farklı komşu çizelgeler elde edilir. Örneğin, her bir makinede işlem gören tüm bitişik işlemler çiftler çiftler yer değiştirerek en genel komşuluk yapısı elde edilebilir. Komşuluk yapılarını incelemek için Fisher ve Thompson (1963)'ün 6x6 boyutlu atölye tipi iş çizelgeleme problemi (FT06) ele alınmıştır. Bu probleme ait veriler Tablo 2.2'de verilmiştir. Şekil 2.29'da probleme ait olurlu bir çözüm için en genel komşuluk yapısı görülmektedir (Geyik ve Cedimoğlu, 2001a: 98).

Tablo 2.2. 6x6 boyutlu atölye tipi iş çizelgeleme problemine ait veriler

İşler	Makineler						İşlem Süreleri					
1	2	1	2	1	2	1	1	8	5	5	9	3
2	0	2	3	0	1	3	3	5	4	5	3	3
3	1	4	5	2	4	5	6	10	8	5	5	9
4	4	3	4	5	3	2	7	10	9	3	4	10
5	5	0	1	4	0	4	6	4	7	9	1	1
6	3	5	0	3	5	0	3	10	1	8	3	4



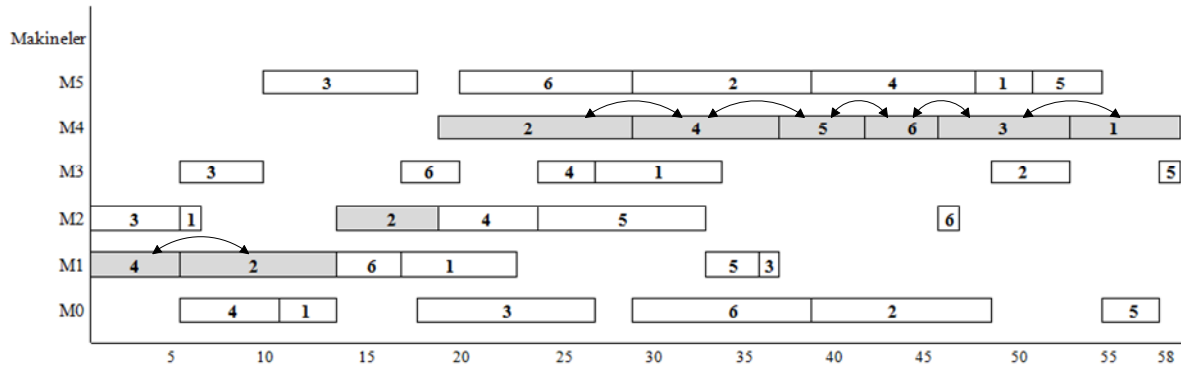
Şekil 2.29. FT06 test problemi için genel komşuluk yapısı

Ancak Şekil 2.29'da görülen komşuların çoğu, çözümü iyileştirme ihtimali olmayan veya olurlu çözüm vermeyen komşular olabilir. Bu yüzden etkin bir komşuluk yapısı, gereksiz komşu üretmemeli ve kısır döngüye sebep olmamalıdır (Geyik ve Cedimoğlu, 2001a: 98). Literatürde çeşitli yazarlar tarafından önerilen farklı komşuluk yapıları şu şekilde açıklanabilir:

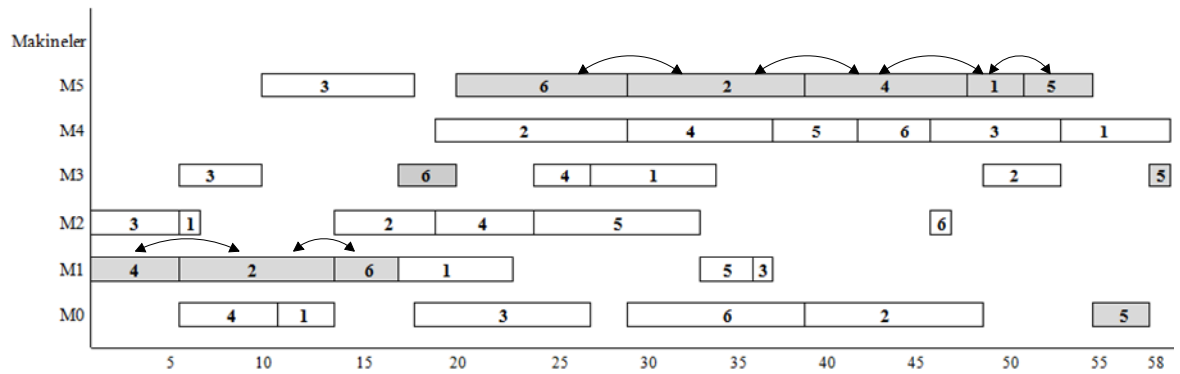
N1 komşuluğu: Atölye tipi çizelgeleme problemi için ilk komşuluk yapısı Van Laarhoven vd. (1992) tarafından önerilmiştir ve bu komşuluk yapısına N1 komşuluğu denilmektedir. N1 komşuluk yapısında aynı makinede işlem gören ve kritik yollar üzerinde yer alan bitişik işlem çiftlerinin yer değiştirmesi ile komşu çözümler elde edilir ve bu komşuluk yapısı şu özelliklere dayanır (Zhang vd., 2007: 3232):

- Uygun bir çözüm elde etmek için, kritik yol üzerinde yer alan bitişik iki işlemin yer değiştirmesi uygun olmayan bir çözüm vermemelidir.
- Kritik yol üzerinde yer almayan işlemlerin değişimi, amaç fonksiyonunda iyileşme sağlayamaz ve ayrıca uygun olmayan bir çözüm verebilir.

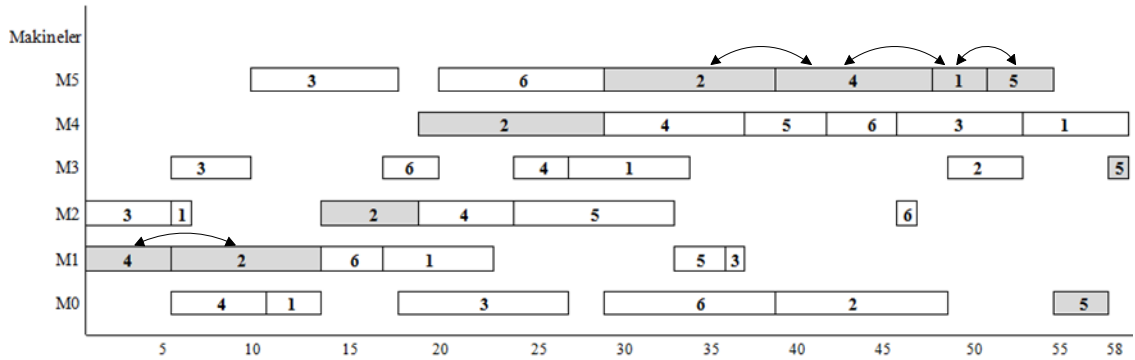
FT06 test problemi için üç farklı kritik yol tanımlanmaktadır. Bu kritik yollar üzerinde yer alan komşuluklar sırasıyla Şekil 2.30, Şekil 2.31 ve Şekil 2.32'de görülmektedir.



Şekil 2.30. Birinci kritik yol üzerinde yer alan N1 komşuluğu



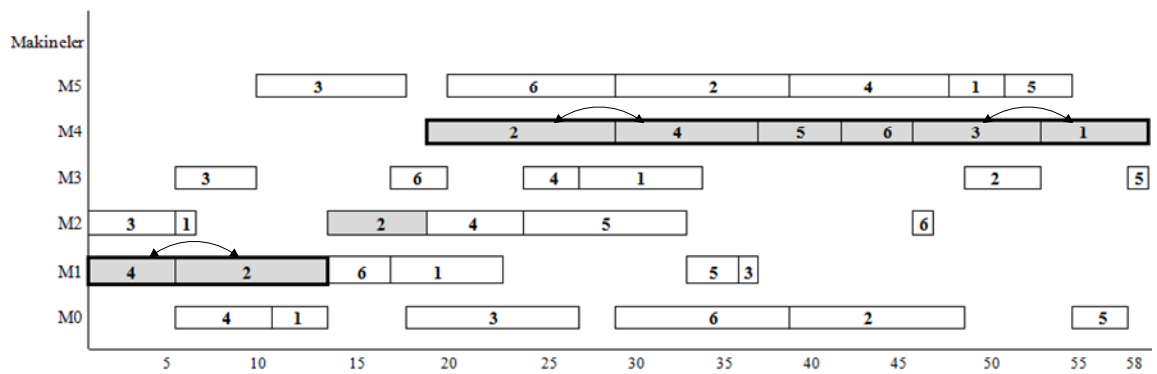
Şekil 2.31. İkinci kritik yol üzerinde yer alan N1 komşuluğu



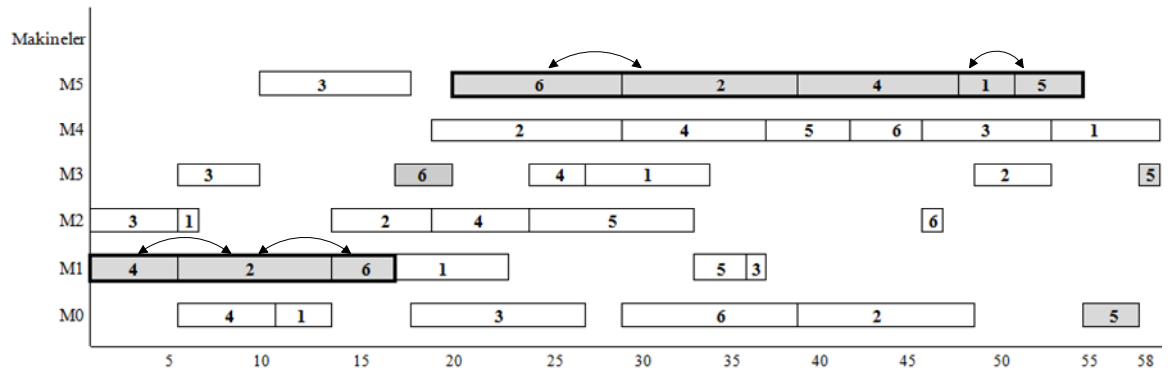
Şekil 2.32. Üçüncü kritik yol üzerinde yer alan N1 komşuluğu

N1 komşuluğunun komşuluk hacmi diğer yapılar göre daha büyüktür ve çözümü geliştirmeyen hareketleri de içerir. Örneğin aynı blokta, arada kalan işlemlerin yer değiştirmesi tamamlanma süresi üzerinde hiç bir zaman bir iyileşmeye neden olmamaktadır. Bu yüzden, başka yazarlar tarafından farklı komşuluk yapıları geliştirilmiştir (Zhang vd., 2007: 3233).

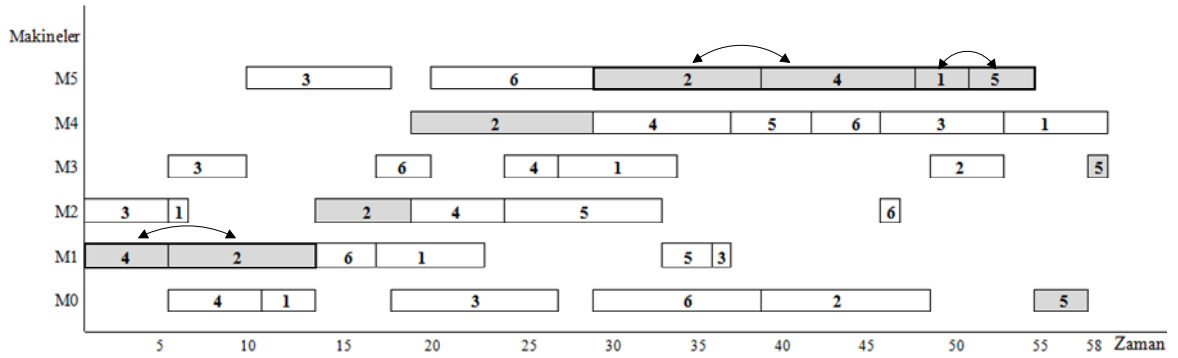
N2 komşuluğu: Barnes ve Chambers (1995) tarafından önerilen N2 komşuluğu, kritik yollar üzerinde yer alan bitişik işlem çiftlerinden yalnız kalanların ya da bloğunun başında veya sonunda yer alan işlemlerin yer değiştirmesine dayanır. Bu yüzden değişmeye aday işlem çiftlerinin belirlenmesi için her makine gözden geçirilir (Chambers ve Barnes, 1996: 4). N2 komşuluğuna örnek, FT06 test problemi için üç kritik yol üzerinde Şekil 2.33, Şekil 2.34 ve Şekil 2.35'te gösterilmiştir. Kritik yol üzerinde oluşan bloklar kalın çerçeve ile belirtilmiş ve bu komşuluğa göre sadece yalnız kalan bitişik işlem çiftleri ile aynı bloğun başında ve sonunda yer alan işlem çiftleri yer değiştirmiştir.



Şekil 2.33. Birinci kritik yol üzerinde yer alan N2 komşuluğu

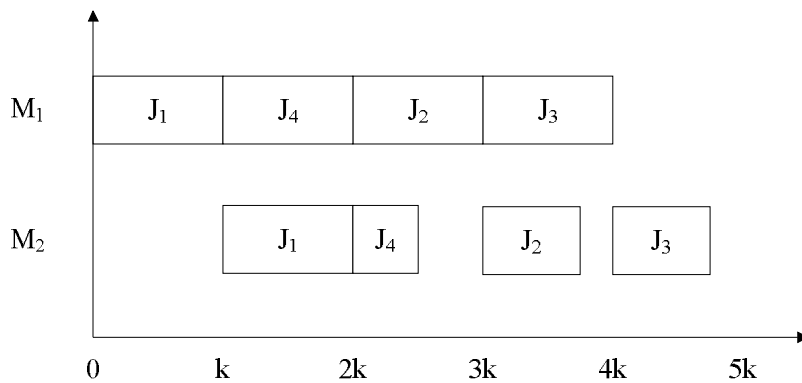


Şekil 2.34. İkinci kritik yol üzerinde yer alan N2 komşuluğu

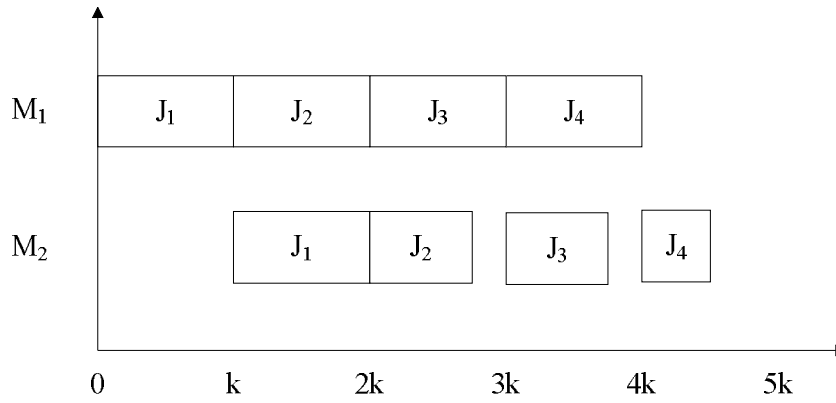


Şekil 2.35. Üçüncü kritik yol üzerinde yer alan N2 komşuluğu

N2 komşuluğunda, bir blokta ara işlemlerin yer değiştirmesi önlenerek iyileşmeye neden olmayan gereksiz değişimler yapılmaz ve daha az sayıda komşu değerlendirilerek zaman kaybı önlenir. Ancak bazı durumlarda N2 komşuluğu ile optimum çözüme ulaşılamayabilir. Örneğin, iki makine ve dört işten oluşan atölye tipi bir çizelgeleme problemi ele alınsın ve her iş sırasıyla, önce birinci makinede sonra ikinci makinede işlem görsün. Birinci makinede işlem gören işlerin işlem sürelerinin hepsi pozitif tamsayı k 'ya eşit iken, ikinci makinede J_1 'in işlem süresi k , J_2 ve J_3 'ün işlem süresi $3k/4$ ve J_4 'ün işlem süresi, $k/2$ 'ye eşittir. Şekil 2.36'da görülen uygun çözümde en büyük tamamlanma zamanı $19k/4$ 'e eşitken, Şekil 2.37'de görülen optimal çözüme ait en büyük tamamlanma zamanı değeri $9k/2$ 'dir. Şekil 2.36'daki uygun çözümden N2 komşuluğu ile J_4 işinin, optimal çözümdeki gibi ilk makinede en son işlem gören iş olarak yer değiştirmesi mümkün olmamaktadır (Dell'Amico ve Trubian, 1993: 238). Bu yüzden Dell'Amico ve Trubian (1993) tarafından yeni komşuluk yapıları geliştirilmiştir.

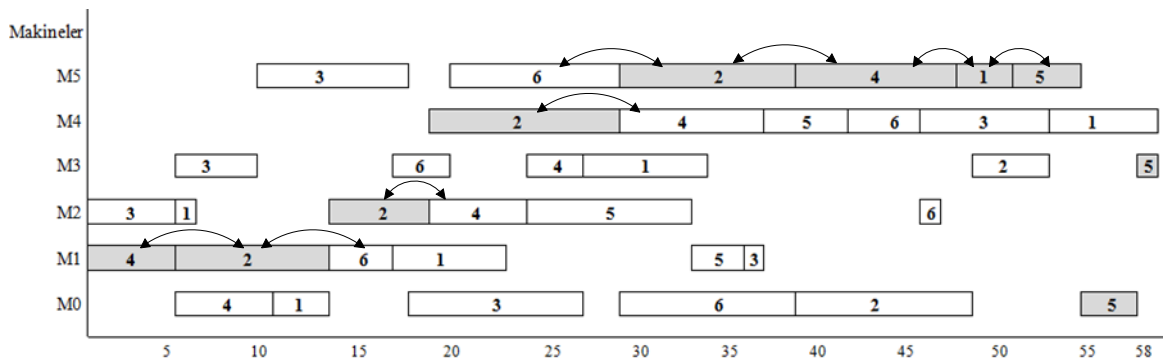


Şekil 2.36. Uygun çözüm



Şekil 2.37. Optimal çözüm

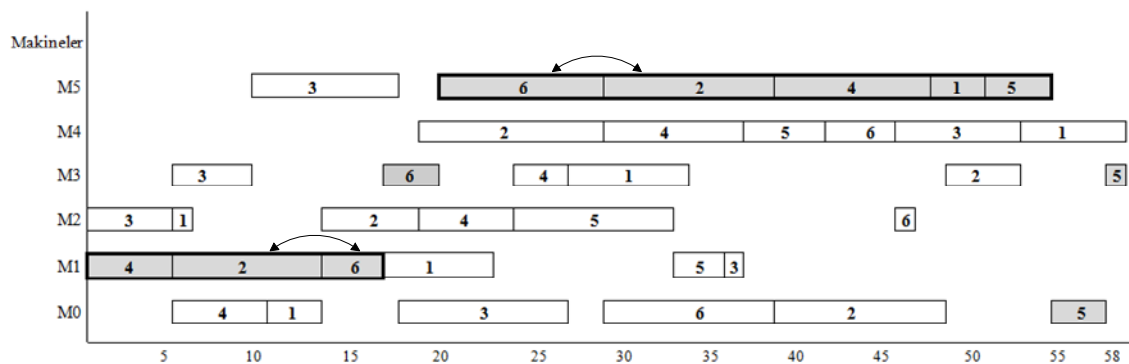
N3 komşuluğu: Dell'Amico ve Trubian (1993) tarafından geliştirilen N3 komşuluğu, N1 komşuluğunun genişletilmiş şeklidir ve aynı anda birden fazla yer değiştirmeyi içerir. u ve v aynı makinede işlem gören ve kritik yol üzerinde yer alan iki ardışık işlem olmak üzere; u , v işleri ile bu işlerin makine öncül ve ardıl işlemlerinin tüm olası değişimlerinin gerçekleştirilmesine dayanır (Dell'Amico ve Trubian, 1993: 237). N3 komşuluğuna örnek, FT06 test probleminin üçüncü kritik yolu üzerinde Şekil 2.38'de verilmiştir. Burada görüldüğü üzere, kritik yol üzerinde yer alan 1. makinede işlem gören iş 4 ve iş 2'nin N1 komşuluğundaki gibi kendi aralarında yer değiştirmelerinin yanında, N3 komşuluğunda iş 2, makine ardılı iş 6 ile de yer değiştirmiştir. Aynı şekilde kritik yol üzerinde yer alan 2. makinede işlem gören iş 2 makine ardılı iş 4 ile, 4. makinede işlem gören iş 2 makine ardılı iş 4 ile, 5. makinede işlem gören iş 2 de makine öncülü iş 6 ile, yer değiştirmiştir. Burada sadece üçüncü kritik yol üzerinde yer alan komşuluklar gösterilmiştir. Aynı işlem diğer kritik yollar üzerinde de yapılarak tüm komşuluklar elde edilir.



Şekil 2.38. N3 komşuluğuna örnek

N4 komşuluğu: N4 komşuluğu da N3 komşuluğu gibi Dell'Amico ve Trubian (1993) tarafından geliştirilmiştir. Bu komşuluk yapısı bir blokta yer alan x işlemini, eğer ilgili çözüm uygun bir çözüm ise, bloğun ilk ya da son konumuna hareket ettirmeye dayanır. Aksi takdirde x işlemi, blok içinde uygun çözümü sağlayacak şekilde ilk ve son işleme yakın pozisyonlara hareket ettirilir. Tüm işlemler için komşuluklar bu şekilde gerçekleştirilir (Dell'Amico ve Trubian, 1993: 242). N2 komşuluğu ile her zaman optimal çözüme ulaşılamayacağını belirten Dell'Amico ve Trubian (1993), N4 komşuluğunu geliştirmiştir. Şekil 2.36'daki örnekte uygun çözümden N2 komşuluğu ile J_4 işinin optimal çözümdeki gibi ilk makinede, en son işlem gören iş olarak yer değiştirmesi mümkün olmamaktadır. Fakat, N4 komşuluğu ile J_4 işi, ilk makinede en son işlem gören iş olarak yer değiştirebilir.

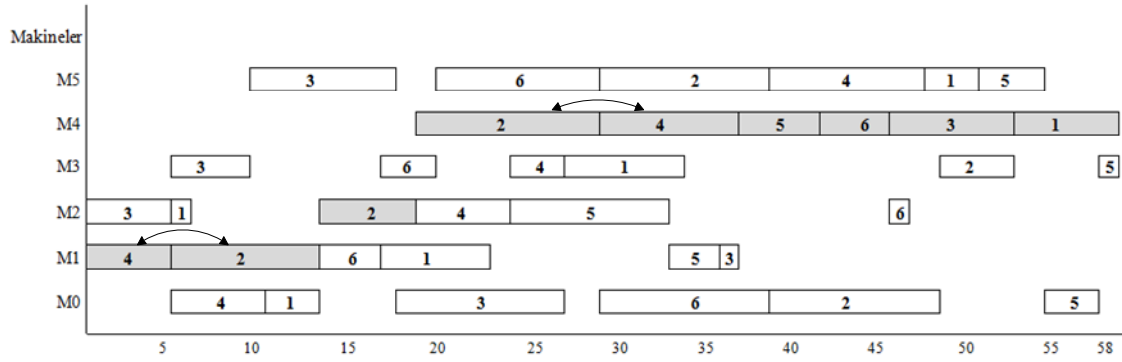
N5 komşuluğu: N5 komşuluğu, Nowicki ve Smutnick (1996) tarafından geliştirilmiştir. Bu komşuluk yapısında N1 komşuluğundaki en büyük tamamlanma zamanını iyileştirmeyen hareketler kısıtlanarak daha az sayıda komşu çözüm elde edilir. N5 komşuluğunda, rastgele seçilen tek bir kritik yol üzerindeki blokların uç noktalarında yer alan işlemler dikkate alınır. En az iki işlem içeren her bloktaki ilk iki işlem veya son iki işlem yer değiştirir. Burada, ilk bloğun sadece son iki işlemi yer değiştirirken, simetrik olarak son bloğun ilk iki işlemi yer değiştirir (Nowicki ve Smutnick, 1996: 800). Diğer komşuluk yapılarına göre daha az komşuluğun incelenmesini içerir. N5 komşuluğuna örnek, FT06 test probleminin rastsal olarak seçilmiş ikinci kritik yolu üzerinde Şekil 2.39'da verilmiştir. Burada görüldüğü üzere, kritik yol üzerinde yer alan sadece ilk bloğun son iki işlemi, yani 1. makinede işlem gören iş 2 ve iş 6 ile son bloğun ilk iki işlemi, yani 5. makinede işlem gören iş 6 ve iş 2 yer değiştirmiştir.



Şekil 2.39. N5 komşuluğuna örnek

N6 komşuluğu: N5 komşuluğunun genişletilmesine dayanan N6 komşuluğu Balas ve Vazacopoulos (1998) tarafından geliştirilmiştir ve en etkin komşuluk yapılarından biridir (Zhang vd., 2007: 3233). Eğer $u \rightarrow v$ gibi aynı makinede işlem gören iki işlemden ne u 'nun öncülü ne de v 'nin ardılı kritik yol üzerinde yer almıyorsa u ve v 'nin yer değiştirmesi en büyük tamamlanma zamanında bir azalmaya neden olmayacaktır. u ve v işlemlerinin değişiminin en büyük tamamlanma zamanında azalmaya neden olabilmesi için u 'nun öncülü ve v 'nin ardılından en azından birinin kritik yol üzerinde yer alması gerekmektedir (Balas ve Vazacopoulos, 1998: 264). Bu yüzden, N6 komşuluk yapısı geliştirilmiştir. Bu komşuluk yapısında, eğer v işlemi bloğun son işlemi iken kritik yol aynı zamanda v 'nin iş ardılına da içeriyorsa ve u 'nun iş ardılından v 'ye doğrudan bir yol yoksa, u ve v 'nin yer değiştirmesi bir komşuluk oluşturur. Diğer taraftan, eğer u bloğun ilk işlemi iken kritik yol aynı zamanda u 'nun iş öncülünü de içeriyor ve u 'dan v 'nin iş öncülüne doğrudan bir yol yoksa, u ve v 'nin yer değiştirmesi bir komşuluk oluşturur (Geyik ve Cedimoğlu, 2001a: 100). Bu komşuluk, N3 komşuluğuna yakın özellikler taşımasına rağmen, N3 komşuluğuna göre daha dar kapsamlıdır. Çünkü, N3 komşuluğu u 'nun öncülü ve v 'nin ardılı kritik yol üzerinde yer almasa da u ve v 'nin yer değiştirmesine izin verir (Balas ve Vazacopoulos, 1998: 266).

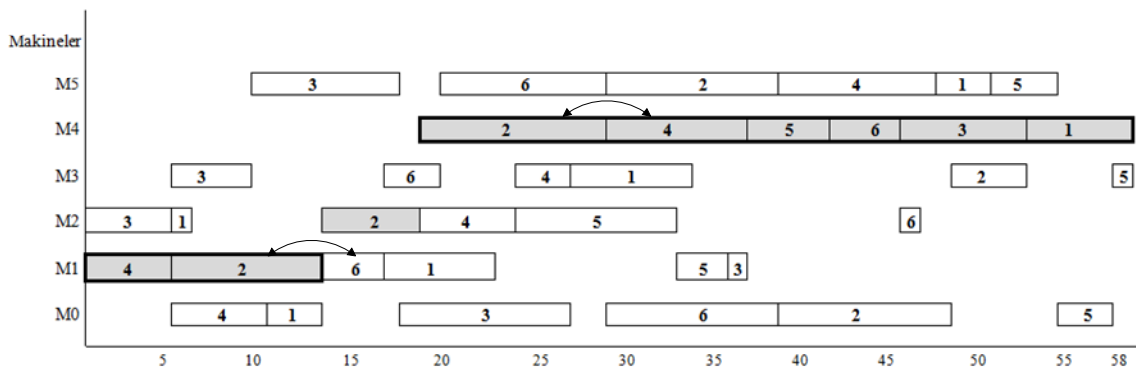
N6 komşuluğuna örnek, FT06 test probleminin birinci kritik yolu üzerinde Şekil 2.40'ta verilmiştir. u ile ifade edilen 1.makinedeki iş 4, v ile ifade edilen 1.makinedeki iş 2 olmak üzere; kritik yol bloğun son işlemi olan iş 2'nin iş ardılına da içerdiğinden, 1. makineki iş 4 ve iş 2'nin yer değiştirmesi bir komşuluk oluşturur. Benzer şekilde, u ile ifade edilen 4. makinedeki iş 2, v ile ifade edilen 4. makinedeki iş 4 olmak üzere; kritik yol bloğun ilk işlemi olan iş 2'nin iş öncülünü içerdiğinden, iş 2 ve iş 4'ün yer değiştirmesi bir komşuluk oluşturur. Burada sadece birinci kritik yol üzerinde yer alan komşuluklar gösterilmiştir. Aynı işlem diğer kritik yollar üzerinde de yapılarak tüm komşuluklar elde edilir.



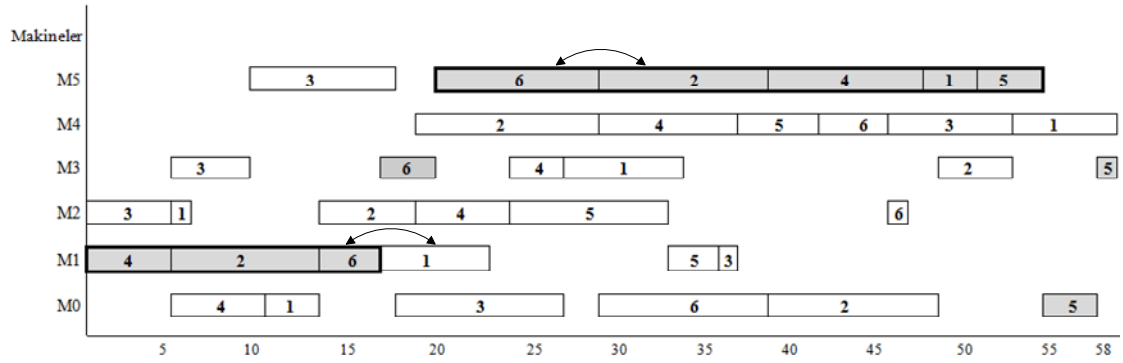
Şekil 2.40. N6 komşuluğuna örnek

N7 komşuluğu: Bu tez çalışmasında geliştirilen bu komşuluk yapısında öncelikle, Gantt şeması üzerinde kritik yollar belirlenir. Daha sonra, kritik yollar üzerinde yer alan iş blokları belirlenerek incelenir. Eğer, bloğun ilk işleminin iş öncülü de kritik yol üzerinde ise bu blokta yer alan ilk iki iş yer değiştirir. Ayrıca, bloğun ilk işlemi kritik yol üzerinde yer almayan makine öncülü ile yer değiştirir ve bloğun son işlemi de kritik yol üzerinde yer almayan makine ardılı ile yer değiştirerek komşuluklar bulunur. Geliştirilen bu yeni komşuluğa N7 komşuluğu adı verilmiştir. Özetle, bu komşuluk oluşturulurken dikkate alınan üç durum söz konusudur ve bunlar şu şekilde özetlenebilir:

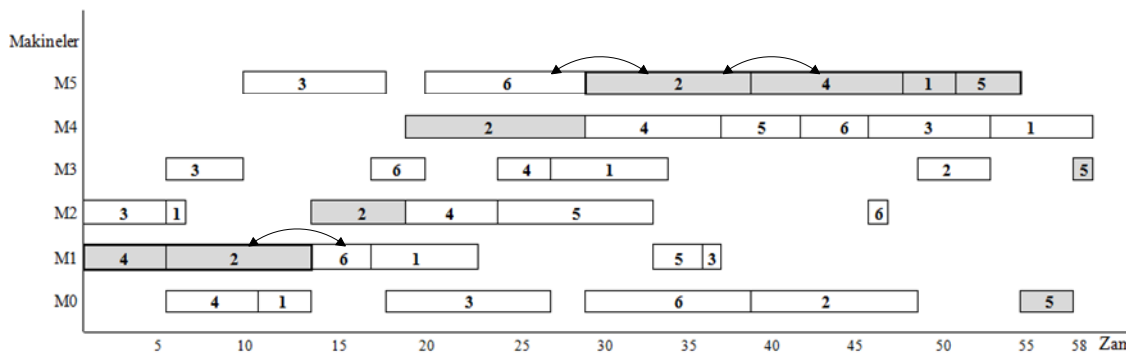
- Eğer, bloğun ilk işleminin iş öncülü de kritik yol üzerinde ise bu blokta yer alan ilk iki iş yer değiştirir.
- Bloğun ilk işlemi, kritik yol üzerinde yer almayan makine öncülü ile yer değiştirir.
- Bloğun son işlemi, kritik yol üzerinde yer almayan makine ardılı ile yer değiştirir.



Şekil 2.41. Birinci kritik yol üzerinde yer alan N7 komşuluğu



Şekil 2.42. İkinci kritik yol üzerinde yer alan N7 komşuluğu



Şekil 2.43. Üçüncü kritik yol üzerinde yer alan N7 komşuluğu

2.3.2.4. Tabu arama algoritmasında hafıza kullanımı

TA, hafızada tuttuğu bilgileri kullanarak araştırma işlemine yön verdiği için, akıllı bir yöntemdir. TA, geçmişte karşılaştığı durumları aklında tutar ve stratejik seçimler yaparak ilerlemeye çalışır (Gülcü, 2006: 14). TA, kısa, orta ve uzun dönem hafıza bileşeni olmak üzere üç tipte ele alınmaktadır. Kısa dönem hafıza bileşeni, TA'nın temelini oluştururken orta dönem hafıza bileşeni, aramayı bölgesel olarak yoğunlaştırmak için kullanılır. Uzun dönem hafıza bileşeni ise aramada tümel olarak çeşitleme etkisi yaratmak için kullanılan hafıza bileşenidir (Aladağ, 2009: 17). Her ne kadar genel olarak uzun dönem hafızalı TA, problem çözümünde daha güçlü bir yapıya sahip olsa da kısa dönem hafızalı TA da yeterli düzeyde kaliteli sonuçlar elde etmektedir (Çelik, 2008: 43).

Kısa dönem hafıza bileşeni:

Kısa dönem hafıza bileşeninin ana fikri, belirli arama yönlerini tabu olarak sınıflandırmak ve böylece yerel optimal tuzaklarından aramayı uzak tutmaktır. En çok kullanılan kısa dönemli hafıza, yakın geçmişte değişen çözüm niteliklerini ya da çözümlerin kendisini saklar ve buna yenilik temelli hafıza denir (Glover ve Laguna, 1997: 31). Yenilik temelli hafızada, bu çözüm bilgisini saklamak için tabu listesi kullanılır. Tabu listesi kullanılarak önceden ziyaret edilmiş çözümlere geri dönmekten kaçınılmış olunur. Böylece arama, yeni ziyaret edilmiş çözümlerden uzak tutulur (Aladağ, 2009: 17).

Orta dönem hafıza bileşeni:

Tabu arama algoritmasında, orta dönem hafıza bileşeninin temel rolü, umut vaat eden bölgelerde aramanın yoğunlaşmasını sağlamaktır. Yoğunlaşma stratejisi tabu arama yönteminin daha iyi sonuçlara ulaşmasını sağlayan önemli bileşenlerinden biridir. Yoğunlaşma stratejisi kullanılmasıyla birlikte arama daha agresifleşir. Yoğunlaşma stratejileri seçim kurallarını değiştirerek, geçmişte iyi olarak bulunan çözüm özelliklerini ve hareket kombinasyonlarını ödüllendirir. Ayrıca bu stratejiler, çekici bölgeleri daha iyi inceleyebilmek için bir geri dönüş başlatır (Aladağ, 2009: 20).

Uzun dönem hafıza bileşeni:

Uzun dönem hafıza bileşeni ile arama esnasında elde edilen en iyi çözümlere dönüş yapılarak bu bölgelerde daha detaylı bir araştırma yapılması sağlanır. Böylece bu bölgelerde bulunabilecek daha iyi çözümlerin elde edilme olasılığı değerlendirilir. (Değertekin vd., 2006: 3919). TA'da uzun dönem hafıza bileşeninin amacı aramanın farklı bölgelere yönlendirilmesiyle çeşitleme etkisinin yaratılabilmesidir. TA'nın yerel optimal tuzakından kurtulmasını sağlayan bileşenlerinden biri çeşitleme stratejisidir. Bu nedenle, çeşitleme etkisinin yeterli ölçüde yaratılabilmesi algoritmanın optimal yakını çözümlere ulaşabilmesinde büyük önem taşır. Burada bağlı kalınan ilkeler, orta dönem hafıza fonksiyonu tarafından kullanılan ilkelerle ters düşer (Aladağ, 2009: 22). Orta dönem hafıza bileşeni, daha önce bulunan iyi çözümleri barındıran bölgelere yoğunlaşırken; uzun dönem hafıza bileşeni ise aramayı, daha önce keşfedilmemiş bölgelere doğru yönlendirmektedir. Uzun dönem hafızada, frekans (sıklık) bilgileri önemli bir rol oynamaktadır. Frekans bilgisinin ardında yatan düşünce, geçmişte aynı

tercihlerin ne kadar sıklıkta yapıldığından faydalanarak yerel tercihleri yönlendirmektir (Çelik, 2008: 52). Bunun ile araştırmanın sadece belirli bir dönemine ait bilgiler değil, araştırmanın bütünü ile ilgili bilgiler tutulabilir. Araştırmanın izlediği seyir incelenerek, başarılı çözümlerin etrafında yer alabilecek daha iyi çözümler ortaya çıkarılabilir veya başarılı olmadığı anlaşılan hareketler cezalandırılarak tekrar bu hareketlerin yapılması engellenir (Gülcü, 2006: 18). Uzun dönemli hafıza ile arama yerel olarak kuvvetlenirken, global olarak ise çeşitlenmesi sağlanır (Değertekin vd., 2006: 3919).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DİNAMİK ATÖLYE TİPİ İŞ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SEZGİSEL YÖNTEMLER

Çizelgeleme, zaman düzleminde yapılması gereken görevler için bir ya da daha fazla amacı iyileştirecek şekilde kıt kaynakların tahsis edilmesiyle ilgilidir ve üretim planlama ile beraber üretim sisteminin etkinlik ve verimliliğini belirleyen önemli bir fonksiyondur. Bu yüzden atölye düzeyi ne kadar iyi çizelgelenirse, imalat sisteminin etkinlik ve verimliliği o oranda arttırılmış olur (Geyik ve Cedimoğlu, 2001a: 95). Ancak, gerçek hayatta imalat sistemleri yapıları gereği dinamikdir. Üretim ortamında, makinelerde arızalar meydana gelebilmekte, işlerin sürelerinde değişiklikler olabilmekte ve çizelgeleme esnasında yeni işler gelebilmektedir. Bu yüzden, üretim sistemlerinin etkinlik ve verimliliklerini arttırmaya yönelik çizelgeleme yapmak için dinamik faktörlerin de dikkate alınması gerekmektedir. Literatürde, atölye tipi çizelgeleme problemlerini ele alan çalışmaların büyük çoğunluğunda üretim ortamlarının statik olduğu varsayıldığından bu çalışmalar gerçeği yansıtmamaktadır. Bu eksikliği gidermek adına, bu tez çalışmasında dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemlerine çözüm aranmış ve dinamik faktörlerden; makine arızası, yeni iş gelişleri ve işlem sürelerinde değişiklik faktörleri dikkate alınmıştır. Ayrıca, dinamik çizelgeleme yaklaşımlarından *tahmine dayalı-tepkisel çizelgeleme* yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yaklaşımda öncelikle, atölyede meydana gelebilecek olası kesintileri dikkate almadan atölye performansını optimize etmek amacıyla bir çizelge oluşturulur ve uygulama esnasında dinamik olaylar ile karşılaşıldığında tahmine dayalı çizelge yeniden düzenlenir yani *yeniden çizelgeleme* yapılır. Yeniden çizelgeleme yöntemleri “sürekli çizelgeleme”, “periyodik çizelgeleme” ve “olaya dayalı yeniden çizelgeleme” olarak üçe ayrılmaktadır. Bu tez çalışmasında, sürekli çizelgeleme esas alınmıştır. Sürekli çizelgelemede, sistemin durumunda değişikliğe neden olan dinamik bir olay meydana gelmesi halinde, her defasında yeniden çizelgeleme yapılır. Bir başka deyişle, sisteme

her yeni iş gelişinde, her makine arızasında ve işlem süresinde her değişiklik olduğunda yeniden çizelgeleme yapılmaktadır.

Atölye tipi çizelgeleme problemleri için olurlu çizelgelerin sayısı, ardışık işlemler arasına keyfi miktarda boş zaman girilebileceği için sonsuzdur. Hiç boş zaman bırakılmasa bile, belirli boyuttaki atölye tipi bir problem için mümkün çizelgelerin sayısı aşırı fazla olacaktır. m makine ($m > 2$) ve n işin olduğu bir durumda $(n!)^m$ kadar atama yapılabileceğinden bunlar arasından en iyisinin tespiti için harcanacak zaman çok fazladır. Bu yüzden çizelgelemede, analitik teknikler optimal çözümler üretmeye yöneliktir ve ancak küçük hacimli, özel (polinomsal) bazı problemleri çözmeye kullanılabılır (Geyik ve Cedimoğlu, 2001b: 53). Daha büyük boyutlu çizelgeleme problemlerini optimum çözecek etkin, yani polinomsal bir zaman algoritması yoksa bu problemler *NP-Zor* olacağından sezgisel yöntemlerle çözüm aranması gerekmektedir. Bu yöntemler ile her zaman optimum çözüme ulaşılamasa da, uygun çözüm kümesi içinden optimuma yakın bir çözümün seçilmesi mümkün olabilmektedir.

Dinamik çizelgeleme problemleri, statik problemlere göre çözülmesi daha zor ve karmaşıktır. Dinamik çizelgeleme problemleri, *NP-Zor* sınıfında problemler olduklarından bu tez çalışmasında sezgisel yöntemlerden Genetik Algoritma ve Tabu Arama yöntemlerine dayalı çözüm yöntemleri önerilmiştir.

3.1. Atölye Tipi İş Çizelgeleme Probleminin Matematiksel Modeli

Atölye tipi iş çizelgeleme problemi, sonlu sayıda iş kümesinin ($j = 1, \dots, n$) sonlu sayıda makine kümesi ($i = 1, \dots, m$) üzerinde önceden belirlenen bir sırada (teknolojik kısıt) ve kapasite kısıtlarını yerine getirerek, belirli bir amaç fonksiyonunu en iyileyecek şekilde her bir işlem için bir başlama zamanı (y_{ij}) belirlemektedir. y_{ij} , i makinesinde j işinin başlama zamanını göstermektedir. İş çizelgeleme problemlerinde başarı ölçütü, en büyük tamamlanma zamanı, ortalama iş akış süresi, ortalama ve en büyük gecikme süresi, ortalama geç kalan işlerin sayısı, ortalama makine boş bekleme süresi gibi işlerin tamamlanma zamanının bir fonksiyonu olabilir ve bu fonksiyonların en küçüklenmesi amaçlanır. Bu tez çalışmasında, amaç fonksiyonu en büyük tamamlanma zamanının (C_{enb}) en küçüklenmesi olarak alınmıştır. Aşağıda atölye tipi iş çizelgeleme problemine ait matematiksel model verilmiştir. Burada; $z_{ijk} = 1$ olması i makinesinde j işinin k işinden önce yapıldığını gösterirken, $z_{ijk} = 0$ olması

i makinesinde k işinin j işinden önce yapıldığını ifade eder ve M çok büyük bir sayıdır. p_{ij} ise i makinesinde j işinin işlem süresini göstermektedir. Ayrıca, A kümesi $(i, j) \rightarrow (h, j)$, j işinin makine h 'dan önce makine i 'de işlem gördüğünü ifade eder.

$$EnkC_{enb}$$

$$y_{hj} - y_{ij} \geq p_{ij} \quad \text{tüm } (i, j) \rightarrow (h, j) \in A \quad (3.1)$$

$$C_{enb} - y_{ij} \geq p_{ij} \quad \text{tüm } (i, j) \in N \quad (3.2)$$

$$Mz_{ijk} + (y_{ij} - y_{ik}) \geq p_{ik} \quad i=1, \dots, m, 1 \leq j \leq k \leq n \quad (3.3)$$

$$M(1 - z_{ijk}) + (y_{ik} - y_{ij}) \geq p_{ij} \quad (3.4)$$

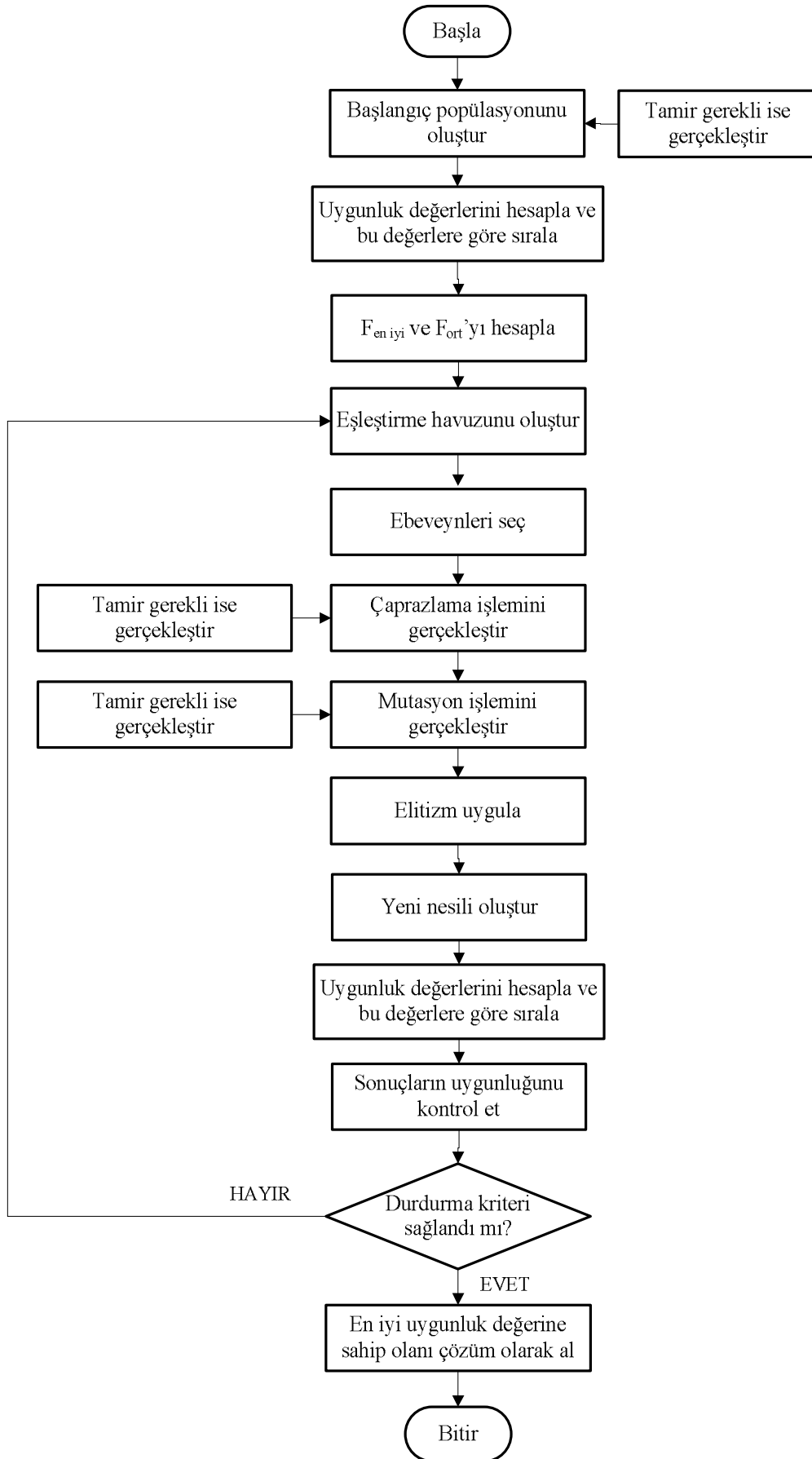
$$y_{ij} \geq 0 \quad \text{tüm } (i, j) \in N \quad (3.5)$$

$$z_{ijk}=0 \text{ ya da } 1 \quad i=1, \dots, m, j, k=1, \dots, n \quad (3.6)$$

Burada kısıt (3.1) teknolojik kısıttır ve her bir işin ardışık iki işleminin başlama zamanları arasındaki farkın en az öndeki işlemin süresi kadar olmasını garanti eder. Bu kısıt, bir işin aynı anda sadece bir makinede işlem görebileceğini gösterir. Kısıt (3.2), en büyük tamamlanma zamanının, her işlemin işleme başlama zamanı ile işlem süresinin toplamına eşit ya da büyük olmasını ifade eder. Kısıt (3.3) ve (3.4) bir makinede işlem gören işlemden sonra yapılacak işlemin başlama zamanının, önündeki işlemin başlama zamanı ile işlem süresi toplamına eşit ya da bu toplamdan büyük olması gerektiğini gösterir ve bir makinenin aynı anda sadece bir işi yapabilmesini sağlar. Kısıt (3.5), pozitif olma kısıtıdır, işlemlerin başlama zamanlarının pozitif olmasını garanti eder. Kısıt (3.6) ise, z_{ijk} için 0 - 1 kısıtıdır.

3.2. Genetik Algoritmalar Esaslı Geliştirilen Yöntem

Bu tez çalışmasında, dinamik atölye tipi iş çizelgeleme probleminin çözümü için ilk olarak Genetik Algoritmalar esaslı yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemin adımlarını gösteren akış diyagramı Şekil 3.1'de görüldüğü gibidir. Dinamik olay her gerçekleştiğinde yeniden çizelgeleme yapılacağından, dinamik olayın geldiği andan itibaren Şekil 3.1'de görülen akış diyagramındaki işlemler baştan tekrarlanır. Şekilde görüldüğü gibi GA'nın ilk adımı başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıdır. Ancak, başlangıç popülasyonunun oluşturulmasından önce çözümün kodlanması ve probleme uygun kromozom yapısının oluşturulması gerekmektedir.



Şekil 3.1. Geliştirilen GA esaslı yöntemine ait akış diyagramı

3.2.1. GA'da çözümün kodlanması ve kromozom yapısının oluşturulması

GA ile çözüme başlamadan önce ilk olarak probleme özgü bilgilerin genetik algoritmanın kullanacağı şekle çevrilmesi yani kodlanması gerekmektedir. İş çizelgeleme problemlerinde sıralı (permütasyon) kodlama yöntemi kullanılmaktadır. Kodlama şekline karar verildikten sonra kromozom yapısı oluşturulur. GA esaslı geliştirilen yöntemde kullanılacak, kromozom yapısı Şekil 3.2'de görülmektedir. Burada M_1, M_2, \dots, M_m makineleri, J_1, J_2, \dots, J_n işleri, m makine sayısını ve n iş sayısını göstermektedir.

M_1				M_2				...				M_m			
J_1	J_2	J_n	....	J_3	J_2	...	J_n	...	...	...		J_n	...	...	...

Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan kromozom yapısı

4 iş, 4 makineden oluşan bir çizelgeleme probleminde kromozom yapısına örnek Şekil 3.3'te görülmektedir. Burada M_1, M_2, M_3, M_4 , makineleri göstermektedir ve makine M_1 'de işlerin sırası 2, 3, 4, 1, makine M_2 'de 1, 3, 4, 2, makine M_3 'te 3, 2, 1, 4 ve makine M_4 'te 4, 2, 1, 3 şeklindedir.

M_1				M_2				M_3				M_4			
2	3	4	1	1	3	4	2	3	2	1	4	4	2	1	3

Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan kromozom yapısına örnek

3.2.2. Başlangıç popülasyonun oluşturulması

GA yönteminde, kromozom yapısı oluşturulduktan sonra ilk olarak başlangıç popülasyonu oluşturulmaktadır. Bu tez çalışmasında, GA esaslı toplam yedi tane yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin ilkinde (Genetik Algoritma; GA) başlangıç popülasyonunun tümü rastsal olarak, ikincisinde (Genetik Algoritma-Yeni Önceliklendirme Sezgiseli; GAYÖS) başlangıç popülasyonunun %25'i geliştirilen yeni önceliklendirme sezgiseli ile, üçüncüsünde (GAEKİS) başlangıç popülasyonunun %25'i EKİS (En Kısa İşlem Süresi) öncelik kuralı ile, dördüncüsünde (GAEUİS) başlangıç popülasyonunun %25'i EUİS (En Uzun İşlem Süresi) öncelik kuralı ile, beşincisinde (GAEKKİS) başlangıç popülasyonunun %25'i EKKİS (En Kısa Kalan İşlem Süresi) öncelik kuralı ile, altıncüsünde başlangıç popülasyonunun %25'i EUKİS (En Uzun Kalan

İşlem Süresi) öncelik kuralı ile ve yedincisinde (Genetik Algoritma-Karışım; GAK) başlangıç popülasyonunun %25'i yeni önceliklendirme sezgiseli ve EKİS, EUİS, EKKİS, EUKİS öncelik kurallarının eşit dağılımı ile, başlangıç popülasyonun geri kalan %75'lik kısımları ise rastsal olarak oluşturulmuştur. Özetle başlangıç popülasyonunun oluşturulmasına bağlı olarak GA esaslı yedi farklı yöntem geliştirilmiş ve dinamik çizelgeleme problemlerin çözümünde bu yedi farklı yöntem ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu yöntemler şu şekilde verilebilir:

GA: Başlangıç popülasyonunun tümü rastsal olarak oluşturulur.

GAYÖS: Başlangıç popülasyonunun %25'i geliştirilen yeni önceliklendirme sezgiseli ile, geri kalan %75'i rastsal olarak oluşturulur.

GAEKİS: Başlangıç popülasyonunun %25'i EKİS öncelik kuralı ile, geri kalan %75'i rastsal olarak oluşturulur.

GAEUİS: Başlangıç popülasyonunun %25'i EUİS öncelik kuralı ile, geri kalan %75'i rastsal olarak oluşturulur.

GAEKKİS: Başlangıç popülasyonunun %25'i EKKİS öncelik kuralı ile, geri kalan %75'i rastsal olarak oluşturulur.

GAEUKİS: Başlangıç popülasyonunun %25'i EUKİS öncelik kuralı ile, geri kalan %75'i rastsal olarak oluşturulur.

GAK : Başlangıç popülasyonunun %5'i yeni önceliklendirme sezgiseli, %5'i EKİS öncelik kuralı, %5'i EUİS öncelik kuralı, %5'i EKKİS öncelik kuralı, %5'i EUKİS öncelik kuralı ile geri kalan %75'i rastsal olarak oluşturulur.

Başlangıç popülasyonunun tümünün rastsal üretilmesi yerine bu şekilde farklı yöntemlerin ya da birleşiminin kullanılmasında amaçlanan, GA'ya daha iyi bir çözümle başlayıp daha iyi sonuçlar elde etmektir. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması için %10, %25 ve %50 gibi farklı oranlar denenmiş, daha iyi sonuçlara ulaşıldığı için %25'lik oran seçilmiştir. Böylece başlangıç popülasyonunda %25 oranında iyi çözümlerin yer alması sağlanırken aynı zamanda %75 oranında çeşitlilik de sağlanmış ve yerel optimuma takılması önlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca GAK yönteminde tek bir yöntem yerine YÖS, EKİS, EUİS, EKKİS, EUKİS gibi farklı yöntemlerin birleşiminden yararlanılmasının nedeni ise başlangıç popülasyonun çeşitliliğini arttırarak çözümü daha da iyileştirmek ve GA'ya göre daha kısa sürede sonuca ulaşmaktır.

Başlangıç popülasyonun oluşturulmasında kullanılan EKİS, EUİS, EKKİS ve EUKİS öncelik kuralları tezin birinci bölümünde açıklanmış ve bu kurallar uygulanırken izlenecek adımlar verilmiştir. Ayrıca, başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında kullanılmak üzere yeni bir önceliklendirme sezgiseli (YÖS) de geliştirilmiştir. Bu yöntemde izlenecek adımlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Adım: İşlerin, ilk sırada makinelerde yapılması gereken işlemlerini ilgili makinelere ata. Eğer aynı makineye ilk sırada atanması gereken birden fazla işlem varsa önce daha uzun işlem süresine sahip olanı ata. Aynı işlem süresine sahip olan işlemlerin olması durumunda ise rastsal olarak birini ata.

2. Adım: Daha sonra, işlerin sıradaki işlemlerini ata. Eğer aynı makineye, aynı sırada birden fazla işlem atanması gerekiyorsa bir önceki adımda tamamlanma süresi en düşük olan işlemi seç (bir önceki adımda daha önce tamamlanmış işi). Aynı tamamlanma süresine sahip olan işlemlerin olması durumunda ise rastsal olarak birini ata.

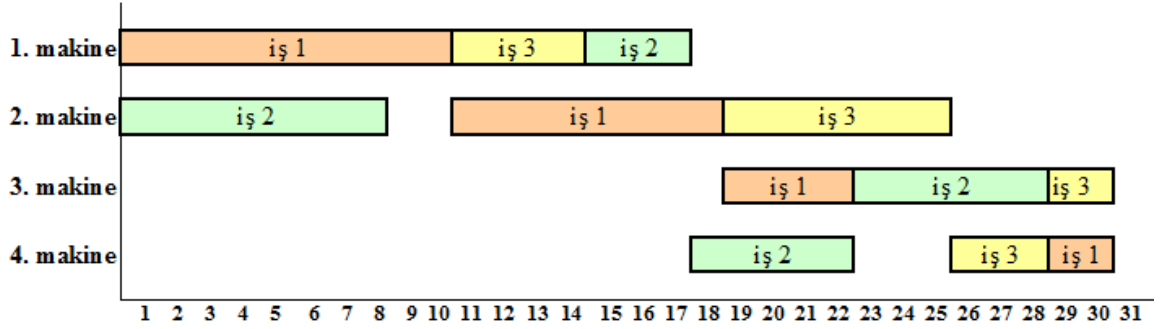
3. Adım: Tüm sıralamalardaki işler atanana kadar 2. adımı tekrarla.

Geliştirilen bu yeni önceliklendirme sezgiseli, 3 iş 4 makineden oluşan bir örnek üzerinde şu şekilde gösterilebilir:

Tablo 3.1. 3x4 boyutlu örneğe ilişkin veriler

İşler	Makine Sıraları				İşlem Zamanları			
1	1	2	3	4	10	8	4	2
2	2	1	4	3	8	3	5	6
3	1	2	4	3	4	7	3	2

Yeni önceliklendirme sezgiselinin adımları izlenerek çizelgeleme tamamlandığında Şekil 3.4'te görülen Gantt şeması elde edilir. Bu problemin optimal çözümü 30 iken, önerilen YÖS ile de aynı sonucuna ulaşılmıştır.



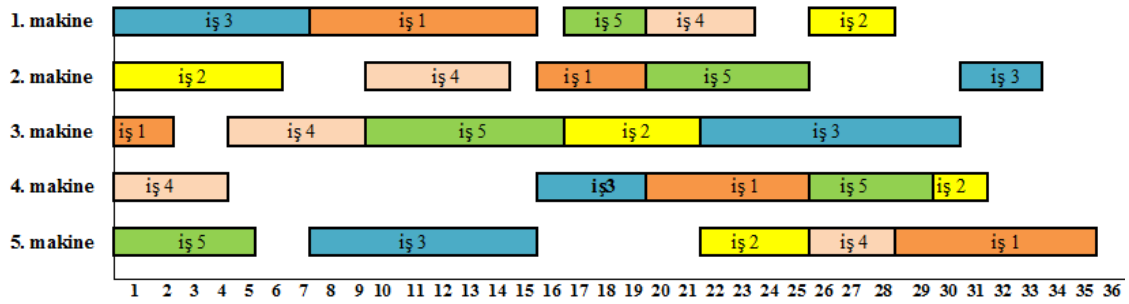
Şekil 3.4. 3x4 boyutlu problemin yeni önceliklendirme sezgiseli ile çözümü

Önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için 5 iş 5 makineden oluşan başka bir örnek şu şekilde verilebilir (Omar vd., 2006: 6):

Tablo 3.2. 5x5 boyutlu örneğe ilişkin veriler

İşler	Makine Sıraları					İşlem Süreleri				
1	3	1	2	4	5	2	8	4	6	7
2	2	3	5	1	4	6	5	4	3	2
3	1	5	4	3	2	7	8	4	9	3
4	4	3	2	1	5	4	5	5	4	3
5	5	3	1	2	4	5	7	3	6	4

Yeni önceliklendirme sezgiselinin adımları izlenerek çizelgeleme tamamlandığında Şekil 3.5'te görülen Gantt şeması elde edilir. Bu probleme ait optimal çözüm 34 iken YÖS ile çözüm 35 olarak bulunmuştur. Her iki örnekte görüldüğü üzere, YÖS optimal çözüme yakın sonuçlar vermektedir. Bu yöntem, geliştirilen GAYÖS'te başlangıç popülasyonunun %25'ini, GAK'ta başlangıç popülasyonunun %5'ini elde etmede kullanılmıştır.



Şekil 3.5. 5x5 boyutlu problemin yeni önceliklendirme sezgiseli ile çözümü

3.2.3. Uygunluk

Her nesil için popülasyondaki tüm kromozomlar uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilir. Uygunluk değeri daha iyi olan kromozomlar yeni bireyleri oluşturmak için eşleştirme havuzuna seçilir. Bu tez çalışmasında, GA'da uygunluk fonksiyonu (F_i) en büyük tamamlanma zamanı (C_{enb}) olarak belirlenmiştir. Tüm kromozomlar içerisinde en büyük tamamlanma zamanı en küçük olan kromozom en iyi çözüm olarak değerlendirilir.

$$F_i = C_{enb} = Enb(C_1, C_2, \dots, C_n) \quad (3.7)$$

3.2.4. Kromozomların eşleştirme havuzuna alınması

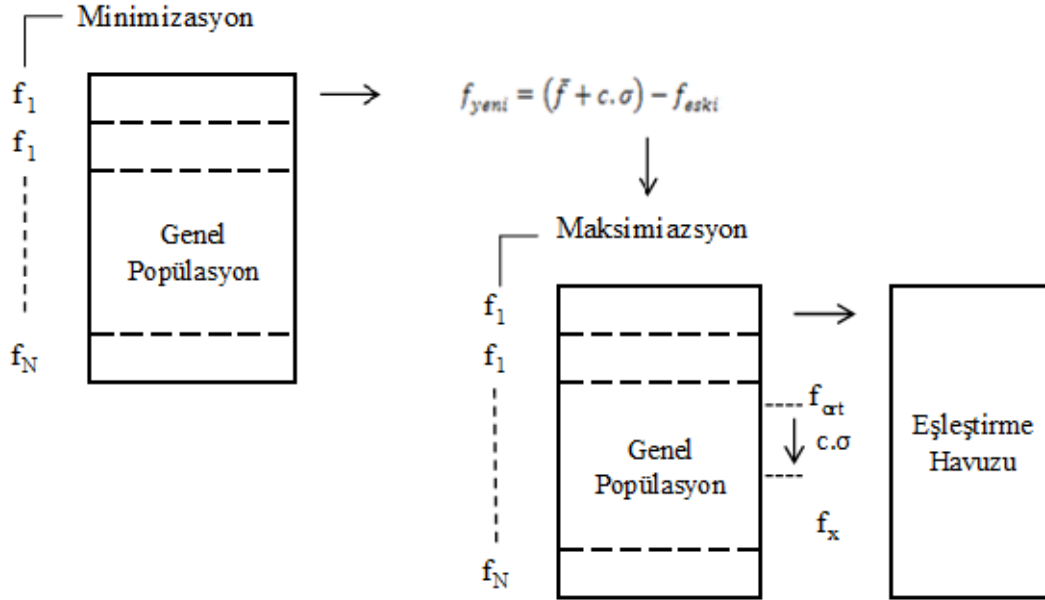
Eşleştirme süreci ile seçilmiş ebeveyn kromozomlardan bir ya da daha fazla birey üretilmesi amaçlanmaktadır. Bunun için, eşleştirme havuzu oluşturulur. Topluluk içinden eşleştirme havuzuna seçilecek kromozomların belirlenmesi de GA'nın iyi performans vermesi açısından oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında, eşleştirme havuzuna seçilecek kromozomların belirlenmesi için "sigma (σ) truncation" olarak adlandırılan uygunluk derecelendirme tekniği kullanılmıştır (Goldberg, 1989: 124). σ , popülasyon içerisinde yer alan kromozomlara ait mesafelerin standart sapmasını ifade etmektedir ve yeniden derecelendirilmiş uygunluk fonksiyonu Eşitlik 3.8'deki gibidir.

$$Uygunluk_{yeni} = (Uygunluk_{ort} + c * Standart Sapma) - Uygunluk_{eski}$$

$$f_{yeni} = (\bar{f} + c \cdot \sigma) - f_{eski} \quad (3.8)$$

Şekil 3.6'da kromozomların eşleştirme havuzuna alınmadan önce gerçekleştirilen yeniden derecelendirme işlemi gösterilmektedir. Uygunluk değerleri yeniden derecelendirilen genel popülasyonda, hangi bireylerin eşleştirme havuzuna alınacağı belirlenirken popülasyon ortalamasının ne kadar altına inileceği c katsayısı ile

belirlenir. Bu sayede, belirlenen sınırın altında kalan çözümlerin yeni uygunluk değerleri sıfırın altında olacağı için bu çözümler, çözüm kümesi dışında bırakılmaktadır. Sadece eşleştirme havuzuna alınan bireylere çaprazlama uygulanır. Buradaki amaç, iyi çözümlerin birbirleri ile eşleştirilmesini sağlamaktır (Koyuncuoğlu, 2012: 67).



Şekil 3.6. Kromozomların eşleştirme havuzuna alınması (Kulak, 2007)

3.2.5. Çoğalma işlemi

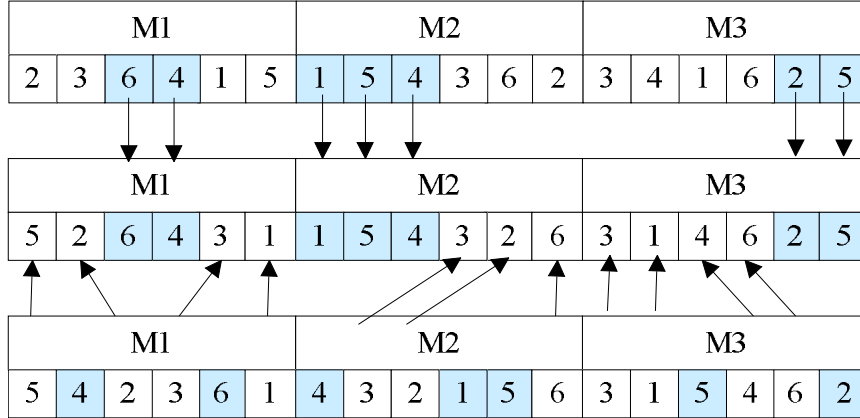
Çoğalma operatörü ile başlangıç popülasyonunda rastsal olarak üretilen kromozomların uygunluk değerlerine göre yeni bir popülasyon oluşturulur. Çoğalma işlemi; kromozomların seçilmesi, seçilmiş kromozomların bir eşleşme havuzuna kopyalanması ve havuzda kromozomların genelde çiftler halinde gruplara ayrılması işlemlerinden oluşur. Bu tezde kullanılan çoğalma (seçim) yöntemleri, rulet tekeri, sıralama ve turnuva yöntemleridir. Ayrıca tezde, elitizm ile en iyi bir ya da daha fazla iyi çözüm yeni nesile kopyalanır ve böylece iyi çözümlerin kaybedilmesi önlenerek GA'nın hızlı çözüm vermesi sağlanır. Bu yöntemler hakkında ayrıntılı bilgi tezin ikinci bölümünde verilmiştir.

3.2.6. Çaprazlama operatörü

Çaprazlama operatörü ile seçilen iki kromozom arasındaki genler değiştirilmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan çaprazlama operatörleri, pozisyona dayalı ve sıraya dayalı çaprazlama operatörleridir. Bu çaprazlama operatörleri, tezin

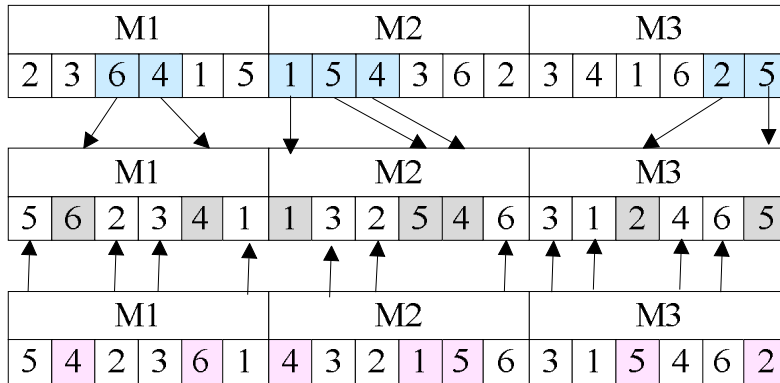
ikinci bölümünde açıklanmıştır. Bu bölümde, tezde kullanılan çaprazlama operatörlerine, iş çizelgeleme problemleri üzerinde örnekler verilmiştir.

Pozisyona dayalı çaprazlama operatörüne (PBX) örnek, 3 makine 6 işten oluşan çizelgeleme problemi üzerinde Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.7. PBX çaprazlama operatörüne örnek

Sıraya dayalı çaprazlama operatörüne (OBX), 3 makine 6 işten oluşan iş çizelgeleme problemi üzerinde örnek Şekil 3.8'de görülmektedir.



Şekil 3.8. OBX çaprazlama operatörüne örnek

3.2.7. Mutasyon operatörü

Mutasyon operatörü ile, var olan bir kromozomun genlerinin bir ya da bir kaçının yerleri değiştirilerek yeni bir kromozom oluşturulur. Bu tez çalışmasında, mutasyon operatörlerinden ters mutasyon, keyfi iki geni değiştirme, sağa rotasyon ve sola rotasyon kullanılmıştır. Bu mutasyon operatörlerine tezin ikinci bölümünde

değ inilmiştir. Bu bölümde, tezde kullanılan mutasyon operatörlerine iş çizelgeleme problemleri üzerinde örnekler verilmiştir.

Ters mutasyon operatörüne örnek, 3 makine 6 işten oluşan çizelgeleme problemi üzerinde Şekil 3.9'da görülmektedir.

M1						M2						M3					
2	3	6	4	1	5	1	5	4	3	6	2	3	4	1	6	2	5

M1						M2						M3					
4	6	3	2	1	5	1	5	3	4	6	2	3	4	1	5	2	6

Şekil 3.9. Ters mutasyon operatörüne örnek

Keyfi iki geni değiştirme mutasyon operatörüne, 3 makine 6 işten oluşan iş çizelgeleme problemi üzerinde örnek Şekil 3.10'da görülmektedir.

M1						M2						M3					
2	3	6	4	1	5	1	5	4	3	6	2	3	4	1	6	2	5

M1						M2						M3					
2	1	6	4	3	5	1	5	6	3	4	2	2	4	1	6	3	5

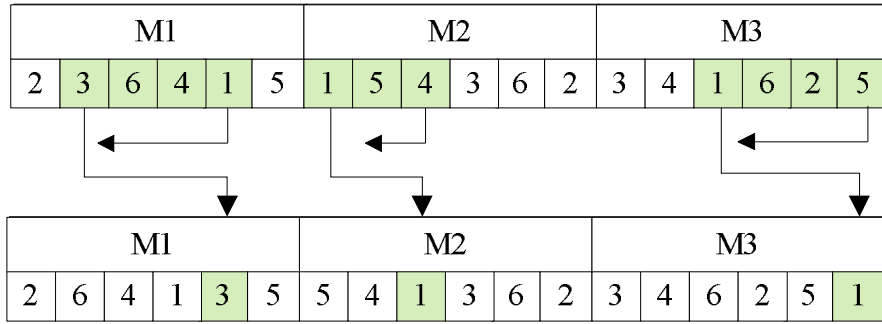
Şekil 3.10. Keyfi iki geni değiştirme mutasyon operatörüne örnek

Sağa rotasyon ve sola rotasyon mutasyon operatörlerine örnek, 3 makine 6 işten oluşan iş çizelgeleme problemi üzerinde sırasıyla Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de verilmiştir.

M1						M2						M3					
2	3	6	4	1	5	1	5	4	3	6	2	3	4	1	6	2	5

M1						M2						M3					
2	1	3	6	4	5	1	5	6	4	3	2	2	3	4	1	6	5

Şekil 3.11. Sağa rotasyon mutasyon operatörüne örnek



Şekil 3.12. Sola rotasyon mutasyon operatörüne örnek

3.2.8. Tamir fonksiyonu

Yeni oluşturulan kromozomların bazıları, işlerin makinelerdeki sıralama kısıtını sağlayamaz. Özellikle, çaprazlama ve mutasyon operatörleri uygulandıktan sonra çeşitli kısıtları karşılayamayan kromozomlar ortaya çıkmaktadır. Her kromozomun oluşturulmasından sonra bu kısıtları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir. Bu tez çalışmasında kullanılan tamir fonksiyonu, 3 iş 4 makineden oluşan bir örnek üzerinde şu şekilde açıklanabilir:

Tablo 3.3. 3x4 boyutlu örneğe ilişkin veriler

İşler	Makine Sıraları				İşlem Süreleri			
1	1	2	3	4	10	8	4	2
2	2	1	4	3	8	3	5	6
3	1	2	4	3	4	7	3	2

Oluşturulan ilk kromozomda, 2. makinede işlerin sıralaması 3 2 1 şeklindedir. Yani 3. iş, 2. makine'de iş 2'den önce işlem görmektedir. Ancak işlerin makinelerdeki sıralamalarına bakıldığında 3. işin makine sıralaması 1 2 4 3 şeklindedir. Bu durumda, 3. işin, önce 1. makinede sonra 2. makinede işlem görmesi gerekmektedir. Kromozomda iş sıralaması, 3. işin 2. makinede 2. işten önce gelmesi gerektiğini göstermektedir. Ancak, bu mümkün değildir ve bu durumun tamir fonksiyonu ile düzeltilmesi gerekir. Bunun için, 2. makinede işlerin sıralaması 2 3 1 şeklinde değiştirilir. Ayrıca, 3.makinede iş sıralaması 3 1 2 de değiştirilerek 1 3 2 şeklinde olmalıdır.

Uygun Olmayan Kromozom	M1			M2			M3			M4		
	2	3	1	3	2	1	3	1	2	1	3	2
Tamir Edilmiş Kromozom	M1			M2			M3			M4		
	2	3	1	2	3	1	1	3	2	1	3	2

Şekil 3.13. Tamir fonksiyonuna örnek

3.3. Tabu Arama Esaslı Geliştirilen Yöntem

TA yöntemi, tek bir başlangıç çözümü ile aramaya başlar ve genellikle çalışmalarda bu çözüm rastsal olarak oluşturulur. Ancak bu tez çalışmasında, bu başlangıç çözümü elde edilirken öncelikle başlangıç çözümleri oluşturulmuş, bu çözümler uygunluk değerlerine göre sıralanmış ve içlerinden en iyi uygunluk değerine sahip olan başlangıç çözümü olarak seçilmiştir. Burada amaç, daha iyi bir çözümle TA'ya başlamaktır.

Başlangıç çözümü belirlendikten sonra, her iterasyonda tabu olmayan bir hareket ile mevcut çözümün komşuları içerisinde bir tanesi seçilerek değerlendirilir. Eğer amaç fonksiyonunun değerinde bir iyileşme sağlanmışsa komşu çözüm, mevcut çözüm alınarak devam edilir. Komşuluk yapıları ile var olan çözümde, önceden belirlenmiş kurallar yardımıyla değişiklikler yapılarak yeni çözümler üretilir. İş çizelgeleme probleminde mevcut çizelgeden yeni çizelgeler oluşturmak için komşuluk yapılarından yararlanır. Bu tez çalışmasında, N1, N2, N6 komşuluk yapıları ile bu tezde geliştirilen N7 komşuluk yapısı kullanılmıştır. Bu komşuluk yapıları hakkında ayrıntılı bilgi tezin ikinci bölümünde verilmiştir.

Komşu çözüm sayısının azaltılması için daha önce yapılan hareketlere tekrar dönüş yapmayı engellemek gerekir. Bunun için, yöntem bir veya daha fazla tabu listesini hafızasında tutar. Eğer bir komşu çözüm adayı, tabu listesinde yer alan bir çözümle aynıysa, bu durumda bu çözüm zaten daha önce denenmiş olduğundan değerlendirme dışı bırakılır (Tosun, 2011: 54). Yapılan bir hareketin ne kadar süreyle tabu listesinde kalacağı tabu listesi uzunluğu (tabu süresi) ile belirlenir. Bir tabu listesi, sabit ya da değişken nitelikte olabilir. Bazı uygulamalarda, basitliği açısından statik tabu

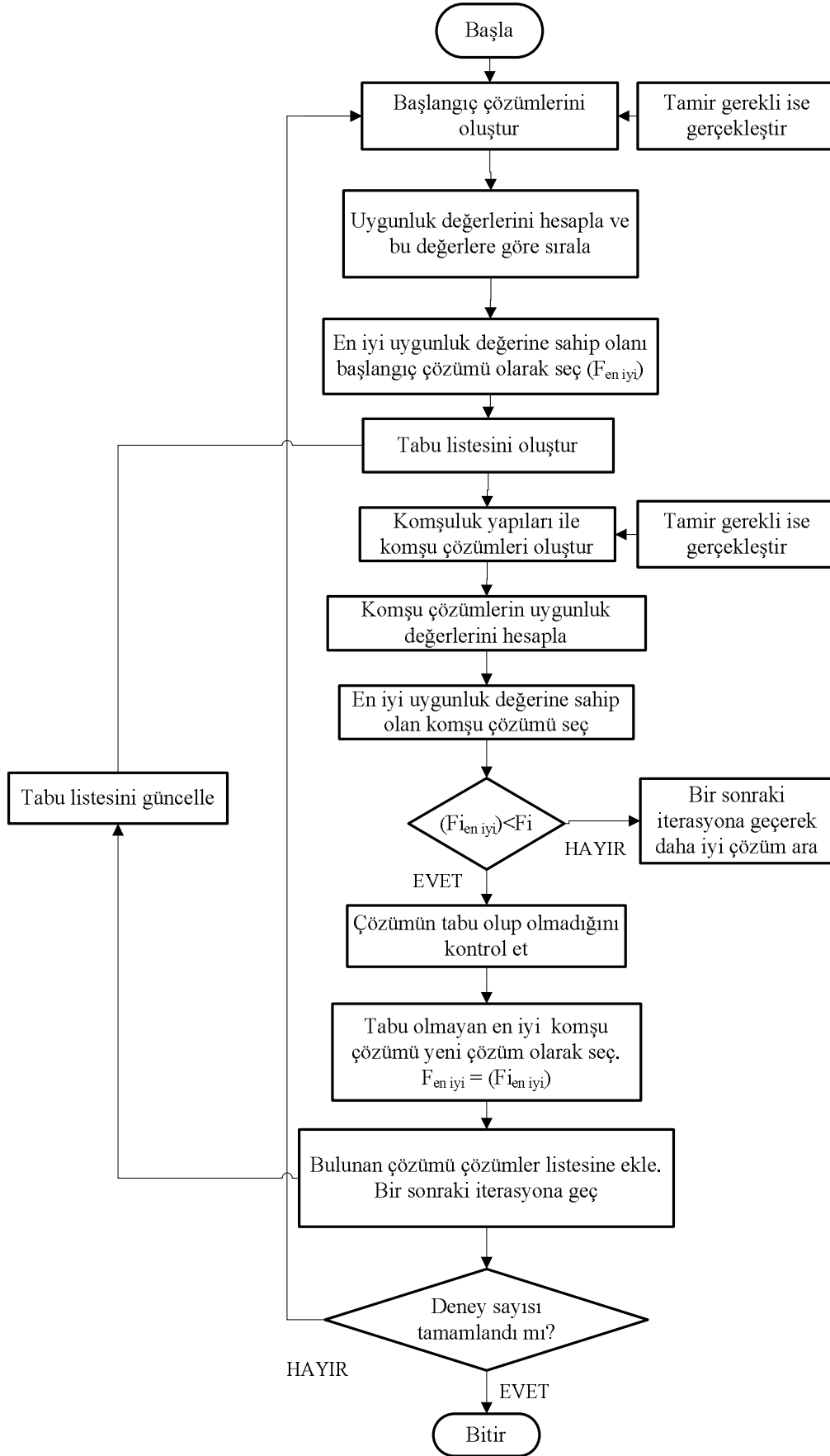
liste tipi kullanılırken, bazı çalışmalarda bir hareketin niteliğine göre tabu durumunun değişkenlik gösterdiği dinamik tabu liste tipine yer verilmektedir. Bu tez çalışmasında, statik ve dinamik tabu listeler, "K" kromozomda yer alan gen sayısını göstermek üzere şu şekilde belirlenmiştir:

Statik liste tipinde tabu iterasyon sayısı: $K^{1/2}$

Dinamik liste tipinde tabu iterasyon sayısı: $0.9 \cdot K^{1/2}$ ya da $1.1 \cdot K^{1/2}$

Tabu olan hareketlerin sayısı tabu liste uzunluğuna eriştiğinde tabu listesinin en başında olan en eski hareket listeden çıkarılır. Liste bir sıra yukarı hareket ettirilerek listenin ikinci sırasındaki hareket birinci sıraya, üçüncü sırasındaki hareket ikinci sıraya gelir. Bu şekilde devam edilerek en son tabu olan hareket sondan bir önceki sıraya gelir. Boşalan son sıraya ise yeni yapılan hareket yerleşir. Belirlenen durdurma kriteri sağlanıncaya kadar her iterasyon için bu işlemler tekrarlanır (Değertekin vd., 2006: 3919). Bu tez çalışmasında TA'da durdurma kriteri, tabu arama çevrimi ve komşu arama çevriminin tamamlaması olarak belirlenmiştir.

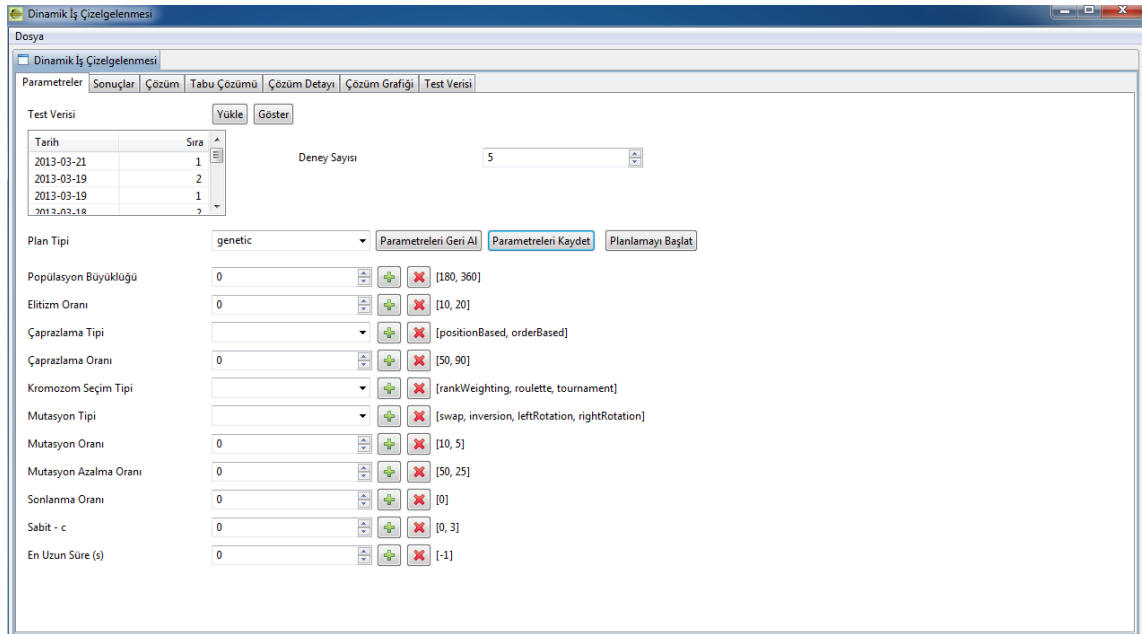
Geliştirilen TA yönteminde izlenecek adımlar Şekil 3.14'teki akış diyagramında görülmektedir. Dinamik olay her gerçekleştiğinde yeniden çizelgeleme yapılacağından, dinamik olayın geldiği andan itibaren bu akış diyagramındaki işlemler baştan tekrarlanır.



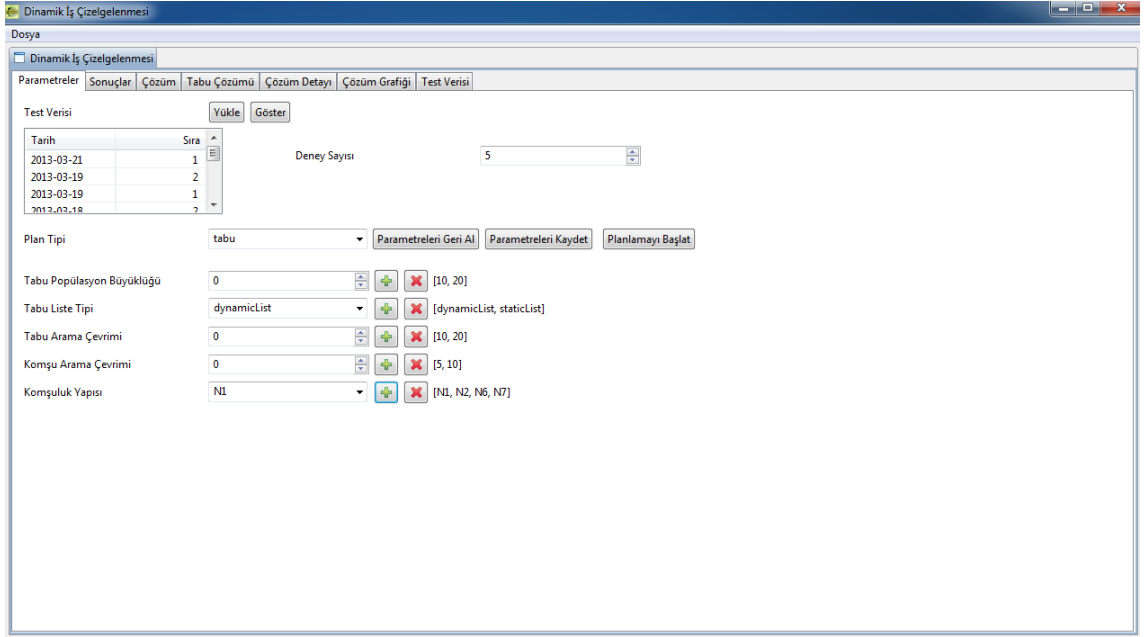
Şekil 3.14. Geliştirilen TA yöntemine ait akış diyagramı

3.4. Geliştirilen Program ve Özellikleri

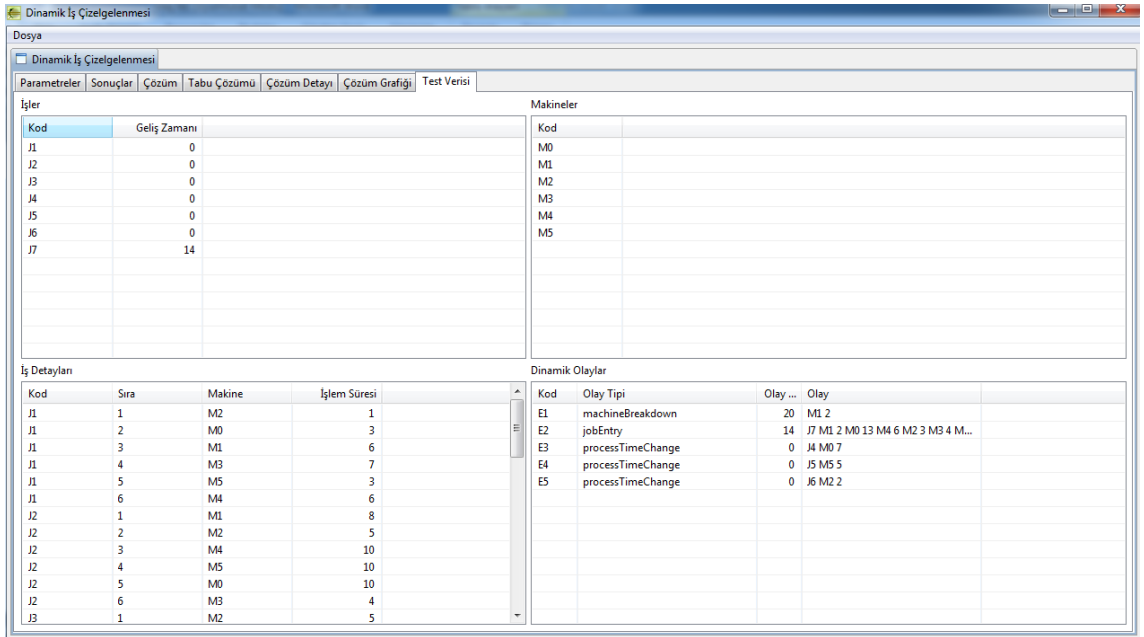
Geliştirilen GA ve TA esaslı yaklaşımlar, Java programlama dili ile kodlanmış ve hazırlanan program için bir ara yüz tasarlanmıştır. *Parametreler* ara yüzünde, problemlerin çözümünde kullanılacak GA ve TA yöntemlerine ait parametreler girilebilmektedir. *Test Verisi* ara yüzünde, dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemlerine ait veriler; işlemlerin hangi makinelerde hangi sıralarda işlem görecekları ve bu makinelerdeki işlem süreleri ve dinamik olaylara ilişkin bilgiler görülmektedir. *Sonuçlar* ara yüzünde, yapılan testler sonucu elde edilen sonuçlara ait bilgilere ulaşılmaktadır. *Çözüm ekranında* ise, yapılan test sonucu elde edilen sonuçlar sıralanmakta ve bu sonuçların hangi parametreler ile elde edildiği görüntülenmektedir. *Çözüm detayı* ara yüzünde, tek bir çözüme ilişkin işlerin makinelerdeki sıralaması ve ilgili çözüme ait Gantt şemasına ulaşılmaktadır. *Çözüm grafiği* ara yüzünde, uygunluk değişim grafiği görüntülenmektedir. Geliştirilen programa ait ara yüzlerin görüntüleri Şekil 3.15 - Şekil 3.21 arasında görülmektedir.



Şekil 3.15. GA parametrelerini girme ekranı



Şekil 3.16. TA parametrelerini girme ekranı



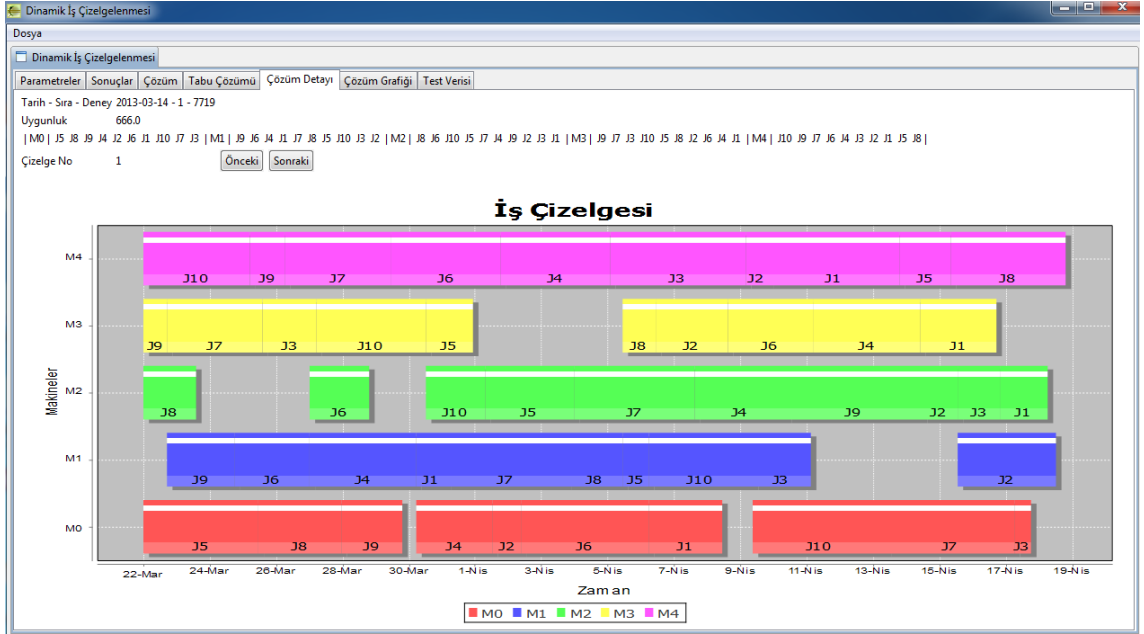
Şekil 3.17. Veri ekranı

Tarih	Sıra	Test Tarihi	Test ...	Plan Tipi	Dene...
2013-03-21	1	2013-03-21	1	genetic	5
2013-03-19	6	2013-03-19	2	tabu	10
2013-03-19	5	2013-03-19	2	tabuDh	10
2013-03-19	4	2013-03-19	2	tabuDh	5
2013-03-19	3	2013-03-19	2	tabu	100
2013-03-19	2	2013-03-19	2	tabu	10
2013-03-19	1	2013-03-19	1	tabu	10
2013-03-18	3	2013-03-18	1	tabu	10
2013-03-18	2	2013-03-18	1	tabu	5
2013-03-18	1	2013-03-17	4	genetic	5
2013-03-17	25	2013-03-17	3	genetic	10
2013-03-17	24	2013-03-17	3	genetic	100
2013-03-17	23	2013-03-17	4	genetic	100
2013-03-17	22	2013-03-17	4	genetic	50
2013-03-17	21	2013-03-17	4	genetic	20
2013-03-17	20	2013-03-17	4	genetic	10
2013-03-17	19	2013-03-17	4	tabu	100
2013-03-17	18	2013-03-17	4	tabu	50
2013-03-17	17	2013-03-17	4	tabu	10
2013-03-17	16	2013-03-17	4	tabu	10
2013-03-17	15	2013-03-17	4	tabu	10
2013-03-17	14	2013-03-17	3	tabu	10
2013-03-17	13	2013-03-17	3	tabu	10
2013-03-17	12	2013-03-17	2	tabu	10
2013-03-17	11	2013-03-17	2	tabu	10
2013-03-17	10	2013-03-17	2	tabu	10
2013-03-17	9	2013-03-17	2	tabu	5

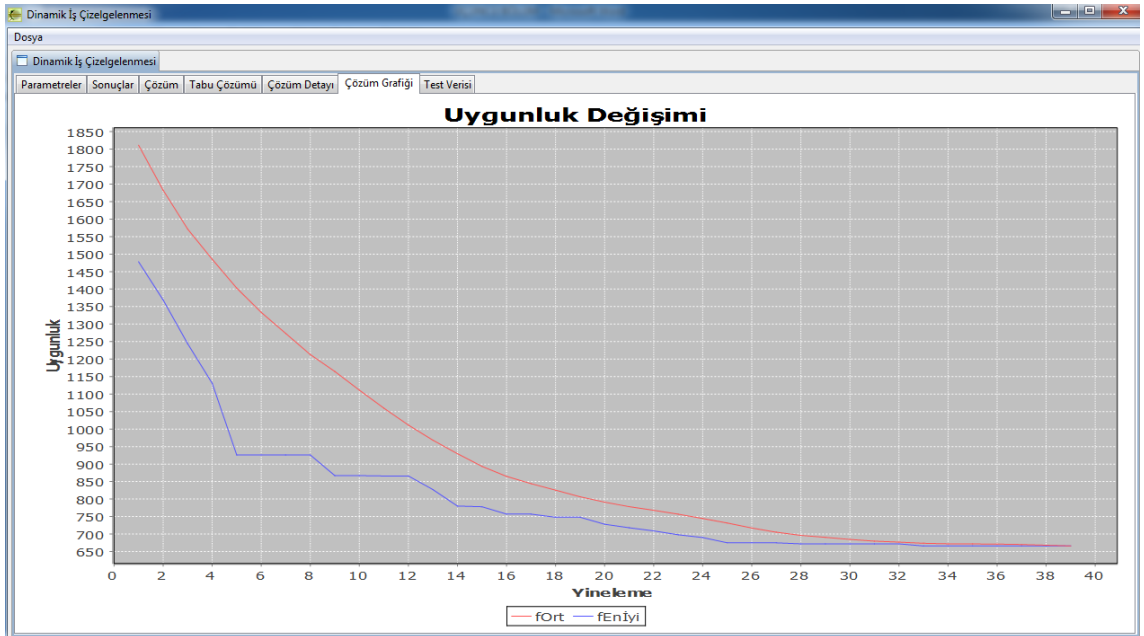
Şekil 3.18. Sonuçların sıralandığı ekran

Deneç	Uygunluk	Geçen Süre (s)	Populasyon BÜ...	Elitizm Oranı	Çaprazlama Tipi	Çaprazlama Or...	Kromozom Se...	Mutasyon Tipi	Mutasyon Oranı	Mutasyon Azal...	Sonlanma Oranı
7719	666.0	12	300	10	positionBased	90	tournament	swap	10	25	0
10006	666.0	12	300	20	positionBased	90	rankWeighting	leftRotation	5	50	0
8677	666.0	12	300	10	orderBased	90	tournament	swap	10	25	0
11148	666.0	12	300	20	orderBased	50	tournament	leftRotation	10	50	0
9940	666.0	12	300	20	positionBased	90	rankWeighting	swap	5	25	0
7730	666.0	12	300	10	orderBased	90	tournament	inversion	5	50	0
9538	666.0	12	300	10	orderBased	50	rankWeighting	leftRotation	5	25	0
9710	666.0	12	300	20	positionBased	90	tournament	leftRotation	10	50	0
9207	666.0	12	300	10	orderBased	50	tournament	leftRotation	5	50	0
9017	666.0	12	300	10	orderBased	90	rankWeighting	inversion	5	25	0
7686	666.0	12	300	10	positionBased	90	tournament	swap	5	50	0
8657	666.0	12	300	10	orderBased	90	tournament	swap	5	25	0
11009	666.0	12	300	20	orderBased	90	rankWeighting	rightRotation	5	50	0
10316	666.0	12	300	20	positionBased	50	roulette	inversion	10	25	0
7759	666.0	12	300	10	positionBased	90	tournament	inversion	10	25	0
10607	666.0	12	300	20	orderBased	90	tournament	inversion	5	50	0
8736	666.0	12	300	10	orderBased	90	tournament	leftRotation	5	25	0
7740	666.0	12	300	10	positionBased	90	tournament	inversion	5	25	0
10696	666.0	12	300	20	orderBased	90	tournament	rightRotation	5	25	0
8647	666.0	12	300	10	orderBased	90	tournament	swap	5	50	0
10567	666.0	12	300	20	orderBased	90	tournament	swap	5	50	0
8708	666.0	12	300	10	orderBased	90	tournament	inversion	10	50	0
8328	666.0	12	300	10	positionBased	50	roulette	swap	5	50	0
7769	666.0	13	300	10	positionBased	90	tournament	leftRotation	5	50	0
11208	666.0	13	300	20	orderBased	50	roulette	swap	5	50	0
10577	666.0	13	300	20	orderBased	90	tournament	swap	5	25	0
9667	666.0	13	300	20	positionBased	90	tournament	inversion	10	50	0

Şekil 3.19. Sonuca ait çözüm detayını gösteren ekran



Şekil 3.20. Çözüme ilişkin Gantt şemasını gösteren ekran



Şekil 3.21. Uygunluk değişimini gösteren grafik ekranı

3.5. Deneysel Çalışmalar

GA ve TA'da esas alınacak parametre değerleri, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'teki gibi belirlenmiştir. Bu tablolarda bulunan değerler belirlenirken literatürde atölye tipi çizelgeleme problemlerinde sıklıkla kullanılan parametre değerleri dikkate alınmıştır. Bu değerlerden, en uygun parametrelerin belirlenmesi için 8 GB RAM ve 2.50 GHz i5 işlemcili standart bir bilgisayarda deneyler gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analizler uygulanmış ve en iyi parametre setinin belirlenebilmesi için farklı parametre değerleri kullanılarak GA yöntemi için 7680, TA için 320 deney yapılmıştır.

Tablo 3.4. Deneysel çalışmada kullanılan GA parametre değerleri

Parametre	Kullanılan Değerler
Deney Tekrar Sayısı	5
Popülasyon Büyüklüğü	180- 360
Çaprazlama Yöntemi	Pozisyona Dayalı Çaprazlama (PBX) - Sıraya Dayalı Çaprazlama Operatörü (OBX)
Çaprazlama Oranı	0,50 - 0,90
Elitizm Oranı	0,10 - 0,20
Kromozom Çoğalma (Seçim) Yöntemi	Rulet Teker Yöntemi - Turnuva Seçim Yöntemi - Sıralama Yöntemi
Mutasyon Yöntemi	Ters Mutasyon - Keyfi İki Geni Değiştirme - Sağa Rotasyon-Sola Rotasyon
Mutasyon Yüzdesi	0,05 - 0,10
Mutasyon Azalma Oranı	0,25 - 0,50
C Değeri	0 - 3
Sonlanma Oranı	0

Tablo 3.5. Deneysel çalışmada kullanılan TA parametre değerleri

Parametre	Kullanılan Değerler
Deney Tekrar Sayısı	5
Başlangıç Çözüm Sayısı	10 - 20
Tabu Liste Tipi	Dinamik - Statik
Tabu Arama Çevrimi	10 - 20
Komşuluk Arama Çevrimi	5 - 10
Komşuluk Yapıları	N1- N2- N6- N7

3.5.1. En iyi parametre setinin belirlenmesi

Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'te belirtilen parametre değerleri kullanılarak 6 iş, 6 makine ve 36 işlemde oluşan 6x6 boyutlu atölye tipi iş çizelgeleme problemi üzerinde 5 tekrarlı deneyler yapılmıştır. Deneylerin tamamlanmasının ardından en iyi uygunluk değerine sahip 15 GA parametre seti ve 6 TA parametre seti seçilmiştir. Seçilen bu parametre setleri Tablo 3.6 ve Tablo 3.7'de görülmektedir. Tabloların ilk sütununda bulunan "Parametre Grubu" ifadesi o parametre grubu ile yapılan deneylere karşılık gelmektedir. En iyi parametre setinin belirlenebilmesi için bu tablolarda yer alan veriler ile Tek Yönlü Varyans Analizi (Tek Yönlü ANOVA) gerçekleştirilmiştir. Tek Yönlü ANOVA, normal dağılım gösteren k toplumdaki alınan k bağımsız grup denemelerinden elde edilen nicel verilerin analizinde yararlanılan bir yöntemdir ve bu analiz k grup ortalamaları arasında fark olup olmadığını test eder (Şahin, 2009: 51). Bu yüzden öncelikle verilerin normal dağılıp dağılmadığının belirlenebilmesi için normallik testi yapılmıştır.

Tablo 3.6. ANOVA testi için seçilen GA parametre grupları

Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk
95	55	243	58	1337	59
95	56	243	59	1337	60
95	56	243	59	1337	60
95	57	243	59	1337	62
95	59	243	59	1337	63
1301	56	1449	59	1445	59
1301	59	1449	59	1445	59
1301	59	1449	59	1445	60
1301	62	1449	63	1445	60
1301	62	1449	67	1445	63
1413	58	1529	59	1343	59
1413	60	1529	59	1343	60
1413	62	1529	60	1343	63
1413	63	1529	63	1343	63
1413	63	1529	63	1343	67
1372	58	1251	59	933	59
1372	59	1251	59	933	60
1372	59	1251	62	933	60
1372	62	1251	63	933	62
1372	63	1251	69	933	63
555	58	871	59	1471	59
555	59	871	60	1471	59
555	60	871	62	1471	63
555	62	871	62	1471	67
555	63	871	63	1471	72

Tablo 3.7. ANOVA testi için seçilen TA parametre grupları

Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk
37	55	60	59	45	60
37	56	60	61	45	67
37	56	60	82	45	68
37	57	60	84	45	91
37	58	60	95	45	94
48	59	64	59	53	61
48	68	64	66	53	80
48	69	64	71	53	80
48	72	64	73	53	89
48	78	64	89	53	89

3.5.1.1. Normallik testi

Tek Yönlü ANOVA’da, k toplumun $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ ortalamalı ve ortak σ^2 varyanslı normal dağılım gösterdiği varsayımı kabul edilir. Tek yönlü varyans analizini verilere uygulamadan önce, grup verilerinin normal dağılım gösterip göstermediği SPSS 17 paket programında Kolmogorov-Smirnov testi ile test edilmiştir. Söz konusu testte, H_0 hipotezi ile verilerin normal dağılımlı bir ana kütlelden geldiği ifade edilirken, H_1 hipotezi ile ana kütlelin dağılımının normale uymadığı ileri sürülmektedir. Yapılan normallik testlerinin sonuçları GA için Tablo 3.8’de, TA için Tablo 3.9’da verilmektedir. Bütün parametre grupları için anlamlılık değeri 0,05’ten büyük olduğundan H_0 hipotezi kabul edilerek verilerin normal dağılım gösterdiği söylenir.

Tablo 3.8. GA için normallik testi sonuçları

Parametre Grubu	Kolmogorov-Smirnov		
	İstatistik	Serbestlik Derecesi (sd)	Anlamlılık
95	0,254	5	0,904
243	0,473	5	0,214
555	0,180	5	0,997
871	0,287	5	0,805
933	0,287	5	0,805
1251	0,242	5	0,932
1301	0,231	5	0,953
1337	0,287	5	0,805
1343	0,224	5	0,963
1372	0,310	5	0,722
1413	0,244	5	0,927
1445	0,348	5	0,578
1449	0,349	5	0,577
1471	0,215	5	0,974
1529	0,258	5	0,892

Tablo 3.9. TA için normallik testi sonuçları

Parametre Grubu	Kolmogorov-Smirnov		
	İstatistik	sd	Anlamlılık
37	0,237	5	0,941
45	0,298	5	0,766
48	0,231	5	0,952
53	0,307	5	0,734
60	0,245	5	0,925
64	0,250	5	0,914

3.5.1.2. F testi

ANOVA sonuçları, SPSS çıktı sayfasında ANOVA tablosu ile gösterilir. Tek Yönlü ANOVA’da toplam varyasyon iki bileşen halinde bölümlendirilir. “Gruplar arası” grup ortalamalarının genel ortalama etrafında değişimini ifade ederken, “Grup içi” ilgili grup içerisinde yer alan her bir değer grup ortalaması etrafındaki çeşitliliğini ifade eder. Tabloda yer alan “Anlamlılık” ifadesi, yapılan F testinin anlamlılık düzeyini göstermektedir (Şahin, 2009: 52). Söz konusu testte H_0 ve H_1 hipotezi şu şekilde oluşturulmuştur:

$H_0 =$ Parametre setlerinin uygunluk değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir fark yoktur.

$H_1 =$ Parametre setlerinin uygunluk değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir fark vardır.

Tablo 3.10 ve Tablo 3.11'den de görüleceği üzere anlamlılık değerleri <0.05 olduğundan H_0 hipotezi reddedilerek, H_1 hipotezi kabul edilir. GA ve TA yöntemleri için ayrı ayrı parametre setleri arasında uygunluk değerleri açısından anlamlı bir fark olduğu söylenir.

Tablo 3.10. GA F-Test istatistiği sonuçları

	Kareler Toplamı	sd	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
Gruplar Arası	199,520	14	14,251	1,981	0,035
Grup İçi	431,600	60	7,193		
Toplam	631,120	74			

Tablo 3.11. TA F-Test istatistiği sonuçları

	Kareler Toplamı	sd	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
Gruplar Arası	1722,667	5	344,533	2,634	0,049
Grup İçi	3138,800	24	130,783		
Toplam	4861,467	29			

3.5.1.3. Çoklu karşılaştırma testleri

Varyans analizi neticesinde F test istatistiği sonucu “anlamlı bir fark vardır” şeklinde ortaya çıktığından, hangi grup ortalamasının farklı olduğu belirlemek ve ortalamaları farklı olan grupları bulmak için çoklu karşılaştırma testleri gerçekleştirilmiştir (Şahin, 2009: 53). SPSS içerisinde yer alan testlerden Tukey HSD

testi çoklu karşılaştırma testi olarak seçilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucu ortaya çıkan gruplar GA için Tablo 3.12’de, TA için ise Tablo 3.13’te verilmektedir.

GA deney sonuçlarında, 15 parametre seti 2 gruba ayrılmıştır. Bazı parametre setleri birden fazla grup içerisinde yer alırken, 95 numaralı parametre seti, oluşturulan diğer parametre setlerine ait gruplarla bağlantısı olmadığı için en iyi parametre seti seçilmiştir.

Tablo 3.12. GA çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Parametre Grubu	N	1	2
95	5	56,6	
243	5	58,8	58,8
1301	5	59,6	59,6
1372	5	60,2	60,2
1445	5	60,2	60,2
555	5	60,4	60,4
933	5	60,8	60,8
1337	5	60,8	60,8
1529	5	60,8	60,8
871	5	61,2	61,2
1413	5	61,2	61,2
1449	5	61,4	61,4
1251	5	62,4	62,4
1343	5	62,4	62,4
1471	5		64,0
Anlamlılık		0,068	0,159

TA deney sonuçlarında, 6 parametre seti 2 gruba ayrılmıştır. Bazı parametre setleri birden fazla grup içerisinde yer alırken, 37 numaralı parametre seti, oluşturulan diğer parametre setlerine ait gruplarla bağlantısı olmadığından en iyi parametre seti seçilmiştir.

Tablo 3.13. TA çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Parametre Grubu	N	1	2
37	5	56,4	
48	5	69,2	69,2
64	5	71,6	71,6
45	5	76,0	76,0
60	5	76,2	76,2
53	5		79,8
Anlamlılık		0,104	0,688

95 numaralı parametre setine ait parametre değerleri Tablo 3.14'te, 37 numaralı parametre setine ait parametre değerleri ise Tablo 3.15'te verilmiştir. GA ve TA tabanlı yaklaşımlara ait en iyi parametre setlerinin belirlenmesinin ardından 5x5, 6x5, 8x5, 10x5, 10x6, 15x5, 10x8, 10x9, 20x5, 10x10, 22x5, 12x10, 13x10, 20x7, 15x10 boyutlu problemler için GA, GAYÖS, GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS, GAK ve TA yöntemleri ayrı ayrı deneye tabi tutulmuştur.

Tablo 3.14. Kullanılacak GA parametreleri

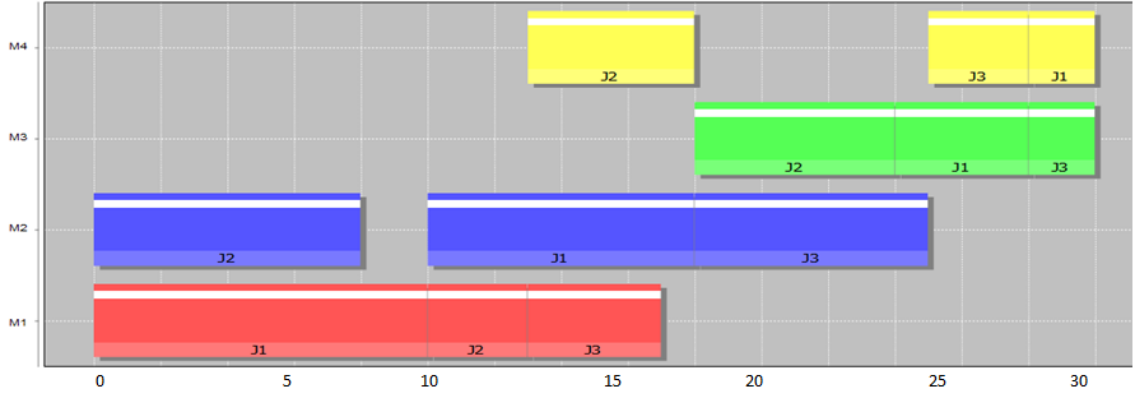
Popülasyon Büyüklüğü	İşlem Sayısı *10
Çaprazlama Yöntemi	Pozisyona Dayalı Çaprazlama (PBX)
Çaprazlama Oranı	0,90
Elitizm Oranı	0,10
Kromozom Seçim Yöntemi	Turnuva Yöntemi
Mutasyon Yöntemi	Keyfi İki Geni Değiştirme
Mutasyon Yüzdesi	0,10
Mutasyon Azalma Oranı	0,25
C Değeri	0
Sonlanma Oranı	0

Tablo 3.15. Kullanılacak TA parametreleri

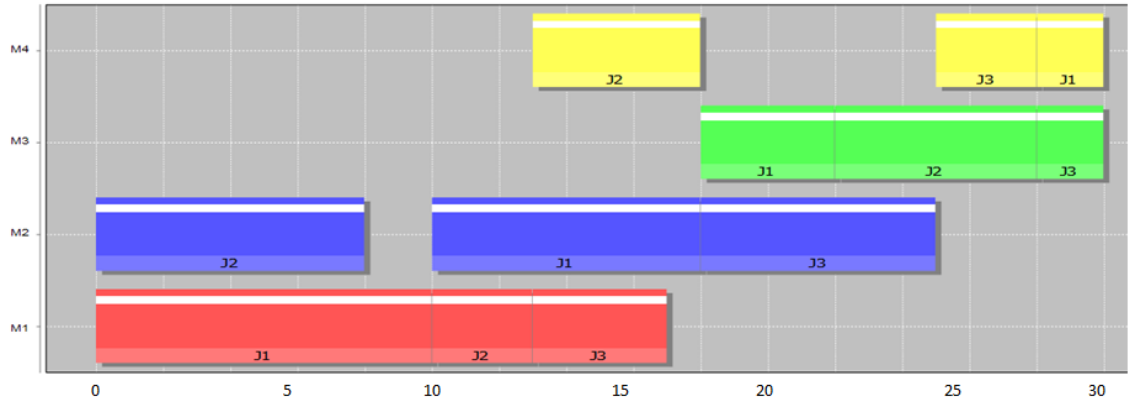
Başlangıç Çözüm Sayısı	20
Tabu Liste Tipi	Dinamik
Tabu Arama Çevrimi	10
Komşuluk Arama Çevrimi	10
Komşuluk Yapısı	N7

GA ve TA için elde edilen parametrelerin etkinliğini ölçmek için literatürden optimal sonucu bilinen 3x2 ve 5x5 boyutlarında örnekler alınmış ve önerilen parametreler kullanılarak GA ve TA yöntemleriyle çözülmüştür. Bu örneklerden 3x2 boyutlu olana ilişkin veriler Tablo 3.1'de, 5x5 boyutlu probleme ilişkin veriler ise

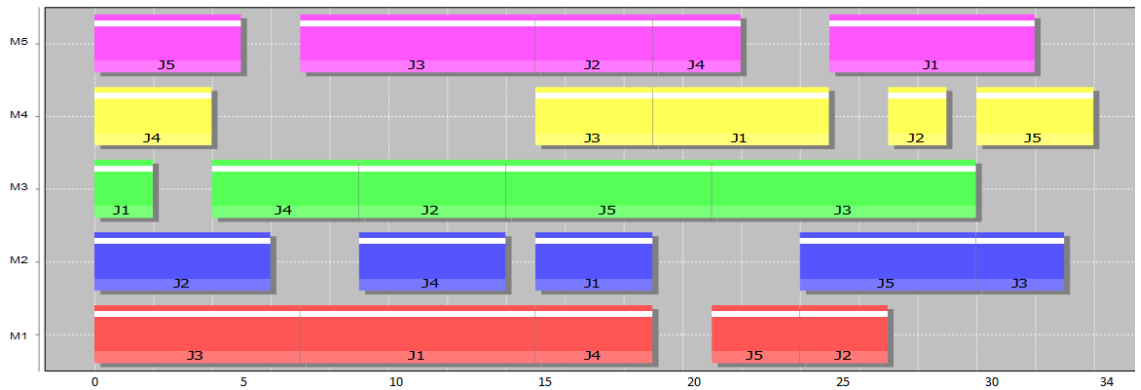
Tablo 3.2'de görülmektedir. Literatürde, daha önceden elde edilen optimal çözümler 3x2 boyutlu problem için 30 ve 5x5 boyutlu problem için 34'tür ve önerilen parametreler ile bu tezde geliştirilen GA ve TA yöntemleriyle çözüldüğünde de 30 ve 34 sonuçlarına ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 3.22, Şekil 3.23, Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'te görülmektedir.



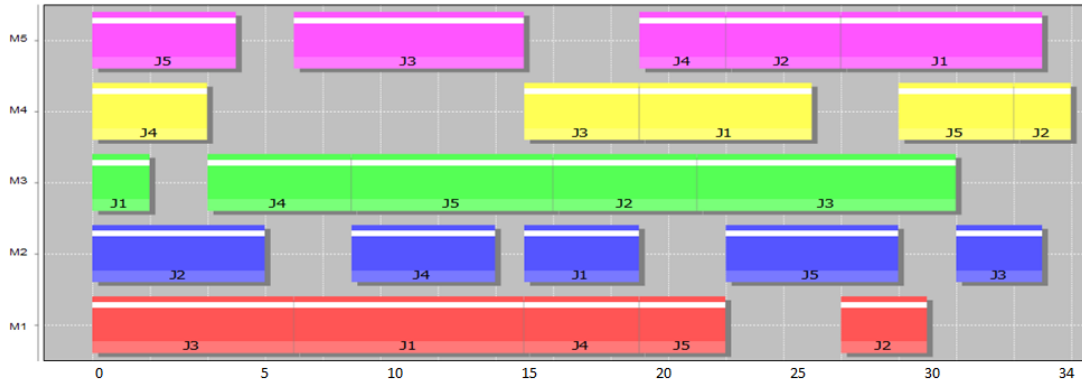
Şekil 3.22. 3x2 boyutlu probleme ait GA ile elde edilen Gantt şeması



Şekil 3.23. 3x2 boyutlu probleme ait TA ile elde edilen Gantt şeması



Şekil 3.24. 5x5 boyutlu probleme ait GA ile elde edilen Gantt şeması



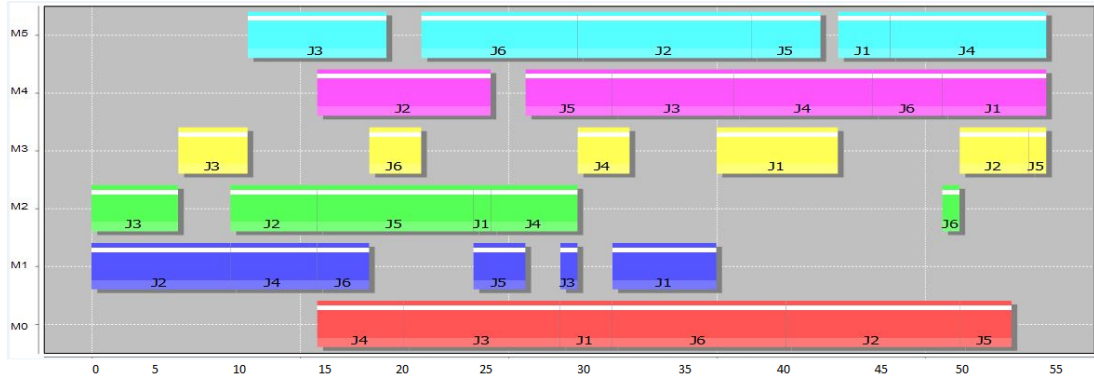
Şekil 3.25. 5x5 boyutlu probleme ait TA ile elde edilen Gantt şeması

GA ve TA parametrelerinin etkinliğini ölçmek için 6x6 boyutunda başka bir problem ele alınmıştır. Bu problem literatürde FT06 (Fisher ve Thompson, 1963: 225) adı ile geçen atölye tipi iş çizelgeleme problemidir. Bu probleme ilişkin veriler Tablo 3.16'da görülmektedir. Bu problemin literatürde bilinen optimal çözümü 55'tir.

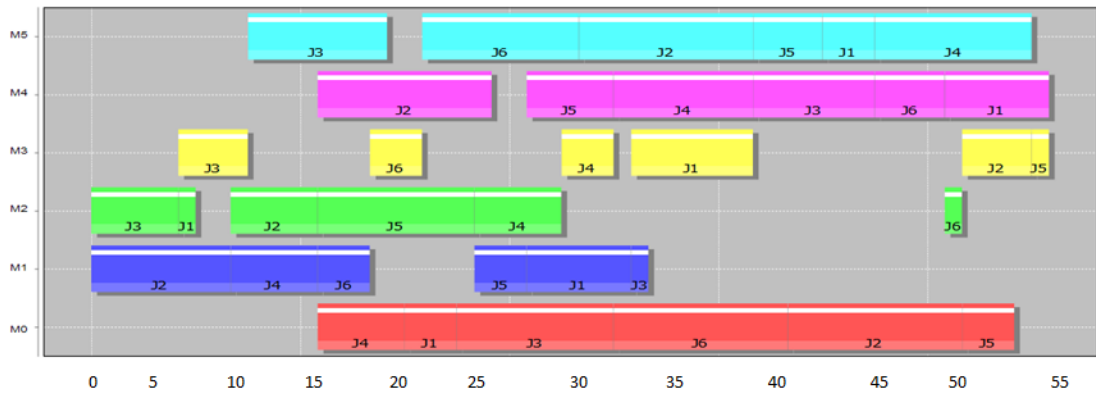
Tablo 3.16. 6x6 boyutlu test problemine ilişkin veriler

İşler	Makine Sıraları						İşlem Süreleri					
1	2	0	1	3	5	4	1	3	6	7	3	6
2	1	2	4	5	0	3	8	5	10	10	10	4
3	2	3	5	0	1	4	5	4	8	9	1	7
4	1	0	2	3	4	5	5	5	5	3	8	9
5	2	1	4	5	0	3	9	3	5	4	3	1
6	1	3	5	0	4	2	3	3	9	10	4	1

Bu problem GA ve TA ile çözülmüş ve sırasıyla Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'de görülen Gantt şemaları elde edilmiştir. Problemin GA ve TA ile çözümünde 55 sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 3.26. 6x6 boyutlu probleme ait GA ile elde edilen Gantt şeması



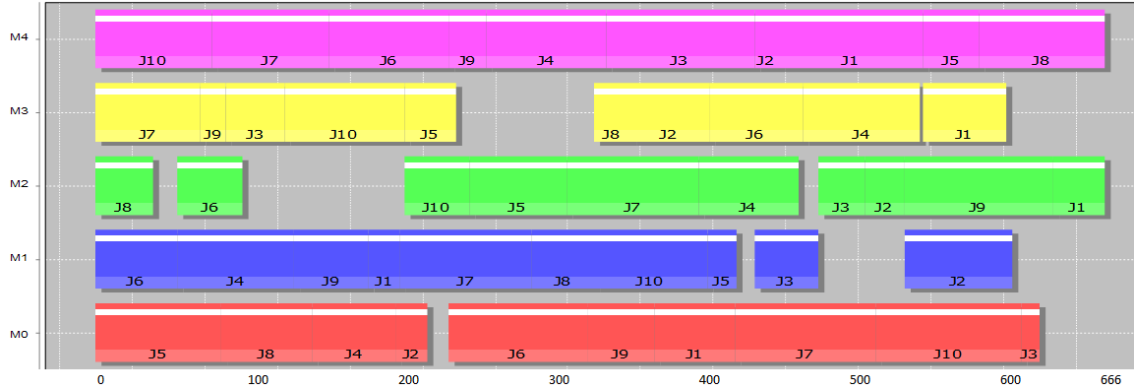
Şekil 3.27. 6x6 boyutlu probleme ait TA ile elde edilen Gantt şeması

Diğer bir test problemi literatürde literatürde LA01 olarak bilinen 10x5 boyutunda Lawrence (1984)'ın test problemlerinden biridir. Bu örneğe ilişkin veriler Tablo 3.17'de görülmektedir. Problemin bilinen optimal çözümü 666'dır.

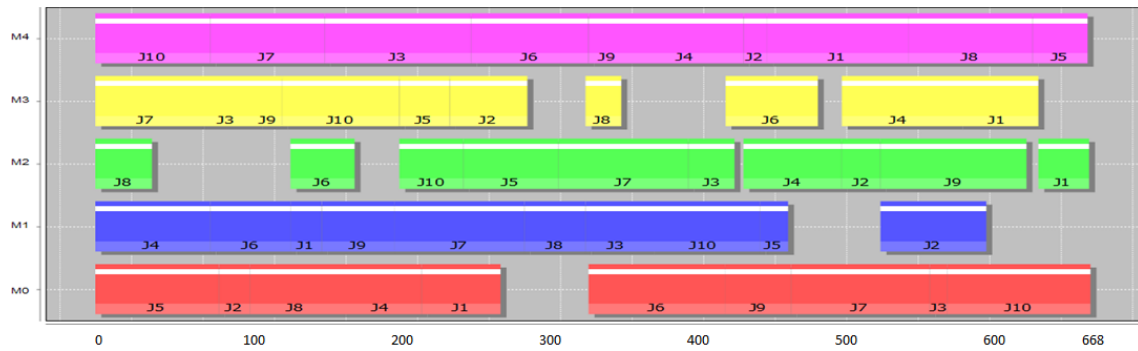
Tablo 3.17. 10x5 boyutlu test problemine ilişkin veriler

İşler	Makine Sıraları					İşlem Süreleri				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	1	0	4	3	2	21	53	95	55	34
2	0	3	4	2	1	21	52	16	26	71
3	3	4	1	2	0	39	98	42	31	12
4	1	0	4	2	3	77	55	79	66	77
5	5	3	2	1	4	83	34	64	19	37
6	1	2	4	0	3	54	43	79	92	62
7	3	4	1	2	0	69	77	87	87	93
8	2	0	1	3	4	38	60	41	24	83
9	3	1	4	0	2	17	49	25	44	98
10	4	3	2	1	0	77	79	43	75	96

GA ve TA yöntemleri ile elde edilen işlerin makinelerdeki sıralamaları Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'da görülen Gantt şemalarındaki gibidir. Bu şekillerde görüldüğü gibi GA'da optimal çözüm 666, TA'da ise 668 olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.28. 10x5 boyutlu probleme ait GA ile elde edilen Gantt şeması



Şekil 3.29. 10x5 boyutlu probleme ait TA ile elde edilen Gantt şeması

FT06 (Fisher ve Thompson, 1963), LA01, LA06 ve LA11 (Lawrence, 1984) test problemlerine ilişkin literatürde farklı çalışmalarda elde edilen sonuçlar, bu sonuçların elde edilme süreleri ve bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ve süreler Tablo 3.18'de özetlenmiştir. Bu tablodan da görüldüğü üzere önerilen parametreler ve yöntemler ile literatürdeki sonuçlarla aynı ya da yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3.18. Literatürde ve bu tezde elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Problem	Boyut (nxm)	c**	GASA Wang ve Zheng (2001)		GA Wang ve Zheng (2001)		F&F Rego ve Duarte (2009)		GAK		TA	
			c*	\bar{t}	c*	\bar{t}	c*	\bar{t}	c*	\bar{t}	c*	\bar{t}
FT06	6x6	55	55	2,12	55	13	-	-	55	1	55	0,06
LA01	10x5	666	666	5,72	666	37	666	2,5	666	2	668	0,15
LA06	15x5	926	926	12,29	926	99	926	19,6	926	5	926	0,36
LA11	20x5	1222	1222	25,94	1222	197	1222	45,4	1222	14	1228	1,28

n: iş sayısı

m: makine sayısı

c**: bugüne kadar elde edilen en iyi sonuç

c*: yöntem ile elde edilen sonuç

 \bar{t} : saniye cinsinden bilgisayarda işlem süresi (CPU zamanı)

GASA: Genetik Algoritma- Tavlama Benzetimi

F&F: Filtre ve Fan Yöntemi

3.5.2. Yöntemlerin farklı boyuttaki problemler üzerinde karşılaştırılması

Geliştirilen GA, GAYÖS, GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS, GAK ve TA yöntemlerinin etkinliğini karşılaştıracak literatürde uygun bir problem bulunamamıştır. Bu nedenle, geliştirilen yöntemlerin etkinliğini başka bir örnek çalışma üzerinden göstermek yerine, yöntemlerin birbiri üzerindeki etkinliği araştırılmıştır.

Çalışmada, GA esaslı yöntemlerde durdurma kriteri, uygunluk değeri ortalamasının (F_{ort}) en iyi çözüme ($F_{en\ iyi}$) yaklaşması olarak belirlenmiştir (Kulak vd., 2007: 3957). Diğer taraftan TA'da ise durdurma kriteri, tabu arama çevrimi ve komşu arama çevriminin tamamlanmasıdır. Uygunluk değeri olarak en büyük tamamlanma zamanı (C_{enb}) alınmıştır. 5x5, 6x5, 8x5, 10x5, 10x6, 15x5, 10x8, 10x9, 20x5, 10x10, 22x5, 12x10, 13x10, 20x7, 15x10 boyutlarındaki dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemleri için GA, GAYÖS, GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS, GAK ve TA yöntemleri kullanılarak deneyler 5'er defa tekrarlanmıştır. Her bir deney seti için elde edilen en küçük ve en büyük [enk, enb] uygunluk değerleri ve en iyi çözüme ait süreler Tablo 3.19'da özetlenmiştir. Bu deneylerde önerilen yöntemler ile çözüm aranan dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemleri, makine arızası, yeni iş gelmesi ve işlem sürelerinde değişiklik gibi dinamik faktörleri içermektedir ve her dinamik olay gerçekleştiğinde yeniden çizelgeleme yapılmaktadır. Bu dinamik atölye tipi çizelgeleme problemlerine ilişkin veriler, rastsal olarak üretilmiş olup ekler bölümünde sunulmuştur (Ek1-Ek15).

Örnek olması açısından, Tablo 3.19'da yer alan 5x5 boyutlu dinamik atölye tipi iş çizelgeleme probleminin GA, GAYÖS, GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS, GAK ve TA ile elde edilen en iyi uygunluk değerlerine ait çözümlerin ayrıntıları ve ilgili çözümlere ait Gantt şemaları, Ek 16-Ek 23 arasında verilmiştir.

Tablo 3.19. GA esaslı yöntemler ve TA ile elde edilen deney sonuçları

Problem Boyutu	Yöntemler							
	GA	GAYÖS	GAEKİS	GAEÜS	GAEKKİS	GAEUKİS	GAK	TA
5x5 (25 işlem)								
Uygunluk değeri	[54-57]*	[53-53]	[53-56]	[51-55]	[52-56]	[53-56]	[51-56]	[75-90]
Toplam işlem süresi (sn.)	2**	1	2	2	1	1	0,89	0,22
6x5 (30 işlem)								
Uygunluk değeri	[581-603]	[557-584]	[572-646]	[573-629]	[579-612]	[557-607]	[557-584]	[778-919]
Toplam işlem süresi (sn.)	12	5	9	11	6	6	6	0,53
8x5 (40 işlem)								
Uygunluk değeri	[757-765]	[757-772]	[699-736]	[779-815]	[706-757]	[699-791]	[699-757]	[850-1132]
Toplam işlem süresi (sn.)	10	4	9	12	6	6	5	0,36
10x5 (50 işlem)								
Uygunluk değeri	[624-630]	[624-637]	[624-628]	[624-635]	[624-627]	[624-635]	[624-624]	[911-1143]
Toplam işlem süresi (sn.)	46	15	38	39	16	13	18	2
10x6 (60 işlem)								
Uygunluk değeri	[710-786]	[682-735]	[738-800]	[707-784]	[733-798]	[682-694]	[682-682]	[1342-1822]
Toplam işlem süresi (sn.)	173	42	104	95	42	49	48	3
15x5 (75 işlem)								
Uygunluk değeri	[1018-1169]	[1001-1059]	[1032-1115]	[1115-1144]	[1001-1032]	[1001-1001]	[1001-1001]	[1688-2056]
Toplam işlem süresi (sn.)	290	74	226	228	74	83	94	5

Problem Boyutu	Yöntemler							
	GA	GAYÖS	GAEKİS	GAEÜS	GAEKKİS	GAEUKİS	GAK	TA
10x8 (80 işlem)								
Uygunluk değeri	[1317-1601]	[1112-1117]	[1191-1562]	[1269-1668]	[1111-1384]	[1034-1095]	[1027-1193]	[1508-1678]
Toplam işlem süresi (sn.)	384	295	375	324	339	298	313	5
10x9 (90 işlem)								
Uygunluk değeri	[1757-3103]	[1049-1133]	[1635-1797]	[1755-2127]	[1078-1140]	[1050-1149]	[1049-1143]	[2537-3168]
Toplam işlem süresi (sn.)	627	365	435	587	406	375	431	15
20x5 (100 işlem)								
Uygunluk değeri	[1900-2323]	[1564-1643]	[1657-1964]	[1898-2104]	[1361-1537]	[1498-1623]	[1361-1546]	[2097-2421]
Toplam işlem süresi (sn.)	348	339	345	341	309	342	268	17
10x10 (100 işlem)								
Uygunluk değeri	[3339-4130]	[1410-1500]	[2310-3005]	[2120-2618]	[1455-1578]	[1453-1476]	[1389-1453]	[3655-4158]
Toplam işlem süresi (sn.)	368	367	364	346	313	360	278	16
22x5 (110 işlem)								
Uygunluk değeri	[2807-3841]	[1494-1494]	[2079-2515]	[2046-2340]	[1458-1545]	[1458-1498]	[1458-1458]	[2950-3043]
Toplam işlem süresi (sn.)	559	354	529	435	373	377	295	51
12x10 (120 işlem)								
Uygunluk değeri	[2995-3857]	[1046-1147]	[1610-1886]	[1883-2104]	[1069-1237]	[1054-1097]	[1002-1095]	[3136-3546]
Toplam işlem süresi (sn.)	387	318	352	301	376	322	346	30

Problem Boyutu	Yöntemler							
	GA	GAYÖS	GAEKİS	GAEÜS	GAEKKİS	GAEUKİS	GAK	TA
13x10 (130 işlem)								
Uygunluk değeri	[3227-3695]	[1082-1219]	[2354-2784]	[2186-2326]	[1175-1268]	[1063-1167]	[1016-1144]	[3445-3865]
Toplam işlem süresi (sn.)	337	329	314	328	320	280	327	32
20x7 (140 işlem)								
Uygunluk değeri	[3439-4765]	[1340-1369]	[2927-3162]	[2388-2846]	[1409-1547]	[1333-1419]	[1326-1409]	[3541-4101]
Toplam işlem süresi (sn.)	510	349	459	504	247	345	294	92
15x10 (150 işlem)								
Uygunluk değeri	[4541-5518]	[1324-1438]	[3242-3627]	[3176-3390]	[1428-1523]	[1335-1455]	[1280-1409]	[4531-4885]
Toplam işlem süresi (sn.)	490	448	415	472	458	467	450	114

* [enk - enb] değerleri, 5 deneme sonucunda elde edilen en küçük ve en büyük uygunluk değerlerini ifade etmektedir.

** Belirtilen süre en iyi çözüme ait hesaplama süresidir.

Tablo 3.19'da yer alan sonuçlar incelendiğinde, GAYÖS yönteminin 8x5 ve 10x5 boyutlu problemler için GA ile aynı en iyi uygunluk değerlerini verdiği, diğer tüm problem boyutlarında ise GAYÖS yöntemi ile, GA'ya göre daha kısa sürede, daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Başlangıç popülasyonun elde edilmesinde öncelik kurallarından yararlandığı GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS yöntemleri ile genellikle GA'ya göre daha kısa sürede daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Sadece 8x5 boyutlu problemde GAEUİS, 10x6 boyutlu problemde GAEKİS ve GAEKKİS, 15x5 boyutlu problemde ise GAEKİS ve GAEUİS yöntemleri ile elde edilen sonuçlar GA'ya göre kötü sonuç vermiştir. Bunun haricindeki tüm problem boyutlarında GA'ya göre daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Özellikle problem boyutu büyüdükçe bu yöntemler ile GA'ya göre hem süre hem de çözüm olarak daha iyi sonuçlara ulaşıldığı gözlenmiştir.

GAYÖS, GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS yöntemleri arasında iyi çözüm vermeleri açısından bir sıralama yapmak mümkün olmamaktadır çünkü problemlerden probleme iyi çözüm veren yöntem değişiklik göstermektedir. Bu yüzden, bu tez çalışmasında başlangıç popülasyonun oluşturulmasında YÖS, EKİS, EUİS, EKKİS, EUKİS yöntemlerinin %5 oranında kullanıldığı GAK yöntemi geliştirilmiş ve bu yöntem ile her problem boyutunda GA'ya göre hem süre hem de çözüm olarak daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

TA yöntemi ise tüm problem boyutları için en kötü sonuçları vermiştir. Bu durumda en iyi çözüm veren yöntemin GAK ve en kötü çözüm veren yöntemin TA olduğu söylenebilir.

Tablo 3.20'de, GA, GAYÖS, GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS, GAK ve TA yöntemleri ile elde edilen en iyi uygunluk değerleri özetlenmiştir. Tablo 3.21'de ise her bir yöntem ile elde edilen sonuçların en iyi çözümden sapma yüzdeleri verilmiştir. Bu tabloda görüldüğü üzere, her problem boyutu için en iyi çözümü veren GAK yöntemi, GA yöntemine göre %0 ile %254,77 arasında, GAYÖS yöntemine göre %0 ile %14,92 arasında, GAEKİS yönteminde göre %0 ile %153,28 arasında, GAEUİS yöntemine göre %0 ile %148,13 arasında, GAEKKİS yönteminde göre %0 ile %15,65 arasında, GAEUKİS yönteminde göre %0 ile

%10,07, TA yönteminde göre %21,60 ile %253,98 arasında daha iyi sonuç vermektedir.

Tablo 3.21'de ise GA, GAYÖS, GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS, GAK ve TA yöntemleri ile elde edilen en iyi uygunluk değerlerinin elde edilme süreleri verilmiştir. Bu tabloda yer alan işlem süreleri dikkate alındığında tüm problem boyutları için TA yönteminin en kısa işlem süresine, GA yönteminin ise en uzun işlem süresine sahip olduğu görülmektedir. Bu tez çalışmasında önerilen GAYÖS, GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS, GAK yöntemleri arasında işlem süreleri açısından bir sıralama yapmak mümkün değildir çünkü farklı boyutlardaki problemlerde farklı yöntemler daha kısa işlem süresine sahip olmaktadır. Ancak GAYÖS, GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS, GAK yöntemlerinin her birinin GA'ya göre daha kısa işlem süresine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, problem boyutu artıkça genelde işlem süresi de artmaktadır. Ancak, her dinamik olay meydana geldiğinde yeniden çizelgeleme yapıldığı için toplam işlem süresini, problemin boyutu kadar dinamik olay sayısı da etkilemektedir. İşlem süreleri değerlendirilirken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında önerilen yöntemlerden GAK'ın her problem boyutu için hem süre hem de çözüm açısından GA'ya göre daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Ayrıca GAK yöntemi ile diğer tüm yöntemlere göre daha düşük uygunluk değerlerine ulaşılmıştır.

Tablo 3.20. Elde edilen en iyi uygunluk değerleri

Problem Boyutu	En İyi Uygunluk Değerleri							
	GA	GAYÖS	GAEKİS	GAEUİS	GAEKKİS	GAEUKİS	GAK	TA
5x5	54	53	53	51	52	53	51	75
6x5	581	557	572	573	579	557	557	778
8x5	757	757	699	779	706	699	699	850
10x5	624	624	624	624	624	624	624	911
10x6	710	682	738	707	733	682	682	1342
15x5	1018	1001	1032	1115	1001	1001	1001	1688
10x8	1317	1112	1191	1269	1111	1034	1027	1508
10x9	1757	1049	1635	1755	1078	1050	1049	2537
20x5	1900	1564	1657	1898	1361	1498	1361	2097
10x10	3339	1410	2310	2120	1455	1453	1389	3655
22x5	2807	1494	2079	2046	1458	1458	1458	2950
12x10	2995	1046	1610	1883	1069	1054	1002	3136
13x10	3227	1082	2354	2186	1175	1063	1016	3445
20x7	3439	1340	2927	2388	1409	1333	1326	3541
15x10	4541	1324	3242	3176	1428	1335	1280	4531

Tablo 3.21. En iyi uygunluk değerinden sapma yüzdeleri

Problem Boyutu	En İyi Uygunluk Değerinden Sapma Yüzdeleri (%)							
	GA	GAYÖS	GAEKİS	GAEUİS	GAEKKİS	GAEUKİS	GAK	TA
5x5	5,88	3,92	3,92	0,00	1,96	3,92	0,00	47,06
6x5	4,31	0,00	2,69	2,87	3,95	0,00	0,00	39,68
8x5	8,30	8,30	0,00	11,44	1,00	0,00	0,00	21,60
10x5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,99
10x6	4,11	0,00	8,21	3,67	7,48	0,00	0,00	96,77
15x5	1,70	0,00	3,10	11,39	0,00	0,00	0,00	68,63
10x8	28,24	8,28	15,97	23,56	8,18	0,68	0,00	46,84
10x9	67,49	0,00	55,86	67,30	2,76	0,10	0,00	141,85
20x5	39,60	14,92	21,75	39,46	0,00	10,07	0,00	54,08
10x10	140,39	1,51	66,31	52,63	4,75	4,61	0,00	163,14
22x5	92,52	2,47	42,59	40,33	0,00	0,00	0,00	102,33
12x10	198,90	4,39	60,68	87,92	6,69	5,19	0,00	212,97
13x10	217,62	6,50	131,69	115,16	15,65	4,63	0,00	239,07
20x7	159,35	1,06	120,74	80,09	6,26	0,53	0,00	167,04
15x10	254,77	3,44	153,28	148,13	11,56	4,30	0,00	253,98

*Sapma Yüzdesi= [(Elde edilen uygunluk değeri-En iyi uygunluk değeri)/En iyi uygunluk değeri]*100

Tablo 3.22. Hesaplama süreleri

Problem Boyutu	Hesaplama Süreleri (sn)							
	GA	GAYÖS	GAEKİS	GAEÜS	GAEKKİS	GAEUKİS	GAK	TA
5x5	2	1	2	2	1	1	0,89	0,22
6x5	12	5	9	11	6	6	6	0,53
8x5	10	4	9	12	6	6	5	0,36
10x5	46	15	38	39	16	13	18	2
10x6	173	42	104	95	42	49	48	3
15x5	290	74	226	228	74	83	94	5
10x8	384	295	375	324	339	298	313	5
10x9	627	365	435	587	406	375	431	15
20x5	348	339	345	341	309	342	268	17
10x10	368	367	364	346	313	360	278	16
22x5	559	354	529	435	373	377	295	51
12x10	387	318	352	301	376	322	346	30
13x10	337	329	314	328	320	280	327	32
20x7	510	349	459	504	247	345	294	92
15x10	490	448	415	472	458	467	450	114

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemlerinin çözümü için GA esaslı yöntemler ile TA yöntemi önerilmiştir. Dinamik iş çizelgeleme problemleri *NP-Zor* sınıfında yer alan problemler olup problem boyutu büyüdükçe kesin yöntemlerle çözüme ulaşmak mümkün olmadığından, bu tür problemlerin çözümünde sezgisel yöntemlerden yararlanılmaktadır. GA ve TA yöntemlerinin yanında GAYÖS, GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS, GAK olmak üzere GA esaslı yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden GAYÖS'te başlangıç popülasyonunun %25'i çalışmada önerilen yeni önceliklendirme sezgiseli ile, GAEKİS'te başlangıç popülasyonunun %25'i EKİS öncelik kuralı ile, GAEUİS'te başlangıç popülasyonunun %25'i EUİS öncelik kuralı ile, GAEKKİS'te başlangıç popülasyonunun %25'i EKKİS öncelik kuralı ile, GAEUKİS'te başlangıç popülasyonunun %25'i EUKİS öncelik kuralı ile, GAK'ta başlangıç popülasyonunun %25'i YÖS, EKİS, EUİS, EKKİS ve EUKİS'in %5'lik eşit dağılımı ile, geri kalan %75'lik kısımlar ise rastsal olarak oluşturulmuştur. Böylece başlangıç popülasyonunun tamamının rastsal olarak oluşturulduğu GA'ya göre daha iyi ve daha kısa sürede sonuçlar üretmek amaçlanmıştır.

Literatürde yer alan iş çizelgeleme problemleri incelendiğinde genel olarak, statik problemlere çözüm arandığı dinamik faktörleri dikkate alan az sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Yapılan atölye tipi dinamik iş çizelgeleme çalışmalarında da genelde ya tek bir dinamik faktör dikkate alınmış ya da küçük boyutlu problemler üzerinde çalışılmıştır. Literatüre katkı sağlamak adına, bu tez çalışmasında makine arızaları, yeni iş gelişleri ve işlem sürelerinde değişiklik gibi dinamik faktörler dikkate alınarak farklı boyutlardaki dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemlerine, önerilen yöntemler ile çözüm aranmıştır. Ayrıca, diğer çalışmalardan farklı olarak başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında kullanılmak üzere yeni bir önceliklendirme sezgiseli geliştirilmiş ve ilk kez bu sezgisel ve öncelik kurallarından EKİS, EUİS, EKKİS, EUKİS bir arada kullanılmıştır.

Önerilen yöntemlerde kullanılacak GA ve TA parametre setlerinin belirlenmesi için Tek Yönlü Varyans Analizi gerçekleştirilmiştir. Seçilen parametre setlerinin

etkinliği literatürdeki test problemleri üzerinde gösterilmiş ve elde edilen sonuçlar çözüm değeri ve süre açısından farklı çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. GA ve TA için en iyi parametre setlerinin belirlenip etkinlikleri gösterildikten sonra, farklı boyutlardaki dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemleri için geliştirilen sezgisel yöntemler karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, GAYÖS yönteminin GA ile aynı ya da GA'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS yöntemleri ile özellikle büyük boyutlu problemlerde GA'ya göre hem süre hem de çözüm olarak daha iyi sonuçlara ulaşıldığı gözlenmiştir. Problemden probleme iyi çözüm veren yöntem değişiklik gösterdiğinden; GAYÖS, GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS yöntemleri arasında elde edilen sonuçlar açısından bir sıralama yapmak mümkün değildir. Ayrıca, bu tez çalışmasında geliştirilen GAK yönteminin her zaman diğer tüm yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu da başlangıç popülasyonun%25'ini oluşturmada yeni önceliklendirme sezgiseli ve öncelik kurallarının %5'lik karışımını kullanmanın etkin sonuçlar ürettiğini ve böylece daha iyi çözümlere ulaşıldığını göstermektedir.

Yöntemlerin, en iyi çözümü veren GAK yönteminden sapma yüzdeleri dikkate alındığında, GAK yönteminin GA yöntemine göre %0 ile %254,77 arasında, GAYÖS yöntemine göre %0 ile %14,92 arasında, GAEKİS yönteminde göre %0 ile %153,28 arasında, GAEUİS yöntemine göre %0 ile %148,13 arasında, GAEKKİS yönteminde göre %0 ile %15,65 arasında, GAEUKİS yönteminde göre %0 ile %10,07, TA yönteminde göre %21,60 ile %253,98 arasında daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Burada görüleceği üzere GAK yöntemi, her koşulda diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç vermektedir. TA ise tüm problem boyutları için en kötü sonuçları vermiştir. TA yöntemi yerel arama yaptığı için daha kötü sonuç vermesi doğaldır.

Yöntemler arasında süre açısından bir karşılaştırma yapılacak olursa; TA her zaman en kısa işlem süresine sahipken, GA ise en uzun işlem süresine sahiptir. Ele alınan probleme göre en kısa işlem süresine sahip olan yöntem değişiklik gösterdiğinden; geliştirilen GAYÖS, GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS, GAK yöntemleri arasında süre açısından bir sıralama yapmak mümkün olmamaktadır. Ayrıca bu tez çalışmasında ele alınan çizelgeleme problemleri dinamik yapıdadır ve her dinamik olay geldiğinde yeniden çizelgeleme yapılmasını gerektiren sürekli çizelgeleme

yaklaşımı benimsenmiştir. Bu durumda, işlem süresi statik çizelgeleme problemlere göre daha fazla olacaktır ve dinamik olay sayısından etkilenecektir. İşlem süreleri değerlendirilirken bu durumun göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Sonuç olarak, geliştirilen GAYÖS, GAEKİS, GAEUİS, GAEKKİS, GAEUKİS, GAK yöntemleri birer sezgisel olarak değerlendirildiğinde, performans kriterleri açısından dinamik atölye tipi çizelgeleme problemlerinde etkin sonuçlar üretecekleri görülmektedir.

Deneylerde kullanılan problem boyutları ve dinamik faktörlerin dikkate alındığı düşünüldüğünde, geliştirilen yöntemlerin gerçek sistemlere de uygulanabileceği görülmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda akış tipi, paralel makineler, esnek atölye tipi gibi farklı tipte iş çizelgeleme problemlerine önerilen sezgisel yöntemler ile çözüm aranabilir. Ayrıca bu tez çalışmasında çizelgelerin değerlendirilmesinde kullanılan uygunluk değerlerini belirlerken farklı performans ölçütlerinden yararlanılabilmektedir. Son olarak, önerilen yöntemlerde başlangıç popülasyonu ve çözümünü oluştururken farklı yüzdelerde geliştirilen sezgisel ve öncelik kurallarından yararlanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Abumaizar, R. J., Svestka, J. A. (1997). "Rescheduling Job Shops Under Random Disruptions", *International Journal of Production Research*, 35/7, s. 2065-2082.
- Adibi, M.A., Zandieh, M., Amiri, M., (2010). "Multi-objective Scheduling of Dynamic Job Shop Using Variable Neighborhood Search", *Expert Systems with Applications*, 37, s. 282–287.
- Akçay, E. (2009). *Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Yapay Bağışıklık Sistemi ile Çok Amaçlı Optimizasyonuna Yönelik Bir Model Önerisi*, (Basılmamış Doktora Tezi), Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Aktürk, M. S., Görgülü, E. (1999). "Match-up Scheduling Under A Machine Breakdown", *European Journal of Operational Research*, 112, s. 81-97.
- Aladağ, A. (2010). *Tekrar İşlemeli Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi için Yapay Bağışıklık Sistemi ile Bir Çözüm Yaklaşımı*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Aladağ, Ç.H. (2009). *Yapay Sinir Ağlarının Mimari Seçimi İçin Tabu Algoritması*, (Basılmamış Doktora Tezi), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Alcan, P. (2008). *Benzer Olmayan Paralel Makinelerin Çizelgelenmesinde Bulanık Esaslı Proses Zamanlarının Genetik Algoritma Uygulaması*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altıntaş, C. (2011). *Sezgisel Algoritmalarla Sınav Çizelgeleme Problemi Çözümü*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Aydemir, E. (2009). *Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Öncelik Kuralı Tabanlı Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Simülasyon Destekli Optimizasyonu*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Aydın, M. E., Öztemel E. (2000). "Dynamic Job-Shop Scheduling Using Reinforcement Learning Agents", *Robotics and Autonomous Systems*, 33, s. 169–178.
- Baker, K. R., Trietsch, D. (2009). *Principles of Sequencing and Scheduling*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Balas, E., Vazacopoulos, A. (1998). "Guided Local Search with Shifting Bottleneck for Job Shop Scheduling", *Management Science*, 44/2, s. 262-275.
- Baptiste, P., Favrel, J. (1993). "Taking into Account the Rescheduling Problem during the Scheduling Phase", *Production Planning and Control*, 4, s. 349-360.
- Barnes, J. W., Chambers, J. B. (1995). "Solving the Job Shop Scheduling Problem Using Tabu Search", *IIE Transactions*, 27, s. 257–263.

- Bean, J. C., Birge, J. R., Mittenthal, J., Noon C. E. (1991). "Matchup Scheduling with Multiple Resources, Release Dates and Disruptions", *Operations Research*, 39/3, s. 470-483.
- Biroğul, S. (2005). *Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Biroğul, S., Güvenç, U. (2007). "Genetik Algoritma ile Çözümü Gerçekleştirilen Atölye Çizelgeleme Probleminde Ürün Sayısının Etkisi", *Akademik Bilişim Konferansı*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Biroğul, S., Yiğit, T. (2008). "Genetik Algoritmada Tamir Operatörünün Etkinliği", *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, s. 134-137.
- Boray, M.B. (2007). *Paralel Tezgahlarda Arıza Halinde Çok Amaçlı Çizelgeleme* (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Brucker, P. (2007). *Scheduling Algorithms*, Springer, Verlag Berlin Heidelberg.
- Büyüksünetçi, A. S. (2006). *Tepkin Çizelgeleme Yaklaşımının Akış Tipi Atölye Ortamında Etkinliğinin Analizi*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Ceran, G. (2006). *Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Veri Madenciliği ve Genetik Algoritma Kullanılarak Çözülmesi*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Chambers, J. B., Barnes, J. W. (1996). "New Tabu Search Results for the Job Shop Scheduling Problem", *Technical Report ORP96-10*, Graduate Program in Operations Research and Industrial Engineering, The University of Texas.
- Chang, F. C. R. (1997). "Heuristics for Dynamic Job Shop Scheduling with Real-Time Updated Queueing Time Estimates", *International Journal of Production Research*, 35/3, s. 651-665.
- Cheng, S. C., Shiau, D. F., Huang Y. M. and Lin Y. T. (2009). "Dynamic Hard-Real-Time Scheduling Using Genetic Algorithm for Multiprocessor Task with Resource and Timing Constraints", *Expert Systems with Applications*, 36, s. 852-860.
- Chryssolouris, G., Subramaniam, V. (2001). "Dynamic Scheduling of Manufacturing Job Shops Using Genetic Algorithms", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 12, s. 281-293.
- Church, L. K., Uzsoy, R. (1992). "Analysis of Periodic and Event-Driven Rescheduling Policies in Dynamic Shops", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 5/3, s.153-163.
- Cihanlı, Ö. (2010). *Hibrid Akış Tipi Atölyede Çizelgeleme*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Cowling, P., Johansson, M. (2002). "Using Real Time Information for Effective Dynamic Scheduling", *European Journal of Operational Research*, 139, s. 230-244.

- Cowling, P. I, Quelhadj, D., Petrovic, S. (2003). "A Multi-Agent Architecture for Dynamic Scheduling of Steel Hot Rolling", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 14, s. 457-470.
- Cura, T. (2008). *Modern Sezgisel Teknikler ve Uygulamaları*, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Çelik, C. (2008). *İşlerin Bölünebilir Olduğu Paralel Makine Çizelgeleme Problemi için Tabu Arama Yöntemi*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Çivril, H. (2009). *Hemşire Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözümü*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Çörekcioğlu, M. (2006). *Dokuma Tezgahlarında Çizelgeleme Yaklaşımının İş Süreçleri Modelleme Notasyonu ile Gösterimi*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Daniels, R. L., Kouvelis, P. (1995). "Robust Scheduling to Hedge against Processing Time Uncertainty in Single-Stage Production", *Management Science*, 41/2, s. 363-376.
- De Jong, K. A. (1975). *An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems*, (Basılmamış Doktora Tezi), University of Michigan Ann Arbor.
- Değertekin, S. Ö., Ülker, M., Hayalioğlu, M. S. (2006). "Uzay Çelik Çerçevelerin Tabu Arama ve Genetik Algoritma Yöntemleriyle Optimum Tasarımı", *İMO Teknik Dergi*, s. 3917-3934, Yazı 259.
- Dell'Amico, M., Trubian, M. (1993). "Applying Tabu-Search to Job-Shop Scheduling Problem", *Annals of Operations Research*, 41/1-4, s. 231-252.
- Dominic, P. D. D., Kaliyamoorthy, S., Kumar, S. (2004). "Efficient Dispatching Rules for Dynamic Job Shop Scheduling", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 24, s. 70-75.
- Dutta, A. (1990). "Reacting to Scheduling Exceptions in FMS Environments", *IIE Transactions*, 22/4, s. 33-314.
- Efstathiou, J., (1996). "Anytime Heuristic Schedule Repair in Manufacturing Industry", *Control Theory and Applications, IEE Proc*, 143/2, s. 114-124.
- Elen, A. (2011). *Çizelgeleme Probleminin Sezgisel Optimizasyon Yaklaşımıyla Çözümü*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Emel, G. G., Taşkın, Ç. (2002). "Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları", *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt XXI/1, s. 129-152.
- Engin, O. (2001). *Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma İle Çözüm Performansının Artırılmasında Parametre Optimizasyonu*, (Basılmamış Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Engin, O., Fıglalı, A. (2002). "Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yardımı ile Çözümünde Uygun Çaprazlama Operatörünün Belirlenmesi", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 6, s. 27-35.

- Erbasa, E. (2010). *Paralel Tezgahlarda Yükleme ve izelgeleme Problemi için Karma Tamsayılı Modelleme ve Genetik Algoritma Temelli Yeni Bir zm Yaklaşımı*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Erdem, A. (2008). *Bakım Kısıtı Altında Genetik Algoritmalarla retim izelgeleme*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Fang, J., Xi, Y. (1997). "A Rolling Horizon Job Shop Rescheduling Strategy in the Dynamic Environment", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 13, s. 227–232.
- Farn, C. K., Muhlemann, A. P. (1979). "The Dynamic Aspects of a Production Scheduling Problem", *International Journal of Production Research*, 17/1, s.15-21.
- Fattahi, P., Fallahi A. (2010). "Dynamic Scheduling in Flexible Job Shop Systems by Considering Simultaneously Efficiency and Stability", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2, s. 114–123.
- Fisher, H., Thompson, G. L. (1963). "Probabilistic Learning Combinations of Local Job-Shop Scheduling Rules", J. F. Muth, G. L. Thompson (ed.), *Industrial Scheduling*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, s. 225-251.
- Gao, Y., Ding, Y. S., Zhang, H. Y. (2009). "Job-Shop Scheduling Considering Rescheduling in Uncertain Dynamic Environment", *16th International Conference on Management Science & Engineering*, Moscow, Russia, s. 380-384.
- Geyik, F., Cedimoğlu, İ. H. (2001a). "Atölye Tipi izelgelemede Komuluk Yapılarının Tabu Arama Tekniği ile Karılatırılması", *Politeknik Dergisi*, 4/1, s. 95–103.
- Geyik, F., Cedimoğlu, İ. H. (2001b). "Atölye Tipi izelgeleme iin Uzman Sistem Tekniği ile Basit ncelik Kurallarının Karılatırılması", *Politeknik Dergisi*, 4/1, s. 53–61.
- Glover, F. (1986). "Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence", *Computers & Operations Research*, 13/5, s. 533-549.
- Glover, F. (1989). "Tabu Search - Part I", *ORSA Journal on Computing*, 1, s. 190-206.
- Glover, F., Laguna, M. (1997). *Tabu Search*, Kluwer Academic Publishers, USA.
- Glover, F., Laguna, M. (2013). "Tabu Search", Pardalos P. M., Du, D. Z., Graham, R., (ed.), *Handbook of Combinatorial Optimization*, Volume 7, Springer.
- Glover, F., Taillard, E., Werra, D. (1993). "A User's Guide to Tabu Search", *Annals of Operations Research*, 41, s. 3-28.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimizastion and Machiene Learning*, Addison Wesley Longman, Inc., USA.
- Graham, R. L., Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Rinnyony Kan, A. G. H. (1979). "Optimization and Approximation in Deterministic Sequencing and Scheduling: A Survey", *Annals of Discrete Mathematics*, 5, s. 287-326.
- Grefenstette J. J. (1986). "Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 16/1, s. 122-128.

- Gülcü, A. (2006). *Yapay Zeka Tekniklerinden Genetik Algoritma ve Tabu Arama Yöntemlerinin Eğitim Kurumlarının Haftalık Ders Programlarının Hazırlanmasında Kullanımı*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gündüz, Y. (2005). *Akış Tipi Atölye Sisteminde Benzetim İle Eniyileme:Man Türkiye A.Ş.'de Bir Uygulama*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Güner, E. (2011). "Çizelgelemenin Temel Kavramlarına Giriş", *Çizelgeleme Kampı*, Yalova.
- Hansen, P. (1986). "The Steepest Ascent Mildest Descent Heuristic for Combinatorial Programming", *Congress on Numerical Methods in Combinatorial Optimization*, Italy.
- Holloway, C. A., Nelson, R. T. (1974). "Job Shop Scheduling with Due Dates and Variable Processing Times", *Management Science*, 20/9, s. 1264-1275.
- İpek, M. (2007). *Dinamik Atölye Çizelgelemede Yapay Sinir Ağı İle Teslim Tarihi Belirlenmesi*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Jahangirian, M, Conroy, G .V. (2000). "Intelligent Dynamic Scheduling System: the Application of Genetic Algorithms", *Integrated Manufacturing Systems*, 11/4, s. 247-257.
- Jain, A. K., Elmaraghy, H. A. (1997). "Production Scheduling/Rescheduling in Flexible Manufacturing", *International Journal of Production Research*, 35/1, s. 281-309.
- Jensen, M. T. (2001). "Improving Robustness and Flexibility of Tardiness and Total Flow-Time Job Shops Using Robustness Measures", *Applied Soft Computing*, 1/1, s. 35-52.
- Kapanoglu, M., Alikalfa, M. (2011). "Learning IF–THEN Priority Rules for Dynamic Job Shops Using Genetic Algorithms" *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27, s. 47–55.
- Kaya, S. (2006). *Operasyonel Sabit İş Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritmalar ile Çözümü*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kellegöz, T. (2006). *Toplam Geç Bitirme Zamanının En Küçüklenmesi Performans Ölçütlü Permütasyon Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözümünde Genetik Algoritma Yaklaşımı*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Kobayashi, S., Ono, I., Yamamura M. (1995). "An Efficient Genetic Algorithm for Job Shop Scheduling Problems", *6th ICGA*, s. 506-511.
- Koyuncuğuoğlu, U. (2012). *Bir Konteyner Terminalinde İstif Vinçlerinin Meta Sezgisel Yöntemler Kullanarak Çizelgelenmesi*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Körez, M. T. (2005). *Sıralı Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinde Genetik Algoritma Uygulaması*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Kulak, O. (2007). *Sezgisel Yöntemler ve Uygulamaları Ders Notları*, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.
- Kulak, O., Yılmaz, I. O. Günther, H. O. (2007). "PCB Assembly Scheduling for Collect-and-Place Machines Using Genetic Algorithms", *International Journal of Production Research*, 45/17, s. 3949-3969.
- Kutanoğlu, E., Sabuncuoğlu, I. (2001). "Routing-Based Reactive Scheduling Policies for Machine Failures in Dynamic Job Shops", *International Journal of Production Research*, 39/14, s. 3141-3158.
- Küçük, B. (2010). *Özdeş Paralel Makineli Bir Üretim Sisteminin Karınca Koloni Algoritması ile Çözülmesi*, (Basılmamış Doktora Tezi), İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Lawrence, S. (1984), *Resource Constrained Project Scheduling: An Experimental Investigation Of Heuristic Scheduling Techniques (Supplement)*, Graduate School of Industrial Administration, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania.
- Lee, C. Y., Uzsoy, R. (1999). "Minimizing Makespan on a Single Batch Processing Machine with Dynamic Job Arrivals", *International Journal of Production Research*, 37/1, s. 219-236.
- Leitao, P., Restivo, F. (2008). "A Holonic Approach to Dynamic Manufacturing Scheduling", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24, s. 625–634.
- Leon, V. J. Wu, S. D., Storer, R. H. (1994). "Robustness Measures and Robust Scheduling for Job Shops", *IIE Transactions*, 26/5, s. 32-43.
- Leung, J. Y-T., (ed.) (2004). *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis*, Chapman and Hall/CRC Computer and Information Science Series, USA.
- Li, Y., Chen, Y. (2009). "Neural Network and Genetic Algorithm-based Hybrid Approach to Dynamic Job Shop Scheduling Problem", *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, San Antonio, TX, USA, s. 4836-4841.
- Liao, C.J., Chen, W.J. (2004). "Scheduling Under Machine Breakdown in a Continuous Process Industry", *Computers & Operations Research*, 31, s.415–428.
- Liu, S. Q., Ong, H. L., Ng, K. M. (2005). "Metaheuristics for Minimizing the Makespan of the Dynamic Shop Scheduling Problem", *Advances in Engineering Software*, 36, s. 199–205.
- MacCarthy, B. L., Liu, J. (1993). "Addressing the Gap in Scheduling Research: A Review of Optimization and Heuristic Methods in Production Scheduling", *International Journal of Production Research*, 31/1, s. 59-79.
- Madejski, J. (2010). "Dynamic Scheduling for Agent Based Manufacturing Systems", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 40/1, s. 66-69.
- Mehta, S. V., Uzsoy, R. (1999). "Predictable Scheduling of a Single Machine Subject to Breakdowns", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 12/1, s. 15-38.

- Mitchell, M. (1996). *An Introduction to Genetic Algorithms*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Mohanasundaram, K. M., Natarajan, K., Viswanathkumar, G., Radhakrishnan, P., Rajendran C. (2002). "Scheduling Rules for Dynamic Shops that Manufacture Multi-Level Jobs", *Computers and Industrial Engineering*, 44, s. 119-131.
- Muhlemann, A. P., Lockett A. G., Farn, C. K. (1982). "Job Shop Scheduling Heuristics and Frequency of Scheduling", *International Journal of Production Research*, 20/2, s. 227-241.
- Mutlu, Ö. (1993). *Tek Makine Çizelgeleme Probleminde En İyi Teslim Zamanlarının Belirlenmesi*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Nelson, R. T., Holloway, C. A., Wong, R. M. (1977). "Centralized Scheduling and Priority Implementation Heuristics for a Dynamic Job Shop Model", *AIIE Transactions*, 9/1, s. 95-102.
- Nowicki, N., Smutnicki, C. (1996). "A Fast Taboo Search Algorithm for the Job Shop", *Management Science*, 42/6, s. 797-813.
- Omar, M., Baharum, A. Hasan, Y. A. (2006). "A Job-Shop Scheduling Problem (JSSP) Using Genetic Algorithm (GA)", *Proceedings of the 2nd IMT-GT Regional Conference on Mathematics, Statistics and Applications*, University Sains Malaysia, Penang, June 13-15.
- Özkan, S. E. (2009). *Farklı Kapasiteli Paralel Makinelerin Dinamik Çizelgelenmesi için Sezgisel Bir Algoritma ve Uygulanması*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Özsoydan F. B. (2011). *Birikimli Açık Araç Rotalama Problemi İçin Sezgisel Çözüm Yaklaşımları*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Öztuncel, E. T. (2007). *Sonlu Kapasiteli Çizelgeleme ve Bir Uygulama*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Paksoy, S. (2007). *Genetik Algoritma ile Proje Çizelgeleme*, (Basılmamış Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.
- Pinedo, M. L. (2008). *Scheduling Theory Algorithms and Systems*, Springer, USA.
- Qi, J. G. Burns G. R. and Harrison D. K. (2000). "The Application of Parallel Multipopulation Genetic Algorithms to Dynamic Job-Shop Scheduling", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 16, s. 609–615.
- Qiu, X., Lau, H. Y. K. (2013). "An AIS-Based Hybrid Algorithm with PDRs for Multi-Objective Dynamic Online Job Shop Scheduling Problem" *Applied Soft Computing*, 13, s. 1340–1351.
- Quelhadj, D. (2003). *A Multi-Agent System for the Integrated Dynamic Scheduling of Steel Production*, (Basılmamış Doktora Tezi), University of Nottingham, The School of Computer Science & Information Technology, UK.
- Quelhadj, D., Hanachi, C., Bouzouia, B. (1998). "Multi-Agent System for Dynamic Scheduling and Control in Manufacturing Cells", *International Conference on Robotics & Automation*, Leuven, Belgium.

- Quelhadj, D., Petrovic, S. (2009). "A Survey of Dynamic Scheduling in Manufacturing Systems", *Journal of Scheduling*, 12, s. 417-431.
- Rajendran, C., Holthaus, O. (1999). "A Comparative Study of Dispatching Rules in Dynamic Flowshops and Jobshops", *European Journal of Operational Research*, 116, s. 156-170.
- Rangaritratsamee, R., Ferrell Jr W. and Kurz, M. (2004). "Dynamic Rescheduling that Simultaneously Considers Efficiency and Stability", *Computers & Industrial Engineering*, 46, s. 1-15.
- Rego, C. Duarte R., (2009). "A Filter-and-Fan Approach to the Job Shop Scheduling Problem", *European Journal of Operational Research*, 194, s. 650–662.
- Rossi, A., Dini, G. (2000). "Dynamic Scheduling of FMS Using a Real-Time Genetic Algorithm", *International Journal of Production Research*, 38/1, s. 1-20.
- Sabuncuoğlu, I., Bayız, M. (2000). "Analysis of Reactive Scheduling Problems in a Job Shop Environment", *European Journal of Operational Research*, 126, s. 567-586.
- Sabuncuoğlu, I., Kızılışık, O. B. (2003). "Reactive Scheduling in a Dynamic and Stochastic FMS Environment", *International Journal of Production Research*, 41/17, s. 4211–4231.
- Schaffer, J.D., Caruana, R.A., Eshelman, L. J., Das, R. (1989). "A Study of Control Parameters Affecting Online Performance of Genetic Algorithms for Function Optimization", J.D. Schaffer (ed.), *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms*, Morgan Kaufmann.
- Seçme, G. (2006). *Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri.
- Shafaei, R., Brunn, P. (1999). "Workshop Scheduling Using Practical (Inaccurate) Data Part 2: An Investigation of The Robustness of Scheduling Rules in a Dynamic and Stochastic Environment", *International Journal of Production Research*, 37/18, s. 4105-4117.
- Smith, F. S. (1994). "OPIS: A Methodology and Architecture for Reactive Scheduling", Zweben, M. and Fox, M. S. (ed.), *Intelligent Scheduling*, Morgan Kaufmann Publishers, s. 29-66.
- Stoop, P. P. M., Weirs, V. C. S. (1996). "The Complexity of Scheduling in Practice", *International Journal of Operations and Production Management*, 16/10, s. 37-53.
- Sun, J., Xue, D. (2001). "A Dynamic Reactive Scheduling Mechanism for Responding to Changes of Production Orders and Manufacturing Resources", *Computers in Industry*, 46, s. 189-207.
- Suresh, V., Chaudhuri, D. (1993). "Dynamic Scheduling a Survey of Research", *International Journal of Production Economics*, 32/1, s. 53-63.
- Suwa, H. Sandoh H., (2007). "Capability of Cumulative Delay Based Reactive Scheduling for Job Shops with Machine Breakdowns", *Computers & Industrial Engineering*, 53, s. 63–78.

- Szelke, E., Kerr, R. M. (1994). "Knowledge-Based Reactive Scheduling", *Production Planning & Control*, 5/2, s. 124-148.
- Şahin, Y. (2009). *Depo Operasyonlarının Planlanması için Genetik Algoritma Esaslı Bir Model*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Talbi, E. G. (2009). *Metaheuristics from Design to Implementation*, John Wiley & Sons Inc., New Jersey, USA.
- Tapkan, P. Z. (2010). *Kombinatoriyal Optimizasyon Problemlerinde Arı Sistemi Yaklaşımı*, (Basılmamış Doktora Tezi), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Taşkın, Ç., Emel, G. G. (2009). *Sayısal Yöntemlerde Genetik Algoritmalar*, Alfa Aktüel Yayınları, Bursa.
- Tektaş, M., Topuz, V. (2001). *Algoritmalar ve Güvenlik Sistemleri Ders Notları*, İstanbul.
- Tosun, S. (2011). *Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Sezgisel Yöntemlerle İncelenmesi*, (Basılmamış Doktora Tezi), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Van Laarhoven, P. J. M., Aarts, E. H. L., Lenstra, J. K. (1992). "Job Shop Scheduling by Simulated Annealing", *Operational Research*, 40/1, s. 113-125.
- Vieira, G. E., Hermann, J. W. and Lin, E. (2003). "Rescheduling Manufacturing Systems: a Framework of Strategies, Policies and Methods", *Journal of Scheduling*, 6/1, s. 36-92.
- Vinod, V., Sridharan, R. (2008). "Scheduling a Dynamic Job Shop Production System with Sequence Dependent Setups: An Experimental Study", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 24, s. 435-449.
- Wang, L. Zheng, D. Z. (2001). "An Effective Hybrid Optimization Strategy for Job-Shop Scheduling Problems", *Computers & Operations Research*, 28, s. 585-596.
- Wu, S. D., Storer, R. H., Chang, P. C. (1991). "A Rescheduling Procedure for Manufacturing Systems Under Random Disruptions", *Proceedings of Joint USA/German Conference on New Directions for Operations Research in Manufacturing*, s. 292-306.
- Wu, S. D., Storer, R. H., Chang, P. C. (1993). "One Machine Rescheduling Heuristics with Efficiency and Stability as Criteria", *Computers Operations Research*, 20/1, s. 1-14.
- Yang, J. B. (2001). "GA-Based Discrete Dynamic Programming Approach for Scheduling in FMS Environments", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics*, 31/5, s. 824-835.
- Yang, X. S. (2010a). *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*, Second Edition, Luniver Press, United Kingdom.
- Yang, X. S. (2010b). *Engineering Optimization, An Introduction with Metaheuristic Applications*, John Wiley & Sons, Inc., USA.

- Zandieh, M., Adibi, M. A. (2010). "Dynamic Job Shop Scheduling Using Variable Neighbourhood Search", *International Journal of Production Research*, 48/8, s. 2449-2458.
- Zhang, C. Y., P. G. Li, Guan, Z. L., Rao, Y. Q. (2007). "A Tabu Search Algorithm with a New Neighborhood Structure for the Job Shop Scheduling Problem", *Computers & Operations Research*, 34, s. 3229-3242.
- Zhang, W., Freiheit, T., Yang, H. (2005). "Dynamic Scheduling in Flexible Assembly System Based on Timed Petri Nets Model", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 21, s. 550–558.
- Zhang, Y., Chen, H. (1999). "A Knowledge-Based Dynamic Job-Scheduling in Low-Volume/High-Variety Manufacturing", *Artificial Intelligence in Engineering*, 13, s. 241–249.
- Zhou, R. Nee, A. Y. C., Lee H. P. (2009). "Performance of an Ant Colony Optimization Algorithm in Dynamic Job Shop Scheduling Problems", *International Journal of Production Research*, 47/11, s. 2903–2920.

EKLER

Ek-1 5x5 boyutlu dinamik iş çizelgeleme problemi için veriler

İşler	Makine Sıraları-İşlem Süreleri									
J1	J1	M2	2	M0	8	M1	4	M3	6	M4
J2	J2	M1	6	M2	5	M4	4	M0	3	M3
J3	J3	M0	7	M4	8	M3	4	M2	9	M1
J4	J4	M3	4	M2	5	M1	5	M0	4	M4
J5	J5	M4	5	M2	7	M0	3	M1	6	M3

Dinamik Olaylar

Dinamik Olaylar	Meydana Gelme Zamanı	Olay Türü*	Olaya İlişkin Bilgiler											
D1	12	0	M1	3										
D2	23	0	M4	6										
D3	5	1	J6	M2	7	M4	3	M1	6	M3	1	M0	4	
D4	18	1	J7	M3	8	M2	5	M1	3	M0	6	M4	7	
D5	0	2	J4	M0	6									
D6	0	2	J1	M4	10									
D7	0	2	J3	M1	5									

* 0 : Makine arızası

1: Yeni iş gelişi

2: İşlem süresinde değişiklik

Ek-2 6x5 boyutlu dinamik iş çizelgeleme problemi için veriler

İşler	Makine Sıraları-İşlem Süreleri									
J1	J1	M1	21	M2	34	M0	53	M4	21	M3
J2	J2	M4	55	M2	31	M0	12	M1	42	M3
J3	J3	M3	34	M2	64	M1	19	M4	92	M0
J4	J4	M1	87	M3	69	M2	87	M0	93	M4
J5	J5	M2	98	M0	44	M1	49	M4	96	M3
J6	J6	M2	35	M3	76	M4	61	M0	95	M1

Dinamik Olaylar

Dinamik Olaylar	Meydana Gelme Zamanı	Olay Türü	Olaya İlişkin Bilgiler										
D1	15	0	M3	9									
D2	72	0	M1	5									
D3	38	1	J7	M3	22	M1	32	M0	10	M2	25	M4	54
D4	46	1	J8	M2	56	M4	27	M3	32	M1	49	M0	9
D5	110	1	J9	M1	10	M0	23	M2	47	M3	27	M4	8
D6	0	2	J4	M0	48								
D7	0	2	J3	M1	23								

Ek-7 10x8 boyutlu dinamik iş çizelgeleme problemi için veriler

İşler	Makine Sıraları-İşlem Süreleri															
	M0	96	M1	69	M2	25	M3	5	M4	55	M5	15	M6	88	M7	11
J1	M0	11	M1	48	M2	67	M3	38	M4	18	M7	24	M6	62	M5	92
J2	M2	67	M1	63	M0	93	M4	85	M3	25	M5	72	M6	51	M7	81
J3	M2	30	M1	35	M0	27	M4	82	M3	44	M7	92	M6	25	M5	49
J4	M1	53	M0	83	M4	73	M3	26	M2	77	M6	33	M5	92	M7	38
J5	M1	20	M0	44	M4	81	M3	88	M2	66	M6	70	M5	91	M7	96
J6	M1	21	M2	93	M4	22	M0	56	M3	34	M6	40	M7	53	M5	29
J7	M1	32	M2	63	M4	36	M0	26	M3	17	M5	85	M7	15	M6	82
J8	M0	73	M2	46	M3	89	M4	24	M1	99	M6	92	M7	7	M5	19
J9	M0	52	M2	20	M3	70	M4	98	M1	23	M5	15	M7	81	M6	81
J10	M0	52	M2	20	M3	70	M4	98	M1	23	M5	15	M7	81	M6	81

Dinamik Olaylar

Dinamik Olaylar	Meydana Gelme Zamanı	Olay Türü	Olaya İlişkin Bilgiler																
D1	37	0	M2	7															
D2	148	0	M6	11															
D3	66	1	J11	M2	5	M7	21	M6	64	M0	47	M1	24	M3	88	M4	9	M5	17
D4	0	2	J1	M3	9														
D5	0	2	J6	M2	73														
D6	0	2	J7	M1	26														

Ek-10 10x10 boyutlu dinamik iş çizelgeleme problemi için veriler

İşler	Makine Sıraları-İşlem Süreleri																			
	J1	M4	88	M8	68	M6	94	M5	99	M1	67	M2	89	M9	77	M7	99	M0	86	M3	92
J2	M5	72	M3	50	M6	69	M4	75	M2	94	M8	66	M0	92	M1	82	M7	94	M9	63
J3	M9	83	M8	61	M0	83	M1	65	M6	64	M5	85	M7	78	M4	85	M2	55	M3	77
J4	M7	94	M2	68	M1	61	M4	99	M3	54	M6	75	M5	66	M0	76	M9	63	M8	67
J5	M3	69	M4	88	M9	82	M8	95	M0	99	M2	67	M6	95	M5	68	M7	67	M1	86
J6	M1	99	M4	81	M5	64	M6	66	M8	80	M2	80	M7	69	M9	62	M3	79	M0	88
J7	M7	50	M1	86	M4	97	M3	96	M0	95	M8	97	M2	66	M5	99	M6	52	M9	71
J8	M4	98	M6	73	M3	82	M2	51	M1	71	M5	94	M7	85	M0	62	M8	95	M9	79
J9	M0	94	M6	71	M3	81	M7	85	M1	66	M2	90	M4	76	M5	58	M8	93	M9	97
J10	M3	50	M0	59	M1	82	M8	67	M7	56	M9	96	M6	58	M4	81	M5	59	M2	96

Dinamik Olaylar

Dinamik Olaylar	Meydana Gelme Zamanı	Olay Türü	Olaya İlişkin Bilgiler																				
D1	72	0	M3	11																			
D2	65	0	M1	10																			
D3	95	1	J11	M2	43	M5	54	M1	24	M3	15	M6	48	M4	75	M7	85	M0	68	M9	74	M8	37
D4	15	2	J2	M4	93																		
D5	20	2	J10	M0	68																		

Ek-12 12x10 boyutlu dinamik iş çizelgeleme problemi için veriler

İşler	Makine Sıraları-İşlem Süreleri																			
	J1	M7	8	M9	75	M0	72	M6	74	M4	30	M8	43	M2	38	M5	98	M1	26	M3	19
J2	M6	19	M8	73	M3	43	M0	23	M1	85	M4	39	M5	13	M9	26	M2	67	M7	9
J3	M1	50	M3	93	M5	80	M4	7	M0	55	M2	61	M6	57	M8	72	M9	42	M7	46
J4	M1	68	M7	43	M4	99	M6	60	M5	68	M0	91	M8	11	M3	96	M9	11	M2	72
J5	M7	84	M2	34	M8	40	M5	7	M1	70	M6	74	M3	12	M0	43	M9	69	M4	30
J6	M8	60	M0	49	M4	59	M5	72	M9	63	M1	69	M7	99	M6	45	M3	27	M2	9
J7	M6	71	M2	91	M8	65	M1	90	M9	98	M4	8	M7	50	M0	75	M5	37	M3	17
J8	M8	62	M7	90	M5	98	M3	31	M2	91	M4	38	M9	72	M1	9	M0	72	M6	49
J9	M4	35	M0	39	M9	74	M5	25	M7	47	M3	52	M2	63	M8	21	M6	35	M1	80
J10	M9	58	M0	5	M3	50	M8	52	M1	88	M6	20	M2	68	M5	24	M4	53	M7	57
J11	M7	99	M3	91	M4	33	M5	19	M2	18	M6	38	M0	24	M9	35	M1	49	M8	9
J12	M0	68	M3	60	M2	77	M7	10	M8	60	M5	15	M9	72	M1	18	M6	90	M4	18

Dinamik Olaylar

Dinamik Olaylar	Meydana Gelme Zamanı	Olay Türü	Olaya İlişkin Bilgiler																				
D1	28	0	M8	7																			
D2	185	1	J13	M5	76	M7	44	M0	16	M1	8	M9	24	M6	12	M4	97	M2	81	M8	78	M3	20
D3	0	2	J3	M4	12																		
D4	0	2	J9	M5	30																		
D5	0	2	J3	M0	61																		

Ek-15 15x10 boyutlu dinamik iş çizelgeleme problemi için veriler

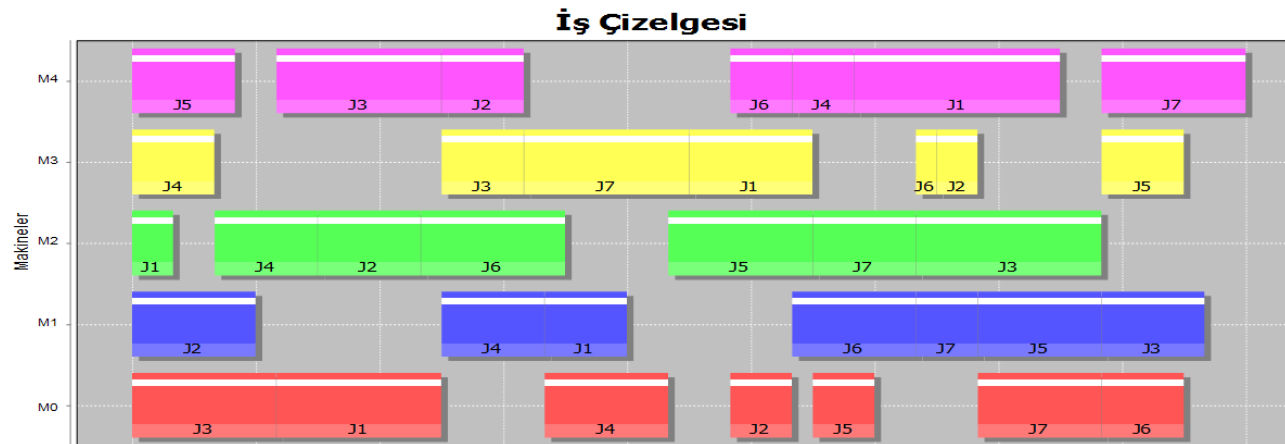
İşler	Makine Sıraları-İşlem Süreleri																			
	M2	34	M3	55	M5	95	M9	16	M4	21	M6	71	M0	53	M8	52	M1	21	M7	26
J2	M3	39	M2	31	M0	12	M1	42	M9	79	M8	77	M6	77	M5	98	M4	55	M7	66
J3	M1	19	M0	83	M3	34	M4	92	M6	54	M9	79	M8	62	M5	37	M2	64	M7	43
J4	M4	60	M2	87	M8	24	M5	77	M3	69	M7	38	M1	87	M6	41	M9	83	M0	93
J5	M8	79	M9	77	M2	98	M4	96	M3	17	M0	44	M7	43	M6	75	M1	49	M5	25
J6	M8	35	M7	95	M6	9	M9	10	M2	35	M1	7	M5	28	M4	61	M0	95	M3	76
J7	M4	28	M5	59	M3	16	M9	43	M0	46	M8	50	M6	52	M7	27	M2	59	M1	91
J8	M5	9	M4	20	M2	39	M6	54	M1	45	M7	71	M0	87	M3	41	M9	43	M8	14
J9	M1	28	M5	33	M0	78	M3	26	M2	37	M7	8	M8	66	M6	89	M9	42	M4	33
J10	M2	94	M5	84	M6	78	M9	81	M1	74	M3	27	M8	69	M0	69	M7	45	M4	96
J11	M1	31	M4	24	M0	20	M2	17	M9	25	M8	81	M5	76	M3	87	M7	32	M6	18
J12	M5	28	M9	97	M0	58	M4	45	M6	76	M3	99	M2	23	M1	72	M8	90	M7	86
J13	M5	27	M9	48	M8	27	M7	62	M4	98	M6	67	M3	48	M0	42	M1	46	M2	17
J14	M1	12	M8	50	M0	80	M2	50	M9	80	M3	19	M5	28	M6	63	M4	94	M7	98
J15	M4	61	M3	55	M6	37	M5	14	M2	50	M8	79	M1	41	M9	72	M7	18	M0	75

Dinamik Olaylar

Dinamik Olaylar	Meydana Gelme Zamanı	Olay Türü	Olaya İlişkin Bilgiler																				
D1	28	0	M3	7																			
D2	245	0	M7	5																			
D3	75	1	J16	M6	52	M8	24	M2	35	M0	47	M1	38	M7	41	M9	18	M4	20	M3	45	M5	78
D4	146	1	J17	M3	18	M4	95	M2	61	M8	34	M9	64	M6	5	M7	25	M5	72	M1	92	M0	19
D5	0	2	J3	M6	62																		

Ek-16 5x5 boyutlu problemin GA çözüm sonuçları

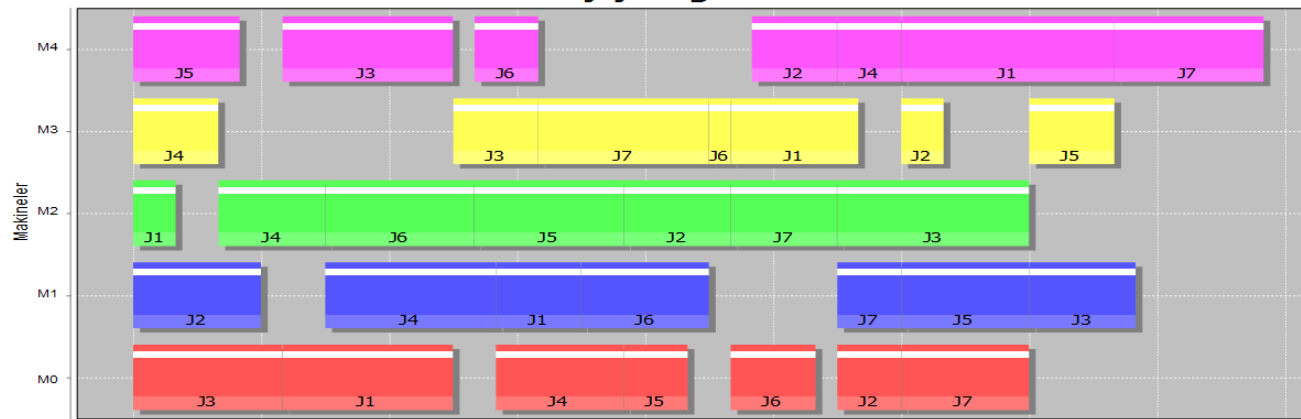
M0			M1			M2			M3			M4		
İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı
J3	0	7	J2	0	6	J1	0	2	J4	0	4	J5	0	5
J1	7	15	J4	15	20	J4	5	9	J3	15	19	J3	7	15
J4	20	26	J1	20	24	J2	9	14	J7	19	27	J2	15	19
J2	29	32	J6	32	38	J6	14	21	J1	27	33	J6	29	32
J5	33	36	J7	38	41	J5	26	33	J6	38	39	J4	32	35
J6	41	47	J5	41	47	J7	33	38	J2	39	41	J1	35	45
J7	47	51	J3	47	52	J3	38	47	J5	47	51	J7	47	54



Ek-17 5x5 boyutlu problemin GAYÖS çözüm sonuçları

M0			M1			M2			M3			M4		
İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı
J3	0	7	J2	0	6	J1	0	2	J4	0	4	J5	0	5
J1	7	15	J4	9	17	J4	4	9	J3	15	19	J3	7	15
J4	17	23	J1	17	21	J6	9	16	J7	19	27	J6	16	19
J5	29	32	J6	21	27	J5	16	23	J6	27	28	J2	29	33
J6	32	35	J7	33	36	J2	23	28	J1	28	34	J4	33	36
J2	36	42	J5	36	42	J7	28	33	J2	36	38	J1	36	46
J7	42	46	J3	42	47	J3	33	42	J5	42	46	J7	46	53

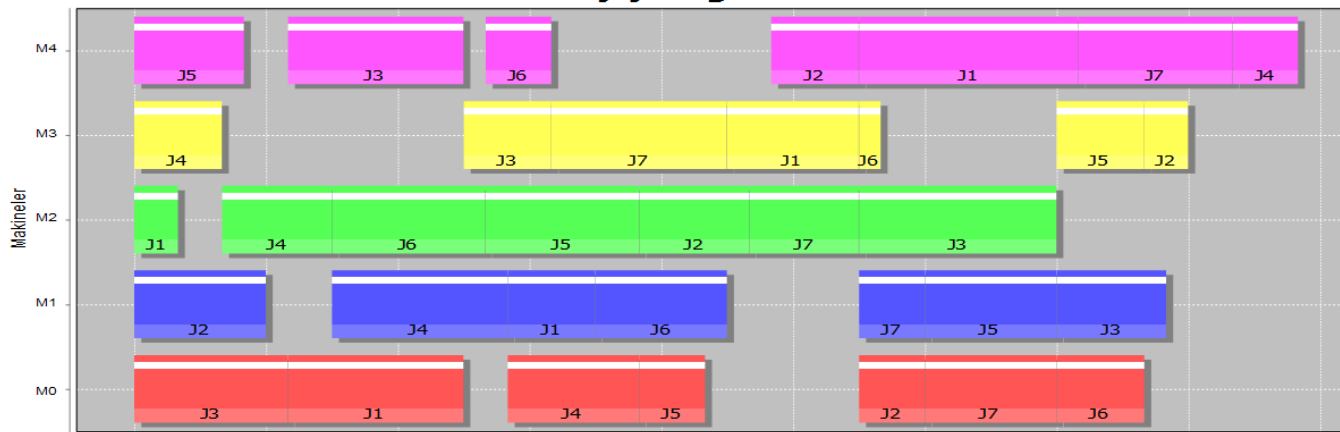
İş Çizelgesi



Ek-18 5x5 boyutlu problemin GAEKİS çözüm sonuçları

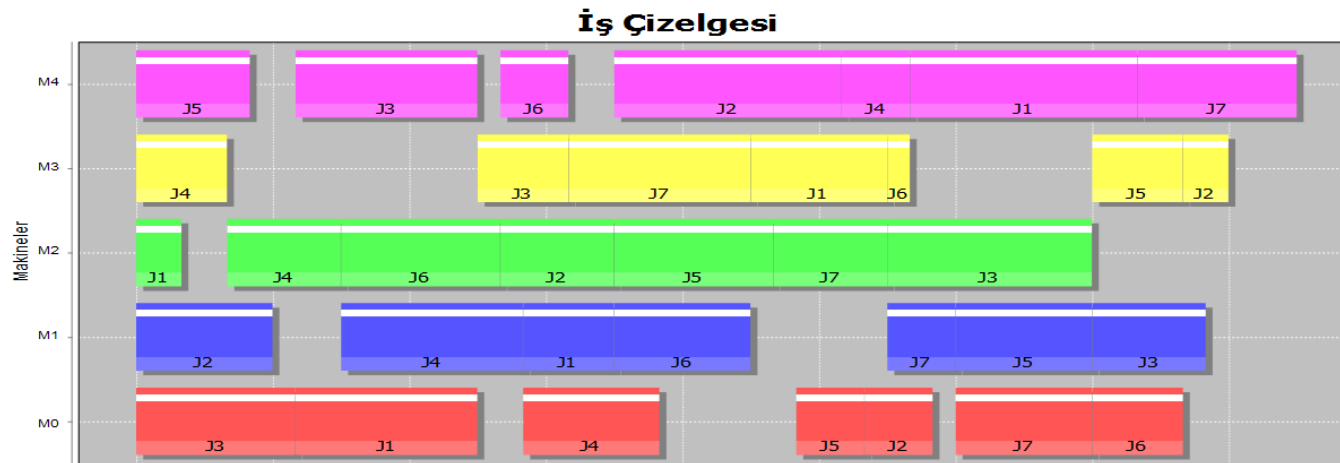
M0			M1			M2			M3			M4		
İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı
J3	0	7	J2	0	6	J1	0	2	J4	0	4	J5	0	5
J1	7	15	J4	9	17	J4	4	9	J3	15	19	J3	7	15
J4	17	23	J1	17	21	J6	9	16	J7	19	27	J6	16	19
J5	23	26	J6	21	27	J5	16	23	J6	27	28	J2	29	33
J2	33	36	J7	33	36	J2	23	28	J1	28	34	J4	33	36
J7	36	42	J5	36	42	J7	28	33	J2	36	38	J1	36	46
J6	42	46	J3	42	47	J3	33	42	J5	42	46	J7	46	53

İş Çizelgesi



Ek-19 5x5 boyutlu problemin GAEUİS çözüm sonuçları

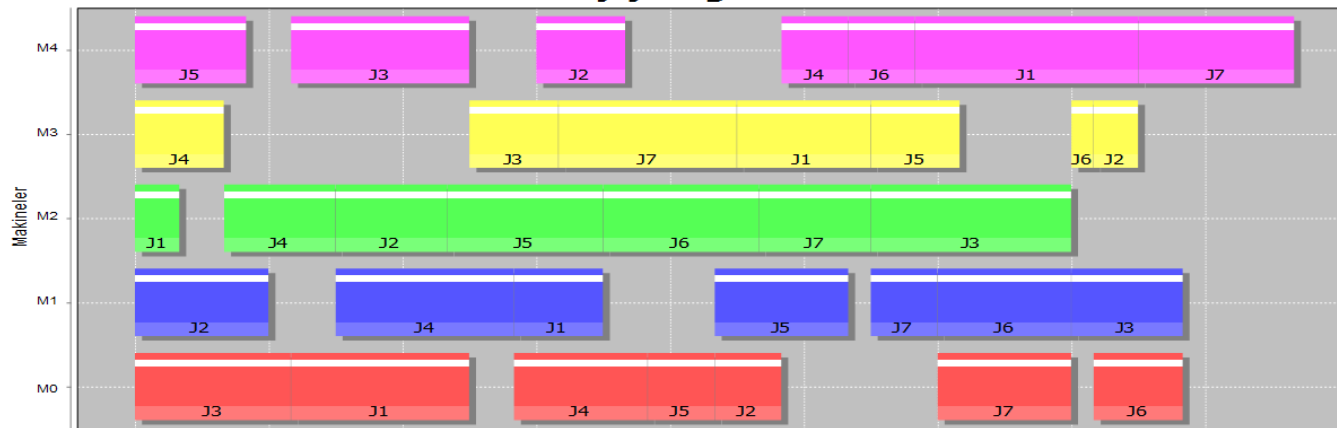
M0			M1			M2			M3			M4		
İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı
J3	0	7	J2	0	6	J1	0	2	J4	0	2	J5	0	5
J1	7	15	J4	9	17	J4	4	9	J3	15	19	J3	7	15
J4	17	23	J1	17	21	J6	9	16	J7	19	16	J6	16	19
J5	29	32	J6	21	27	J2	16	21	J1	27	21	J2	21	31
J2	32	35	J7	33	36	J5	21	28	J6	33	28	J4	31	34
J7	36	42	J5	36	42	J7	28	33	J5	42	33	J1	34	44
J6	42	46	J3	42	47	J3	33	42	J2	46	42	J7	44	51



Ek-20 5x5 boyutlu problemin GAEKKİS çözüm sonuçları

M0			M1			M2			M3			M4		
İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı
J3	0	7	J2	0	6	J1	0	2	J4	0	4	J5	0	5
J1	7	15	J4	9	17	J4	4	9	J3	15	19	J3	7	15
J4	17	23	J1	17	21	J2	9	14	J7	19	27	J2	18	22
J5	23	26	J5	26	32	J5	14	21	J1	27	33	J4	29	32
J2	26	29	J7	33	36	J6	21	28	J5	33	37	J6	32	35
J7	36	42	J6	36	42	J7	28	33	J6	42	43	J1	35	45
J6	43	47	J3	42	47	J3	33	42	J2	43	45	J7	45	52

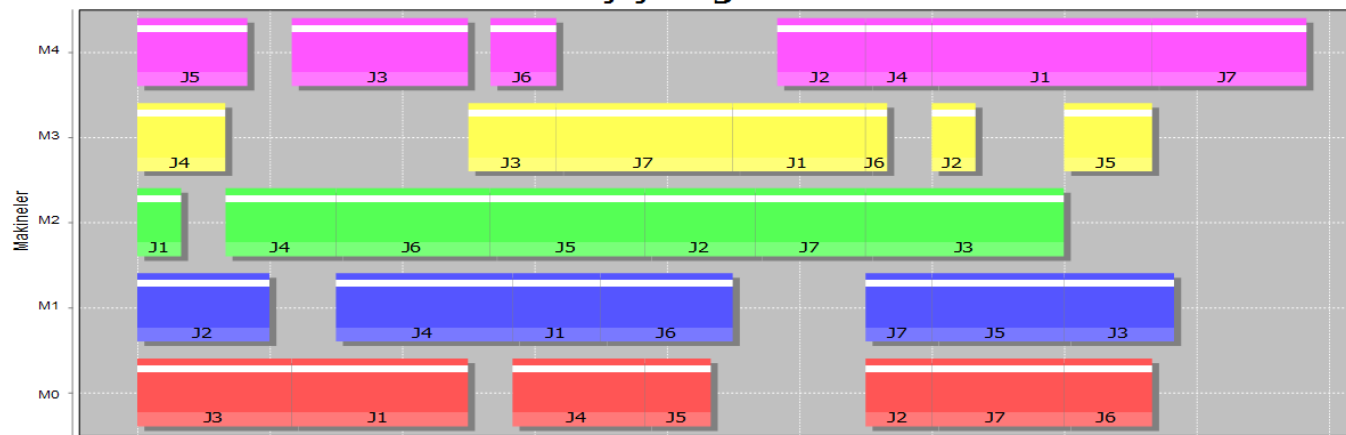
İş Çizelgesi



Ek-21 5x5 boyutlu problemin GAEUKİS çözüm sonuçları

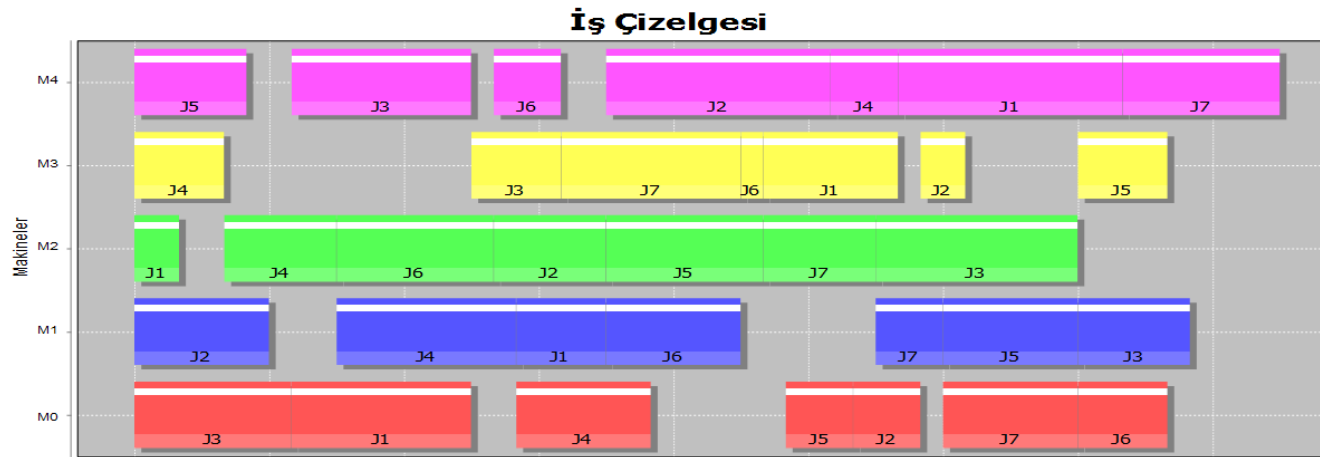
M0			M1			M2			M3			M4		
İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı
J3	0	7	J2	0	6	J1	0	2	J4	0	4	J5	0	5
J1	7	15	J4	9	17	J4	4	9	J3	15	19	J3	7	15
J4	17	23	J1	17	21	J6	9	16	J7	19	27	J6	16	19
J5	23	26	J6	21	27	J5	16	23	J1	27	33	J2	29	33
J2	33	36	J7	33	36	J2	23	28	J6	33	34	J4	33	36
J7	36	42	J5	36	42	J7	28	33	J2	36	38	J1	36	46
J6	42	46	J3	42	47	J3	33	42	J5	42	46	J7	46	53

İş Çizelgesi



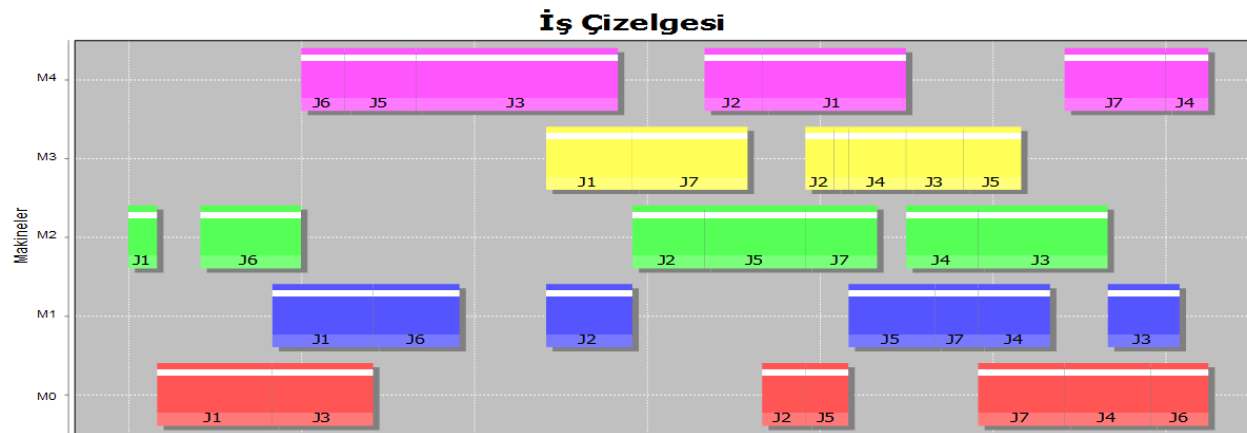
Ek-22 5x5 boyutlu problemin GAK çözüm sonuçları

M0			M1			M2			M3			M4		
İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı
J3	0	7	J2	0	6	J1	0	2	J4	0	4	J5	0	5
J1	7	15	J4	9	17	J4	4	9	J3	15	19	J3	7	15
J4	17	23	J1	17	21	J6	9	16	J7	19	27	J6	16	19
J5	29	32	J6	21	27	J2	16	21	J6	27	28	J2	21	31
J2	32	35	J7	33	36	J5	21	28	J1	28	34	J4	31	34
J7	36	42	J5	36	42	J7	28	33	J2	35	37	J1	34	44
J6	42	46	J3	42	47	J3	33	42	J5	42	46	J7	44	51



Ek-23 5x5 boyutlu problemin TA çözüm sonuçları

M0			M1			M2			M3			M4		
İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	İş Sırası	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı
J1	2	10	J1	10	17	J1	0	2	J1	29	35	J6	12	15
J3	10	17	J6	17	23	J6	5	12	J7	35	43	J5	15	20
J2	44	47	J2	29	35	J2	35	40	J2	47	49	J3	20	34
J5	47	50	J5	50	56	J5	40	47	J6	49	50	J2	40	44
J7	59	65	J7	56	59	J7	47	52	J4	50	54	J1	44	54
J4	65	71	J4	59	64	J4	54	59	J3	54	58	J7	65	72
J6	71	75	J3	68	73	J3	59	68	J5	58	62	J4	72	75



ÖZGEÇMİŞ

Nilsen Kundakcı, 1982 yılında Denizli’de doğdu. Denizli Anadolu Lisesi’nden mezun olduktan sonra, 2000 yılında Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme (İngilizce) Bölümünü kazandı. 2004 yılında Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemler A.B.D.’da araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2008 yılında Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı’nda yüksek lisansını tamamladı. 2009 yılında Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı’nda Genel İşletme doktora programına başladı. Kundakcı, halen aynı üniversitede araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir.