

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
EKONOMETRİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

GENETİK ALGORİTMALAR YARDIMIYLA İŞ
ATÖLYE ÇİZELGELEMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Dilek DİLAVER

Danışman
Prof. Dr. Levent ŞENYAY

İZMİR - 2015

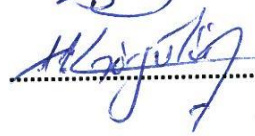
YÜKSEK LİSANS
TEZ/ PROJE ONAY SAYFASI

2009800201

Üniversite : Dokuz Eylül Üniversitesi
Enstitü : Sosyal Bilimler Enstitüsü
Adı ve Soyadı : Dilek DİLAVER
Tez Başlığı : Genetik Algoritmalar Yardımıyla İş Atölye Çizelgelemesi Üzerine Bir Çalışma

Savunma Tarihi : 20/11/2015
Danışmanı : Prof.Dr.Levent ŞENYAY

JÜRİ ÜYELERİ

<u>Ünvanı, Adı, Soyadı</u>	<u>Üniversitesi</u>	<u>İmza</u>
Prof.Dr.Levent ŞENYAY	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	
Prof.Dr.İpek DEVECİ KOCAKOÇ	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	
Doç.Dr.Hatice ÖZKOÇ	MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ	

Oybirliği (✓)
Oy Çokluğu ()

Dilek DİLAVER tarafından hazırlanmış ve sunulmuş "Genetik Algoritmalar Yardımıyla İş Atölye Çizelgelemesi Üzerine Bir Çalışma" başlıklı Tezi (✓) / Projesi () kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Mustafa Yaşar TINAR
Müdür

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Genetik algoritmalar yardımıyla iş atölye çizelegetemesi üzerine bir çalışma**” adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih

../../..

Dilek DİLAVER

İmza

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi
Genetik Algoritmalar Yardımıyla İş Atölye
Çizelgelemesi Üzerine Bir Çalışma
Dilek DİLAVER

Dokuz Eylül Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Ekonometri Anabilim Dalı
Ekonometri Programı

Gelişen ekonomilerde işletmelerin en önemli hedeflerinden biri, ürünün imalat sürecinin en kısa sürede tamamlanması ve müşteri talebinin istenilen zamana uygun bir şekilde yerine getirilmesidir. Birden fazla siparişin yer aldığı üretim sistemlerinde, makina-iş atama çizelgeleri sırasında yaşanan problemlerin çözümünde çeşitli yöntemler ve yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Atölye çizelgeleme problemleri, NP zor problem sınıfına girmektedir. Bu tür problemlerin tam çözüm değerleri klasik yöntemler ile elde edilememektedir. Birden çok (N) makinadan oluşan atölyelerde çizelgeleme problemlerinin çözümünde sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Bu sezgisel yöntemlerden biri de Genetik Algoritmalar (GA)'dır.

Bu tez çalışmasında, çizelgeleme problemlerinin bir türü olan iş atölye çizelgeleme problemlerinde, siparişlerin en kısa sürede tamamlanması için sezgisel yöntemlerden biri olan Genetik Algoritma'yı kullanan üç farklı çalışma incelenmiştir. Bu üç çalışmanın her biri atölye çizelgeleme problemi olup, GA'nın farklı metodları ile çözümlenmiştir. Bu çalışmalarda GA ile elde edilen sonuçların ve klasik yöntemlerle olan kıyaslamaları incelenmiştir. çalışmaların birbirleri arasındaki ortak yönleri ve farklılıkları değerlendirilmiştir.

Bu tez sonucunda, GA' nın farklı metodlar , farklı genetik operatörler, farklı varsayım ve koşullar ile farklı sektörlerdeki elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Çizelgeleme, Atölye Tipi Çizelgeleme, Genetik Algoritma, NP Problems

ABSTRACT
Master' s Thesis
A Study About Job-Shop Scheduling With
The Help Of Genetic Algorithms
Dilek DİLAVER

Dokuz Eylül University
Graduate School of Social Sciences
Department of Econometrics
Econometrics Program

One of the main important goals in growing economics is to minimize manufacturing process of product and to fulfill appropriately desired time of customer demand. In manufacturing systems that there are multiple orders , different methods and approaches are used to solve the problems that schedule in machine- job installation.

The job shop schedulings located in class of the hard problem(NP). Complete solution values of these problems can not be obtained with conventional methods. In the shops consisting of more than one (N) machines, heuristic methods are used to solve scheduling problems. One of these heuristic methods is Genetic Algorithms (GA).

In this thesis, in the job shop schedulings that are a type of scheduling problems, three different studies that use Genetic Algorithm (GA) of the heuristics methods are searched to be completed in orders as soon as possible. Each of these three studies is a job shop scheduling problem and they are solved with the different methods of GA. In this studies, comparisons between results of GA and results of classic scheduling method are researched. Studies between in commons and different have commented.

A result of this thesis, results that are obtained in different sectors with different methods of GA, different genetic operators and different conjectures are compared.

Key Words: Scheduling, Job Shop Scheduling, Genetic Algorithms, NP Problems.

GENETİK ALGORİTMALAR YARDIMIYLA İŞ ATÖLYE ÇİZELGELEMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	ii
YEMİN METNİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	x
SİMGELER DİZİNİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM GENETİK ALGORİTMA

1.1. GENETİK ALGORİTMALAR	5
1.2. GENETİK ALGORİTMANIN ÖZELLİKLERİ	6
1.3. GENETİK ALGORİTMANIN KULLANILDIĞI YERLER	7
1.3.1. Genel Kullanım Alanları	7
1.3.2. İşletmelerdeki Kullanım Alanları	8
1.4. GENETİK ALGORİTMANIN ÇALIŞMA PRENSİBİ	10
1.5. GENETİK ALGORİTMANIN TEMEL KAVRAMLARI	13
1.5.1. Gen	13
1.5.2. Kromozom	13
1.5.3. Popülasyon	14
1.5.4. Uygunluk Değeri ve Uygunluk Fonksiyonu	14
1.6. KODLAMA	16
1.6.1. İkili Kodlama	16
1.6.2. Permütasyon Kodlama	17

1.6.3. Değer Kodlama	18
1.6.4. Ağaç Kodlama	18
1.7. GENETİK OPERATÖRLER	19
1.7.1. Çoğalma	19
1.7.2. Çaprazlama	19
1.7.1.1. Tek Noktalı Çaprazlama	20
1.7.1.2. İki Noktalı Çaprazlama	21
1.7.1.3. Çok Noktalı Çaprazlama	22
1.7.1.4. Tekdüze (Uniform) Çaprazlama	23
1.7.1.5. Sıralı Kodlama Düzeninde Çaprazlama	23
1.7.3. Mutasyon	26
1.8. GA' DA PARAMETRE SEÇİMİ	28
1.8.1. Popülasyon Büyüklüğü	29
1.8.2. Çaprazlama Oranı	29
1.8.3. Mutasyon Oranı	30
1.8.4. Kuşak Aralığı	30
1.8.5. Fonksiyon Ölçeklemesi	30
1.8.6. Seçim Mekanizması	31
1.8.6.1. Rulet Tekerı Seçim Yöntemi	31
1.8.6.2. Rank Seçim Yöntemi	33
1.8.6.3. Turnuva Seçim Yöntemi	35
1.8.6.4. Kararlı Hal Seçim Yöntemi	36
1.8.6.5. Elitizm (Seçkinlik) Yöntemi	36
1.8.7. Durdurma Kriteri	37

İKİNCİ BÖLÜM

ATÖLYE ÇİZELGELEME

2.1. ÜRETİM PLANLAMA	38
2.2. ÜRETİM ÇİZELGELEME	39
2.3. ÇİZELGELEME YÖNTEMLERİ	41
2.4. ÇİZELGELEMENİN SINIFLANDIRILMASI	42
2.4.1. İşlerin Geliş Şekli	42

2.4.2. Tezgah Sayısı	42
2.4.3. Performans Ölçütü	43
2.4.4. Üretim Tipi	44
2.4.4.1. Akış Tipi Üretim Sistemi	44
2.4.4.2. Atölye Tipi Üretim Sistemleri	45
2.4.4.2.1. Atölye Çizelgeleme Probleminin Gösterimi	48
2.4.4.2.2. Atölye Çizelgeleme Terminolojisi	50
2.4.4.2.3. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözüm Zorluğu	52
2.4.4.2.4. Atölye Çizelgelemede Kullanılan Metodlar	53
2.5. ÇİZELGELEMEDE KULLANILAN ÖNCELİK KURALLARI	56
2.5.1. İşlem Öncelik Kuralı	56
2.5.2. Kaynak Öncelik Kuralı	60
2.6. ÇİZELGE TİPLERİ	60
2.6.1. Statik Çizelgeleme	60
2.6.1.1. Bir Makine ve N İş Problemi	61
2.6.1.2. İki Makine ve N İş Problemi	64
2.6.1.3. Üç Makine ve N İş Problemi	64
2.6.1.4. M Makine ve N İş Problemi	65
2.6.2. Dinamik Çizelgeleme	66
2.7. KISITLAYICI VARSAYIMLAR	67
2.8. GA' NIN ATÖLYE ÇİZELGELEMeye UYARLANMASI	68
2.8.1. Parametre Kodlama	68
2.8.1.1. Operasyona Dayalı Kodlama	69
2.8.1.2. İşe Dayalı Kodlama	69
2.8.1.3. Liste Önceliğine Dayalı Kodlama	70
2.8.1.4. İş Çifti İlişkisine Dayalı Kodlama	70
2.8.1.5. Öncelik Kuralına Göre Kodlama	70
2.8.1.6. Tamamlanma Zamanına Göre Kodlama	70
2.8.1.7. Makineye Göre Kodlama	71
2.8.1.8. Rassal Anahtarlı Kodlama	71

2.8.2. Seçim Operatörü	71
2.8.3. Çaprazlama Operatörü	71
2.8.4. Mutasyon Operatörü	72

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GA MODELLERİ İLE ATÖLYE ÇİZELGELEME

UYGULAMALARI

3.1. GA MODELLERİ İLE ATÖLYE ÇİZELGELEME UYGULAMALARI	73
3.2. ÇİZELGELEMEDE ÖNCELİK KURALI TABANLI GA UYGULAMASI	74
3.3. HEDEF PROGRAMLAMA VE GA KARŞILAŞTIRMALI UYGULAMA	80
3.4. SİPARİŞE DAYALI ÜRÜN GRUPLARININ OLUŞTURULMASINDA GA UYGULAMASI	87
3.5. İNCELENEN UYGULAMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI	93
SONUÇ VE ÖNERİLER	97
KAYNAKÇA	103

KISALTMALAR

GA	Genetik algoritma
NP	Polinomiyal olmayan
P	Polinomal
FIFO	İlk Gelen İlk Servis Alır
LIFO	Son Gelen İlk Servis Alır
SPT	En Kısa İşlem Süresi
LPT	En Uzun İşlem Süresi

SİMGELER DİZİNİ

n :	Bir yığındaki toplam kromozom sayısı
l :	Yığındaki bir kromozomun uzunluğu
f_i :	Yığındaki i . kromozomun uzunluğu
f :	Yığının toplam uygunluk değeri
f_{ort} :	Yığının ortalama uygunluk değeri
C^* :	Yığındaki en iyi birey
U_{max} :	Verilen bir parametrenin üst sınırı
U_{min} :	Verilen bir parametrenin alt sınırı
G_{max} :	Max iterasyon sayısı
C_{max} :	Tamamlanma zamanı
F :	Amaç fonksiyonu
S :	Kromozom uygunluk değerleri toplamı
r :	Rassal sayı
i :	Makine sayısı
j :	İş sayısı
m :	Operasyonun yapılacağı iş istasyonu
$p_{t,j}$:	j işinin i makinasında işlenme süresi
t_j :	j işinin işlenme süresi
r_j :	j işinin hazırlık süresi
d_j :	j işinin teslim tarihi
F_j :	j işinin işlemde harcadığı toplam süre.
C_j :	j işinin tamamlandığı zaman
L_j :	j işinin teslim zamanı ile tamamlanma zamanı arasındaki farktır.
s_{jk} :	j işi ile k işi arasındaki sıra bağlı ayar süresi

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. : 3 İş 3 Makine Atölye Tipi Çizelgeleme Problem Örneği	s.49
Tablo 2.2. : Atölye Tipi Çizelgelemede Makine ve İş(sipariş) Gantt Şeması	s.50
Tablo 3.1. : Simülasyon Model Bilgileri	s.75
Tablo 3.2. : Siparişlerin Çalışma Günlerine Dağılımı	s.75
Tablo 3.3. : Kromozom Dizi Boyutunun Belirlenmesi	s.76
Tablo 3.4. : Simülasyon Koşum Sonucu Tamamlanma Zamanları	s.77
Tablo 3.5. : Performans Gösterge Değerleri	s.78
Tablo 3.6. : Test Modeli Yazılım Sonucu	s.79
Tablo 3.7. : Amaç Fonksiyonu İçin En İyi Kromozom Bilgisi	s.82
Tablo 3.8. : Mamüllerin İşlem Süreleri ve Hazırlık Süreleri	s.85
Tablo 3.9. : Türetilmiş Problemlere Ait Matematiksel Model ve GA Çözümleri	s.86
Tablo 3.10. : Hedeflerden Sapmaların Karşılaştırılması	s.87
Tablo 3.11. : Uygulamada Kullanılacak Olan Parçaların Sipariş Miktarları	s.88
Tablo 3.12. : Ürün-Grup Matrisi	s.90
Tablo 3.13. : Önerilen Genetik Algoritmada Kullanılan Parametreler	s.92
Tablo 3.14. : Genetik Algoritma Sonucu Oluşan Ürün Aileleri	s.92
Tablo 3.15. : GA İçin Kullanılan Parametre ve Fonksiyonlar	s.93
Tablo 4.1. : Tüm Öncelik Kuralları ile GA Optimizasyonu (GA_09) Modeli	s.99
Tablo 4.2. : GA ile Elde Edilen Gerçek Boyutlu Problem Çözümleri	s.99
Tablo 4.3. : Farklı Kombinasyonlarda Elde Edilen Minimum Uygunluk Değerleri	s.100

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. :	Genetik Algoritmanın Akış Diyagramı	s.12
Şekil 1.2. :	Gen ve Kromozom Gösterimi	s.14
Şekil 1.3. :	İkili Düzende Kodlama Yapısı	s.17
Şekil 1.4. :	Permütasyon Kodlama Örneği	s.18
Şekil 1.5. :	Değer Kodlama Örneği	s.18
Şekil 1.6. :	Çaprazlama.	s.20
Şekil 1.7. :	Tek Noktalı Çaprazlama	s.21
Şekil 1.8. :	İki Noktalı Çaprazlama	s.22
Şekil 1.9. :	Pozisyona Dayalı Çaprazlama	s.22
Şekil 1.10. :	Sıra Dayalı Çaprazlama	s.24
Şekil 1.11. :	Kısmi Eşleşmeli Çaprazlama	s.25
Şekil 1.12. :	Dairesel Çaprazlama	s.26
Şekil 1.13. :	Mutasyon Operatörü	s.27
Şekil 1.14. :	Mutasyon Şekilleri	s.28
Şekil 1.15. :	Rulet Tekerı	s.32
Şekil 1.16. :	Sıralama Öncesi ve Sonrası Uygunluk Grafiğı	s.34
Şekil 1.17. :	Turnuva Seçim Yöntemine Göre Uyumlu Kromozomların Seçilmesi	s.36
Şekil 2.1. :	Bir Üretim Sisteminde Çizelgeleme Fonksiyonunun Yeri	s.40
Şekil 2.2. :	Atölye Tipi Üretimin Yeri	s.46
Şekil 3.1. :	Tamamlanma Zamanlarının Karşılaştırılması	s.80
Şekil 4.2. :	İlk Neslin Türetilmesi Yöntemine Dair Akış Şeması	s.85

GİRİŞ

Sürekli değişen günümüz koşullarına, büyük işletmelerin de gelişmeler doğrultusunda bunlara uyum sağlaması gerekmektedir. Müşteri isteklerini karşılayabilmek için farklı yelpazelerde ürün sunan işletmelerin sağlıklı bir planlama ile yönetiliyor olması gerekmektedir. Bu kapsamda oluşan darboğazları ortadan kaldırabilmek için üretim planlamaya hizmet edecek birçok yöntem geliştirilmiştir. Teknolojinin gelişmesi ile insan gücünün üretim sistemindeki hata payının azalmasına rağmen alınan sipariş sayısının artması, kapasite verimliliğinin iyileştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu ihtiyacın yönetilmesinde çizelgeleme metodları kullanılmıştır. Geleneksel yöntemler olarak adlandırılan bu metodlara “Hedef Programlama” ve “FIFO-Öncelik Kuralı” vb örnekler verilebilir. Bu metodlar klasik atölye çizelgelemede istenilen sonuçları verebiliyor olmasına karşın makina parkının genişlemesi durumlarında yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple; büyük işletmeler, doğru bir planlama sistemi oluşturmak ve işletmedeki genel akış sürecin optimum değerlere ulaşabilmesi adına bazen “Sezgisel Yöntemler”e başvurmak zorunda kalmaktadırlar. Sezgisel yöntemlerin en büyük avantajları; çözüm zamanının çözüm tekniğine göre çok kısa olması ve her tür problem için kolay bir şekilde adapte olabilmesidir. Geliştirilen sezgisel yöntemlere “Tavla Benzetim”, “Genetik Algoritma”, “Gezgin Satıcı” vb gibi örnekler verilebilir. Bu çalışma kapsamında; “Genetik Algoritma” yöntemlerinin kullanıldığı farklı sektörlerdeki iş atölye çizelgelemelerine ilişkin bir araştırma yapılmıştır.

Literatür Taraması

Çizelgeleme problemlerinde GA kullanımı ilk defa 1985 yılında Davis tarafından kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada Davis atölye çizelgeleme problemleri için GA yöntemini geliştirmiştir. Geliştirilen bu yöntem sonraki çalışmalar için temel oluşturmuştur. Liepis (1987), ilk defa GA yapısını iki makineli çizelgelemeye uygulamıştır.

Biegel ve Davern (1990), bütünleşik imalat döngüsü içinde atölye çizelgelemede genetik algoritmayı kullanmışlar ve bu yapıyı bir, iki ve çok makineli sistemler için de uygulamışlardır.

Dorndorf ve Pesch (1995), ilk defa öncelik kuralı tabanlı genetik algoritma yaklaşımı ile atölye tipi çizelgeleme problemi çözüm prosedürü geliştirmişlerdir. Bu yöntem ile elde edilen sonucun diğer sezgisel yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Ying ve Bin (1996), atölye çizelgeleme problemlerinde boşta kalma süresi için üç farklı kodlama sistemi ve ceza faktörü kullanılarak elde edilen GA sonuçları karşılaştırılmış ve ceza faktörünün etkisi gösterilmiştir.

Cheng vd (1999), yaptıkları çalışmada atölye çizelgeleme problemlerinde çeşitli melez yaklaşımlar ile genetik algoritmanın çözüm vermesi amaçlanmıştır. Bu çalışma sırasında geliştirilen tekniklerin modern üretim sistemlerindeki diğer çizelgeleme problemleri ve çözümü zor optimizasyon problemlerinde daha kullanışlı olduğu görülmüştür.

Cavory vd (2003), doğrusal kısıtlar ile döngüsel atölye çizelgeleme problemlerinin genetik algoritmalar ile çözümü incelenmiş. GA yaklaşımı, makinelerdeki işlerin öncelik kurallarına göre kullanılmıştır.

Watanabe vd. (2005), atölye tipi çizelgeleme problemleri için düzenlenmiş genetik algoritma ile araştırma alanı adaptasyonu birbiri ile karşılaştırılmış. Özellikle çaprazlama operatörü GA 'da daha iyi sonuçlar vermiştir.

Omar vd (2006), genetik algoritmalar yardımıyla atölye çizelgeleme problemi çözümü esnasında çaprazlama ve mutasyon için kritik blok komşuluğu ve ölçüm mesafesi kullanılmıştır. Bu çalışmada durdurma kriteri olarak iterasyon sayısı dikkate alınmıştır.

Chang vd. (2006) yaptıkları çalışmada, toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı minimizasyonu amaç fonksiyonuna sahip tek makine çizelgeleme problemlerinin çözümünde olay-yüklemeli genetik algoritma kullanmışlardır. Başlangıç olayı diğer problem kümelerinden farklı olarak genetik algoritma kullanılarak oluşturulmuştur.

Damodaran vd. (2006), en son işin tamamlanma zamanını minimize etmeyi amaçlamışlardır. İşlerin büyüklükleri ve işlem süreleri biliniyor. Sonuç olarak, GA yönteminin aynı problem için test edilen Tavlama Benzetimi (TB) yönteminden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Biroğul ve Güvenç (2007), atölye çizelgeleme problemlerinde ürün adedinin dikkate alınmasının hem gantt şemasında hem de genetik aloritmadaki etkisi incelenmiştir.

Malve ve Uzsoy (2007), dinamik iş gelişleri ile özdeş paralel makinalarda maksimum gecikmenin minimize edilmesi için GA kullanılmışlar. Makine sıralamada işlem ve teslim sürelerini dikkate almışlar ve sonuçta; GA yönteminin daha hızlı ve uygun çözümler verdiğini tespit etmişlerdir.

Gao vd. (2007), esnek iş çizelgeleme problemi gerçek çizelgeleme problemlerine daha yakın bir sonuç sağlayan klasik iş çizelgeleme problemlerinin bir uzantısıdır. Esnek atölye tipi çizelgeleme probleminde minimum tamamlanma zamanı, maksimum makine iş yükünün minimizasyonu ve toplam iş yükünün minimizasyonu amaçlamışlar. Bu amaçlarına göre yenilikçi yerel arama prosedürü geliştirmişler ve GA yönteminde melez algoritma ile vardiya ve darboğazlarında çözümler elde etmişlerdir.

Quingsong vd. (2008), gecikme olmadan minimum tamamlanma zamanlı atölye çizelgeleme problemini genetik algoritma yardımıyla çözüme kavuşturmuşlardır.

Vilcot ve Billaut (2008), genel atölye tipi çizelgeleme problemlerinde, tamamlama zamanını ve maksimum gecikmeyi minimize etme amacı ile GA yöntemi ve tabu araştırması ile çözüm aramışlardır. Başlangıç popülasyonu rassal olarak oluşturdukları uygulamada elde ettikleri bilgisayarlı test sonuçlarına göre GA ve tabu araştırması yöntemlerinin her ikisi de etkili ve etkin çözüm metodu geliştirmişlerdir.

Tay ve Ho (2008), çok amaçlı esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde sonlandırma/öncelik kurallarını dikkate alarak genetik programlama arayüzü geliştirmişlerdir. Tek bir kural ile minimum tamamlanma zamanı, ortalama gecikme ve ortalama akış zamanı amaçlarına yönelik çözümler elde etmişlerdir.

Hasan vd (2009), tamamlanma zamanını minimize etme amacı ile GA 'yı kullanmışlar. GA'nın performansını geliştirmek amacı ile kısmi yeniden sıralama, boşluk azaltma gibi öncelik kurallarını kullanmışlar. Farkı çaprazlama ve mutasyon değerleri ile üç farklı parametre analizi yapmışlar.

Manikas ve Chang (2009), en kısa işlem süresi ve en erken bitiş tarihi gibi sezgiseller esnek çizelgelemelerde kullanılır. Bu tür bir problem için GA yaklaşımını kullanmışlar ve optimum sonuçlar elde etmişler. Bu çalışmada sıra bağımlı ayar süreleri içeren atölye çizgelemeye genetik algoritma uygulanmıştır.

Aydemir (2009), üretim sisteminde toplam tamamlanma zamanını ya da en son işin sistemi terkediş zamanını minimize etmek amacıyla öncelik kuralı tabanlı GA yaklaşımıyla simülasyon yazılımı geliştirmiş. FIFO ya göre başlangıç modeli oluşturulmuş, sonrasında tüm öncelik kuralları ve öncelik kuralı tabanlı GA için test modelleri oluşturulup elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Geliştirilen modeller en iyi çözüm değerine ulaşmıştır. Bu çalışma uygulama bölümünde detaylı incelenmiştir.

Koçanlı vd (2012), atölye çizgeleme probleminin küçük, orta ve büyük boyutlu problemlerde hem Hedef Programlama yöntemi ile hem de GA ile elde edilen sonuçlarını kıyaslamışlar. Elde edilen sonuçlarda özellikle gerçeğe yakın büyük boyutlu problemlerde Hedef Programlama ile çözüme ulaşamazlarken GA ile en iyi çözüm değerine ulaşmışlar. Bu çalışma uygulama bölümünde detaylı incelenmiştir.

Gümüsoğlu vd (2013), siparişe dayalı üretim sisteminde atölyeye gelen işlerin ürün grupları oluşturularak GA ile en iyi çözüme ulaşmayı hedeflemişler. Bu çalışma uygulama bölümünde detaylı incelenmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

GENETİK ALGORİTMA

1.1 GENETİK ALGORİTMALAR

Genetik algoritmalar (GA), verilen bir problem için evrim teorisinin esaslarına göre en iyi çözümü bulmada kullanılan sezgisel bir arama yöntemidir.

Genetik algoritmalar, doğadaki canlıların geçirdiği süreci örnek alır ve iyi nesillerin kendi yaşamlarını muhafaza edip kötü nesillerin yok olması prensibine dayanır (Biroğul, 2005:28). Bunu yaparken de doğal seçme ve genetik kurallarını kullanır. Bu kurallar ortama uyum sağlayan canlıların hayata devam etmesi ve sağlayamayanların elenmesi anlamına gelmektedir.

1970’li yıllarda GA’nın temelleri ilk olarak John Holland tarafından atılmıştır. Mekanik öğrenme konusunda çalışan Holland, Darwin’in evrim teorisinden etkilenerek canlılarda yaşanan genetik süreci bilgisayar ortamında gerçekleştirmeyi düşünmüştür. Holland’ın temel amacı, özel problemler için algoritma tasarlamak değil, bilgisayar sistemlerinde önemli olabilecek doğal adaptasyon mekanizmalarına yollar geliştirmektir. Bu konudaki en önemli eser 1989 yılında John Holland’ın öğrencisi olan Goldberg tarafından yazılan “*Genetic Algorithms in Search , Optimization, and Machine Learning* “ isimli kitaptır. Bu algoritma evrim teorisinden esinlenerek geliştirilmiştir. Yani canlılar doğurabilmeli ve ölebilmelidir. Yeni doğan canlılar arasında, bu canlıların kalıtsal özelliği diyebileceğimiz uygunluk değerleri sayesinde, kuvvetli olanlar hayatlarını sürdürerek bir sonraki topluma girip yeni, kuvvetli canlılar meydana getirirken, zayıf olanların hayatı sona erdirilir.

GA’nın amacı; karmaşık yapıları gerçek hayat problemlerinin uygun bir çözümünü aramaktır. Bu problemler, olasılıklı algoritmalar sınıfında NP-Zor problemler olarak kabul edilir (Aydemir, 2009:36). Genetik algoritmalar rastgeleliği ve doğal seçim yöntemlerini temel alarak sisteme en iyi uyum sağlayan canlıların yaşamaya devam etmesi ve sağlayamayanların elenmesi ile yapay sistemler oluşturur.

Genetik algoritmalar herhangi bir çözüm yöntemi olmayan problemlere çözüm arar. Kendilerine ait çözüm yöntemleri olan özel problemler için mutlak sonucun hızı ve kesinliği nedeni ile genetik algoritmalar kullanılmaz. Genetik algoritmalar aşağıdaki durumlarda kullanılır:

- Arama uzayı büyük ve karmaşık olduğu,
- Eldeki bilgi ile sınırlı arama uzayında çözüm zor olduğu,
- Problem, belirli bir matematiksel modelle ifade edilemediği,
- Klasik eniyileme yöntemi ile istenen sonuç elde edilemediği

durumlarda GA' yı kullanmak etkili olur.

1.2. GENETİK ALGORİTMANIN ÖZELLİKLERİ

Goldberg'e (1989) göre GA sonuçta bir arama yöntemidir ve geleneksel optimizasyon ve arama prosedürlerinden birtakım farklılıklara sahiptir (Aydemir, 2009:37).

1. GA, parametrelerin kodlanmış halleri ile ilgilenir, kendileri ile ilgilenmez.
2. GA, amaç fonksiyonunun kendisini kullanır, türevlerini kullanmaz.
3. GA, çözümü uzayın bir kısmını tarayarak arar, tamamında aramaz.
4. GA, olasılıklı geçiş kurallarını kullanır, deterministik kullanmaz. GA nasıl yaptığı konusunda bilgi içerir, ne yaptığı konusunda değil.

Eniyileme problemlerinin çözülmesinde genetik algoritmaların sağladığı bazı faydalar vardır. Kesikli veya sürekli değişkenler ile eniyileme yapılabilir. Türev alma işlemine gerek olmadığı için başlangıç ve sınır şartları ile bazı kabullerin yapılmasına gerek yoktur. Çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tarar. Çözüm uzayı aynı anda birçok noktadan araştırmaya başlanır. Ele alınan olayın doğrusal olup olmaması sonuca ulaşmada bir sorun yaratmaz. Olasılık ve stokastik geçişleri kullanır. Paralel hesaplamalarda rahatlıkla kullanılabilir.

Bu yöntem, birkaç değişkenin, düzgün hedef fonksiyonlarının olduğu durumlarda kullanılmalıdır. Tüm sorunlarda kullanmamak gerekir. Genetik algoritmaların temelinde rastgele örnekleme vardır ve yöntem stokastiktir. Bu

yüzden de birçok defa kullanıldığında farklı sonuçlar verebilir. En iyi çözüm de bilinen çözümler arasından göreceli olarak seçilir. Bundan ötürü genetik algoritmanın da bazı mahzurları vardır. Bu yöntemi kullanırken şartları iyi değerlendirmek gerekir.

1.3. GENETİK ALGORİTMANIN KULLANILDIĞI YERLER

Genetik algoritmalar günümüzde karmaşık problemleri hızlı ve en uygun şekle yakın çözebildikleri için birçok alanda kullanılmaktadır. Büyük çözüm uzaylarının taranmasında klasik yöntemlerin kullanılması hesaplama zamanını arttırır. Bu tip problemlerde, GA kullanılarak daha kısa sürede çözüm uzayının taranması sağlanır.

Genetik algoritmaların kullanıldığı alanları iki başlık altında sınıflandırabiliriz.

1.3.1. Genel Kullanım Alanları

a. Optimizasyon: Genetik algoritmaların uygulandığı optimizasyon problemleri, fonksiyon optimizasyonu ve birleş (combinatorial) optimizasyonu altında toplanabilir. GA, klasik yöntemlere göre zor, süresiz ve gürültü (noisy) içeren fonksiyonları çözmeye etkinlik gösterir. Optimize edilecek fonksiyon süresiz olduğunda, süresizlik noktalarında türev alınamayacağından, türev almaya dayalı yöntemler kullanılmaz. Bu durumda Türev ve benzeri işlemlere gerek duymayan genetik algoritma yöntemi kullanılır (Emel, Taşkın, 2002:138).

Birleş optimizasyon problemleri ise, istenen amaçlara ulaşmak üzere, sınırlı kaynakların etkin tahsis edilmesiyle ilgilenir. Bu yöntem, iyi tanımlanmış bir problem uzayında bir veya daha fazla optimal çözüm bulma sürecidir (Emel, Taşkın, 2002:139). Bu problemde, değişken sayısı arttıkça çözüme ulaşma zamanında da üstsel bir şekilde artış olmaktadır. Böyle bir durumda, çözüm uzayının tamamını tarayan klasik yöntemde çözüme ulaşırken değişken sayısının artması bu taramayı imkânsız hale getirebilir. GA ise çözüm uzayının tamamını değil de, belli bir kısmını

taradığı ve eş zamanlı inceleme yaptığı için bu tür problemlerde kullanılması çözüme daha kısa sürede ulaşılmasını sağlar.

Genetik algoritmaların birçok avantajına rağmen, uygulamalarda bazı sorunlarla karşılaşmaktadır. Bunları aşmak için geliştirilen birçok yöntem vardır. Bunların başında kısıtların ele alınmasındaki soruna karşı ceza fonksiyonu yöntemi örnek olarak verilebilir.

b. Otomatik Programlama ve Bilgi Sistemleri: Genetik algoritmalar bilgisayar programlarını geliştirmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilgisayar çipleri, ders programları ve ağların çizelgelenmesi gibi hesaplama gerektiren yapıların tasarımında da kullanılmaktadır (Emel, Taşkın, 2002:139).

c. Mekanik Öğrenme: Mekanik öğrenme; ilki, gözlenmiş bir veri takımını anlamak ve yorumlamak, ikincisi de görülmemiş objelerin özelliklerini tahmin etmek olan iki temel amaç için model kurmayı amaçlar (Emel, Taşkın, 2002:140). Kullanılan metotların çoğu dağılımdan bağımsız metotlar olup, çok büyük veri takımlarıyla çalışır.

Sınıflama sistemi, genetik algoritmaların mekanik öğrenme alanında bir uygulamasıdır. Basit dizi kurallarını öğrenen bir mekanik öğrenme sistemi olan sınıflama sisteminin kural ve mesaj sistemi, özel bir üretim sistemi olarak adlandırılabilir. Bu üretim sistemi “eğer-sonra” kural yapısını kullanır. Bu üretim kuralı, “eğer” yapısından sonra belirtilen durum için, “sonra” yapısından sonra gelen faaliyetin gerçekleştirilmesini içerir (Emel, Taşkın, 2002:140).

d. Ekonomik Modeller: Genetik algoritmalar yenilik sürecinin, fiyat verme stratejilerinin ve kazanç getiren pazarların ortaya çıkış süreçlerinin modellemesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

1.3.2. İşletmelerdeki Kullanım Alanları

Genetik algoritmalar işletmelerde finans ve pazarlama gibi alanlarda sık kullanılan bir yöntemdir. Özellikle de kaynak tahsisi, iş atölye çizelgelemesi, bilgisayar ağ tasarımı gibi çeşitli alanlarda da kullanılmaktadır.

a. **Finans:** Finans problemleri genellikle, amaç fonksiyonlarını tahmin etme gücüne veya bir kıyaslama sonucuna göre elde edilen getirilerdeki gelişmeleri içerir. Genetik algoritmalarda amaç fonksiyonu odaklı olduğu için finansal modellemede kullanılması uygundur. Finans problemlerinde genetik algoritma ile birlikte bulanık ve yapay sinir ağları yaklaşımları da kullanılmaktadır.

b. **Pazarlama:** Pazarlama sürecinde, tüketicilere ait verileri analiz ederek tüketici profillerini çıkarılıp ona göre bir strateji uygulanır. Bu profili çıkarabilmek için de, çok büyük veri tabanlarını hızlı ve etkin bir şekilde kullanabilmek için veri madenciliği tekniğine başvurulur. Veri madenciliği, büyük ölçekli veriler arasından bilgiye ulaşmaktır. Genetik algoritmalar veri madenciliğinde kullanılan bir modeldir (Emel, Taşkın, 2002:142).

c. **Üretim:** Genetik algoritmanın en çok kullanıldığı alandır. Başlıca problemleri:

- *Montaj Hattı Dengeleme:* Tsujimura, Gen ve Kubata'nın 1995 yılında yayınlanan çalışmasında; her bir iş istasyonundaki toplam işlem zamanlarını minimize etmeyi hedefleyen amaç fonksiyonunun çözümü, genetik algoritma ile bulanık küme mantığı birlikte kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Emel, Taşkın, 2002:143).

- *Çizelgeleme:* Genetik algoritmalar ile çizelgeleme problemlerinin birlikte kullanımı ilk olarak 1985 yılında Davis tarafından yapılmıştır. Belirli teslim tarihleri ve işlem süreleri olan işlerin çizelgelenmesi, akış zamanını minimize etme amacını taşıyan tek makine modeli, paralel makine modelleri, iş atölyesi çizelgeleme problemi, akış atölyesi problemi, süreç planlama problemi gibi çalışmalar yapılmıştır. Çizelgeleme problemlerinde genetik algoritmalar neredeyse optimuma yakın bir çözüme, diğer yöntemlere göre hızlı bir şekilde ulaşmıştır.

- *Tesis Yerleşim:* Bu tip modellerde belli bir kritere göre araç/gereçleri veya diğer kaynakları optimum performans sağlayacak şekilde yerleştirme kararları alınır. Bu yerleşim kararlarının hızlı ve doğru bir şekilde alınması gerekir. Alınan kararların zayıf olduğu üretim sırasında ortaya çıktığı için fazla maliyete neden olmaktadır. Bu tip problemlerin çözümünde genetik algoritma kullanmak uygun olacaktır (Emel, Taşkın, 2002:144).

- *Gezgin Satıcı:* Genetik algoritmaların birleştiği optimizasyon problemlerinde çeşitli çalışması vardır. En yoğun yapılan çalışmalardan biri de gezgin satıcı problemleri için yapılmaktadır. Bu problemin amacı, kat edilen toplam mesafeyi minimize eden bir yolculuk planı oluşturmaktır. Bu problemin bir özelliği değişken sayısı arttıkça üstsel artış gösteren zaman içinde çözüme ulaştırabilmesidir. Genetik algoritmalar klasik yöntemlere göre daha kısa sürede ve optimale yakın sürelerde sonuç vermektedir (Emel, Taşkın, 2002:146).

Genetik algoritmalar yukarıda sayılanların dışında araç rotalama, minimum yayılan ağaç, taşıma, sistem güvenilirliği, atama, hücresel üretim gibi çizelgeleme problemlerinde de kullanılmaktadır.

1.4. GENETİK ALGORİTMANIN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Genetik algoritma ile çözüme giderken Croce' a (1995) göre izlenmesi gereken adımlar aşağıda sıralanmıştır:

Adım1: Tüm muhtemel çözümlerin bir dizi olarak kodlandığı bir çözüm kümesi oluşturulur. Bu diziye *kromozom* ve bu diziyi oluşturan her bir elemana da *gen* denir. Çözüm kümemizde populasyon olarak adlandırılır. Problemin türüne göre değişik kodlama şekilleri vardır.

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

Adım3: Çözüm kümesindeki her bir dizinin uygunluk değerine göre ne kadar iyi olduğu belirlenir. Bu değere göre iyi sonuçlar veren kromozomlar yeni populasyon için seçilir. Uygunluk değeri populasyonun kalitesini gösterir.

Adım4: Belli bir olasılık değerine göre bir grup dizi rastsal olarak seçilir ve çoğalma gerçekleşir.

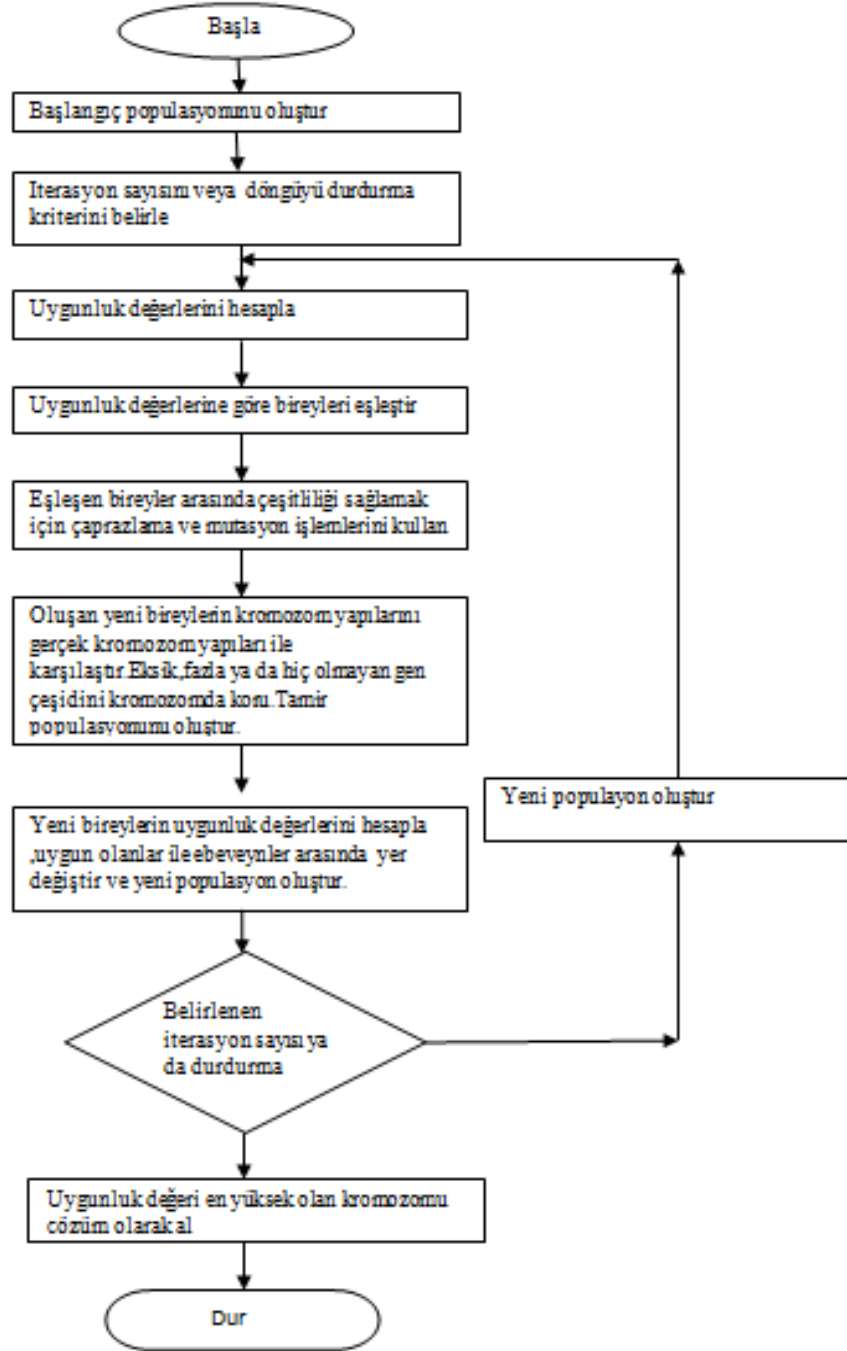
Adım5: Yeni dizilerin uygunluk değerleri hesaplanır ve çaprazlama, mutasyon gibi genetik işlemlere tabi tutulur.

Adım6: Önceden belirlenen kuşak sayısına ulaşıncaya kadar veya durdurma kriterleri sağlanıncaya kadar yukarıdaki işlemlere devam edilir (Adım3'e git).

Adım7: Kuşak sayısına ulaşıldığında veya durdurma kriteri sağlandığında, oluşan kuşaktaki en iyi uygunluk değerine sahip olan kromozom çözüm olarak seçilir.

Genetik algoritmada parametre kodlama, üreme, çaprazlama ve değişim operatörleri kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak problem tipine göre tamir (düzeltme) operatörü de kullanılır. Tamir operatörü atölye çizelgeleme problemlerinde muhakkak kullanılmalıdır. Çünkü çaprazlama ve değişim operatörlerinden sonra oluşan yeni dizideki gen yapıları gerçekte olmayan yapılara dönüşmektedir. Döngü boyunca bu işlem tekrarlandığında GA düzgün çalışmayacak ve gitgide bireyler yok olacaktır. Çıkan çözüm ise kesinlikle ne istenen şartları yerine getirecek ne de dizi yapısına bağlı kalacaktır (Biroğul, 2005:30). GA' nın akış diyagramı Şekil 1.1' de verilmiştir.

Şekil 1.1: Genetik Algoritmanın Akış Diyagramı



(Biroğul, 2005:31)

1.5. GENETİK ALGORİTMANIN TEMEL KAVRAMLARI

1.5.1. Gen

Genetik algoritma sayı sisteminde, karar değişkeni sayılarının her bir rakamına *hane* denir. Sistemin en küçük elemanıdır. Hanelerin bir dizi halinde sıralanması ile ortaya çıkan yapıya *gen* denir. Gen, bir canlının kalıtsal özelliklerinden birini taşıyan bir parçadır. Genetik bilgileri taşıyan bu yapıların bir araya gelmesi ile *kromozom* meydana gelir. Gendeki hane sayısının uzunluğuna *gen uzunluğu* denir. Problemden kaç tane karar değişkeni varsa o sayıda gen de olacaktır.

Algoritmanın başlangıcında, kromozomlara yerleştirilmesine karar verilen genlerin sırasının GA işlemleri sırasında yerlerinin asla değiştirilmemesi gerekmektedir (Paksoy, 2007:22).

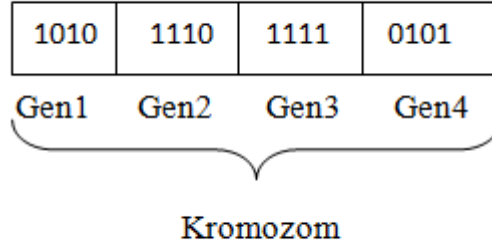
1.5.2. Kromozom

Bir ya da daha fazla gen yapısının bir araya gelerek problemin çözümüne ait tüm bilgiyi içeren dizilere *kromozom (birey)* denir. Kromozomların bir araya gelmesiyle *populasyon (yığın)* oluşturulur. Yığındaki her bir bireye kromozom, kromozomdaki her bir bilgiye gen denir. Kromozomlar, üzerinde durulan problemin olası çözüm bilgilerini içerir (Biroğul, 2005:34).

Bilgilerin anlam bütünlüğü açısından, kodlamanın önceden belirlenen bir sisteme göre yapılması gerekmektedir. Kromozom kodlamasının, GA'nın ilk uygulamalarında, ikili sayı (binary) sistemine göre yapıldığı gözlemlenmektedir. İkili sayı sisteminde hazırlanan bir kromozomda, her bir bit, çözümün bir karakteristiğini temsil etmekte ve bilgisayar tarafından daha rahat ve hızlı bir şekilde işleme tabii tutulmaktadır. Karar değişkenlerinin tamsayı ya da reel olduğu problemlerde, ikili sistemde kodlanan kromozomlarda bitlerden oluşan bir alt dizi, çözümün bir karakteristiği temsil etmektedir (Paksoy, 2007:21).

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

Şekil 1.2: Gen ve Kromozom Gösterimi



1.5.3. Populasyon

Çözüm ile ilgili bilgileri içeren kromozomların bir araya gelmesi ile oluşan topluluğa *populasyon (yığın)* denir. Populasyondaki kromozom sayısı genellikle sabit tutulur. Genetik algoritmada kromozom sayısı ile ilgili genel bir kural yoktur.

Populasyon büyüklüğü, problemin çözüm süresini etkilemektedir. Populasyondaki kromozom sayısı arttıkça çözüme ulaşma süresi (iterasyon sayısı) artar. Populasyondaki kromozom sayısı az olduğunda çözüme ulaşılamamasına neden olur. Populasyon büyüklüğü problemin başında problemin özelliklerine göre doğru bir şekilde seçilmelidir.

1.5.4. Uygunluk Değeri ve Uygunluk Fonksiyonu

Uygunluk değeri popülasyonda yer alan her bir bireye ait çözümün hesap değeridir. Bu değer belirlenebilmesi için bir fonksiyona ihtiyaç duyulur. Örneğin, bir maksimizasyon problemi için, i . bir bireyin uygunluk değeri $f(i)$, genellikle o amaç fonksiyonunun değeridir (Aydemir,2009:41). Uygunluk fonksiyonları türev ve benzer analitik işlemlere ihtiyaç duymadan istenilen şekilde oluşturulabilir.

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 (Aydemir,2009:42).

Sonuç olarak uygunluk değeri GA da amaç fonksiyonunun oluşturulması sırasında belirlenir ve bireye sonraki nesillerde yaşama şansını verir.

GA işleyişinde literatürde kullanılan semboller ve anlamları aşağıda gösterilmiştir (Biroğul,2005:36).

n :Bir yığındaki toplam kromozom sayısı

l :Yığındaki bir kromozomun uzunluğu

gen :Bir kromozomdaki her bir hücre

f_i :Yığındaki i . kromozomun uzunluğu

f : Yığının toplam uygunluk değeri

$$f = \sum_{i=1} f_i$$

f_{ort} : Yığının ortalama uygunluk değeri

$$f_{ort} = \frac{f}{n}$$

C^* :Yığındaki en iyi birey

U_{max} :Verilen bir parametrenin üst sınırı

U_{min} : Verilen bir parametrenin alt sınırı

G_{max} : Max iterasyon sayısı

F : Amaç fonksiyonu

Çoklama problemi için başarı ölçütü genellikle uygunluk fonksiyonu olarak kullanılabilir. Ancak çizelgeleme problemleri genellikle azaltma problemleri olduğundan uygunluk fonksiyonu farklı bir metod ile bulunabilir. $C_{\max}$ en son işin tamamlandığı sürenin azaltılması probleminde uygunluk değeri şu şekilde hesaplanabilir (Biroğlu, 2005:36)

$$f(s_i(t)) = \max\{C(s_i(t))\} - \{C(s_i(t))\} \quad (1.1)$$

Öncelikle yığındaki bütün diziler için $C_{\max}$ değeri bulunur. Daha sonra en büyük $C_{\max}$ değerinin en büyük $C_{\max}$ değerinden sapması o dizinin uygunluk değeri olarak hesaplanır. Böylece $s_i(t)$; t . nesildeki i . dizi, $C(s_i(t))$; $s_i(t)$ nin en fazla tamamlanma zamanı ve $f(s_i(t))$; $s_i(t)$ nin uygunluk değeri olarak hesaplanır (Biroğlu,2005,36).

1.6. KODLAMA

GA’ da her popülasyonu oluşturan her bir birey, bir kromozom olarak adlandırılır. Bir problemin çözümü için GA geliştirmenin ilk adımı, kromozomların uygun bir şekilde kodlanmasıdır. Kurulan genetik modelin hızlı ve güvenilir çalışması için bu kodlamanın doğru yapılması gerekmektedir. Kodlama problem türlerine göre değişkenlik göstermektedir.

1.6.1. İkili Kodlama (Binary)

En yaygın kullanılan kodlama türüdür. Bu yöntemde her kromozom 0 ve 1 ‘lerden oluşan bir bit dizidir ve ikili diziyle ifade edilir. Bu dizideki her bit, çözümün özelliğini taşır. Dizinin tümü ise bir sayıya karşılık gelir.

Şekil 1.3: İkili Düzendeki Kodlama Yapısı

Kromozom A	1 0 1 0 1 1 0 0 1 1
Kromozom B	0 0 1 0 1 0 1 0 1

İkili kodlama çok sık kullanılan bir kodlama türü olmasına rağmen, değişkenlerin alt ve üst sınırlarına bağlı olarak elde edilen dizi uzunluklarının çok büyük olmasından dolayı sakıncaları vardır. Gezgin satıcı, çizelgeleme, karesel atama gibi en iyileme problemlerinden bu kodlama türü arama uzayını tam olarak temsil edememektedir. Bu nedenle ikili kodlamaya alternatif olarak, permütasyon ve değer kodlama (alfa nümerik) türleri kullanılmaktadır.

1.6.2. Permütasyon Kodlama

Permütasyon kodlama çizelgeleme, şebeke tasarımları, gezgin satıcı gibi sıralama problemlerinde kullanılır. Burada her kromozom bir numaralar dizisidir (Şekil 1.4). Kromozomun uzunluğu tasarım değişkenlerinin sayısına eşittir. Bu kodlama özellikle tasarım değişkenlerinin birden fazla alt değişkenden oluştuğu problemlerde tercih edilmektedir. Burada tasarım değişkenlerinin kodları 1 ile tasarım değişkeni sayısı arasında rastgele seçilen rakamlardan oluşmaktadır (Erdal, 2007 :33).

Şekil 1.4 : Permütasyon Kodlama Örneği

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

1.6.3. Değer Kodlama

Gerçek sayılar gibi karmaşık değerlerin kullanıldığı problemlerde, ikili kodlama zor olduğu için doğrudan değer kodlaması kullanılabilir. Değer kodlama kavram olarak problem alanına en yakın kodlamadır. Çünkü her kromozom çözüm kümesiyle eşit uzunlukta gerçek sayıların oluşturduğu bir vektör şeklinde kodlanır. Değer kodlama gösterimi ile çok sayıda karar değişkeni olan çok büyük alanların temsili mümkündür (Erdal, 2007: 33).

Şekil 1.5 : Değer Kodlama Örneği

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

1.6.4. Ağaç Kodlama

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

1.7. GENETİK OPERATÖRLER

Kodlama işlemi tamamlandıktan sonra yeni toplumun oluşturulması, uyumlu kromozomların iyi özelliklerinin oluşturulan topluma aktarılması, toplumların bir öncekilerden farklılaştırılması ve arama uzayını genişletmesi gibi amaçlar için popülasyona genetik işlemler uygulanır. Bu işlemler çoğalma, mutasyon ve çaprazlama olmak üzere üç operatörden meydana gelmektedir.

1.7.1. Çoğalma

Çoğalma, uygunluk kriterlerine uyan bir kromozomun özelliklerinin, yeni nesile aktarılmasını sağlayan işlemidir. Bu işlemde, en iyi uygunluk değerlerine göre bireyler bir eşleme havuzuna kopyalanır ve bireyler bu havuzda çiftler halinde gruplara ayrılır (<http://www.ibrahimcayiroglu.com>).

Bu yöntemin amacı, ortalama uygunluğun üzerindeki değerlere çoğalma fırsatı tanımadır. Bir dizinin kopyalanma şansı uygunluk fonksiyonuyla hesaplanan dizinin uygunluk değerine bağlıdır (Erdal, 2007: 35).

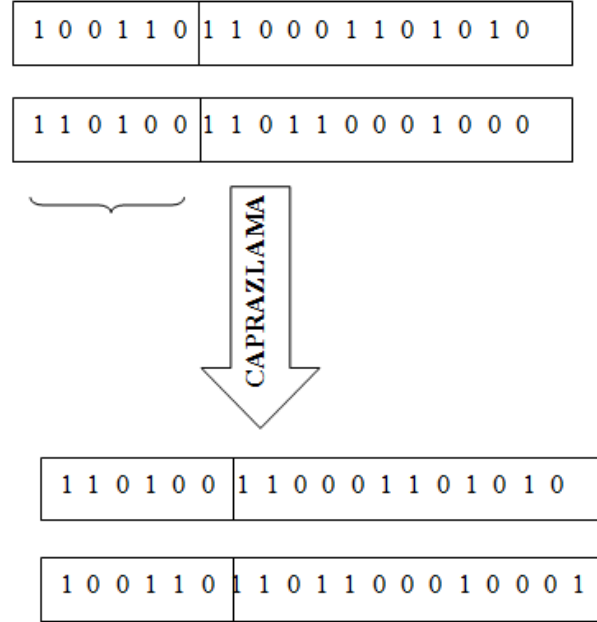
Çoğalma işlemi sonrasında yeni kromozomlar üzerinde tekrarlı bir şekilde işlem yapılmaması ve yeni toplumda yeni bireylerin ebeveynlerinin birer kopyası olmasını engellemek amacıyla çaprazlama ve gerekirse mutasyon işlemleri uygulanır (Paksoy, 2007 : 29).

1.7.2. Çaprazlama

Eldeki nesilden yeni bir nesil oluşturma amacıyla, iki dizinin bir araya gelerek karşılıklı gen değişimiyle birlikte yeni dizilerin oluşmasını sağlayan işleme *çaprazlama* denir.

Çaprazlama GA performansını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Bu operatörle popülasyondan rastgele seçilen iki bireyin belli bölümleri karşılıklı değiştirilerek, arama uzayında yeni noktalar veren yeni iki farklı birey elde edilir.

Şekil 1.6: Çaprazlama



1.7.1.1. Tek Noktalı Çaprazlama

Geleneksel genetik algoritmada kullanılan tek noktalı çaprazlamada, kromozom uzunluğu l olmak üzere $[0, l-1]$ aralığında rastgele bir sayı seçilerek belirlenir. Her iki bireyde bu çaprazlama noktasından sonraki kısımlar yer değiştirir ve çaprazlama sonucunda iki yeni birey elde edilir.

Şekil 1.7: Tek Noktalı Çaprazlama

	1	2	3	4	5	6	7	8
Kromozom A	1	1	0	1	0	0	1	1
Kromozom B	1	0	1	1	1	0	0	0

Çaprazlama sonrası

	1	2	3	4	5	6	7	8
Kromozom A'	1	1	0	1	0	0	0	0
Kromozom B'	1	0	1	1	1	0	1	1

1.7.1.2. İki Noktalı Çaprazlama

İki noktalı çaprazlamanın işleyişi tek noktalınıninki ile aynıdır. Tek farkı iki nokta çaprazlamada kromozom üzerinde rastgele olarak iki nokta çaprazlama noktası olarak seçilir. Oluşan parçalar bireylerde karşılıklı olarak yer değiştirerek yeni bireyler elde edilir. Çaprazlama tek parçada olursa iki yeni kromozom, iki parçada olursa dört yeni kromozom ve üç parçada olursa altı yeni kromozom elde edilir.

Şekil 1.8 : İki Noktalı Çaprazlama

	1	2	3	4	5	6	7	8
Kromozom A	1	1	0	1	0	0	1	1
Kromozom B	1	0	1	1	1	0	0	0

Çaprazlama sonrası

	1	2	3	4	5	6	7	8
Kromozom A '	1	0	0	1	0	0	0	0
Kromozom B '	1	1	1	1	1	0	1	1

1.7.1.3. Çok Noktalı Çaprazlama

Bu yöntem iki noktalı çaprazlama mantığına dayanmaktadır ve kromozomlar daha çok noktadan daha fazla parçaya ayrılmaktadır. Oluşan bu parçalar bireyler arasında değiştirilerek yeni bireyler elde edilir. Eğer parça sayısı n ise, n^2 kadar yeni kromozom elde edilir.

Çok noktalı çaprazlama yöntemi ile elde edilebilecek kromozomların tamamını oluşturmak ya da kullanmak bir zorunluluk değildir. Bunlardan bir kısmı, rastgele seçimle yeni topluma aktarılabilmektedir ya da sadece kromozomlar arasında belirlenen sayıda parçalara çaprazlama uygulanarak, yeni oluşturulan birey sayısı denetlenebilmektedir (Paksoy, 2007: 31).

1.7.1.4. Tekdüze (Uniform) Çaprazlama

Tekdüze çaprazlama, çok noktalı çaprazlamadan biraz farklıdır. Aynı uzunluktaki iki bireyden genler rastgele seçilerek bir sonraki nesile kopyalanır. Rastgele değişimi sağlamak amacıyla, kromozomların bit sayısına eşit uzunlukta çaprazlama maskesi kullanılmaktadır. Maske, ikili sayı sisteminde rastgele oluşturulan bir dizidir. Bu yöntemde birinci kromozom, maskede 1 kodu görüldüğü yere, 1.kromozomda karşılık gelen gen kopyalanırken; 0 (sıfır) kodu görüldüğü yere ikinci kromozomdaki karşılığı kopyalanarak oluşturulmaktadır. İkinci kromozom da şu şekilde oluşturulmaktadır. Bu kromozom için, maskedeki 1'lerin karşılığı ikinci kromozomdan, sıfırların karşılığında birini kromozomdaki karşılıktan taşınarak oluşum sağlanmaktadır (Paksoy,2007: 31).

Yapılan araştırmalara göre tek düze çaprazlamanın diğer çaprazlama yöntemlerinin genel bir hali oluşu nedeniyle tek ve çok noktalı çaprazlamadan daha etkin bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

1.7.1.5. Sıralı Kodlama Düzeninde Çaprazlama

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

a. Pozisyona Dayalı Çaprazlama

Bu yöntemde çaprazlama kalıp olarak sabit kalacak olan gen hücrelerini belirler. Kalıpla işaretlenen noktalar dizide sabit kalırken diğer noktalar iki birey arasında yer değiştirerek yeni bireylerin üremesi sağlanır (Aydemir, 2009 :44).

Şekil 1.9 : Pozisyona Dayalı Çaprazlama

İndeks	1	2	3	4	5	6	7	8
Kromozom A	3	5	4	2	8	9	6	1
Kromozom B	1	6	3	7	9	8	4	5
Kalıp	1	1	0	0	1	0	0	1
Kromozom A'	3	5	3	7	8	8	4	1
Kromozom B'	1	6	4	2	9	9	6	5

b. Sıraya Dayalı Çaprazlama

Bu yöntemde, pozisyona dayalı yöntemdeki gibi kalıp uygulaması vardır. Kalıp üzerinde görülen 1 değerleri çaprazlamada kullanılacak olan değerleri gösterir.

Şekil 1.10 : Sıra Dayalı Çaprazlama

İndeks	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Kromozom A	1	3	5	7	2	8	4	6	9
Kromozom B	7	4	5	6	8	9	3	1	2
Kalıp	1	0	1	0	0	0	0	1	0
Kromozom A'	7	3	5	1	2	8	4	6	9
Kromozom B'	7	4	1	5	8	8	3	6	9

B bireyinde sırasıyla 7, 5, 1 genleri çaprazlanacaktır. A bireyindeki 1, 5, 7 numaralı genler aynı sıralı olacak şekilde yer değiştirir ve A' bireyi oluşur. A bireyi için 1, 5, 6 çaprazlanacak genlerdir ve B bireyinde 5, 6, 1 genlerinin sırası değiştirilerek B' bireyi oluşturulur.

Bu tür çaprazlama, kromozomu oluşturan karakterlerin sayı ve sıralarının önem taşıdığı durumlarda kullanılır (Engin, Fırlalı, 2002:30).

c. Kısmi Eşleşmeli Çaprazlama

Kromozomda rastgele bir şekilde bir aralık belirlenir. Bu aralıktaki değerler bireyler arasında karşılıklı olarak değiştirilir. Aynı kromozomda aynı genin birden fazla bulunması söz konusu olabilir. Bu durumda aralık dışında ya da aynı değere sahip olan genler ile diğer kromozomda aynı pozisyona denk gelen genler değiştirilerek durum düzeltilir (Aydemir, 2009: 45).

Şekil 1.11 : Kısmi Eşleşmeli Çaprazlama

İndeks	1	2	3	4	5	6	7	8
Kromozom A	1	3	5	7	2	8	4	6
Kromozom B	7	2	4	6	8	3	1	5
A'	1	3	4	6	8	8	4	6
B'	7	2	5	7	2	3	1	5
Kromozom A'	1	3	4	6	8	2	5	7
Kromozom B'	6	8	5	7	2	3	1	4

d. Dairesel Çaprazlama

Dairesel çaprazlama yönteminde, ilk kromozomda en baştaki gen seçilir ve yeni diziye bu gen yerleştirilir. Bu gene karşılık gelen ikinci kromozomdaki gen belirlenir. Bu değer de yeni kromozom üzerine yerleştirilerek dairesel olacak şekilde tüm genler belirlenir.

Şekil 1.12 : Dairesel Çaprazlama

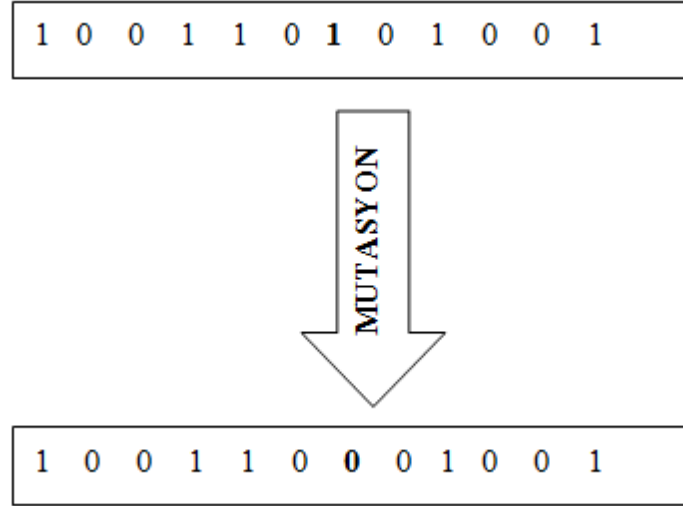
İndeks	1	2	3	4	5	6	7	8
Kromozom A	1	3	5	7	2	8	4	6
Kromozom B	7	2	4	6	8	3	1	5
A'	1	-	5	7	-	-	4	6
B'	7	-	4	6	-	-	1	5
Kromozom A'	1	2	5	7	8	3	4	6
Kromozom B'	7	3	4	6	2	8	1	5

1.1.6.2. Mutasyon

GA' da çaprazlama operatörü kullanılarak elde edilen yeni diziler sistem belli bir döngü değerine geldikten sonra birbirine benzemeye başlar. GA' nın çeşitliliğini sağlamak ve korumak için çaprazlama işleminden sonra mutasyon işlemi uygulanır. Çaprazlama da farklı iki kromozom üzerindeki genler yer değiştirirken, mutasyonda aynı kromozomdaki genler yer değiştirir.

Holland tarafından 'arka plan operatörü' olarak tanıtılan mutasyon operatörü, hem seçim süreci boyunca popülasyonda kaybolan genleri yerine koyarak, hem de başlangıç popülasyonunda olmayan genleri temin ederek hayati bir rol oynar (Erdal,2007: 39).

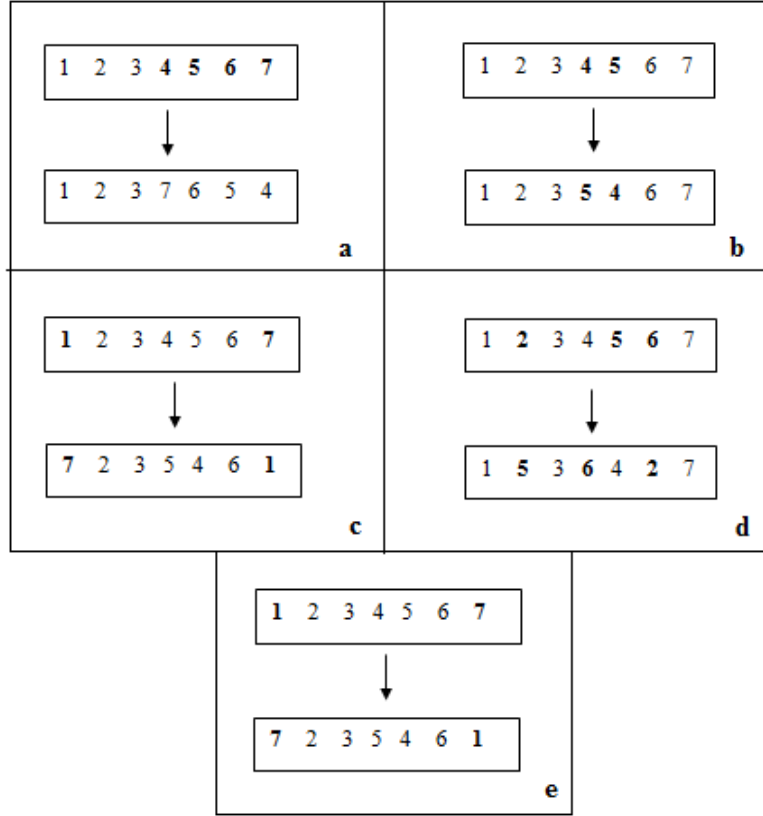
Şekil 1.13 : Mutasyon Operatörü



Problemin yapısına bağlı olarak mutasyon yöntemleri beş farklı şekilde sınıflandırılır.

- a. Ters Mutasyon : Rastgele seçilen bir alt dizideki genlerin sırasının tamamı ters çevrilerek elde edilen yeni kromozom yerine yerleştirilir.
- b. Komşu İki İşi Değiştirme: Rastgele seçilen iki komşu genin yer değiştirmesi ile yeni kromozom elde edilir.
- c. Keyfi İki İşi Değiştirme: Rastgele seçilen iki gen yer değiştirir.
- d. Keyfi Üç İşi Değiştirme: Rastgele seçilen üç gen yer değiştirir.
- e. Araya İş Ekleyerek Yer Değiştirme: Keyfi seçilen bir kaydırma noktasındaki genin rastgele sayıda sağa veya sola kaydırılmasıyla elde edilir. Komşu iki iş değiştirmenin özel bir durumu ve aynı zamanda keyfi üç değiştirmeye bir kesişime sahiptir.

Şekil 1.14 : Mutasyon Şekilleri



Şekil 1.14 ‘ te mutasyon şekillerinin uygulanmasına dair örnek gösterilmiştir.

a kısmı *ters mutasyona*, b kısmı *komşu iki işi değiştirme*, c kısmı *keyfi iki işi değiştirme* , d kısmı *keyfi üç işi değiştirme* ve e kısmı *araya iş ekleyerek yer değiştirme* mutasyonlarına birer örnektir.

1.8. GA’DA PARAMETRE SEÇİMİ

Toplum büyüklüğü, çaprazlama oranı , mutasyon oranı, kuşak aralığı ve seçim stratejisi gibi parametreler GA’ nın performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çünkü genetik parametreler genetik işlemler için bir sınır oluşturmaktadır. Bu kontrol parametrelerini bulmak için birçok çalışma yapılmıştır. Fakat tüm problemlerde kullanılabilecek genel parametreler bulunamamıştır. Bir problem için uygun olan parametre başka bir problemde etkin sonuç veremeyebilir.

1.8.1. Popülasyon Büyüklüğü

GA kullanıcısının verdiği en önemli kararlardan biridir. GA' ya başlamadan önce belirlenmesi gereken ilk değerdir. Bu değer çok küçük olduğunda, GA yerel bir optimuma takılabilmektedir. Popülasyonun çok büyük olması ise çözüme ulaşma zamanını arttırmaktadır. Bu konuda Goldberg 1985' de yalnızca kromozom uzunluğuna bağlı bir popülasyon büyüklüğü hesaplama yöntemi önermiştir (Goldberg,, 1989 :1-25).

Ayrıca Schaffer ve arkadaşları 1989' da çok sayıda test fonksiyonları üzerinde yaptıkları araştırmalar sonucunda, 20-30 arası bir popülasyon büyüklüğünün iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir (Emel, Taşkın, 2002:135).

1.8.2. Çaprazlama Oranı

Çaprazlamanın amacı, eldeki iyi kromozomların özelliklerini birleştirerek daha iyi kromozomlar elde etmektedir. Bu işlem, toplumda bulunan kromozomların belirli bir oranına uygulanmaktadır. Bu çaprazlama oranı $P(c)$ algoritmanın başında ya da her yeni toplumu oluşturmadan önce belirlenmelidir. Böylelikle seçilen ebeveyn kromozomlar, çaprazlama oranı ölçüsünde yeni bireyler oluşturmak üzere çaprazlanırlar. Literatürde bu oran %50-%90 oranında uygulanmaktadır.

Çaprazlama oranının yüksek olması, yeni kromozom sayısının artacağını gösterir ve çözüm uzayını hızlı bir şekilde aramayı sağlar. Bu oran düşük olduğunda ise, değişime uğrayacak kromozom sayısı azalacak ve dolayısıyla algoritma yavaşlayarak sonuca geç ulaşacaktır.

Toplumda N üye varsa, P_c çaprazlama oranı olmak üzere, $P_c N$ kadar üye çaprazlama için seçilmelidir (Paksoy, 2007: 30).

1.8.3. Mutasyon Oranı

Mutasyonun amacı, genetik çeşitliliği korumaktır. Mutasyon oranı (P_m), çaprazlama oranı gibi algoritmanın başında ya da her jenerasyon başında belirlenmektedir. Bir toplumda yaklaşık olarak ($P_m Nl$) adet karakterde mutasyon meydana gelmektedir. Burada N toplum büyüklüğü, l kromozom uzunluğudur. Mutasyon oranının çok yüksek seçilmesi arama işleminde aşırı rastgeleliğe sebep olurken, çözüm uzayının da aşırı farklılaşma riskini arttıracaktır. Benzer şekilde düşük oran ise, düşük farklılaşma ve optimuma yakın çözümler üretilmesine neden olacaktır. Birçok araştırmacı, uygun P_m oranını $1/N < P_m$ ve $P_m > 1/l$ olmasını önermektedir (Paksoy, 2007: 34).

Eğer mutasyon olasılığı çok artarsa, genetik arama rastsal bir aramaya dönüşür ve en iyi çözüme ulaşmak zorlaşır. Mutasyon oranının düşük seçilmesi ise çözüm uzayının farklı noktalarına erişimi zorlaştırır. Genellikle kromozomlardaki bir genin rastsal değişim oranı %1 ya da daha düşük seçilmelidir (www.bulentsiyah.com).

1.8.4. Kuşak Aralığı

Her kuşaktaki yeni kromozom oranına *kuşak aralığı* denilmektedir. Genetik operatörler için kaç tane kromozomun seçildiğini gösterir. Yüksek bir değer bir çok kromozomun yer değiştirdiği anlamına gelir (Emel, Taşkın, 2002 : 136).

1.8.5. Fonksiyon Ölçeklemesi

Doğrusal ölçekleme , üstsel ölçekleme gibi yöntemler mevcuttur. Probleme göre uygun ölçekleme yönteminin seçilmesi genetik algoritmanın etkin işlemesi açısından önem taşımaktadır (Emel , Taşkın, 2002: 136).

1.8.6. Seçim Mekanizması

Yeni nesiller için ebeveyn kromozomlar belirlenirken önceki popülasyondan gelen bazı kromozomların yeni popülasyona aktarılması seçim mekanizması ile gerçekleşir. Bu aşamada önemli olan kromozomların nasıl seçileceğidir. Oluşacak olan bu yeni topluma uygunluk değeri en yüksek olanlar aktarılır.

Seçim yöntemi olarak geliştirilmiş birçok değişik yöntem bulunmaktadır. Bunlardan bazıları rulet tekeri, orantılı seçim, sıralı seçim, turnuva seçim, elitist seçim yöntemleri en yaygın kullanılanlardır.

Seçim mekanizması, yüksek uygunluk ile bireylerin çözüm algoritmalarının bir bileşenidir (Bodenhofer, U., 2003: 18).

1.8.6.1. Rulet Tekerli Seçim Yöntemi

İlk defa Holland tarafından çıkarılmış bir yöntemdir. Bu yaklaşımda, toplumdaki tüm bireylerin uygunluk değeri (f_i) hesaplanır. Bireylerin uygunluk değeri toplanır ve toplumun uygunluk değeri elde edilir. Her bireyin uygunluk değeri toplumun uygunluk değerine bölünür ve bireyin seçilme olasılıkları (F_i) elde edilir.

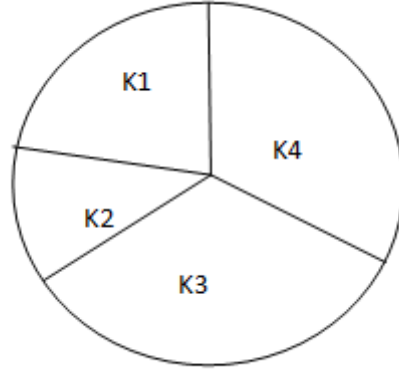
$$F_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (1.2)$$

f_i = i. bireyin uyum değeri

$$\sum_{i=1}^n f_i = \text{Popülasyonun toplam uyumu}$$

Rulet tekerleği yönteminde çember n tane parçacığa bölünür. Her aralık bir kromozomu ifade eder. Elde ettiğimiz F_i değeri, uygunluk değerine göre yüzdelik olarak çemberde yerini alır. Seçilme olasılığı yüksek olan bireyler yeni popülasyonda yer alır. Bu olasılık değerleri, uygunluk değeri olarak kullanılır. Tekrar üreme için rulet tekerleğinin döndürülmesi gerekir.

Şekil 1.15: Rulet Tekerı



Rulet tekerı algoritması:

Adım 1: Popölasyonda yer alan tüm kromozomların uygunluk değeri hesaplanır ve toplanır (S).

Adım 2 : N kez tekrarla $(0, s)$ aralığında rassal sayı (r) üretilir.

Adım 3 : Popölasyon boyunca toplam uygunluk $0-S$ arasında arama yapılır. Toplam s değeri r değerinden büyük olduğunda dur ve elde edilen kromozoma geri döndür

Bu şekilde her popölasyon için bir kez *Adım 1*'e gidilir. Her döngü ile neslin devamı sağlanmış olur.

Rulet tekerleğı yöntemi, basit ve kullanışlı olmasına karşın hataya sahiptir. Bu hata yeni yığında her dizinin beklenen kopya sayısı ile gerçekleşen kopya sayısı arasında büyük farkın olmasıdır. Her bir döngüdeki bu hata programın çözüm değerlerini farklı yönlerde aramasına neden olur. Bu da algoritmanın zamansız yakınsamasına neden olabilmektedir (Biroğul, 2005: 39).

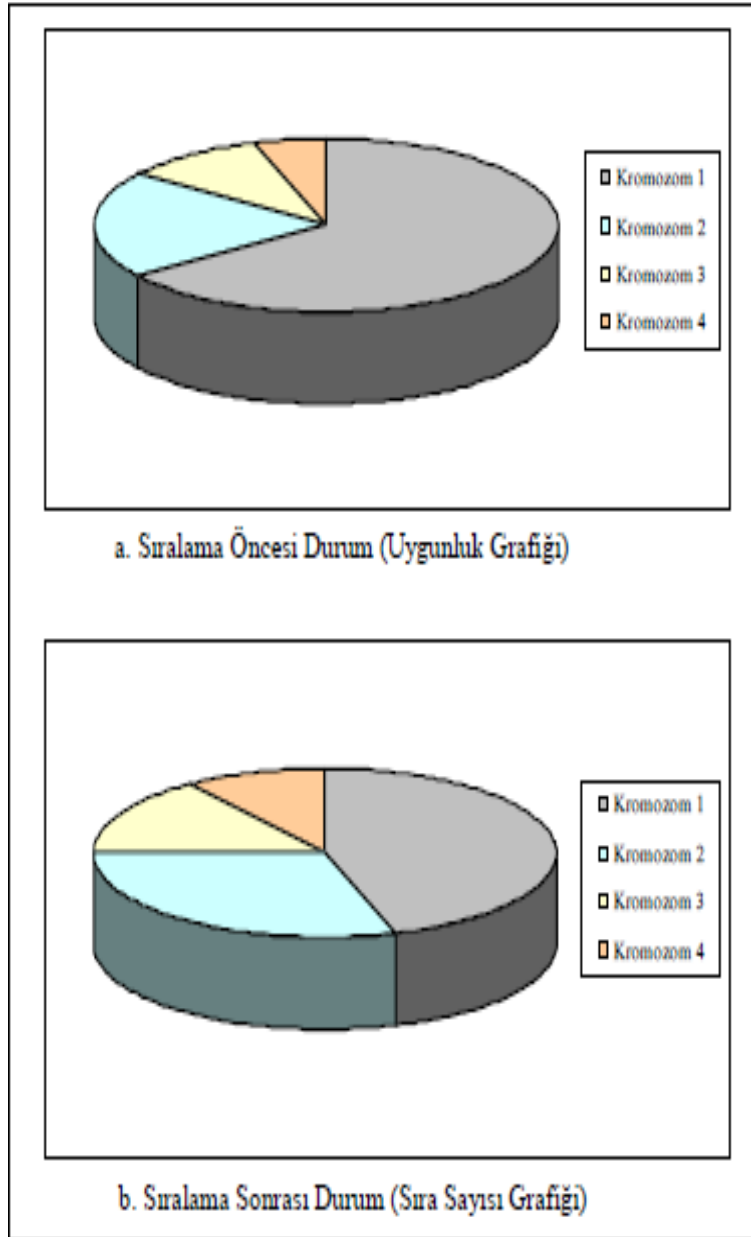
1.8.6.2. Rank Seçim Yöntemi

Rulet çemberi, uygunluk değerlerinin farklılığının çok fazla olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Örneğin, eğer en iyi kromozom uygunluk değeri tüm rulet tekerinin %90 olsaydı diğer kromozomların seçilme şansı çok küçük olmalıydı (www.obitko.com).

Rank seçiminde öncelikle popülasyon dizisi ve daha sonra her bir kromozomun bu dizideki uygunluk değeri incelenir. En kötüsü uygunluk 1, ikinci en kötü uygunluk 2 gibi değerleri alırken, en iyi uygunluk N (popülasyondaki kromozomların sayısı) değerlerini alır. Uygunluk değerlerine göre popülasyon dizisi iyiden kötüye sıralanır.

Bu yöntemde tüm kromozomların seçilme şansı vardır. Fakat bu metod düşük yakınsamalar için önemlidir. Çünkü en iyi kromozomlar arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır.

Şekil 1.16: Sıralama Öncesi ve Sonrası Uygunluk Grafiği



(Aydemir, 2009:50)

1.8.6.3. Turnuva Seçim Yöntemi

Bu yöntem kolaylığı ve uygunluğu açısından en yaygın olarak kullanılan seçim yöntemidir. Bu yöntemde, popülasyondan rastgele seçilen kromozomlardan oluşan bir grup elde edilir. Daha sonra, bu grup içindeki kromozomlar kıyaslanarak en yüksek uygunluk değerine sahip olan kromozom yeni topluma aktarılır. Böylelikle yeni oluşan toplum, bir önceki toplumun kötü bireylerinden arındırılmış olur. Bu işlem popülasyon genişliğine ulaşmaya kadar devam eder. Optimum çözüme hızlı erişim sağlaması açısından önemli bir yöntemdir.

Bireyler sahip oldukları uyum değerlerine göre, $f(x_1) \leq f(x_2) \leq \dots \leq f(x_N)$ şeklinde sıralanırsa, turnuva seçimiyle j . bireyin seçilme olasılığı $P_j = N^{-1} \{f^t - (f - 1)^t\}$ $j \in \{1, \dots, N\}$ olur. Aynı uyum değerine sahip bireyler için bu formül geçersizdir (Coşkun, 2006 :39).

Yeo ve Agyei (1998) , turnuva seçim yönteminde uyumluların seçilmesi (yeteneklilerin yaşaması) ve uyumsuzların yaşamaması ilkesi temel alınmıştır ve değişik şekillerde seçimler söz konusudur. Örneğin, Tablo 3.1 de gösterilen örnekte olduğu gibi, maliyet en küçükleme problemi ele alındığında, bireylerin maliyetleri uygunluk değeri olarak kullanılabilir.

Şekil 1.21’de görüldüğü gibi sıra no’su 6 olan bireyin maliyeti en fazla olduğunda en uyumsuz bireydir. Sıra no’su 3 olan birey ise en uyumlu olandır. 6 numaralı kromozom yalnızca kendiyle kıyaslandığında yaşama şansına sahip olacaktır. Benzer şekilde, 3 numaralı birey sadece kendisi ile kıyaslandığında sağ kalanlar arasında tekrarlı bir şekilde seçilemeyecekti. Buna rağmen birey, turnuva seçim yöntemine göre yaşamını garantilemektedir.

Şekil 1.17: Turnuva Seçim Yöntemine Göre Uyumlu Kromozomların Seçilmesi

Sıra No	Rastgele Sayılar	Uygunluk Değeri (f- Maliyet)	Seçilenler
1	6	10222 \$	1
2	3	13667 \$	3
3	1	9886 \$	3
4	8	12443 \$	4
5	7	11563 \$	7
6	2	14788 \$	2
7	4	10587 \$	7
8	5	13213 \$	5

(Paksoy, 2007: 25)

1.8.6.4. Kararlı Hal Seçim Yöntemi

Çok bilinen bir seçme yöntemi değildir. Bu seçim yönteminin temel mantığı, seçilen büyük kromozom parçalarının yeni nesiller için hayatta kaldığının kabul edilmesidir. GA her bir nesilden seçilen birkaç iyi ya da yüksek uygunluğa sahip kromozomlar ile yeni çocuk kromozomları oluşturur. Düşük uygunluktaki kromozomlar kaldırılır ve yeni çocuk kromozomlar ile yer değiştirirler. Popülasyonun geri kalanı değiştirilmeden yeni nesile aktarılır (www.obitko.com).

1.8.6.5. Elitizm (Seçkinlik) İşlemi

Çaprazlama ve mutasyon ile yeni nesil oluşturulduğunda en iyi kromozomun kaybedileceği büyük bir değişim meydana gelir. Bu değişim sonucunda en iyi kromozomu kaybetmemek için elitizm yöntemi kullanılır. Elitizm yöntemiyle popülasyonun en iyi kromozomu korunup, popülasyondaki diğer kromozomlara uygun olan seçim yöntemlerinden biri kullanılarak yeni kromozomlarla değiştirilir. Elitizm kullanılmadığında genetik algoritma rastgele aramaya dönüşür, sonuca ulaşılması zordur.

Elitizm kaybolan en iyi çözümü koruduğu için genetik algoritma çok önemlidir. Bu yöntem diğer seçim yöntemleri ile birlikte kullanılabilir.

1.8.7. Durdurma Kriteri

Çoğalma, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra yeni nesil tanımlanmakta ve bir sonraki neslin ebeveynleri olmaktadır. Uygunluk değeriyle birlikte yeni nesille üremek için süreç devam eder. Süreç, önceden belirlenen nesil sayısı veya başka bir durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder.

İstenen hassasiyet derecesine göre maksimum iterasyon sayısı belirlenebilmekte ve iterasyon bu sayıya ulaştığında GA döngüsü durdurulabilmektedir. Ayrıca durdurma kriteri iterasyon sayısı olabileceği gibi hedeflenen uygunluk değeri de olabilmektedir. (Fung, Tang ve Wong, 2001: 270).

Yaygın olarak kullanılan durdurma kriteri olan iterasyon sayısı, problemin yapısı ve çözüm uzayının büyüklüğü olmak üzere iki faktöre bağlı olarak belirlenmektedir (Chan, 2005: 350).

İterasyonlar sonucunda elde edilen değerler arasında bir fark kalmadığında ya da önceden belirlenen bir değere yakınsadığında GA sonlandırılabilir.

Kromozomların uygunluk değerleri birbirinden farklı değilse (tüm i ve j 'ler için $f_i = f_j$ ise) iterasyonlar arasında bir farkın kalmadığı durumu gösterir. Bu durumda, oluşan yeni toplumlarda bir değişim olmadığı ve bu yüzden de uygunluk değerlerinin bir önceki toplumla aynı oluşu görülür.

GA' yı sonlandırmak amacıyla kullanılabilecek en iyi tercihler:

- Seçilen en iyi kromozom, bilenen en iyi çözüme ulaştığında,
- İterasyonlarda tekrarlı bir şekilde, en iyi kromozom aynı olduğunda,
- Belirlenen istatistiksel değerlendirme erişildiğinde (toplum maliyet ortalaması, standart sapma),
- Belirlenen iterasyon sayısı tamamlandığında
- İterasyon sonuçları açısından bir gelişme olmadığında,
- Optimuma yakın bir değere erişildiğinde şeklinde olmaktadır

(Paksoy, 2007:36).

İKİNCİ BÖLÜM

ATÖLYE ÇİZELGELEME

2.1. ÜRETİM PLANLAMA

Üretim, en yakın tanımıyla yaratılan değerdir. Üretimi ekonomistler faydalı mal veya hizmet meydana getirme olarak tanımlarken, mühendisler ise bir takım girdiler kullanarak değer arttırıcı değişiklikler yapıp mamul veya hizmet oluşturma süreci olarak tanımlamaktadırlar.

Gelecekteki faaliyetlerin (veya miktarlarının) düzeylerini veya limitlerini belirleyen ve gerekli zamanlarda önlem alan fonksiyona *üretim planlama ve kontrol* denir.

Bir üretim süreci; malzeme, sermaye, emek, makine ve yönetim bilgisinin ekonomik, sosyal, yasal ve pazar şartları altında mamul ve/veya hizmete dönüşümüdür (Aydemir,2009:1).

Bir üretim sürecinin başarılı olabilmesi için dikkat edilmesi gereken bazı noktalar aşağıdaki gibidir:

- *Kapasite:* Bir üretim sisteminin gerçekleştirebileceği üretim düzeyini ifade eder. Kapasite sabit bir kavram değildir ve üretilen ürün çeşitlerinin miktarlarına göre değişir.
- *Etkinlik:* Bir üretim sisteminin amaçlarını gerçekleştirme derecesi olarak tanımlanır.
- *Verimlilik:* Bir üretim sisteminde birim girdi başına üretilen çıktı olarak ölçülür.
- *Esneklik:* Bir üretim sisteminin değişken taleplere cevap verebilmesi veya mal üretimini kolay gerçekleştirebilmesi.

2.2. ÜRETİM ÇİZELGELEME

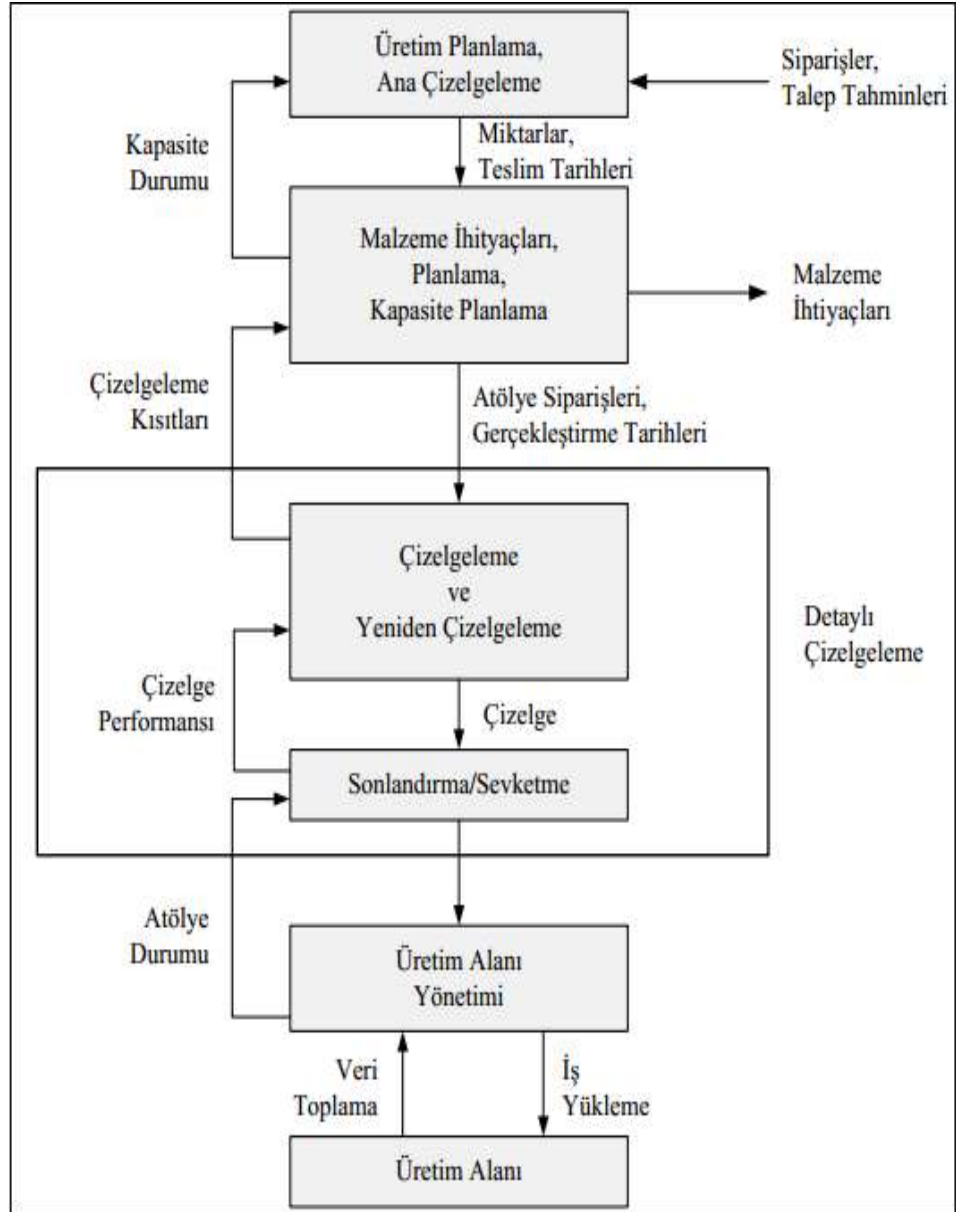
Üretim çizelgeleme, üretim planlamaya göre daha ayrıntılı ve kısa dönemlidir. Üretim çizelgeleme, üretim sistemlerinde yapılacak işlem/işlem gruplarının hangi iş istasyonlarında , ne zaman ve nasıl gerçekleştirileceğinin belirlenmesidir. Verimlilik ve etkinlik sağlama açısından önemli bir işletme fonksiyonudur. Üretim sistemleri bilgi akışı sürecinde çizelgeleme fonksiyonunun yeri Şekil 2.1’ de verilmiştir (Pinedo, 1995: 328).

Çizelgeleme basit ve kompleks olabilir. Basit bir dolum ünitesinin çizelgelenmesi ne kadar kolaysa, otomobil montaj hattı için gerekli çizelge o ölçüde karmaşık ve zordur (Aydemir, 2009:1).

Çizelgeleme literatürü; parametrelerin belirgin (deterministik) olduğu durumdan belirsiz (stokastik) olduğu duruma, tek makineliden çok makineliye, geliş sürecinin durağandan (statikten) dinamiğe değiştiği çeşitli problem yapılarını kapsar (Eren ve Güner, 2002:2).

Çizelgeleme, belirli bir takım işleri yapmak için hangi kaynakların, ne zaman ve nasıl kullanacaklarının tespit edilmesidir. Çizelgeleme için önemli olan üç unsur; üretim, kaynak ve zamandır. Etkinlik bir çizelgeleme ile belirli faaliyetlerin daha az kaynak kullanımıyla ve daha kısa zamanda yapılabilme olanağı ortaya çıkmasıdır. Çizelgeleme problemleri kombinatorial eniyileme problemleri sınıfından olduğu için en iyi çözümlerini bulmak oldukça zordur. Bu tür problemlerde genelde küçük boyutlu ve tek ölçütlü problemler için en iyi çözümler elde edilebilir. Çok ölçütlü problemler daha karmaşık olduğundan bu konuda var olan literatür sayısı tek ölçütlülere göre oldukça azdır.

Şekil 2.1: Bir üretim sisteminde çizelgeleme fonksiyonunun yeri



(Aydemir, 2009,5)

Çizelgelemeyi etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Örneğin, iş öncelikleri, teslim tarihleri, üretim seviyeleri, parti büyüklüğü sınırlamaları, çizelgeleme kriterleri gibi unsurlar çizelgelemeyi etkiler. Bu sebeple çizelgelemede öncelikli yapılması gereken temel unsur sürecin planlanmasıdır.

Çizelgelemenin temel amaçları şunlardır:

- Üretim olanaklarının en etkin şekilde kullanımı
- Müşterilerin bekleme sürelerini minimize etmek
- İşlerin, teslim tarihinde gecikmeye neden olmadan tamamlanması
- Envanter seviyelerini en küçükleme
- Personel ve ekipmanı aktif bir şekilde kullanmak

Üretim sistemlerinde, atölye tipi, akış tipi, personel, üretim planlama ve üretim kullanılmaktadır. Genel olarak süreç odaklı yaklaşımda, üretim çizelgeleme problemleri atölye tipi ve akış tipi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

2.3. ÇİZELGELEME YÖNTEMLERİ

Çizelgeleme işlemi yapılırken kullanılan iki farklı yöntem söz konusudur. Bunlar ileriye ve geriye doğru çizelgeleme yöntemleridir. İleriye doğru çizelgelemede, üretime başlama tarihi bilinmekte ve bu tarihe süreçlerin daha önceden belirlenmiş olan standart zamanları eklenerek diğer süreçlerin başlama ve tamamlanma tarihleri ile ambara teslim tarihi belirlenmektedir. Bu yöntem yoğunlukla müşteri siparişlerinin mümkün olan en kısa sürede tamamlanması gerektiği üretim ortamlarında kullanılmaktadır. Geriye doğru çizelgeleme yönteminde ise, ürünün ambara teslim tarihi bilinmekte ve buna göre standart zamanlar çıkarılarak diğer süreçlerin üretime başlama ve tamamlanma tarihi belirlenmektedir.

Çizelgeleme yaparken bu iki yöntemin bir karışımı da kullanılabilir. Bu yöntemde, ürün için kritik bir işlem temel alınarak, bu işlemde geriye ve ileriye giderek çizelgeleme yapılabilir.

2.4. ÇİZELGELEMENİN SINIFLANDIRILMASI

İşlerin hesaplanan öncelik değerlerine göre sıraya konulması çalışmalarına iş sıralaması denir. Böylece bir tezgah boşaldığı zaman tezgaha yüklenecek iş, önceden yapılan iş sıralamasına göre seçilir (<http://documents.tips>). Çizelgeleme problemi dört faktöre bağlı olarak farklı sınıflara ayrılmaktadır.

2.4.1. İşlerin Geliş Şekli

Çizelgeleme problemleri, işlerin geliş şekline göre statik ve dinamik çizelgeleme olmak üzere iki farklı şekilde değerlendirilmektedir.

Statik çizelgeleme problemlerinde, iş listesinin tamamı belli bir dönem için bilinmekte ve işler hemen işlenmek için düzenli olarak boşta olan iş merkezine gelmektedir. Statik çizelgelemede, çizelgelenecek işlerde değişiklik meydana gelmez.

Eğer çizelgelenecek işler zamanla değişkenlik gösteriyorsa ve iş merkezine düzensiz bir şekilde gelmekte ise, problem dinamik çizelgeleme olarak isimlendirilir. Bu tür problemlerde, herhangi bir zamanda gelebilecek olan işin sahip olduğu özellikler nedeniyle sıralamanın sürekli değişmesi gerekebilir.

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

2.4.2. Tezgah Sayısı

Çizelgeleme problemleri, iş merkezinde yer alan tezgah sayısına göre tek tezgahlı ve çok tezgahlı olmak üzere iki farklı şekle ayrılmaktadır.

Tek tezgahlı çizelgeleme probleminde iş merkezine gelen işler tek bir işleme ihtiyaç duymakta ve işlerin hangi sırada yapılacağı belirlenmektedir. Tezgah sayısı arttıkça çizelgeleme problemlerinin çözümü de zorlaşmaktadır.

2.4.3. Performans Ölçütü

Atölye performansını değerlendirmek için, aynı çizelgeleme probleminde çizelgelemenin bazı şartları değiştirilecek veya farklı öncelik kuralları kullanılarak birkaç kez yapılması gerekmektedir. Kullanılan bu performans ölçütü çizelgeleme için önemli bir rol oynamaktadır. Bu performans ölçütlerinde, en önemliler ve en çok kullanılanlara aşağıda yer verilmiştir. (Çörekçioğlu, 2006: 17)

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

Bu problemlerde önemli olan tüm işlerin işlenme süresini ifade eden yayılma süresini (makespan) en küçükmektir. Örneğin, M makine sayısı ve N iş sayısını gösterebilir. Bu durumda yayılma süresinin formülü şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$C_{max} = \max_{1 \leq j \leq M} \{ \sum_{i=1}^N t_{ij} \} \quad (2.1)$$

Temel çizelgeleme modellerini sınıflandırmadan önce, kaynakların ve işlerin konfigürasyonunu nitelendirmek gereklidir. Örneğin, bir model tek tür ya da çok

sayıda tür kaynak içerebilir. Eğer model tek bir kaynak türü içermiyorsa işler genellikle tek aşamalıdır. Çok kaynaklı modeller ise çoğunlukla çok aşamalı veya paralel işler içerir (<http://documents.tips>).

2.4.4. Üretim Tipi

Çizelgeleme faaliyetleri, üretim sistemlerinin farklı tiplerine göre değişikik gösterebilmektedir. Genel olarak atölye tipi üretim sistemi ve akış tipi üretim sistemi olmak üzere ik tipi üretim sistemine göre çizelgele faaliyetleri farklılaşmaktadır (Çörekçioğlu, 2006:16).

2.4.3.1. Akış Tipi Üretim Sistemleri

Akış tipi çizelgeleme, birbirinden farklı m makine ve n işin bulunduğu, her bir işin m operasyondan oluştuğu, her bir operasyonun farklı makinelerde yapıldığı ve bütün işlerin operasyonlarının aynı sıra ile yapıldığı çizelgeleme problemleridir (Aydemir ,2009 ; 8).

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

Genel olarak üretim sistemlerinde bu iki tip çizelgelemenin bir karışımı görülmektedir. Üretim planlama ve çizelgeleme uygulanmadan, üretim tipine göre değişiklik gösterebilir. Ürün çeşidi ve sayısı üretimin sürekliliğini ve statik-dinamik yapısını etkilemektedir.

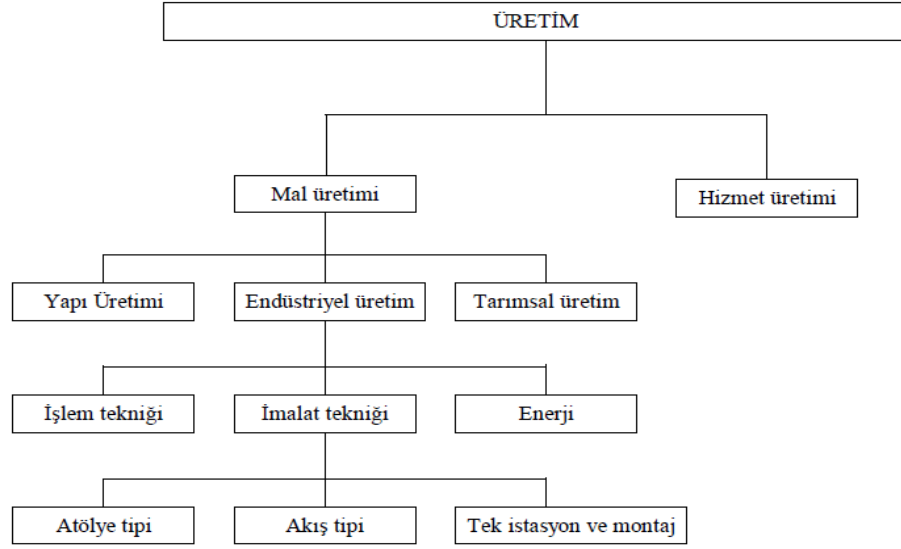
2.4.3.2. Atölye Tipi Üretim Sistemi

Üretim planlamanın önemli aşamalarından birisi atölye çizelgelemesidir. Atölye çizelgeleme atölyeye gelen işlerin zaman unsuru da dikkate alınarak makinelerle atanması işlemidir. Ana üretim planlama aşamasında yapılan planlar ve buna göre hazırlanan çizelgeler çoğunlukla atölye koşulları dikkate alınmadan yapılmaktadırlar. Bu nedenle ana üretim planlama aşamasında hazırlanan çizelgeler atölye ortamında birebir takip edilemezler. Oluşan bu sorunu önlemek ve çizelgeleme sürecini iyileştirmek ancak çizelgeleme ile planlamanın ilgili diğer aşamalarını bütünleştirmek mümkündür.

Çizelgeleme problemleri arasında atölye tipi problemleri, sınıflandırma bakımından en karmaşık yapıya sahiptir. Çünkü belirli bir siparişe (işe) ait işlem sayısı hakkında hiçbir kısıtlama yoktur ve alternatif olarak kabul edilecek birçok üretim rotaları da bulunur. Atölye tipi çizelgelemede her sipariş farklı makinelerde işlenmek üzere kendine özgü işlem ve işlem sıralarına sahiptir (Aydemir, 2009 : 21).

Atölye tipi çizelgelemede ana unsur makineler ve bunlar üzerindeki işlerdir. Makinede işin işlenmesine *operasyon* denir. Her bir operasyon belli bir zaman uzunluğuna sahiptir. Bu zamanın içinde; makineyi ayarlama ve hazırlama (setup time) , işi makineye taşımak için geçen sürede dahil edilmektedir (Biroğul, 2005: 11).

Şekil 2.2: Atölye Tipi Üretimin Yeri



(Biroğul, 2005: 17)

Klasik atölye tipi çizelgeleme problemlerinde makine ve iş sayısının sonlu olduğu kabul edilir. Çizelgeleme problemlerindeki iş sayısı n ile, makine sayısı m ile gösterilir. Genellikle işler için j , makineler içinse i indeksi kullanılır. Bir işin birden fazla operasyon gerektirmesi durumunda (i, j) ikilisi j işinin i makinesindeki operasyonu (O_{ij}) belirtir. Bir işin tamamlanabilmesi için tüm operasyonların bitirilmesi gerekmektedir.

Atölye çizelgeleme hem matematiksel problem olarak hem de uygulamalardaki sorunları açısından yöneylem araştırmasının en zor alanlarından biridir. Gerçek bir çizelgeleme probleminin matematiksel modelini formüle ederken çeşitli basitleştirici varsayımlar yapmak gereklidir. Tüm parametrelerin önceden bilinmesi ile elde edilen model çoğu zaman teorik tanımda zor bir problem olmaktadır. (www.erp.karmabilgi.net/atolye.cizelgeleme.algoritmaları).

Klasik atölye tipi çizelgeleme problemlerinde bazı varsayımlar bulunmaktadır. Bunlar;

1. Her bir iş bütündür; iş farklı operasyonlardan oluşmuş olsa bile aynı işin iki operasyonu hiçbir şekilde aynı anda işlenmez.
2. Bir operasyon işlem anında kesilemez, bölünemez. Başlamış olan operasyon o makinede diğer operasyon başlatılmadan önce tamamlanmalıdır.
3. Her iş, bir makinede bir tane olmak üzere m tane operasyona sahiptir. İşin aynı makinede iki defa işlem görme olasılığı hesaba katılmaz.
4. İş iptali söz konusu değildir.
5. Bütün işler, işlem süreleri ve makinelere ait bilgiler tam olarak bilinmeli ve sıfır anında çalışmaya hazır olmalıdır.
6. İşlem süreleri çizelgeden bağımsızdır.
7. Hazırlık ve taşıma süreleri işlem sürelerine dahil edilmiştir.
8. Makineler çizelgelemeye başlarken boştur, asla bozulmazlar ve çizelgeleme periyodu boyunca kullanıma hazırdır.
9. Hiçbir makine aynı anda birden fazla operasyonu işleyemez.
10. Her makine tipinden sadece bir tane vardır.
11. Bütün işler eşit öneme sahiptir, öncelik sırası yoktur.
12. Teknolojik kısıtlar önceden belirlenmiş ve sabittir.
13. Rastlantısallık söz konusu değildir.
 - a. İşlerin sayısı bilinir ve sabittir.
 - b. Makinelerin sayısı bilinir ve sabittir.
 - c. İşlem zamanları bilinir ve sabittir.
 - d. Hazırlık zamanları bilinir ve sabittir.
 - e. Belli bir problemi tanımlamak için gereken her türlü nicel değerler bilinir ve sabittir.

Pinedo (1995)'in ifadesiyle, *eğer bir çizelgeleme problemini en iyi çözecek polinomsal bir zaman algoritması yoksa bu problemler NP-Zor olarak adlandırılır. Genel atölye tipi çizelgeleme problemi NP-Zor problem sınıfına girer.*

Atölye tipi üretim üretim sistemlerinde çok fazla ürün çeşitliliği bulunduğu için, genelde siparişe göre üretim yapan işletmelerde uygulanmaktadır. Atölye tipi üretim sistemlerinde genel amaç, genellikle tüm işlerin tamamlanma süresini en küçükmektir. İş listesinin sürekli ve rastgele değiştiği, siparişe göre üretim yapan

atölyelerde işlerin tamamlanma sürelerini en küçükleyerek çözüme ulaşmak için farklı teknikler kullanmak gerekmektedir. Bu tekniklerden biri de öncelik kurallarına göre sıralama yapmaktır (Çörekçioğlu, 2006 : 16).

2.4.3.2.1. Atölye Çizelgeleme Probleminin Gösterimi

Bir çizelgeleme problemi $n/m/A/B$ şeklinde gösterilir. n iş sayısı, m makine sayısı, A problem tipi, B performans ölçütünü gösterir. A şunlardan biri olabilir:

F : Seri iş akışlı çizelgeleme problemi

P : Seri iş akışlı, permütasyon çizelgesi problemi

G : Karışık iş akışlı çizelgeleme problemi

Örneğin, 3 işli 4 makineli, seri iş akışlı $C_{\max}$ ' ın minimize edildiği çizelgeleme problemi $(4/5/F/C_{\max})$ şeklinde gösterilir.

- Operasyon: Bir işi meydana getiren işlemlere operasyon denir. i işinin j makinesindeki operasyonu O_{ij} ile gösterilir. Bir işin tamamlanabilmesi için tüm operasyonların bitirilmesi gerekmektedir.
- İşlem Zamanı: Bir operasyonun gerçekleştirilmesi için gerekli zamandır.
- İş: Her biri makinede işlenmek üzere m adet farklı operasyondan meydana gelir.
- Makine: Bir operasyonu gerçekleştirebilecek teçhizat, alet, tezgah veya vasıta.
- Çizelge: Operasyonların sırasını belirten teknolojik kısıtlara sahiptir.

Atölye çizelgeleme problemlerinde her işin kendine özgü bir operasyon sırası varsa bu çizelgeleme karışık iş akışlı çizelgeleme problemidir (job-shop problem). Tüm işlerin aynı operasyon sırasına sahip olma zorunluluğu yoktur. Tüm işlerin aynı teknolojik kısıtlara sahip olması durumunda problem seri akışlı probleme (flow-shop problem) dönüşmektedir.

Atölye tipi çizelgelemede problem çözümünün gösteriminde, genellikle Gantt şemaları kullanılır. Genellikle iki tip Gantt şeması vardır: Makine Gantt Şeması ve İş(sipariş) Gantt şeması. Bir 3 iş, 3 makine atölye tipi çizelgeleme problem örneği

Tablo 2.1 de verilmiştir. Burada j işi veya ürünün(sipariş), o j işine ait operasyonu / işlemi ve m ise bu operasyonun yapılacağı iş istasyonunu ya da makineyi ifade eder. O halde 321 indeksi 3.işin 2.operasyonu 1.makinede işlenir demektir (Aydemir, 2009: 21).

Tablo 2.1: 3 İş 3 Makine Atölye Tipi Çizelgeleme Problem Örneği

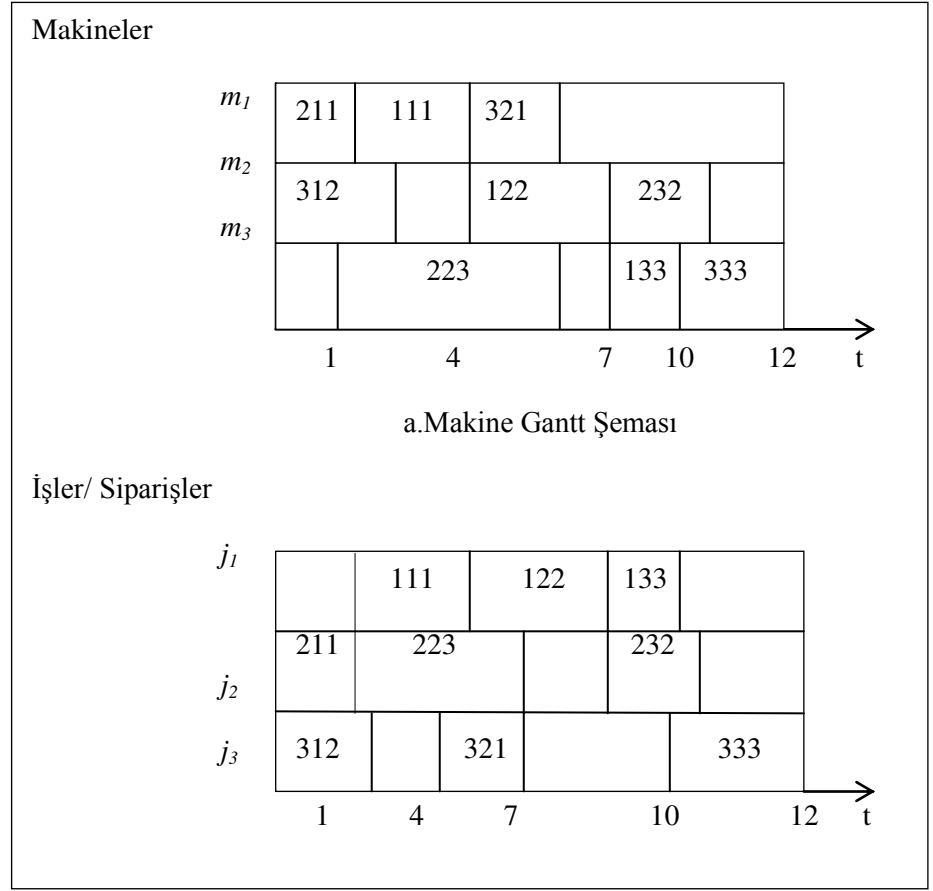
<u>İşleme Zamanları</u>				<u>Makine Sıraları</u>			
<u>Operasyonlar</u>				<u>Operasyonlar</u>			
<u>İş</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>İş</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>
j_1	3	3	2	j_1	m_1	m_2	m_3
j_1	1	5	3	j_1	m_1	m_3	m_2
j_1	3	2	3	j_1	m_2	m_1	m_3

(Aydemir, 2009: 22)

333 indeksi 3.işin 3.operasyonu 3.makinada işlenir. 213 indeksi 2.işin 1.operasyonu 3.makinada işlenir. 123 indeksi 1.işin 2.operasyonu 3.makinada işlenir.

Matris gösterimi Gantt şemasında gösterilerek iş sırası daha net görülebilir.

Tablo 2.2 Atölye tipi çizelgelemede makine ve iş(sipariş) Gantt şeması



(Aydemir, 2009: 22)

Uygun çizelgenin makine ve iş Gantt şemasının gösterimi Tablo 2.2'deki gibidir. Çizelgeleme problemlerinin gösteriminde genel olarak Gantt şeması kullanılır. Karar verici bu gantt şemasında makine ve personeller hakkında çalışma ve başta kalma durumlarını izleyebilir.

2.4.3.2.2. Atölye Çizelgeleme Terminolojisi

Genellikle tüm çizelgeleme problemlerinde makine ve iş sayısının sonlu olduğu kabul edilir. Çizelgeleme problemindeki iş sayısı n ile, makine sayısı m ile gösterilebilir. Genellikle işler için j , makineler için ise i indisi kullanılır. Bir işin

birden fazla operasyon gerektirmesi durumunda (i,j) ikilisi j işinin i makinesindeki işlemini belirtir (Erdiller ve Orbak, 2003 :134).

Çizelgelemede kullanılan kısaltmalar ve en iyileme kriterleri şunlardır:

- *İşlem Süresi* (p_{ij}): j işinin i makinesindeki işlem süresini gösterir.
- *Hazırlık Zamanı* (r_j): j işini en erken işlenmeye başlayabileceği zamanı belirtir. j işi hazırlık zamanında önce süreçlenmeye başlayamaz.
- *Ayar Zamanı* (s_{jk}): j işi ile k işi arasındaki sıra bağlı ayar süresi s_{jk} ile gösterilir. s_{0k} , sırada birinci olan k ise onun ayar süresini gösterir. s_{j0} , sıradaki son iş j ise temizleme zamanını gösterir. Her ikisi de sıfır olabilir. j ile k arasındaki ayar süresi (s_{ijk}) makineye bağlıdır.
- *Teslim Tarihi* (d_j): j işinin tamamlanma veya müşteriye gönderilme zamanını gösterir. İşlerin teslim tarihinden sonra bitmesine izin verilebilir, ancak bunun bir ceza maliyeti vardır.
- *Tamamlanma Zamanı* (C_{ij}): i makinesindeki j işinin operasyonunun tamamlanma zamanıdır.

$$C_i = r_i + \sum_{k=1}^m (w_{ik} + p_{ij}(k)) \quad i=1,2,3,\dots,n$$

- *Gecikme Zamanı* (L_j): j işinin gecikme süresidir. j işi geç tamamlandığında pozitif, erken tamamlandığında ise negatiftir.

$$L_j = C_j - d_j$$

- *Akış Zamanı* (F_j): j işinin, işlem görmek için hazır olduğu andan tamamlanmasına kadar geçen zamandır.

$$F_j = C_j - r_j = W_j + P_j$$

- *Ağırlık (W_j):* j işinin diğerlerine göre önceliğini belirten bir öncelik faktörüdür. Bu ağırlık elde tutma veya envanter maliyeti gibi işe yüklenmesi veya yüklenecek olan bir maliyet olabilir. $\sum W_j C_j$: Toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı. Tamamlanma zamanının toplamı genellikle çıkış zamanını gösterir.
- *Çizelge Zamanı($makespan-C_{max}$):* Son işin tamamlanma zamanına eşit olan çizelge zamanı, aynı zamanda tüm n işin tamamlanması için gerekli süredir. C_j bir j işinin tamamlanma zamanı olmak üzere, $C_{max}=enb(C_1, C_2, \dots, C_n)$ olarak tanımlanır. En küçük çizelge zamanı makine kullanım oranının yüksek olduğunu gösterir.
- *Toplam Pozitif Geç Kalma($tardeness, \sum T_j$):* İşin tamamlanma zamanı ile teslim tarihi arasındaki pozitif farkların toplamıdır.

2.4.3.2.3. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözüm Zorluğu

Problemin zorluk derecesinin bilinmesi problemin çözümü için en iyi yöntemin uygulanmasını sağlar. Polinomal (P) olan denklemler çözümlenmesi, incelenmesi kolay olan denklemlerdir ve kısa sürede sorunu çözen yöntemleri mevcuttur. Eğer bir denklem ya da sistem polinomal değilse (NP) çözümlenmesi zor sistemlerdir. Ancak NP (polinomal olmayan, kesin çözümü olmayan) problemler için ise, kısa sürede gerçek çözümü bulan yöntemler mevcut değildir. Bu nedenle NP problemler için gerçek çözüme en yakın sonucu bulmak amacıyla yaklaşık çözüm algoritmaları geliştirilmiştir (Biroğul, 2005: 14).

Yaklaşık çözüm algoritmaları, problemin gerçek olmayan ancak gerçeğe yakın olan çözümünü kısa sürede bulabilirler. Pratikte karşılaşılan problemler için genelde kesin çözüm yerine kısa sürede yaklaşık bir çözümün bulunması istenmektedir. Bu yüzden pratikte karşılaşılan NP problemlerinin çözümünde sezgisel yöntemler yardımıyla geliştirilen algoritmalar kullanılır.

Sezgisel yöntemlerin en büyük avantajları arasında çözüm zamanının çözüm tekniğine göre çok kısa olması ve her tür problem için kolay bir şekilde adapte edilmeleri gösterilebilir. Dezavantajlarında ise bu yöntemlerin optimum çözümü

garanti etmemesi ve iyi bir çözüm verebilmesi için bir çok parametrenin uygun bir şekilde uyarlaması söylenebilir (Şevkli ve Yenisey, 2006: 59).

Atölye tipi çizelgeleme problemlerinde n iş(sipariş), m makine olmak üzere mümkün çizelgelerin sayısı $(n!)^m$ dir. Burada makine ve iş sayısı arttıkça çizelge sayısı çok fazla artacaktır. Bu yüzden bu tür problemler NP zor problemler sınıfına girer ve çözümlerinde sezgisel algoritmalar kullanılır. Bu algoritmaların sonuca kısa sürede ulaşması esastır. Bir algoritmanın en yaygın performans ölçütü, algoritmanın sonucu bulana kadar ki geçen süredir.

NP problemlerin çözümünde kullanılan yöntemler:

1. Yerel arama metodları
2. Yapay sinir ağları
3. Tabu araştırmaları
4. Tavlama benzetimi
5. Karınca kolonileri iyilemesi
6. Yapay bağışıklık sistemleri
7. Genetik algoritmalar

2.4.3.2.4. Atölye Çizelgelemede Kullanılan Metodlar

Atölye çizelgeleme parametrelerinde, üç ve daha az sayıdaki makinelerin en iyilenmesi için çeşitli algoritmalar geliştirilirken, dört ve üzeri makinelerde çözüm için sezgisel yöntemler kullanılmıştır.

a. Johnson Algoritması: Tamamlanma zamanına dayalı performans kriterlerine göre makine sayısına bağlı olarak gerçek veya gerçeğe yakın çözümü veren algoritmadır. Hazırlık zamanlarının sıfır olduğu kabul edilir.

b. CDS Algoritması: 3 makineli n işli sistem $(m-1)$ adet yani 2 makine haline getirilerek Johnson yöntemi kullanılır. İşlem süreleri dikkate alınarak iki farklı çözüm algoritması uygulanır. Önce 1. ve 2. Makinelere ait olan işlem süreleri

toplanır, sonra 2. ve 3. Makinelere göre olanlar toplanır ve oluşan sistem 2 makineli sistem gibi Johnson ile çözülür.

c. NEH Algoritması: n tane iş sıralanır ve içlerinden toplam işlem zamanları en yüksek olan iki işin birbirlerine olan önceliği belirlenmiş olur. Bu sıra sabitlenerek daha sonraki kullanımlarda da ele alınır. Daha sonra toplam işlem zamanı en büyük olan üçüncü iş seçilir. Bu iş; başa, ortaya veya sona konarak tekrardan kısmi tamamlanma süresi bulunur ve bu süre bir sonraki adımlarda kullanılmak üzere sabitlenir. Her defasında yeni eklenen iş için aynı işlemler uygulanarak bütün işlerin sıralamasının belirlenmesine kadar devam eder (Biroğul, 2005: 25).

d. Tabu Araştırmaları: Atölye çizelgeleme problemlerinde en iyiye yakın çözüm veren bir sezgisel arama metodudur. Tabu araştırmaları, hedefe kısıt ve tabu kullanarak belirli bir olasılıkla ulaşılır. Hedefe ulaşma olasılığını arttırmak için kısıt ve tabu sayılarının artması gerekmektedir.

Tabu listesi , istenilen değişimleri saklamak ve istenmeyen durumların ortadan kaldırılması için kullanılır. Tabu araştırmaları üç strateji içerir:

1. Yasaklama stratejisi; hangi hareketlerin, tabu listesine girip girmeyeceğini belirleyen ve döngüyü önlemek için, belirli hareketleri yasaklama mekanizmasını oluşturan bir stratejidir.
2. Yeterlilik kriteri; yeterli koşulları sağlayan çözümlerin tabu durumundan çıkarılmasını sağlar.
3. Kısa dönem stratejisi; önceki döngülerdeki davranışları depolayan bir stratejidir

e. Tavlama Benzetimi: NP zor problemlerinin çözümünde iyi performans gösteren sezgisel yöntemlerden biri de *tavlama benzetimi* yöntemidir. Tavlama algoritması, yerel arama yöntemlerine benzer. Yerel arama metodunda sistem çözümü genel en iyileme yerine yerel en iyilemeyi bulmaktadır ve bu olumsuz bir olgudur. Tavlama benzetiminde bu olumsuzluk ortadan kalkmaktadır.

f. Karınca Kolonileri İyilemesi: Bu sistem, doğadaki karınca kolonilerinin yiyecek toplama prensibine göre çalışır. Doğadaki karıncaların görme yetisi az olduğundan koloniler halinde hareket ederler. Yiyecek toplarken kullandıkları yol üzerinde bir sıvı bırakırlar. Bu yoldan ne kadar çok karınca geçerse iz kalıcı olur ve diğer karıncalarda bu işi takip ederek yiyeceğe ulaşırlar.

Karınca sistemleri algoritmasının kullanımı için önce iz matrisi, $T=[\lambda_{ij}]$ ve görünürlük matrisi, $H=[\eta_{ij}]$ tanımlanır. Problem çözüm kümesi $\Pi=[\Pi(1), \dots, \Pi(n)]$ bu durum sistemin n farklı girişinin olduğunu gösterir.

Karınca i . düğümden j . düğüme hareket ettiğinde j . düğüm, karınca hafızasında tabu listesine kaydedilir. Bir sonraki adımda karınca tabu listesinde bulunan yöne doğru hareket edemez.

g. Genetik Algoritmalar: Genetik algoritma, evrim teorisine göre çalışan güçlü bir arama tekniğidir. GA doğal evrim gibi tek bir çözüm yerine bireylerin kitlesi ile ilgilenir. Her çözüm, örneğin belirli bir çizelgeyi temsil eden fenotipik bir bireyi gösterir. Fenotip ya da her bir bireyin görünüşü, bir veya daha fazla kromozomdaki bilgiye sahip olan genotip tarafından belirlenir. Çıkan bilgi farklı yollarla kodlanabilir. Bunun özel bir hali genetik tasarımdır. Her bir kuşakta bireyler değerlendirilir. Genotiplerin tekrar kombinasyonlarıyla uygunluk yavruyu meydana getirir (J. Kasche ve diğerleri, 1999: 5).

İş atölye çizelgelemede her makinadaki fenotip olan iş emirleri, genotip olan makina çizelgeleri ve uygunluk gibi tamamlanma zamanı değerleri kaydedilir (Mahanım Omar ve diğerleri, 2006: 4).

2.5. ÇİZELGELEMEDE KULLANILAN ÖNCELİK KURALLARI

Çizelgeleme problemlerinde birden fazla performans ölçütünü optimize etmede kullanılan öncelik kuralları vardır. Bu öncelik kuralları, gerçekleştirilecek olan işlere öncelik değeri atayan işlem öncelik kuralları ve işlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan üretim araçlarına öncelik değeri atayan kaynak öncelik kuralları olmak üzere iki kısımda incelenir.

2.5.1. İşlem Öncelik Kuralı

Bir makinde işlenecek işlerin özelliklerine göre, belli bir işin tamamlanmasından sonra, üretimin hangi makinedeki hangi iş ile devam edeceğini belirleyen kurallardır. Çizelgeleme problemlerinde en çok kullanılan öncelik kuralları;

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

$$\text{Ortalama Tamamlanma Zamanı: } \frac{\text{Toplam Akış Süresi}}{\text{İş Sayısı}} \quad (2.2)$$

$$\text{Sistemde Ortalama Bekleyen : } \frac{\text{Toplam Akış Süresi}}{\text{Toplam Proses Süresi}} \quad (2.3)$$
$$\text{İş Sayısı}$$

$$\text{Kullanım Oranı : } \frac{\text{Toplam Proses Süresi}}{\text{Toplam Akış Süresi}} \quad (2.4)$$

$$\text{Ortalama İş Gecikmeleri: } \frac{\text{Toplam İş Gecikmesi}}{\text{İş say} \square s \square} \quad (2.5)$$

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

c) **En Kısa İşlem Süresi (SPT):** Bu kural, makinelere gelen işlerin, işlem sürelerinin kısalığı ile doğru orantılı bir ilişki kurarak sıralama yapmayı önermektedir. Makineye gelen işler arasında en kısa işlem süresine sahip olan işlerin önceliklendirildiği bu kural ile üretim sisteminin çıktısı en çoklanmakta ve geciken işlerin oranı azalmaktadır (Çörekçioğlu, 2006:20).

Bu kuralın algoritması şu şekildedir:

Adım1: Öncelikle müşteri siparişleri sisteme girilir. Tüm siparişler arasında en kısa işlem süresine sahip operasyon ilgili makinede çizelgelenir. Eğer sistem içersinde en küçük aynı işlem süreli birden çok operasyon varsa bunlar arasında sıralama rassal ya da belirlenecek bir kurala göre yapılır.

Adım2: Bir sonraki çizelgelemede çizelgelemiş olduğumuz operasyon sipariştten çıkarılır. İlgili siparişte yine en küçük işlem süresine göre çizelgeleme yapılır. Eğer ardışık işlemler aynı makinede ise makineler arasında ‘geçiş süresi’ oluşmaz. Tüm siparişler, işlemleri tamamlanıncaya kadar Adım1 ve Adım2’ yi takip eder.

Adım3: Çizelgeleme işlemi bittikten sonra her bir makine için siparişlerin bittiği toplam süre (tamamlanma zamanı) ile o zaman aralığı boyunca işlemde geçen süreler tespit edilir. Daha sonra *İşlemde Geçen Süreler/ Akış Zamanı* oranı ile her bir makine için *kullanım oranı* elde edilir.

Yapılan çizelgeleme çalışmalarına bakıldığında en etkin çözümün, en kısa süreli işin önce yapılması ile elde edildiği görülmektedir.

d) **En uzun İşlem Süresi (LPT):** Bu kurala göre, iş istasyonlarına gelen işler işlem sürelerinin uzunlukları ile doğru orantılı olarak sıralanacaktır. Yani iş istasyonuna gelen işler arasında en uzun işlem süresine sahip olan iş önce işlenecektir. Bu kuralın algoritması SPT kuralınıninki ile aynıdır.

$$\pi_{j,k} = \sum_{i=1}^m p_{ij} \quad (2.6)$$

e) **En Erken Teslim Zamanı (EDD):** İşlem görmek için sırada olan işlerin gecikmelerini en küçükleme amacıyla olan bu kurala göre sisteme gelen işler

arasından en erken teslim tarihine sahip olan iş ilk olarak yapılmaktadır (Çörekçioğlu, 2006: 21). Böylelikle teslim kabiliyetinin artması ve müşteri memnuniyetinin yükselmesi beklenir. Bu kuralın algoritması şu şekildedir:

Adım1: Müşteri siparişinden teslim zamanları sisteme girilir. Teslim zamanı en kısa olan sipariş sisteme ilk önce alınır.

Adım2: Seçilen siparişin tüm işlemleri, iş akış sırasına göre atanan makinelerde yapılır. Tüm siparişlerin işlemleri tamamlanıncaya kadar Adım1 ve Adım2 tekrarlanır.

Adım3: Çizelgeleme işlemi tamamlandıktan sonra her bir makine için siparişlerin bittiği toplam süre ile o zaman aralığı boyunca işlemde geçen süreler tespit edilir ve kullanım oranları hesaplanır.

$$\pi_{jk} = j \text{ işinin } k \text{ makinesindeki önceliği}$$

$$T_j = j \text{ işinin teslim tarihi}$$

f) Çok Kalan Operasyon Sayısı (LNS): Bu kurala göre, her bir sipariş için kalan operasyon sayısı en çok olan işlerin sistemde daha önce çizelgelenmesi kuralına dayanır. Bu sayede operasyon sayısı fazla olan işler daha önce sisteme alınır ve kapasite kullanım oranının daha yüksek seviyelerde olması beklenir.

g) En Az Kalan Operasyon Sayısı: Operasyon sayısı en az olan işler sistemde daha önce çizelgelenir. Bu sayede operasyon sayısı az olan işler daha önce sisteme alınır ve toplam sipariş tesliminin daha fazla olması beklenir.

h) En Kısa Kalan İşlem Süresi: Her bir işin kalan operasyonlarının toplam iş süresi en kısa olan işlem önce çizelgelenir. Bu kural ile yapılan çizelgelemede tamamlanma zamanı ve son işin sistemi terk etme zamanının en küçük olması hedeflenir.

i) En Uzun Kalan İşlem Süresi: Her bir işin kalan operasyonlarının toplam iş süresi en uzun olan işlem önce yapılır. Böylelikle operasyon süresi fazla olan işler öncelikli olarak gerçekleştirilerek kapasite kullanım oranının daha yüksek seviyelerde olması beklenir.

j) **Ağırlıklı En Kısa İşlem Süresi:** Bu problem türünde her bir iş aynı önem derecesine sahip olmak zorunda değildir. Bu kurala göre, işlerin önceliklerinin bulunmasında, işlem süreleri ilgili işlerin önem dereceleri ile birlikte ele alınmalıdır.

$$pt_1/w_1 < pt_2/w_2 < \dots < pt_N/w_N \quad (2.7)$$

k) **Rassal Seçim:** Makineye gelen ve işlem görmeyi bekleyen işler arasından bir tanesi rastgele seçilir. Herhangi bir amaç en iyilenmeye çalışılmamaktadır.

l) **Maliyeti En Fazla İş Önce İşlenir:** Makineye gelen işler maliyetlerinin fazlalığı ile doğru orantılı olacak şekilde sıralanır. Böylelikle genel olarak maliyetlerde azalma olacaktır.

m) **Bolluk Zamanı En Az Olan İş Önce İşlenir:** Bu kurala göre, işler sistemdeki bolluk zamanına göre azdan-çoğa doğru orantılı bir şekilde yapılmaktadır. Bu kuralın formülü:

$$\pi_{j,k} = C_j - \left[\sum_{i=k}^m p_{t,j} \right] \quad (2.8)$$

n) **En Kısa Hazırlık Zamanı Olan İş Önce İşle:** Üretime girmeyi bekleyen işler hazırlık zamanlarının kısalığına göre doğru orantılı bir şekilde sıralanır. En kısa hazırlık zamanına sahip olan işlere öncelik verilmesiyle gecikme zamanı azaltılabilir.

o) **Birleşik Kurallar:** Yukarıda belirtilmiş kurallar birleştirilerek farklı kurallarda oluşturulabilir. Örneğin, en kısa işlem süresi ile toplam kalan işlem süresi şu şekilde formülize edilebilir:

$$\pi_{j,k} = \sum_{i=k}^{n_j} p_{j,k} + p_{j,k} \quad (2.9)$$

2.5.2. Kaynak Öncelik Kuralı

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

a) Minimum Ayar Süresi: Bu kurala göre, en az hazırlık süresine sahip olan kaynak seçilmelidir.

b) En Erken Bitiş Zamanı: Bu kuralda, işi en erken bitirecek olan kaynak seçilmelidir. Bu kural ile işlerin tamamlanma zamanları azaltılmaya çalışılır.

c) En Erken Başlama Zamanı: Bu kuralda, işi en erken başlatabilecek olan kaynak seçilmelidir. Bu kuralla üretim kaynaklarının boş kalma süreleri azaltılabilmekte fakat işlerin akış zamanları uzayabilmektedir.

2.6. ÇİZELGE TİPLERİ

Statik çizelgeleme ve dinamik çizelgeleme olmak üzere iki farklı çizelgeleme tipi mevcuttur.

2.6.1. Statik Çizelgeleme

Statik çizelgeleme problemlerinde, belli bir dönemdeki iş listesi bilinmekte ve işler makineye düzenli bir şekilde gelmektedir. Bu problemlerde, makineler seri olarak bağlanmakta ve bütün işler aynı sırayı takip etmektedir. Bu çizelgeleme tipi makine sayısı üçü geçtiği takdirde zorlaşmaktadır (Çörekçioğlu, 2006:24).

Bu tarz sıralama problemlerinde zaman boyutu yoktur. Sürekli üretim sistemleri için uygundur. İş ve makine sayılarına göre bölümlere ayrılır (<http://documents.tips>).

2.6.1.1. Bir Makine ve N İş Problemi

N adet için tek bir makinede sırayla işlenmesi çizelgeleme problemlerinin en basit halidir. Ancak çizelgeleme mantığının tam olarak anlaşılabilmesi için bu problem türünün anlaşılması gerekmektedir. Bu tür problemlerde sadece bir makine olduğu için işler hangi sırayla yapılırsa yapılsın bütün işlerin tamamlanması için gerekli olan toplam üretim süresi değişmeyecektir. Fakat kullanılan öncelik kurallarına göre işlere ait ortalama akış ve bekleme süreleri değişebilir. Akış ve bekleme sürelerinin azaltılması için çizelgeleme sırasında, işlem zamanı en kısa olan işin en önce, en uzun olanın ise en sonra yapıldığı en kısa işlem zamanı uygulanmalıdır.

Basit bir tek makine probleminde aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmalıdır:

- Hazırlık süreleri iş sırasından bağımsızdır ve işlem sürelerinin içinde yer alabilir.
- Bir makine sürekli olarak kullanıma hazırdır ve işleri beklerken boş kalmamaktadır.
- Bir işin başlaması ile birlikte süreç başlamakta ve ilgili iş tamamlanana kadar herhangi bir kesintiye uğramamaktadır.

Deterministik tek makine problemini tanımlayabilmek için kullanılan değişkenler şu şekildedir:

İşlenme Süresi (t_j) : j işinin işlenme süresi

Hazırlık Süresi (r_j) : j işinin hazırlık süresi

Teslim Tarihi (d_j) : j işinin teslim tarihi

Hazırlık süresi işlem zamanı içindedir. Bu nedenle, $r_j = 0$ olarak kabul edilebilir.

Tamamlanma Zamanı (C_j) : j işinin tamamlandığı zaman. Bu değer planlamanın ne kadar iyi olup olmadığının kantitatif bir ölçüsüdür.

Akış Zamanı (F_j) : j işinin işlemde harcadığı toplam süre.

$$F_j = C_j - r_j \quad (2.10)$$

Geç Kalma Zamanı (L_j) : j işinin teslim zamanı ile tamamlanma zamanı arasındaki farktır.

$$L_j = C_j - d_j \quad (2.11)$$

Bu iki değişkenden akış zamanı sistemin talebe karşı olan tepkisini ölçer ve işin sisteme geliş ve gidişi arasındaki aralığı verir. Geç kalma zamanı ise, planın teslim tarihine uygunluğunu kontrol eder. Çoğunlukla pozitiftir. Negatif olması da mümkündür fakat işin zamanından önce bitirilmesinin herhangi bir faydası yoktur (<http://documents.tips>).

Gecikme Durumu (T_j) : j işi eğer teslim tarihinde bitmediğinde oluşan gecikme süresi j işinin gecikme süresi artı değer aldığında gecikmeye eşit, eksi ise sıfıra eşit olmaktadır.

$$T_j = \max [0, L_j] \quad (2.12)$$

Ortalama Akış Zamanı ($\bar{F}$) : Bir işin sistemde harcadığı ortalama süre.

$$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F_j \quad (2.13)$$

Ortalama Gecikme ($\bar{T}$) : Ortalama geç bitirme değeridir. Ortalama gecikmeleri minimize etmek için en kısa teslim zamanı kuralı kullanılır.

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j \quad (2.14)$$

Maksimum Akış Süresi (F_{maks}) : Tüm işler arasındaki maksimum akış süresi değeridir.

$$F_{maks} = maks \{F_j\} \quad 1 \leq j \leq n \quad (2.15)$$

Bir işin sistemde harcadığı zamana *akış süresi* denir. Sistemdeki ortalama akış süresi minimize edilerek üretim hızlandırılabilir. Sistemdeki ortalama iş sayısı da azaltılarak düşük stok seviyesi elde edilebilir.

Ortalama İş Sayısı ($\bar{J}$) : Belirli bir zamandaki ortalama iş sayısıdır. Ortalama iş sayısı azaltılırsa, sistemdeki stok miktarları ve toplam iş akış süresi de azalacaktır.

$J(t)$ sistemde bulunan t anındaki iş sayısını göstermek üzere $[a,b]$ gibi bir zaman aralığındaki ortalama iş sayısı aşağıdaki formülle bulunmaktadır:

$$\bar{J} = \frac{1}{b-a} \int_a^b J(t) dt \quad (2.16)$$

Ortalama Ağırlıklı Akış Zamanı ($\bar{F}_w$) : Bir işin önem derecesinin de göz önüne alınarak sistemde harcadığı ortalama süredir. Çizelgeleme problemlerinde dikkate alınması gereken önemli bir konu da her işin önemi eşit olmayabilmektedir. Bu durumda, her işin akış süresi F_j , ilgili işin önem derecesi W_j ile çarpılarak elde edilen ağırlıklı akış süresi minimize edilemeye çalışılmaktadır (Çörekçioğlu, 2006: 28).

$$\bar{F}_w = \frac{\sum_{j=1}^n W_j F_j}{N} \quad (2.17)$$

2.6.1.2. İki Makine ve N İş Problemi

N adet iş iki makineli bir üretim sisteminde öncelik sırasını takip ederek işlenmektedir. Bu problem türünün amacı bütün işlerin tamamlanması için gereken zamanın (makespan) en aza indirilmesidir.

İki makine ve çok işli çizelgeleme problemlerinde Johnson Yöntemi kullanılarak en iyi çözüme ulaşılabilmektedir. Johnson yöntemiyle elde edilen çözüm bütün işlerin tamamlanma zamanları makinelerin boş kalma zamanları ve işlerin ortalama bekleme zamanları gibi ölçütleri etkileyecektir. Bu yöntemin uygulama adımları aşağıda verilmektedir (Biroğul, 2005: 22).

- Her işin birinci ve ikinci makinedeki en düşük işlem zamanı bulunur.
- En düşük zamanı birinci makinede olan işler, birinci makinedeki iş sürelerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanır.
- En düşük zamanı ikinci makinede olan işler, ikinci makinedeki iş sürelerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanır.
- Bu sıralar bozulmadan önce birinci makineye göre bulunan sıradaki işler, sonra da ikinci makineye göre bulunan sıradaki işler olmak üzere en iyi sıralama elde edilir.

2.6.1.3. Üç Makine ve N İş Problemi

Üç makine ve N iş problemi için çözüm bulmak çok zordur. Ancak bu sistemde belirli şartların sağlanması durumunda revize Johnson yöntemi kullanılmasıyla en iyi ya da en iyiye yakın çözümler elde edilebilmektedir. Bu yöntem için gerekli şartlar : (Biroğul, 2005: 22)

- Birinci makinedeki işlem zamanlarının en küçüğünün, ikinci makinedeki işlem zamanlarının en büyüğünden büyük veya eşit olması gerekir.

- Üçüncü makinedeki işlem zamanlarının en küçüğünün ikinci makinedeki işlem zamanlarının en küçüğünün, ikinci makinedeki işlem zamanlarının en büyüğünden büyük veya eşit olması gerekir.

Bu şartlar sağlandıktan sonra Johnson yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemin uygulama adımları aşağıdaki gibidir:

- İki adet hayali makine tanımlanır.
- Birinci hayali makinedeki işlerin işlem süreleri, bir ve iki numaralı makinelerdeki işlem sürelerinin toplamı olarak bulunur.
- İkinci hayali makinedeki işlerin işlem süreleri, ikinci ve üçüncü makinelerdeki işlem sürelerinin toplamı olarak bulunur.
- Üretim ortamında iki adet makine bulunuyormuş gibi yapılarak, Johnson yöntemi uygulanır (Çörekçioğlu, 2006: 31).

2.6.1.4. M Makine N İş problemi

Seri iş akışının olduğu ve üçten fazla makinenin bulunduğu statik çizelgeleme problemlerinde, işlerin en kısa zamanda tamamlanmasını sağlayacak kesin çözüm yoktur.

M makine ve N iş çizelgeleme problemlerinde $(N!) \times M$ adet mümkün çözümün olması ve bu mümkün çözümlerden sadece birinin istenilen performans ölçütünü en iyilemesi özellikle hesaplama açısından büyük zorluklar getirmektedir (Çörekçioğlu, 2006: 32).

Bu çizelgeleme, probleminin çözümü için dal-sınır yöntemi gibi bazı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bunlar özellikle basit problemlerin çözümünde iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca M makine ve N iş çizelgeleme problemlerinin çözümü için tam sayı programlama modelleri de geliştirilmiştir ancak bu modellerin çözümü hesaplama açısından çok zor olmaktadır.

2.6.2. Dinamik Çizelgeleme

Statik çizelgeleme problemlerinde işler atölyeye belli bir düzen içinde gelmektedir ve bu düzen önceden bilinmektedir. Bu nedenle bu problem ile işlerin sürekli ve rastgele değiştiği problemler aynı yaklaşımlarla çözülmez.

Dinamik çizelgeleme problemlerinde de, statik problemler gibi öncelik kuralları kullanılmaktadır. Ancak dinamik çizelgeleme problemlerinde kullanılan öncelik kurallarından farkı, işlerin süreç esnasında değişmeyen özelliklerini (işlem süresi veya teslim tarihi gibi) değil, işlerin süreç esnasında değişmeyen özelliklerini (kalan işlem zamanı, kalan işlem adedi veya boşluk zamanı gibi) esas almasıdır (Çörekçioğlu, 2006: 33).

Dinamik çizelgelemede kullanılan kurallar şunlardır:

- Sonraki işlemlerin süresi en fazla olan işi önce yap,
- Bolluk zamanı en az olan işi önce yap,
- Kalan bolluk zamanı/ kalan işlemler değeri en az olan işi önce yap,
- Bir sonraki makinenin iş yükü en az olan işi önce yap.

Çizelgeleme problemlerinde en uygun kuralın seçilmesi, üretim ortamındaki makinelerin hepsinin çalışmasına, durmasına ya da kapasitesine göre değişebilmektedir. Bu değişkenlik nedeniyle çizelgeleme yaparken üretim sisteminin dengeleyebilmek için dinamik çizelgeleme uygulanmaktadır. Dinamik çizelgeleme yaparken, üretim ortamının özelliklerine uygun kural seçimine dikkat edilmeli.

2.7. KISITLAYICI VARSAYIMLAR

Çizelgelemeden gerçeğe yakın çözümlerin elde edilmesi için işler ve makinelerle ilgili bazı kısıtlar dikkate alınmalıdır.

a) İşlerle İlgili Kısıtlayıcı Varsayımlar

I_i i işini tanımlayan operasyonların oluşturduğu kümedir.

- I sabit ve bilinmektedir.
- Bütün işler aynı anda işlenmek için hazır durumdadır ve birbirinden bağımsızdır.
- Bir sınırsız zaman diliminde bütün işler hazır durumdadır.
- Her iş şu durumda olabilir:
 - a) İş, bir sonraki makinede işlenmek üzere beklemektedir.
 - b) İş, bir makinede işlenmektedir.
 - c) İş, sonuncu makinede de işlendi ve tamamlandı.
- Bütün işler eşit önem derecesine sahiptir.
- Her iş, a iş için tahsis edilmiş bütün makinelerde işlenmelidir.
- Bir iş aynı anda yalnızca bir makine tarafından işlenebilir (Biroğul, 2005: 18).

b) Makinelerle İlgili Kısıtlayıcı Varsayımlar

M_i kümesi i işini tanımlayan makinelerin oluşturduğu kümedir.

- M sabit ve bilinmektedir.
- *Bütün makineler aynı anda işlem yapmak için hazır durumdadırlar ve birbirilerinden bağımsızdırlar.*
- *Bir sınırsız zaman diliminde makineler hazır durumdadırlar.*
- *Her makine şu durumda olabilir:*
 - a) Makine, bir sonraki iş için beklemektedir.
 - b) Makine, bir işi yapmaktadır.
 - c) Makine, sonuncu işi de tamamlamıştır.
- Bütün makineler eşit öncelik derecesine sahiptir.
- Her makine, kendisine tahsis edilmiş bütün işleri tamalar.
- Her makine aynı anda yalnızca bir iş yapılabilir (Biroğul, 2005:18).

c)İşler ve Makinelerle İlgili Kısıtlayıcı Varsayımlar

- Bütün işlerin işlem süreleri sabit ve sıralamadan bağımsızdır.
- Başlayan her operasyon bitene kadar kesinti olmaz.
- Bir işteki operasyonların sırası sabit ve bilinmektedir.
- Bir makinenin işlem sırası bilinmekte ancak bu işlem sırası sabitlenmek istenmektedir.

2.8 GA’NIN ATÖLYE ÇİZELGEMEYE UYARLANMASI

Atölye çizelgeleme problemleri NP-Zor problemler sınıfına girmekte ve bundan dolayı çözümü zor olmaktadır. Bu tür problemlerin çözümünde sezgisel yöntemlerden biri olan GA yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır.

2.8.1 Parametre Kodlama

GA yönteminin atölye çizelgeleme problemlerine uyarlanması kodlama yöntemine göre değişmektedir. Kromozomların kodlanması ve şifre çözümü aşamasında üç önemli noktaya dikkat edilmelidir (Cheng vd., 1996).

1. Kromozom dizisinin uygunluğu kontrol edilir.
2. Kromozom dizisinin belirtilen koşulları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.
3. Kodlama haritasında, kromozomun tek olduğu kontrol edilir.

Koşulları sağlamayan bir kromozom, çözüm uzayındaki kromozomları şifreleyemeyeceğinden evrime uğrayamaz. Son yıllarda atölye çizelgeleme problemlerinin çözümü için farklı kodlama türleri geliştirilmiştir:

1. Operasyona dayalı kodlama
2. İşe dayalı kodlama
3. Liste önceliğine dayalı kodlama
4. İş çifti ilişkisine dayalı kodlama
5. Öncelik kurallarına göre kodlama
6. Tamamlanma zamanına göre kodlama
7. Makineye göre kodlama
8. Rassal anahtarlı kodlama

2.8.1.1. Operasyona dayalı kodlama

Çizelgeleme problemi, n iş- m makina için, m alt kromozomdan oluşturulur ve her bir alt kromozom dizisindeki semboller n iş sayısı uzunluğunda olur. Her bir sembol, makinadaki ilgili bir operasyonu gösterir. Makina önüne, kuyruktaki beklemlerinin durumunu analiz etmek için, simülasyonla kromozomlardan asıl çizelge çıkarılır. Bir kromozomun, $[(2\ 3\ 1)\ (1\ 3\ 2)\ (2\ 1\ 3)]$ olduğu varsayılır ise, m_1 makinası için ilk gen $(2\ 3\ 1)$ işleri tercih listesidir; m_2 makinası için $(1\ 3\ 2)$ işleri ve m_3 makinası için ise $(2\ 1\ 3)$ işleridir (Davis, 1985).

2.8.1.2. İşe dayalı kodlama

Kodlama n iş listesine göre oluşturulur ve çizelgeleme işlerin dizideki sıralanışına göre yapılır. Listedeki ilk iş çizelgelendikten sonra bir sonraki iş çizelgelenecek sırayla tüm listedeki işler çizelgelenir.

2.8.1.3. Liste önceliğine dayalı kodlama

Çizelgeleme problemi, n - iş m -makine için, m alt diziden oluşur ve her bir alt dizideki semboller n -iş sayısı uzunluğunda olur. Her bir sembol makinedeki ilgili operasyonu gösterir. Alt diziler, makine üzerindeki operasyon dizilerini göstermez ve öncelik listesinde yer alır. Her makine kendin eait öncelik listesine sahiptir (Biroğlu, 2005: 57).

Bir dizi $[(2\ 1\ 3)\ (2\ 3\ 1)\ (1\ 3\ 2)]$ olursa m_1 makine için ilk gen $(2\ 1\ 3)$, m_2 için $(2\ 3\ 1)$, m_3 için $(1\ 3\ 2)$ tercih edilir. Daha önceden belirtilen kısıtlara göre m_1 de $\hat{I}_2$ işi, m_2 de $\hat{I}_2$ işi ve m_3 de $\hat{I}_1$ işi çizelgelenir.

2.8.1.4. İş çiftli ilişkisine dayalı kodlama

İş çifti ilişkisine göre kodlama diğer kodlama çeşitleri arasındaki en karmaşık olan kodlama türüdür. Bu konuda Namaza ve Yamada, çizelgeleme kodlamak için ikilik düzendeki matris kullanmışlardır. Bu matris makinelere uygun işlerin çift ilişkisine göre düzenlenmiş matristir.

2.8.1.5. Öncelik kuralına göre kodlama

Dorndort ve Pesch tarafından bu kodlama türü geliştirilmiş olup n - iş m -makine problemi için $n \times m$ giriş dizilimli bir dizi seti geliştirmişlerdir. GA öncelik sırasına göre diziler ile daha iyi bir sıra bulmada kullanılır.

2.8.1.6. Tamamlanma zamanına göre kodlama

Operasyonların tamamlanma zamanlarının sıralanmış listesi bir diziyi oluşturur.

2.8.1.7. Makineye göre kodlama

Dorndort ve Pesch tarafından önerilmiş bir kodlama türüdür. Makinelerin sırasına göre bir dizi kodlanır ve sıralamaya dayalı olarak sezgisel darboğaz önleme ile bir çizelgeleme oluşturulur.

2.8.1.8. Rassal anahtarlı kodlama

Bu kodlama türü Bean tarafından geliştirilmiştir. Rasgele sayı ile beraber rassal anahtar kodlama bir çözümü şifreler, çözümün şifresini çözmek için sıralı anahtar olarak bu değerler kullanılır (Engin, 2001:30) .

2.8.2. Seçim operatörü

GA’da veri kodlamasından sonra önemli olan bir diğer adım ise çoğalma operatörüdür. Atölye çizelgelemede kullanılan çoğalma operatörleri şunlardır:

1. Makina verimlerine bağlı rulet çemberi yöntemi
2. Toplam tamamlanma süresi (makespan) göre rulet çemberi yöntemi
3. Ters yapay seçim yöntemi

2.8.3 Çaprazlama operatörü

GA için en önemli operatörlerden biri de çaprazlama operatörüdür. Bu operatör GA’nın performansını en çok etkileyen etkenlerden biridir. Çaprazlama operatörleri şunlardır:

- Pozisyona Dayalı Çaprazlama
- Sıraya Dayalı Çaprazlama
- Kısmî Plânlı Çaprazlama (PMX)
- Dairesel Çaprazlama (CX)
- Doğrusal Sıralı Çaprazlama (LOX)
- Alt Değişimli Çaprazlama (SXX)
- Sıralı Çaprazlama
- İş Tabanlı Sıralı Çaprazlama

2.8.4. Mutasyon operatörü

Çaprazlama operatöründen sonra GA' yı etkileyen bir diğer operatör ise mutasyon operatörüdür. Mutasyon operatörü GA' da çeşitliliğin korunmasını sağlar. Atölye çizelgelemede kullanılan mutasyon yöntemleri şunlardır:

- Ters mutasyon
- Komuşu iki işi değiştirme
- Keyfi iki işi değiştirme
- Keyfi üç işi yer değiştirme
- Araya iş ekleyerek yer değiştirme

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GA MODELLERİ İLE ATÖLYE ÇİZELGELEME UYGULAMALARI

3.1. GA MODELLERİ İLE ATÖLYE ÇİZELGELEME UYGULAMALARI

Genetik algoritmalar (GA) montaj hattı dengeleme, gezgin satıcı, araç rotalama, çizelgeleme, tesis yerleşim problemleri gibi uygulama alanlarında kullanılan sezgisel optimizasyon yöntemlerinden biridir. Burada, çizelgeleme problem türünde yer alan iş atölye çizelgeleme problemlerinin genetik algoritmalar yardımıyla çözümünün gerçekleştiği üç farklı çalışma incelenmiştir. Bu üç çalışmanın incelenmesinin başlıca sebebi bu çalışmaların amaçlarının aynı ancak GA yaklaşımı içerisinde çözüm yöntemlerinin farklılıklarının incelenmesi ve karşılaştırılmasıdır.

Her üç çalışmanın da ortak amacı, çizelgeleme problemi içinde yer alan işlemlerin toplam tamamlanma zamanının ya da en son işin sistemi terk etme süresinin en küçüklenmesidir. Her üç çalışmada da büyük boyutlu ya da gerçek boyutlu problemlerin çözümünün en küçüklenmesi hedeflenmiştir. Çalışmalar amaçları yönünden ortak olsalar da kullanılan varsayımlar, parametreler, yöntemler açısından birbirinden farklılıklar göstermektedir. Farklılıklar şu şekilde özetlenebilir:

- İncelenen ilk çalışmada GA yaklaşımında yöntem olarak öncelik kuralı dikkate alınmıştır. Problem başlangıçta sadece öncelik kurallarına göre çözülerek sonuçlar elde edilmiş sonrasında ise öncelik kuralı tabanlı GA yaklaşımına göre test modelleri oluşturularak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Öncelik kuralı tabanlı GA yaklaşımında ters mutasyon, tek noktali çaprazlama gibi farklı GA operatörleri kullanılmıştır. Bu çalışma ile farklı parametre ve öncelik kuralları ile klasik atölye çizelgeleme sistemlerinde yer alan varsayım ve kısıtların dışına çıkılabilmesi amaçlanmıştır.

- İncelenen ikinci çalışmada GA yaklaşımı belirli varsayımlar altında geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda rulet seçim yöntemi, rasgele mutasyon ve özgün olarak geliştirilen çaprazlama operatörleri kullanılmıştır. Bu çizelgeleme modelinde mamüllerin işlenme sırasına göre hatların hazırlık süreleri farklılık göstermektedir. Hazırlık süreleri sıra bağımlıdır. Bu çalışmada incelenen çizelgeleme probleminde GAMS/CPLEX hedef programlama modeli ve GA yaklaşımları ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.
- İncelenen üçüncü çalışmada GA yaklaşımı iş atölye çizelgeleme probleminde ürün aileleri oluşturularak siparişe cevap verme süresini minimize etmeye çalışmıştır. Bu modelde, ürünlerin toplam operasyon sürelerine göre uygunluk fonksiyonu belirlenmiştir. Rassal olarak oluşturulan popülasyon için çok noktalı çaprazlama, keyfi mutasyon ve rulet tekeri seçim yöntemi sıralamasıyla iş akış tablosu belirlenmiş. Elde edilen uygunluk değeri ve iterasyon sayısına göre program çalışmaya devam ettirilmiş. Elde edilen bu model, farklı varsayımlarla daha önceden incelenmiş başka bir model ile karşılaştırılmış ve literatüre katkısı incelenmiştir.

3.2. ÇİZELGELEMEDE ÖNCELİK KURALI TABANLI GA UYGULAMASI

İncelenen ilk çalışmada Aydemir (2009), bir üretim sisteminde yer alan siparişlerin tamamlanma zamanının ya da sistemi terkediş zamanının simülasyon destekli bir yazılım ile minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda optimizasyon olarak sezgisel yöntemlerden Genetik Algoritma yöntemi kullanılmıştır. Problem çerçevesinde incelenen bu üretim tesisinde 22 iş istasyonu ve bu istasyonlarda çalışan 22 personel bulunmaktadır. İncelen modele ilişkin veriler Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 ‘de yer almaktadır.

Tablo 3.1: Simülasyon Model Bilgileri

Toplam Sipariş Sayısı	60	Ürün Çeşidi	6	Ürün Kodu	Sipariş Sayısı
Toplam İş İstasyonu Sayısı	17	Paralel Toplam	22	KK045KY	14
Toplam Çalışan Sayısı	17	Paralel Toplam	22	KK080KY	14
Çalışma Süresi Bilgileri		Başlama (s)	Bitiş (s)	KK160KY	14
Vardiya Periyot Süresi (1 Gün)		0	86400	MK250KY	8
Vardiya Süresi (8 Saat/Gün)		28800	57600	MK250SY	6
Değerlendirme Periyodu (2 Hafta)				BY060DP	4
10 iş günü (0 – 1308600 s)					

(Aydemir, 2009: 71)

Tablo 3.2: Siparişlerin Çalışma Günlerine Dağılımı

1. Gün			2. Gün			3. Gün			4. Gün			5. Gün		
Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı
S1	KK045KY	1	S7	KK080KY	1	S13	KK045KY	1	S19	KK045KY	1	S25	KK045KY	1
S2	KK045KY	1	S8	KK160KS	1	S14	KK080KY	1	S20	KK080KY	1	S26	KK045KY	1
S3	KK080KY	1	S9	MK250KY	1	S15	KK160KS	1	S21	KK160KS	1	S27	KK080KY	1
S4	KK160KS	1	S10	MK250SY	1	S16	MK250KY	1	S22	KK160KS	1	S28	KK160KS	1
S5	MK250KY	1	S11	MK250SY	1	S17	MK250SY	1	S23	MK250KY	1	S29	MK250KY	1
S6	MK250SY	1	S12	BY060DP	1	S18	BY060DP	1	S24	MK250SY	1	S30	MK250SY	1
6. Gün			7. Gün			8. Gün			9. Gün			10. Gün		
Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı
S31	KK045KY	1	S37	KK045KY	1	S43	KK045KY	1	S49	KK045KY	1	S55	KK080KY	1
S32	KK045KY	1	S38	KK045KY	1	S44	KK045KY	1	S50	KK080KY	1	S56	KK160KS	1
S33	KK080KY	1	S39	KK045KY	1	S45	KK080KY	1	S51	KK080KY	1	S57	KK160KS	1
S34	KK080KY	1	S40	KK080KY	1	S46	KK080KY	1	S52	KK160KS	1	S58	KK160KS	1
S35	KK160KS	1	S41	KK080KY	1	S47	KK160KS	1	S53	KK160KS	1	S59	BY060DP	1
S36	KK160KS	1	S42	MK250KY	1	S48	MK250KY	1	S54	MK250KY	1	S60	BY060DP	1

(Aydemir, 2009: 71)

Atölye çizelgeleme problemlerinde sıralama yapılırken öncelik kuralları dikkate alınmaktadır. Bu öncelik kurallarından bazıları *İlk Gelen İlk Servis Alır* (FIFO), *Son Gelen İlk Servis Alır* (LIFO), *En Kısa İşlem Süresi* (SPT), *En Uzun İşlem Süresi* (LPT) vb. FIFO kuralına göre sisteme ilk gelen iş çizelgelenmektedir. LIFO kuralına göre ise sisteme son gelen sipariş ilk önce çizelgelenmektedir. Her iki öncelik kuralında da önemli olan siparişlerin sisteme geliş sırasıdır. SPT kuralında ise en kısa işlem süresi ile toplam akış süresinin minimize edilmesi amaçlanmaktadır.

LPT kuralında da amaç toplam akış süresini en uzun işlem süresi ile minimize etmektir.

Bu çalışma kapsamında, üretilen simülasyon yazılımında, atölye tipi çizelgeleme problemlerinde öncelik kuralı tabanlı genetik algoritma (GA) yaklaşımı dikkate alınmıştır. Kazan imalatı yapan bir işletmenin başlangıç modeli oluşturulmuş ve firmanın kendi verileri ile ilk gelen ilk servis alır öncelik kuralına göre başlangıç simülasyonu tasarlanmıştır. Oluşturulan simülasyon modeli için ilk olarak öncelik kuralları tek tek simüle edilmiş ve daha sonra öncelik kuralı tabanlı GA optimizasyonu için üç farklı şekilde model gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan öncelik kuralı tabanlı test modelleri ; tüm öncelik kurallarını içeren GA_09, sadece” İlk Gelen İlk Servis Alır” (FIFO) ile “Son Gelen İlk Servis Alır” (LIFO) kurallarını içeren GA_01 ve “En Kısa İşlem Süresi” (SPT) ile “En Uzun İşlem Süresi” (LPT) kurallarını içeren GA_23 modelleridir. Bu test modellerinin amaç fonksiyonu, sistemdeki toplam siparişlerin en kısa tamamlanma zamanı ve en son işin sistemi terk etme zamanının en kısa olması şeklinde belirlenmiştir . GA optimizasyonu için popülasyon büyüklüğü 30, çaprazlama oranı %90 , mutasyon oranı %10, iterasyon sayısı 10 ve en iyi değerin tekrar sayısı 100 olarak belirlenmiş ve bu parametrelere göre GA_09,GA_01 ve GA_23 test modellerinin yapıları oluşturulmuştur (Aydemir, 2009: 72).

Tablo 3.3: Kromozom Dizi Boyutunun Belirlenmesi

Ürün Kodu	Sipariş Sayısı	İşlem Sayısı	Toplam İşlem
KK045KY	14	16	224
KK080KY	14	16	224
KK160KS	14	17	238
MK250KY	8	16	128
MK250SY	6	16	96
BY060DP	4	10	40
Toplam			950

(Aydemir, 2009: 72)

GA optimizasyonu için gereken kromozom dizi boyutları sipariş sayıları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Çizelgeden de görüldüğü üzere bir kromozomda toplam 950 gen bulunmaktadır. Bu optimizasyonda GA operatörlerinden tek noktalı çaprazlama ve ters mutasyon yöntemi kullanılmıştır. Tek noktalı çaprazlama operatörüne göre; havuzdaki diziler rastgele eşleşirler. Seçilen her dizi çifti için ilk ve son gen dışında aradaki genlerden rastgele bir yer seçilir. Burası çaprazlama noktasını gösterir. Bu noktadan sonra gelen genler her iki dizide karşılıklı olarak yer değiştirir. Bu işlem için diziler aynı uzunlukta olmalıdır (www.ibrahimcayiroglu.com). Ters mutasyon operatörü ise rastgele seçilen bir alt dizideki genlerin sırasının tamamı ters çevrilerek yeni kromozomun elde edilme işlemidir. Bütün bu parametrelere göre önce her bir öncelik kuralı tek tek sonrasında ise oluşturulan test modelleri çalıştırılmış ve elde edilen veriler Tablo 3.4’ de verilmiştir. Ayrıca test edilen bu on üç model için Faborg-Sim yazılımından performans değerleri elde edilmiş ve test modellerine ait değerlendirme periyodu için performans kriterleri başarı dereceleri Tablo 4.5’ te verilmiştir.

Tablo 3.4: Simülasyon Koşum Sonucu Tamamlanma Zamanları

UYGULAMA MODELLERİ	AMAÇ FONKSİYONU	
	Sipariş Sayısı (Adet)	Tamamlanma Zamanı (s)
0 – İĞİS	60	1,350,952
1 – SGİS	60	1,343,742
2 – EKİS	60	1,345,071
3 – EUİS	60	1,351,357
4 – EETZ	60	1,350,545
5 – EAKOS	60	1,345,071
6 – EÇKOS	60	1,350,952
7 – EKKİS	60	1,350,952
8 – EUKİS	60	1,343,742
9 – RS	60	1,350,952
GA_09	60	1,341,044
GA_01	60	1,341,197
GA_23	60	1,341,309

(Aydemir, 2009:73)

Tablo 3.5: Performans Gösterge Değerleri

UYGULAMA MODELLERİ	PERFORMANS GÖSTERGELERİ (Ort. %)							
	İSTKKB	PERKKB	ÜDSB	ÜDSSB	SBİB	TKB	Sipariş Sayısı (Adet)	TLB
0 - İGİS	6,58	23,69	75,11	79,62	12,42	91,67	55	43,43
1 - SGİS	6,61	23,78	74,17	79,09	12,91	93,33	56	43,20
2 - EKİS	6,59	23,71	73,88	79,36	12,74	90,00	54	43,14
3 - EUİS	6,56	23,61	74,65	79,41	11,97	91,67	55	43,15
4 - EETZ	6,59	23,71	76,67	78,56	12,71	91,67	55	43,63
5 - EAKOS	6,58	23,69	75,00	79,09	12,91	91,67	55	43,40
6 - EÇKOS	6,56	23,62	73,73	79,76	12,08	90,00	54	43,03
7 - EKKİS	6,58	23,68	75,06	79,51	12,70	91,67	55	43,46
8 - EUKİS	6,58	23,69	72,65	79,42	12,31	90,00	54	42,74
9 - RS	6,58	23,67	74,95	79,63	12,13	91,67	55	43,32
GA_09	6,58	23,70	74,94	79,70	12,65	90,00	54	43,47
GA_01	6,60	23,75	74,87	79,44	12,78	91,67	55	43,42
GA_23	6,59	23,72	74,41	79,55	12,12	91,67	55	43,17

Açıklamalar

İSTKKB: İş İstasyonu Kapasite Kullanım Başarımı
 PERKKB: Personel Kapasite Kullanım Başarımı
 ÜDSB: Ürün Dolaşım Süresi Başarımı
 ÜDSSB: Ürün Dolaşım Süresi Sapma Başarımı

SBİB: Süreçte Bekleyen İşler Başarımı
 TKB: Teslim Kabiliyeti Başarımı
 TLB: Toplam Lojistik Başarımı

(Aydemir, 2009: 74)

Tablo 3.4 ‘teki veriler incelendiğinde amaç fonksiyonu olan en kısa tamamlanma zamanını sağlayan test modelinin GA_09 olduğu görülmüştür. Bu modele göre en son işin sistemi terk etme zamanı 1.341,044 s olarak bulunmuştur. Tablo 3.5’ te uygulama modellerine göre performans göstergeleri verilmiştir. Bu göstergeler ile modellere göre sipariş sayısı dikkate alınarak üretim sisteminin başarımları gösterilmiştir.

Tablo 3.6’ da bu test modelin yazılım sonucu ile Tablo 3.7 ‘de en iyi sonucu sağlayan kromozom bilgisi görülmektedir.

Tablo 3.6: Test Modeli Yazılım Sonucu

FABORG-SIM			
	ID	pChromosome	fitness
▶	25	3481562959945728383621981266084579585003867680892098643149029597537...	1341044
	3	2628081584720005891522610116842060461635837431616127820090886563176...	1341197
	11	7635212161941350043151445805257152147061140993559879456628930791479...	1341223
	22	3396250576198367263205933171976195177855549688609629288745208859090...	1341237
	6	6959985953070398842474831283671105505226308879968248015102779237297...	1341297
	1	4984521946703810960065176069697414330567085715639088609881756125828...	1341330
	0	5233090790846027071879677534990633191805819262161187925556656670021...	1341760
	10	3934675900805015373187371394897710429866854146311549567655338000308...	1341995
	17	101259629296999434219851623351900324728641159875757096249625267385...	1342181
	19	1293940003527956539267648058936724743917842970528244150454498207679...	1342550
	26	3689495231742328326980594517067353465700697850281155573208487817339...	1342911

(Aydemir, 2009: 75)

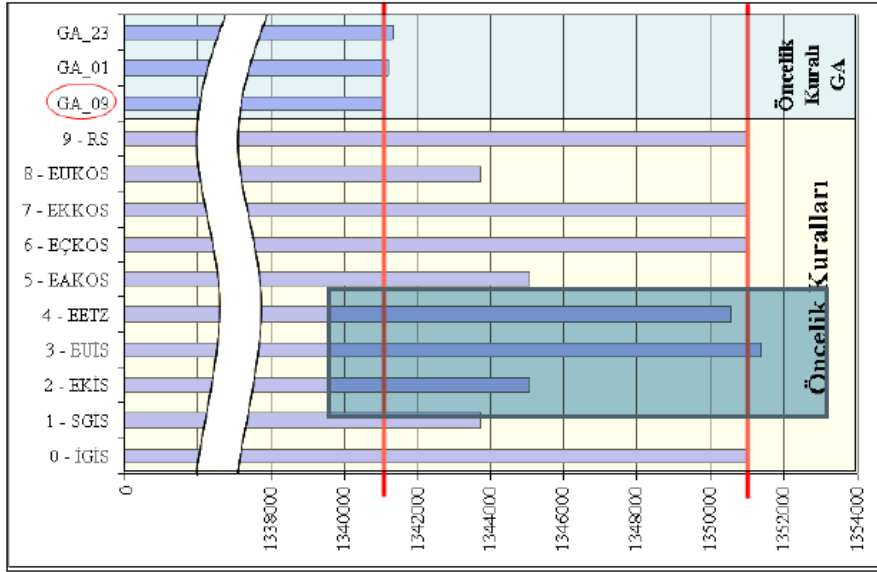
Tablo 3.7: Amaç Fonksiyonu İçin En İyi Kromozom Bilgisi

ID	Kromozom	Uygunluk Değeri
25	348156295994572838362198126608457958500386768089209864314902959753762432708543904730858354350732790531786 606676199822989440708206585247204325268725191070109198840918185251756427107210541413711658535064094921378 198162946776143010898214212651904461258559929784091158998484028476268286133938452766085556376442044252680 592496993236249161181978098429007558205047321670518059952440747312868085614455741790195869686429900870142 24354966989561270094091844558706489512190165232870602022400418273182668893825511778003456361158338923514 822640699864927963639674549768715418181577228341096088424809182015850988206234510766272799327148411348011 88812893883158421615600677231727554845703992169271329547723466116669457580261741896030790602123776509813 739286072679176869745356583191805666872904966869063016837279397177441909674049072313789872869361778941806 443289820698449756914021336002050724659293867223918488241294271763771419761015300319456248236402100355149 87271	1,341,044

(Aydemir, 2009: 75)

Öncelik kurallarına göre elde edilen normal simülasyon ile öncelik kuralı tabanlı geliştirilen GA simülasyon sonuçlarında elde edilen tamamlanma zamanları Şekil 3.1 'de gösterilmiştir.

Şekil 3.1 Tamamlanma Zamanlarının Karşılaştırılması



(Aydemir, 2009: 77)

Toplam 60 siparişin yer aldığı uygulama modelinde normal simülasyon sonucu 1.350,952 saniyede tamamlanırken, öncelik kuralı tabanlı GA_09 simülasyonu 1.341,044 saniyede tamamlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde GA_09 modelinin, üretim sisteminde tüm siparişlerin tamamlanabilmesi için 9,908 saniyelik süre kazancı sağladığı görülmüştür. Geliştirilen öncelik kuralı tabanlı GA yazılımının incelenen örnek için diğer simülasyon modellerine göre daha uygun sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile birlikte simülasyon sisteminin GA ile kullanılmasıyla klasik atölye tipi sistemlerinde yer alan varsayımlar ve kısıtların dışına çıkılabildiği görülmüş. Böylece bu tip problemlerin farklı parametreler ve öncelik kuralları ile modellenerek gerçek hayat problemlerine yaklaştırılabileceği öngörülmüştür.

3.3. HEDEF PROGRAMLAMA VE GA KARŞILAŞTIRMALI UYGULAMA

İncelenen ikinci çalışmada Koçanlı vd (2012), Eti şirketler grubunda yer alan üretim tesisinde belirlenen kısıtlara göre istenen amaçları sağlayacak olan ara mamüllerin çizelgelenerek, mamüllerin stokta geçirdiği sürenin istenen süreyi aşmaması ve en son işin tamamlanma zamanının minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu üretim tesisinde 30 çeşit mamül, 17 üretim hattı ve maksimum 21 vardiya bulunmaktadır.

Her mamül her hatta üretilmezken, mamüllerin üretilbildikleri hatlardaki üretim süreleri eşittir. Bazı hatlar için ara mamüllerin işlenme sırasına göre hatların hazırlık süreleri farklılık göstermektedir. Yani hazırlık süreleri sıra bağımlıdır. Her ara mamülün tesise geliş zamanı ve mamül olarak teslim zamanı belirlidir. Problemin kısıtları ve amaçları kontrol edildiğinde bu problemin özdeş paralel makina probleminin özel bir hali olduğu görülmüş. Bu çalışmanın varsayımları aşağıdaki gibidir (Koçanlı, 2012: 7):

- Bir üretim hattına bir vardiya boyunca en fazla bir mamül atanabilir.
- İşletme politikası gereği bir mamül çeşidi aynı vardiyada en fazla iki farklı üretim hattına atanır.
- İşçi ve ara mamül kısıtları nedeniyle herhangi bir vardiyada çalışmayan hatlar bulunabilir.
- Bir hattaki mamül çeşidinin değişimi ve hatların hazırlıkları vardiya başlarında yapılır.
- Sadece ardışık vardiyalara mamül ataması yapıldığında sıra bağımlı hazırlık süresi dikkate alınır.
- Planlama dönemi boyunca gelen ara mamüller kendine ait ayrı geliş zamanı, talebi, teslim zamanı ve işlem süresi olan ayrı işler gibi düşünülür.

Bu çalışmada öncelikli olarak atölye çizelgelemede doğrusal hedef programlama matematiksel modeline göre elde edilen çözümler incelenmiştir. Doğrusal programlama, belirli bir amacı gerçekleştirmek için sınırlı kaynakların

etkin kullanımını ve çeşitli seçenekler arasında en iyi dağılımı sağlayan matematiksel bir modeldir (Çetindere ve diğerleri, 2010: 274). Çizelgeleme de model olarak tamsayılı ve doğrusal problemlerin çözümünde kullanılan GAMS/CPLEX programlama dili seçilmiştir. Bu modele göre küçük, orta ve büyük boyutlu problem örnekleri incelenmiştir. Küçük boyutlu problemde 4 mamul, 2 üretim hattı ve 10 vardiya için çizelgeleme yapılmış ve bu problemde doğrusal programlama ile başarılı bir şekilde çözüme ulaşıldığı görülmüştür. Modelde kullanılan parametre ve değişkenler aşağıdaki gibidir:

p_j = Ana mamüllere ait işlem süreleri

$butce_j$ = Her mamülün üretimi için ayrılan bütçe

d_j = Teslim zamanı

$talep_j$ = Her mamülden üretilecek miktar

C_{ij} = Hatlarda gereken işçi sayısı

r_j = Mamülleri serbest bırakma zamanı

s_{ij} = Hatların sıra bağımlı hazırlık süreleri

Şekilde 3.8 ‘ de üretilen mamüllere ait işlem süreleri, ayrılan bütçe, teslim zamanı, talep edilen miktar, çalışan işçi sayısı, mamülleri serbest bırakma zamanı ve hazırlık süreleri yer almaktadır.

Tablo 3.8: Mamüllerin İşlem Süreleri ve Hazırlık Süreleri

Mamul	p_j	$butce_j$	d_j	$talep_j$	$e_{j,1}$	$e_{j,2}$	r_j
1	5	100	3000	500	4	0	0
2	4	150	6000	200	3	5	480
3	6	150	5000	150	5	6	960
4	2	400	5000	330	0	2	0

$s_{i,j}$	1	2	3	4
1	0	24	12	15
2	24	0	23	20
3	12	23	0	30
4	15	20	30	0

(Koçanlı, 2012: 10)

Bu model için belirlenmiş olan amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Koçanlı, 2012: 10):

$$\text{enkz} = \sum_{j=1}^n s_1^+(j) + \sum_{j=1}^n s_2^+(j) + \frac{\sum_{j=1}^n s_3^+(j)}{ucret} + 0,10 * \sum_{l=1}^m s_4^+(l) + s_5^+$$

1.Hat	1	1	1	1	1	1				
2.Hat	4	4	2	2	3	3				

Bu fonksiyona göre , amaç fonksiyonunda yer alan hedeflerin ağırlığı değiştikçe model önem derecesi (ağırlığı) fazla olan hedeflere ulaşacak şekilde yeni çözümler türeteceği görülmüştür (Koçanlı, 2012: 11) bu modelde hazırlık sürelerinin toplamından oluşan sapmanın en küçüklenmesi ile amaç fonksiyonu da en küçüklenecektir.

Aynı model orta boyutlu çizelgeleme problemi içinde test edilmiştir. Bu problem 2 üretim hattı, 8 mamül ve 15 vardiyadan oluşturulmuştur. Orta boyutlu problem için belirlenen amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Koçanlı, 2012: 11) :

$$\text{enkz} = \sum_{j=1}^n s_1^+(j) + \sum_{j=1}^n s_2^+(j) + \frac{\sum_{j=1}^n s_3^+(j)}{ucret} + 0,10 * \sum_{l=1}^m s_4^+(l) + s_5^+$$

1.Hat	2	6	2	6	4	8	1	1	1	5	5	5			
2.Hat	7	7	3	3	4	8	1	1	1	5	5	5			

Bu amaç fonksiyonunda sıra bağımlı hazırlık sürelerinin toplamından oluşan sapmanın önemli olduğu görülmüştür. Önem derecesi arttırıldıkça sıra bağımlı hazırlık süreleri toplamı sıfırlanmaktadır.

Bu problem için amaç fonksiyonu GAMS çözücüsünde çözdürülmüş ve çözüm süresi 80 dk sürmüştür. Çözüm süresi uzun olmasına rağmen en iyi çözüme ulaşılabilmektedir. Sonuç incelendiğinde çözücünün amaç fonksiyonunda istendiği gibi birbirleriyle eş değer mamülleri peş peşe atayarak hazırlık sürelerini önlemeye ve hedefleri gerçekleştirmeye çalıştığı gözlemlenmiştir (Koçanlı ve diğerleri, 2012: 12).

Küçük ve orta boyutlu çizelge problemlerinde matematiksel hedef programlama modeli ile amaç fonksiyonları için başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

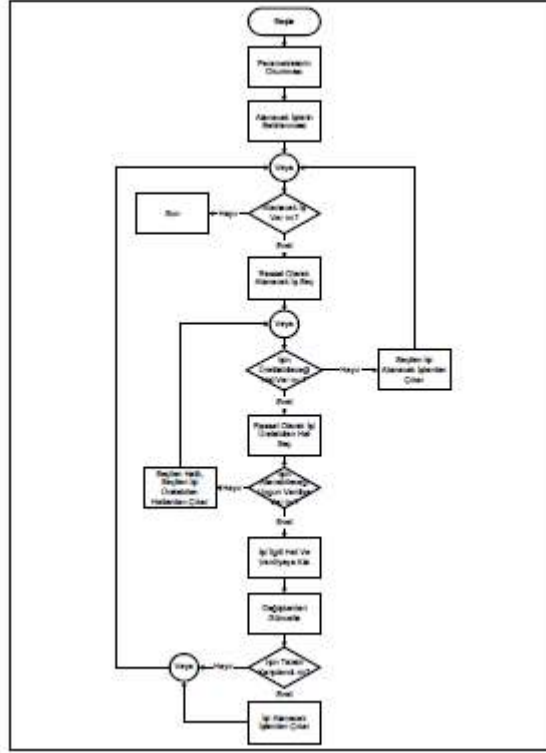
Küçük ve orta boyutlu problemler sonrasında 44 mamul, 27 hat ve 42 vardiyadan oluşan gerçek boyutlu üretim problemi el alınmış ancak çözüm uzayının büyüklüğü sebebi ile problem çözülememiştir.

Doğrusal programlama modeli ile bu problem çözülemediğinden, problemin çözümü için bir GA modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen GA için problemin kısıtları ve önceliklerine göre kromozom yapısı oluşturulmuştur. Bu kısıtlar ve özellikler şunlardır (Koçanlı ve diğerleri, 2012: 13):

- Vardiyalık atamalar yapılmalıdır.
- Herhangi bir üretim hattına herhangi bir vardiya boyunca en fazla bir mamül atanabilir.
- Kromozomu oluşturan gene bakıldığında hangi mamüller, hangi vardiyada, hangi üretim hattına atanmış olduğu görülebilmelidir.
- Tasarlanan kromozom yapısı çaprazlama, mutasyon gibi genetik operatörlerin kullanılmasına kolaylık sağlayabilmelidir.

Bu varsayımlar altında her bir kromozom tüm hatları temsil etmekte ve bir mamülün hangi hattın hangi vardiyasına atandığı bilgisine genler ile ulaşılmaktadır (Koçanlı ve diğerleri, 2012: 13).

Şekil 3.2 İlk Neslin Türetilmesi Yöntemine Dair Akış Şeması



(Koçanlı, 2012: 14)

İlk nesil türetildikten sonra bu algoritma için ikili turnuva seçim yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, popülasyondan rastgele seçilen kromozomlardan oluşan bir grup elde edilir ve daha sonra bu grup içindeki kromozomlar kıyaslanarak en yüksek uygunluk değerine sahip olan kromozom yeni topluma aktarılır. En iyi uyum değeri en küçükleme problemlerinde en küçük, en büyükleme problemlerinde ise en büyük uyum değeridir. Bu seçim yöntemi ile popülasyon büyüğü değişmeden güçlü kromozomlar üretilir.

İkili turnuva seçim yöntemi ile elde edilen bireylere genetik algoritma operatörleri uygulanmadan önce elitizm yöntemi kullanılmıştır. Elitizm yöntemiyle popülasyonun en iyi kromozomu korunup, popülasyondaki diğer kromozomlara uygun olan seçim yöntemlerinden biri kullanılarak yeni kromozomlarla değiştirilir.

Uygulanan ikili turnuva seçim ve elitizm yöntemlerinden sonra ele alınan problem için özgün bir çaprazlama operatörü geliştirilmiştir. Bu operatör, iki kromozomdan tek bir kromozom üretmektedir. Buna göre, her bir kromozom için 0-1

aralığında rassal sayı üretilir. Bu problemde mutasyon yöntemi olarakda rasgele seçilen iki genin karşılıklı yer değiştirmesi yöntemi kullanılmıştır.

Geliştirilen GA modelinin başarısı büyük boyutlu problemde test edilmeden önce, GAMS/CPLEX matematiksel problemi ile karşılaştırılabilmesi için model küçük ve orta boyutlu problemlerde test edilmiştir.

Geliştirilen algoritmanın popülasyon sayısı 200, çaprazlama oranı 0,75 , mutasyon oranı 0,01 , iterasyon sayısı 1000 iken GA' nın başarılı bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

Tablo 3.9: Türetilmiş Problemlere Ait Matematiksel Model ve GA Çözümleri

	GAMS/CPLEX		GA _{ME}	
	Z	Süre	Z	Süre
Küçük Boyutlu Problem (2 Hat-4 Mamul-10 Vard.)	633	2 sn	633	2 sn
Orta Boyutlu Problem (2 Hat-8 Mamul-15 Vard.)	10620	80 dk	10620	1,5 dk
Büyük Boyutlu Problem (17 Hat-30 Mamul-84 Vard.)	Çözemedi		13833	70 dk

(Koçanlı, 2012: 18)

Tablo 3.9 incelendiğinde, matematiksel model ile küçük ve orta boyutlu problemlerin her ikisi içinde sırasıyla 2sn ve 80 dk içinde en iyi çözüme ulaşılmış ancak büyük boyutlu problem için çözüm elde edilememiştir. Geliştirilen GA da ise hem küçük hem de orta boyutlu problemlerde GAMS' dan daha iyi sonuçlar elde edilmiş ve GAMS'ta çözülemeyen büyük boyutlu problem içinde çözüme ulaşılmıştır.

Tablo 3.10: Hedeflerden sapmaların karşılaştırılması

Sapmalar	Kritik Stok Yaşı $[\sum_{j=1}^n s_1^+(j)]$	Gecikme $[\sum_{j=1}^n s_2^+(j)]$	Bütçe $[\frac{\sum_{j=1}^n s_3^+(j)}{ucret}]$	Tamamlanma zamanı $[0,10 \sum_{l=1}^m s_4^+(l)]$	Hazırlık süresi $[s_5^+]$
Mevcut Çözüm	192480	0	0	9648	1609
GA _{ME} Çözümü	60000	480	0	5376	1905
% İyileşme	% 69	-	-	% 44	-

(Koçanlı ve diğerleri, 2012: 19)

Bu problem için Tablo 3.10 incelendiğinde, büyüklükleri nedeniyle amaç fonksiyonunu en çok etkileyen sapmalar, kritik stok yaşı ve tamamlanma zamanı hedeflerinden olan sapmalar olmuştur. Bu nedenle, GA' nın amaç fonksiyonu bu sapmaları en küçükleyebilmek için toplam hazırlık süresini ve gecikmeyi biraz arttırmıştır. Bu iki hedef değerın ağırlıklarını önemsenme derecelerine göre, kullanıcı tarafından arttırılarak sapmaları enküçüklenebilir (Koçanlı ve diğerleri, 2012: 19).

Bu çalışma sonucunda, GA' nın süreci optimize etmesi, hata riskini ortadan kaldırması, başarılı sonuçlar elde etmeyi garantilemesi ve mevcut durumda harcanan süreye kıyasla oldukça makul bir sürede başarılı bir çözüm gerçekleştirebildiği yargısına varılmıştır.

3.4. SİPARİŞE DAYALI ÜRÜN GRUPLARININ OLUŞTURULMASINDA GA UYGULAMASI

İncelenen üçüncü ve son çalışmada Gümüšoğlu (2013), siparişlerdeki ürünlerin toplam operasyon sürelerine göre gruplandırılarak ürün ailelerinin elde edilmesi ve bu ürün gruplarının aynı üretim hattında üretilmesi amaçlanmıştır. Burada önemli olan farklı üretim süreli ürünlerin aynı üretim hattına girmeyecek olmasıdır.

Metal sektöründe saç şekillendirme üstüne faaliyet gösteren firmada işletmede kesme, büküm, kaynak, boyama, montaj ve paketleme bölümleri ve bu

bölümlerde punch, giyotin, plazma, abkant, kaynak, boya gibi tezgahlar bulunmaktadır. Tüm ürünler için paketleme ortak istasyondur. Bu çalışma için iki farklı sipariş ele alınmıştır. Her bir siparişte 28 ürün bulunmakta ve sipariş miktarları ve parça kod bilgileri Tablo 3.11’ de yer almaktadır.

Tablo 3.11: Uygulamada Kullanılacak Olan Parçaların Sipariş Miktarları

Parça Kodu	Sipariş Kodu	Sipariş Miktarı
P1	6810-01 ALT ŞASE YAN SACI	5
P2	6810-02 ALT ŞASE SACI	5
P3	6810-03 ALT ŞASE YAN SACI	5
P4	6810-04 ALT ŞASE YAN SACI	5
P5	6810-11 KÖŞE DİKME - ÖN / ARKA SAĞ	9
P6	6810-14 ÜST KAPAK	3
P7	6810-15 ARKA KAPAK	3
P8	6810-16 İÇ PANJUR	3
P9	6810-21 ÇERÇEVE	3
P10	6810-37 PARÇA YAPIMI	3
P11	6810-43 ELEKTRİK PANOSU SACI	3
P12	6810-45 DAVLUMBAZ	3
P13	6810-47	3
P14	6810-60	3
P15	6810-66 PARÇA YAPIMI	6
P16	7757-19 KARTER AYAKLARI PARÇA YAPIMI	50
P17	7757-30 PARÇA YAPIMI	10
P18	7813-12 KELEPÇE	50
P19	ESR.01.315.000.063	20
P20	ESR.01.056.000.095	20
P21	ESR.01.088.000.045	5
P22	ESR.02.107.000.062	5
P23	ESR.02.107.000.059	20
P24	ESR.02.212.000.016	30
P25	ESR.02.033.000.030	30
P26	ESR.01.055.000.007	30
P27	ESR.01.088.000.010	20
P28	ESR.02.33.00.031	20

(Gümüsoğlu, 2013: 272)

Bu problemin çözümü öncesi var olan ürünler ve makinalar sipariş büyüklüklerine ve gruplama kriterlerine göre gruplandırılmıştır. Gruplama yapılırken ürün bileşenleri ve gördükleri işlemlerin ortak olması gibi kısıtlar dikkate alınmıştır. Ortak özelliğin belirlenememesi gibi bir durum için de önerilen modelde ürünlerin

toplam operasyon sürelerinin grup içinde ve gruplar arasındaki görel sapmaları dikkate alınmıştır. Bu model için görel sapmalar GA' nın uygunluk fonksiyonunu oluşturmuştur. Ürün bazında operasyon sürelerinin varyasyon katsayıları ve gruplar arası görel sapmalar hesaplanarak elde edilen sonuç amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Bu bağlamda geliştirilen matematiksel model Eşitlik (4.1) ' de ve grup içi varyasyon değerlerinin hesaplanması için oluşturulan matematiksel formül Eşitlik (4.2) ' de verilmiştir (Gümüsoğlu, 2013: 269).

$$Cv_f = f(x) = \frac{\sigma(Cv_1, Cv_2, Cv_3, \dots, Cv_n)}{\mu(Cv_1, Cv_2, Cv_3, \dots, Cv_n)} \quad (4.1)$$

Cv_f : Bireyin görel saplam değeri

n : ürün grup sayısı

j : grup için atanan sıra numarası ($j=1, 1, \dots, n$)

$$Cv_i = \frac{\sigma_i}{\mu_i} \quad i = (1, 2, 3, \dots, m) \quad (4.2)$$

i : grup sayısı

σ_i : i. grup içindeki ürünlerin toplam operasyon sürelerinin standart s
sapması

μ_i : i. grup içindeki ürünlerin operasyon sürelerinin ortalaması

Bu çalışma için 20 bireyden oluşan başlangıç popülasyonu üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışılan modelde her bir birey, GA'daki kromozomlara karşılık gelmiştir ve bu kromozomlar ürün-grup matrislerinden oluşmuştur. Bu matriste (1) olarak kodlanan durum ürünün o grupta yer ladiğini gösterirken , (0) kod durumu ürünün grupta yer almadığını göstermiştir. Bu matris yapısı Tablo 4.2' de gösterilmiştir.

Tablo 3.12: Ürün-Grup Matrisi

KROMOZOM					Toplam operasyon Süresi
	Grup1	Grup2	Grup3	Grup4	
P1	0	0	1	0	575
P2	0	0	0	1	535
P3	0	0	1	0	240
P4	1	0	0	0	270
P5	1	0	0	0	1197
P6	0	1	0	0	768
P7	1	0	0	0	1221
P8	0	0	0	1	870
P9	0	0	1	0	354
P10	0	1	0	0	180
P11	1	0	0	0	204
P12	0	0	0	1	1800
P13	0	0	1	0	258
P14	0	1	0	0	555
P15	0	0	0	1	1428
P16	1	0	0	0	3000
P17	0	1	0	0	530
P18	0	0	1	0	17250
P19	0	0	1	0	3600
P20	0	0	1	0	4200
P21	0	1	0	0	275
P22	0	1	0	0	3900
P23	1	0	0	0	14400
P24	0	0	0	1	14400
P25	0	1	0	0	7650
P26	1	0	0	0	9000
P27	0	0	1	0	9400
P28	0	0	0	1	3500

(Gümüşoğlu, 2013: 273)

Ürün- grup matrisi incelendiğinde siparişte yer alan her ürünün oluşturulan dört grup içinde yer alıp almadığı ve bu gruplardaki toplam operasyon sürelerinin ne olduğu detaylı olarak görülebilmektedir. Tablo 3.12’ de yer alan toplam operasyon süresi siparişte yer alan ürünün tüm makinalardaki toplam operasyon süresidir.

Rassal olarak oluşturulan popülasyonda çaprazlama operatörü uygulanmadan önce rulet tekeri yöntemi ile çaprazlama için bireyler seçilmiştir. Rulet tekeri yöntemine göre, toplumdaki tüm bireylerin uygunluk değeri hesaplanır, bu uygunluk değerleri toplanarak toplumun uygunluk değerleri elde edilir. Her bir bireyin uygunluk değeri toplumun uygunluk değeriyle oranlanarak bireylerin seçilme olasılıkları elde edilir. Seçilme olasılığı yüksek bireyler yeni popülasyonda yer alır. Bu problem için belirlenmiş olan uygunluk fonksiyonuna göre bireylerin uygunluk değerleri karşılaştırılmış ve uygunluk değeri yüksek olan bireyler bir sonraki nesile aktarılmıştır.

Rulet teker seçim yöntemi ile çaprazlanacak bireyler belirlendikten sonra çok noktalı çaprazlama operatörü çalıştırılmıştır. Bu yöntem ile kromozomlar birden fazla parçaya ayrılarak elde edilip bu parçalar bireyler arasında değiştirilerek yeni bireyler elde edilmiştir.

Çaprazlama operatörü ile yeni bireyler elde edildikten sonra aynı tür kromozomların kendini tekrarlamaması ve çeşitliliği sağlamak amacı ile mutasyon türlerinden tesadüfi mutasyon operatörü kullanılmıştır. Bu operatöre göre tesadüfe göre mutasyon noktaları belirlenmiş ve bu noktalardaki 1 değerleri 0, 0 değerleri 1 olarak yer değiştirilmiştir. Her mutasyon işleminden sonra uygunluk değeri hesaplanıp, bu değerden yüksek olan bireyler çözüme dahil edilmemiştir.

GA operatörlerinin çalıştırılması sonucu oluşan yeni popülasyonda yer alan bireylerinin hangilerinin yeni nesile aktarılıp aktarılmayacağını belirlemek amacıyla operatörlerin çalıştırılması sonrası bireylerin uygunluk değerleri hesaplanmış ve bu değerlere göre sıralama yapılmıştır. İyi olan bireylerin bir sonraki nesile aktarılabilmesi için sıralı seçim yöntemi kullanılmış ve en düşük uygunluk değerine sahip 20 birey bir sonraki nesle aktarılmıştır.

Bu işlemler problem başında belirlenmiş olan iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar devam etmiştir. Önerilen GA' nın çalıştırılması sırasında kullanılan parametre ve yöntemler Tablo 3.13' te gösterilmiştir.

Tablo 3.13: Önerilen Genetik Algoritmada Kullanılan Parametreler

Başlangıç Popülasyon Sayısı	20
Tekrar (İterasyon) Sayısı	2500
Çaprazlanacak Bireylerin Seçimi	Rulet Tekerı Yöntemi
Çaprazlama Operatörü	Çok Noktalı Çaprazlama
Mutasyon Operatörü	Her 5 çaprazlamada bir rassal dört iş değıştirme
Seçim	Sıralı Seçim

(Gümüőğlu, 2013: 274)

Program 20 adet başlangıç bireyi için 2500 defa çalıştırılarak en iyi uygunluk değeri elde edilmiştir. Bu çalışma 3 dk 18 sn sürmüş ve uygunluk değeri 0,009986524429332587 olarak bulunmuştur. Durdurma kriteri olarak gruplar arası sapma değeri 0,001 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.14: Genetik Algoritma Sonucu Oluşan Ürün Aileleri

Grup No	Parça Ailesi
Grup 1	P1, P2, P8, P21, P24, P25
Grup 2	P4, P6, P14, P15, P16, P17, P18, P22, P26
Grup 3	P3, P11, P13, P19, P27
Grup 4	P5, P7, P9, P10, P12, P20, P23, P28

(Gümüőğlu, 2013: 275)

Çalışma amacı doğrultusunda ürün gruplarının oluşturularak problemin çözülmesini sağlamıştır. Bu çalışma sonucunda, ürünlerin operasyon sonuçlarına göre oluşan ürün grupları sayesinde firmanın siparişlere cevap verme süresinin hızlanacağı görülmüştür.

3.5. İNCELENEN UYGULAMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

İncelenen uygulamalar öncelikle modellerin kullandığı veriler açısından, daha sonra da model yapıları olarak ve son olarak model çıktıları açısından özetlenmiştir. Bu karşılaştırmalar ise uygulanabilirlik ve etkinlik açılarından da karşılaştırılarak bazı sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

İncelenen üç çalışmanın parametre ve amaç fonksiyonlarının özet hali Tablo 3.15 ' te gösterilmiştir.

Tablo 3.15: GA İçin Kullanılan Parametre ve Fonksiyonlar

1.Çalışma Verileri	
Toplam Sipariş Sayısı	60
Toplam İş İstasyonu	22
Ürün Çeşidi	6
Popülasyon Büyüklüğü	30
Çaprazlama Oranı	%90
Mutasyon Oranı	%10
İterasyon Sayısı	10
Amaç Fonksiyonu	Sistemdeki toplam siparişlerin en kısa sürede tamamlanması.Çizelgelemede öncelik kuralları önemlidir.
GA operatörleri	Seçim yöntemi olarak öncelik kuralları dikkate alınmıştır. İlk nesil türetilip seçim işlem gerçekleştirildikten sonra tek noktalı çaprazlama ve ters mutasyon operatörleri kullanılmıştır.Başlangıçta belirtilen iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar döngü devam eder.

2. Çalışma Verileri	
Toplam İş İstasyonu	17
Ürün Çeşidi	30
Popülasyon Büyüklüğü	200
Çaprazlama Oranı	%75
Mutasyon Oranı	%1
İterasyon Sayısı	1000
Amaç Fonksiyonu	Mamüllerin stokta geçirdikleri günün arzu edilen günü aşmaması ve en son işin tamamlanma zamanının en küçüklenmesi. Operasyonlar arası hazırlık süreleri önemlidir.
GA operatörleri	Seçim yöntemi olarak ikili turnuva ve elitizim yöntemleri kullanılmıştır. İlk nesil türetilip seçim işlemi gerçekleştikten sonra özgün çaprazlama ve keyfi mutasyon operatörleri kullanılmıştır. Başlangıçta belirtilen iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar döngü devam eder.
3. Çalışma Verileri	
Toplam Sipariş Sayısı	2
Toplam İş İstasyonu	8
Ürün Çeşidi	28
Popülasyon Büyüklüğü	20
Çaprazlama Oranı	%0,1
Mutasyon Oranı	%0,1
İterasyon Sayısı	2500

Amaç Fonksiyonu	Siparişe dayalı üretimlerde, toplam üretim sürelerinin benzerliklerine göre ürün gruplarının oluşturulup siparişlerin tamamlanma sürelerinin en küçüklenmesi. Ürün gruplarının oluşturulması önemlidir.
GA operatörleri	Seçim yöntemi olarak rulet tekeri ve sıralı seçim yöntemleri kullanılmıştır. İlk nesil türetilip seçim işlemi gerçekleştirildikten sonra çok noktalı çaprazlama ve keyfi mutasyon operatörleri kullanılmıştır. Başlangıçta belirtilen iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar döngü devam eder.

Tablo 3.15'ten de görüldüğü üzere her üç uygulamada da incelenen veriler , sipariş sayısı, iş istasyon sayıları ve ürün çeşidi açısından birbirlerinden farklıdırlar. Her üç uygulamanın da modelleri, öncelikle küçük boyutlu problemlerde test edildikten sonra büyük boyutlu problemlerde uygulanmıştır. Bu bilgiler ışığında Genetik Algoritma'nın küçük, orta ya da büyük boyutlu problemlerde verimli bir şekilde kullanılabilir olduğu görülmektedir.

Problemler GA için oluşturulan model yapıları açısından incelendiğinde farklı GA operatörleri ve öncelik yapılarına göre modeller farklılık göstermektedir. Her üç problemde amaç fonksiyonu tamamlanma zamanını minimize etmek üzerine olmasına rağmen , kullanılan yöntemler açısından birbirlerinden tamamen farklıdırlar. Modellemede kullanılan parametre ve operatörler incelendiğinde farklı çaprazlama, farklı seçim ve farklı mutasyon operatörleri ile birbirinden farklı model yapıları oluşturulabildiği görülmektedir.

Ele alınan veriler ve bu verilere uygulanan modeller ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, her üç problem için GA' nın istenilen sonuçları verdiği gözlenmiştir. GA her üç problemde de çözüme varmış ve elde edilen sonuçlar en iyi değere sahip olmuştur. Problemin sipariş sayısı, istasyon sayısı ve ürün çeşidi ne kadar büyük olursa olsun, makinalarda öncelik kuralına göre seçim, makinalar arasında hazırlık

süreleri ve ürün gruplarının oluşturulması gibi çizelgelemenin farklı varsayımları altında Genetik Algoritma' nın her çeşit problemin çözümünde kullanılabildiği bu çalışmalar sonucunda görülmektedir. Farklı operatör tipleri, popülasyon büyüklükleri, çaprazlama ve mutasyon oranları ile iterasyon sayıları GA' nın en iyi sonucu elde etmesinde önemli parametrelerdir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Atölye çizelgeleme bu türdeki üretim planlama problemlerinin önemli aşamalarından biridir. Atölye çizelgeleme, NP problem sınıfına giren ve kesin çözümü zor bulunan ya da gerçeğe yakın sonuçlar veren bir problem türüdür. Atölye çizelgelemenin temelinde işlerin zaman kısıtı da dikkate alınarak sıralı bir şekilde makinalara atanması yer alır. Planlama aşamasında zaman kısıtı dikkate alınmasına rağmen genellikle atölye koşulları dikkate alınmaz. Bu nedenle de planlama sırasında oluşturulan çizelgeleme ile atölye ortamında uygulanan çizelgeleme birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Çizelgeleme sırasında iş sayısı ve bu işlerin atandığı makina sayıları dikkate alınır. Atölye çizelgeleme parametrelerinde üç ve daha az sayıdaki makinaların en iyilenmesi için geliştirilen özel algoritmalar kullanılabilir. Ancak makina sayısı üçten büyük ve n adet iş için bu özel algoritmalar en iyi çözümü vermekte zorlanmaktadır. Bu tür problemler için sezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

Bir işletme için en önemli unsurlar, en az maliyetle müşteri taleplerinin en kısa sürede tamamlanmasının sağlanmasıdır. Bu amacın gerçekleşebilmesi iyi bir planlama ile sağlanabilmektedir. Planlama yapılırken mevcut makine sayıları dikkate alınmalıdır. Literatürde çizelgeleme problemlerinin çözümü için kullanılan klasik yöntemlerin, üçten fazla makina ve n işten oluşan süreçlerde uygulanan optimizasyonun yetersiz olduğu görülmektedir. Bu çalışmadaki temel amaç, bu tür m adet makina ve n adet iş sayılı çizelgeleme problemlerinde sezgisel yöntemlerden biri olan Genetik Algoritmalar'ın hangi varsayımlar ve parametreler altında farklı problem türlerinde uygulanarak en iyi çözümün elde edilip edilmediğinin görülmesidir.

Bu çalışmada ortak amaçları siparişlerin tamamlanma zamanının minimize edilmesi olan üç farklı çalışma incelenmiştir. Bu üç çalışma amaçları gereğince ortak olmalarına rağmen kabul edilen varsayımlar ve kullanılan parametreler nedeni ile farklılık göstermektedir. Her üç çalışmada da veriler önce başka algoritmalar ile daha sonra GA ile en iyilenmeye çalışılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İncelenen üç çalışmada kullanılan yöntemler, öncelik kuralına dayalı GA, hazırlık süresine dayalı GA ve ürün gruplarına dayalı GA modelleridir. Bu modellerde

kullanılan çaprazlama tipi, mutasyon tipi, seçim yöntemleri gibi parametreler farklılık göstermektedir. GA için gerekli olan operatörler çaprazlama oranı, mutasyon oranı, popülasyon büyüklüğü ve iterasyon sayısı gibi değerlerde farklı değerlerde kullanılmıştır.

Bu alışma içerisinde incelenmiş olan problemlerin sipariş sayısı, istasyon sayısı ve ürün çeşidi ne kadar büyük olursa olsun, makinalarda öncelik kuralına göre seçim, makinalar arasında hazırlık süreleri ve ürün gruplarının oluşturulması gibi çizelgelemenin farklı varsayımları altında Genetik Algoritma' nın her çeşit problemin çözümünde kullanılabildiği bu çalışmalar sonucunda görülmektedir. Farklı operatör tipleri, popülasyon büyüklükleri, çaprazlama ve mutasyon oranları ile iterasyon sayıları GA' nın en iyi sonucu elde etmesinde önemli parametrelerdir.

İncelenen uygulamaların GA ve diğer yöntemler sonucu elde edilmiş tamamlanma zamanlarının karşılaştırılması ile GA' nın istenilen sonuçları verdiği görülmüştür. Elde edilen bu süreler sırasıyla 1.341,044 sn, 70dk, 3dk 18 sn değerleridir.

Tablo 4.1' de incelenen ilk uygulamadaki çizelgeleme probleminin öncelik kurallarına ve öncelik kuralı tabanlı GA modeline göre elde edilmiş sonuçlarının karşılaştırması yer almaktadır. Bu tabloda tüm iş istasyonlarının toplam çalışma zamanı, toplam çalışma oranı, toplam sipariş sayısı ve ürünün ortalama dolaşım süresi gibi veriler yer almaktadır. Tablodaki değerlendirme sonuçlarına göre GA_09 modelinin uygulanması ile kapasite kullanım başarımı %6,58, dolaşım süresi başarımı %74,94, dolaşım süresi sapma başarımı %79,70, süreçte bekleyen işler başarımı %12,65 ve toplam lojistik başarım %43,57 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.1: Tüm Öncelik Kuralları ile GA Optimizasyonu (GA_09) Modeli

İş İstasyonu	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
M1_PLAZMA	60548	5,84%
M2_ABKANT	42680	4,12%
M3_GİYOTİN	14722	1,42%
M4_PRES	35686	3,44%
M5_CATIM	283984	9,13%
M6_TESTERE	118140	11,39%
M7_TEST	188610	18,19%
M8_KAYNAK	1015960	24,50%
M9_ELEKTRİK	71878	6,93%
M10_KAPORTA	31484	3,04%
M11_BOYAMA	51582	4,98%
M12_FIRIN	35406	3,41%
M13_STOKER	52976	5,11%
M14_KAPAK	17822	1,72%
M15_SONMONTAJ	53150	5,13%
M16_SONKONTROL	17219	1,66%
M17_AMBALAJ	19674	1,90%
ORTALAMA		6,58%

Personel Tipleri	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
P1_PLAZMA	60548	21,02%
P2_ABKANT	42680	14,82%
P3_GİYOTİN	14722	5,11%
P4_PRES	35686	12,39%
P5_CATIM	283984	32,87%
P6_TESTERE	118140	41,02%
P7_TEST	188610	65,49%
P8_KAYNAK	1015960	88,19%
P9_ELEKTRİK	71878	24,96%
P10_KAPORTA	31484	10,93%
P11_BOYAMA	51582	17,91%
P12_FIRIN	35406	12,29%
P13_STOKER	52976	18,39%
P14_KAPAK	17822	6,19%
P15_SONMONTAJ	53150	18,45%
P16_SONKONTROL	17219	5,98%
P17_AMBALAJ	19674	6,83%
ORTALAMA		23,70%

Ürün Adı	Toplam Sipariş Sayısı	Ort. Dolanım Süresi
URUN_KK045KY	14	577015,14
URUN_KK080KY	14	639543,64
URUN_KK160KS	11	548764,82
URUN_MK250KY	5	601707,60
URUN_MK250SY	6	416266,50
URUN_BY060DP	4	548864,25
	Dolanım Süresi Başarımı	74,94%
	Sapma Faktörü	1,526
	Dolanım Süresi Sapma Başarımı	79,70%

Teslim Kabiliyeti Başarımı	Değer
Teslim Edilebilen Sipariş Sayısı	54
Toplam Sipariş Sayısı	60
Teslim Kabiliyeti Başarımı	90,00%

Değerlendirme	Başarım
Kapasite Kullanım Başarımı	6,58%
Dolanım Süresi Başarımı	74,94%
Dolanım Süresi Sapma Başarımı	79,70%
Süreçte Bekleyen İşler Başarımı	12,65%
Toplam Lojistik Başarım	43,47%

Minimum İş Stoğu	Beklenen İş Stoğu - WIP	Başarı Derecesi
2111521	14581847	12,65%

Değerlendirme Periyodu	0 - 1036800
------------------------	-------------

(Aydemir, 2009: 103)

Tablo 4.2' de ikinci uygulamada incelenen problem için gerçek boyutlu bir problemin GA uygulanması ve GAMS/CPLEX sonucu elde edilen veriler görülmektedir. Tablodaki veriler incelendiğinde GAMS/CPLEX modelinin gerçek boyutlu çizelgeleme problemleri için çözüm bulamadığı ancak GA modelinin ilk denemede 178 dk, ikinci denemede ise 170 dk lık sürelik çözüm değerlerine ulaştığı görülmektedir.

Tablo 4.2: GA ile Elde Edilen Gerçek Boyutlu Problem Çözümleri

Gerçek Boyutlu Problem (17 Hat-44 Mamul-42Vard.)	GAMS/CPLEX	GA _{ME}		
	Çözemedi		z	Süre
		1.Deneme	71549	178 dk
		2.Deneme	67761	170 dk

(Koçanlı ve diğerleri, 2012: 18)

Tablo 4.3’ de incelenen son uygulamanın popülasyondaki farklı birey sayılarında elde edilen minimum uygunluk değerlerinin karşılaştırılması yer almaktadır. Bu verilerden iterasyon ve popülasyondaki birey sayısının GA’yı etkileyen parametrelerden olduğu görülmektedir. Birey sayısı 20 ve iterasyon 100 iken 0,011159362 , birey sayısı 100 ve iterasyon sayısı 100 iken 0,008184973 uygunluk değerlerine ulaşılmaktadır.

Tablo 4.3: Farklı Kombinasyonlarda Elde Edilen Minimum Uygunluk Değerleri

Populasyondaki Birey Sayısı	İterasyon Sayısı	Uygunluk Değeri
20	100	0.011159362
	500	0.00269118
	1000	0.005597571
	1500	0.002129779
	2000	0.002851822
	2500	0.001586545
50	100	0.013398517
	500	0.003203717
	1000	0.003921585
	1500	0.002881975
	2000	0.003847822
	2500	0.003291163
100	100	0.008184973
	500	0.003675241
	1000	0.006050488
	1500	0.002941334
	2000	0.003021929
	2500	0.004426405

(Gümüşoğlu ve diğerleri, 2013: 277)

Bu tez çalışmasında, diğer çalışmaların karşılaştırmalı incelenmesi ile GA sezgisel yönteminin firmalar için ne kadar önemli olduğu ve en iyi çözüme kavuşturduğu görülmüştür. Çalışma farklı sektördeki firmaların ortak sorunlarının aynı çözüm yöntemi ile elde edilebildiğini göstermiştir. Popülasyon büyüklüğünün, özellikle siparişe dayalı ürün gruplarının oluşturulması için GA çalışmasında, uygunluk değerlerinin farklı popülasyon büyüklüklerinde ne kadar farklı sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir.

Çizelgeleme problemlerinde çaprazlama ve mutasyon operatörlerinden sonra tamir (işlev) operatörünün muhakkak kullanılması gereklidir. Ancak incelenen üç çalışmanın da hiçbirinde tamir operatörüne yer verilmemiştir. Bu çalışmalarda tamir operatörü kullanılarak sonuçlar değerlendirilmiş olsaydı GA için daha iyi çözüm sonuçları elde edilebilebilirdi.

Her üç çalışmada da görülen şu ki, makina sayısı arttıkça çizelgeleme için geliştirilen matematiksel modeller ile istenilen en iyi sonuç elde edilmezken, sezgisel yöntemler ile en iyi sonuca yaklaşılabilmektedir. Özellikle genetik algoritmalar ile atölye çizelgeleme problemlerinde en iyi sonuç elde edilmektedir. Çalışmalarda klasik yöntem ile sezgisel yöntemlerin karşılaştırmaları incelenmişti. Bu çalışmalarda aynı problem için sezgisel yöntemlerin karşılaştırmaları ve buna bağlı hangi çözüm yönteminin en iyi sonuca verdiği gözlemlenebilirdi.

Bu çalışma sonucu elde edilen sonuçlara dayalı olarak, bu konuda inceleme ve araştırma yapacaklara aşağıdaki konular yeni bir araştırma konusu olarak önerilebilir.

- İncelenen çalışmalarda tek noktalı-ve çok noktalı çaprazlama, ters ve keyfi mutasyon, rulet tekeri ve ikili turnuva seçim yöntemleri gibi GA operatörleri kullanılmıştı. Ürün grupları ve öncelik kuralına dayalı GA modelleri için farklı operatörler ve varsayımlar altında en iyileme işlemleri yapılabilir.
- İncelenen çalışmaların tamamında sezgisel yöntem olarak GA kullanılmıştır. Bu çalışmalar diğer sezgisel yöntemlerden tavla benzetimi, tabu araştırması vb. yöntemler kullanılarak çözüme ulaşılabilir. Elde edilen sonuçların GA ile elde edilen sonuçlar ile kıyaslanabileceği düşünülmektedir.
- Çalışmalarda kullanılmayan tamir operatörünün işlevinin önem derecesini göstermek adına, bundan sonra yapılacak GA çalışmalarında bu operatör

kullanılmadığında elde edilen ve kullanıldığında elde edilen sonuçlar kıyaslanarak önemi gösterilebileceği öngörülmektedir.

- Popülasyon büyüklüğüne göre uygunluk değeri karşılaştırma adımı, öncelik kuralı tabanlı GA çalışması için de test edilip sonuçlar birbiri ile kıyaslanabilir.
- Ürün gruplarına göre yapılan çalışma özellikle siparişe dayalı tekstil sektörü içinde uyarlanarak, GA' nın bu sektördeki etkisi gözlemlenebilir.
- Bu çalışmalarda kazan imalatı yapan bir üretim sistemi, ETİ şirketler grubuna ait bir üretim sistemi ve metal sektöründe sac şekillendirmesi üzerine çalışan bir üretim sistemi incelenmiştir. incelenen problemlerde kullanılan varsayımlar ve parametreler farklı sektör gruplarının problemleri içinde uygulanabilir.
- GA işlevi paralel makinalı atölye sistemlerinde test edilebilir ve klasik yöntemler ile kıyaslaması yapılabilir.
- Daha sonraki yapılacak çalışmalarda her daim dinamik, sürekli üretim, müşteri memnuniyeti ve düşük maliyetlerin çok önemli unsurlar olduğu Tekstil sektöründe GA uygulaması ile en iyileme yapılarak diğer modellerle karşılaştırmaları yapılabilir.

Genel bir sonuç olarak, incelenen çalışmalar gösteriyor ki problem büyüklüğü ne olursa olsun GA ile her türlü problem çözümü gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle çözümü zor olan gerçeğe yakın problemlerde en iyi sonuca kısa bir sürede ulaşılabilir.

Bu çalışma farklı sektörlerde, farklı varsayım ve yaklaşımlar altında atölye çizelgeleme problemlerinin GA yöntemi ile çözülebildiğini gösteren ve bu çözümleri karşılaştıran bir çalışma olmuştur.

KAYNAKÇA

Aydemir, E. (2009) *Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Öncelik Kuralı Tabanlı Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Simülasyon Destekli Optimizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Biegel, J.E., Davem, J.J. (1990) Genetic Algorithms and Job Shop Scheduling. *Computers and Industrial Engineering*, 19(1-4): 81-91.

Biroğul, S. (2005) *Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme*. (Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü.

Biroğul, S., Güvenç, U., Genetik Algoritma ile Çözümü Gerçekleştirilen Atölye Çizelgeleme Probleminde Ürün Sayısının Etkisi. Akademik Bilişim 2007, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 31 Ocak- 2 Şubat, 2007.

Bodenhofer, U., (2003) *Genetic Algorithms: Theory and Applications*. Romanys: Fuzzy Logic Laboratorium Linz-Hagenberg.

Covary, G., Dupas, R., Goncalves, G. (2005) A Genetic Approach to Solving the Problem of Cyclic Job Shop Scheduling with Linear Constraints. *European Journal of Operational Research*, 161 (2005): 73–85.

Chan, Felix T.S., Chung S.H. ve Wadhwa S. (2005) A Hybrid Genetic Algorithm For Production and Distribution. *The International Journal of Management Science*. Omega (33): 245-555.

Chang, P.C., Hsieh, J.-C., Liu, C.-H., (2006) A Case-Injected Genetic Algorithm For Single Machine Scheduling Problems with Release Time. *Int. J. of Production Economics*. 103(2):551–564.

Cheng, R., Gen, M., Tsujimura, Y. (1999) A Tutorial Survey of Job-Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithms, Part II: Hybrid Genetic Search Strategies. *Computer & Industrial Engineering*. 36(1999): 343-364.

Croce, F. D., Tadei, R., Volta, G. (1995) A Genetic Algorithm For The Job Shop Scheduling. *Computers & Operations Research* . 22(1): 15-24.

Çayiroğlu, İ. www.ibrahimcayiroglu.com .
<http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/IleriAlgoritmaAnalizi/IleriAlgoritmaAnalizi-7.Hafta-GenetikAlgoritma.pdf> (18.08.2015).

Çörekçioğlu, M. (2006) *Dokuma Tezgahlarında Çizelgeleme Yaklaşımının İş Süreçleri Modelleme Notasyonu (Business Process Modeling Notation- BPMN) ile Gösterimi*. (Yüksek Lisans Tezi). Denizli: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Damodaran, P., Manjeshwar, P. K., Srihari, K., (2006) Minimizing Makespan on A Batch-Processing Machine with Non-Identical Job Sizes Using Genetic Algorithms. *Int. J. of Production Economics*. 103(2): 882–891.

Dorndorf, U., Pesch, E., (1995) Evolution Based Learning in A Job Shop Scheduling Environment. *Computers and Operations Research*. 22(1): 25-40.

Ekinci, V. “Üretim Planlama ve Çizelgeleme”,
<http://documents.tips/documents/uretim-planlama-ve-cizelgeleme.html>
(25.11.2014).

Emel, G. G., Taşkın, Ç. (2002) Genetik Algoritmalar ve Kullanım Alanları. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakülte Dergisi*. XXI(1): 129-152.

Engin, O., Fırlalı, A. (2002) Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yardımı ile Çözümünde Uygun Çaprazlama Operatörünün Belirlenmesi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*. 2002(6): 27-35.

Engin, O. (2001) *Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritmalar ile Çözüm Performansının Artırılmasında Parametre Optimizasyonu* (Doktora Tezi). İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Erdal, M. (2007) *Kısıtlı Kaynak Koşullarında Yapı Projelerinin Genetik Algoritma ile Programlanması*. (Doktora Tezi Yapı Eğitimi). Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Erdiller, A., Orbak A.Y. “ Atölye Tipi Çizelgeleme ve Operasyon Sıralama Problemine Genetik Algoritma Tabanlı Bir Yaklaşım”, Proceedings of the 3rd National Manufacturing Research Symposium, ÜAS’2003, Nisan 2003, pp. 133-140.

Eren, T., Güner, E. (2002) Tek ve Paralel Makinalı Problemlerde Çok Ölçütlü Çizelgeleme Problemleri İçin Bir Literatür Taraması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 17(4): 37-69.

Fung R.Y.K., Tang J. ve Wang D. (2001) Extension of A Hybrid Genetic Algorithm For Nonlinear Programming Problems With Equality And Inequality Constraints. *Computer & Operations Research*. 29(3): 261-274.

Gao, J., Gen, M., Sun, L., Zhao, X., (2007) A Hybrid of Genetic Algorithm and Bottleneck Shifting for Multiobjective Flexible Job Shop Scheduling Problems. *Computers & Industrial Engineering*. 53(1): 149-162.

Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Newyork: Adisson-Wesley.

Gümüşoğlu, Ş., Erboy, N., Özdağoğlu, G. (2013) Siparişe Dayalı Üretim İin Üretim Gruplarının Oluşturulmasında Genetik Algoritma Tabanlı Bir Yaklaşım. *Yönetim ve Ekonomi*. 20(2): 260-284.

Hasan, S. K., Sarker, R., Essam, D., Cornforth, D. (2009) A Genetic Algorithm With Priority Rules for Solving Job-Shop Scheduling Problems. In *Natural Intelligence for Scheduling, Planning and Packing Problems* . Springer Berlin Heidelberg, pp. 55-88.

Holland, J. (1975). *Adaptaion in Natural and Artifical Systems*. MIT University: Ann Arbor.

Kaschel, J., Teich, T., Köbernik, G., Meier B. “Algorithms For The Job Shop Scheduling Problem- A Comparison of Different Methods”, European Symposium, 1999.

Koçanlı, M. M., Aydınbeyli, Y. E., Sara, T. (2012) Eti şirketler Grubu’nda Üretim izelgeleme Problemi İin Bir Hedef Programlama Modeli ve Genetik Algoritma. *Endüstri Mühendisliğı Dergisi*. 23(3): 4-21.

Malve, S., Uzsoy, R., (2007) A Genetic Algorithm For Minimizing Maximum Lateness on Parallel Identical Batch Processing Machines with Dynamic Job Arrivals and Incompatible Job Families. *Computers & Operation Research*. 34(10): 3016-3028.

Manikas, A., Chang, Y. L. (2009) Multi-Criteria Sequence-Dependent Job Shop Scheduling Using Genetic Algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 56(1): 179-185.

Obitko, M. <http://www.obitko.com/> . <http://www.obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/introduction.php> (18.08.2015).

Omar, M., Baharum, A., Hasan, Y.A. “A Job-Shop Scheduling Problem (JSSP) Using Genetic Algorithm (GA)”, Proceeding of the 2nd IMT-GT Regional Conference on Mathematics, Statistics and Applications Universiti Sains Malaysia, Penang, June 13-15, 2006.

Paksoy, S. (2007) *Genetik Algoritma ile Proje Çizelgeleme* . (Doktora Tezi) . Adana: Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Pinedo, M., (1995) *Scheduling : Theory, Algorithms and Systems*. New Jersey: Printice-Hall.

Qingsong, L., Liming, D., Dan, Q. (2009) A Genetic for Job Shop Scheduling Problem with Minimal Make-Span. In Logistics@ sThe Emerging Frontiers of Transportation and Development in China , pp. 3443-3448. ASCE.

Siyah, B. (10 Mart 2012). www.bulentsiyah.com .
<http://www.bulentsiyah.com/genetik-algoritma-parametreleri> (18.08.2015).

Şevkli, M., Yenisey, M. M. (2006) Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri İçin Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemi. *İtü Dergisi/d Mühendislik* . 5(2): 58-68.

Tay, J. C., Ho, N. B. (2008) Evolving Dispatching Rules Using Genetic Programming for Solving Multi-Objective Flexible Job-Shop Problems. *Computers & Industrial Engineering*. 54(3): 453-473.

Vilcot, G., Billaut, J. C. (2008) A Tabu Search and A Genetic Algorithm for Solving A Bicriteria General Job Shop Scheduling Problem. *European Journal of Operational Research*. 190(2): 398-411.

Watanabe, M., Ida, K., Gen, M., (2005) A Genetic Algorithm with Modified Crossover Operator and Search Area Adaptation for The Job-Shop Scheduling Problem. *Computers & Industrial Engineering* . 48(4): 743–752.

Yeo, M .F. , Agyei E.O. (1998) Optimising Engineering Problems Using Genetik Algorithms. *Engineering Computations* .15(2): 268-280.

Ying, W., Bin, L. “Job-Shop Scheduling Using Genetic Algorithm”, Systems, Man, and Cybernetics,IEEE International Conference , Beijing, October 14-17, 1996.