

Çağrı SEL

Yüksek Lisans Tezi

KÜ 2010

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bir Servisli Paralel Makinelerde Çizelgeleme Probleminin
Genetik Algoritma İle Çözümü

Çağrı SEL

AĞUSTOS 2010

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bir Servisli Paralel Makinelerde Çizelgeleme Probleminin
Genetik Algoritma İle Çözümü

Çağrı SEL

AĞUSTOS 2010

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Çağrı SEL tarafından hazırlanan “Bir Servisli Paralel Makinelerde Çizelgeleme Probleminin Genetik Algoritma İle Çözümü” adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. A. Kürşad TÜRKER

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. A. Kürşad TÜRKER

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Süleyman ERSÖZ _____

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. A. Kürşad TÜRKER _____

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa YÜZÜKIRMIZI _____

/ /

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

BİR SERVİSLİ PARALEL MAKİNELERDE ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜMÜ

SEL, Çağrı

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER

Ağustos 2010, 60 sayfa

Bu çalışmada işlerin hazırlık sürelerinin tek bir servis tarafından sağlandığı ve sıra bağımlı hazırlık sürelerinin mevcut olduğu bir paralel makine çizelgeleme problemine genetik algoritma kullanılarak çözüm getirilmektedir. Problemde tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amaçlanmaktadır. Örnek bir problem kullanılarak çözüm aranmış ve genel çözümler için bir genetik algoritma ortaya koyulmuştur. Algoritma rastgele oluşturulan verilerle test edilmiştir. Hesaplanan sonuçlar genetik algoritmanın etkin bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Paralel Makine, Çizelgeleme, Genetik Algoritma

ABSTRACT

SINGLE SERVER PARALLEL MACHINE SCHEDULING PROBLEM WITH GENETIC ALGORITHM

SEL, Çağrı

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, MSC

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER

AUGUST 2010, 60 pages

This thesis presents a scheduling problem on parallel machines which has sequence-dependent setup times and the setup operations are performed by a single server. The main purpose is to get minimum makespan of schedule. It is experienced with a simple problem then for the general situations, a hybrid genetic algorithm is developed to solve the problem. The algorithm is examined by random data sets. Consequently, the results of experiments introduced that the genetic algorithm is effective.

Key Words: Parallel Machine, Scheduling, Genetic Algorithm

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkânlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. A. Kürşad TÜRKER'e, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocam Sayın Doç. Dr. Burak BİRGÖREN'e, Sayın Yrd. Doç. Dr. Süleyman ERSÖZ'e, Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa YÜZÜKIRMIZI'ya, ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Tamer EREN'e büyük fedakârlıklarla bana destek olan arkadaşım Öğr. Gör. Fatih KESKİNKILIÇ'a, tezimin birçok aşamasında yardım gördüğüm Okutman Ahmet BAŐAL, Arş. Gör. Mehmet PINARBAŐI ve Arş Gör. H. Mehmet ALAGAŐ'a, son olarak bana birçok konuda olduğu gibi, tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	2
2. MATERYAL VE YÖNTEM	7
2.1 Çizelgeleme	7
2.1.1 Tek Makineli Sistemler	9
2.1.2 Paralel Makineli Sistemler	9
2.1.3 Akış Tipi Sistemler	10
2.1.4 Atölye Tipi Sistemler	10
2.1.5 Öncelik Kısıtları	11
2.1.6 Rotalama Kısıtları	11
2.1.7 Malzeme Taşıma Kısıtları	11
2.1.8 Hazırlık Zamanları ve Maliyetleri.....	12
2.1.9 İş Bölünmesi	12
2.1.10 Depolama Alanı ve Bekleme Zamanı Kısıtları	12
2.1.11 Stoğa Üretim ve Sipariş Üretim	13
2.1.12 Takım ve Kaynak Kısıtları	13
2.2 Genetik Algoritmalar	13
2.2.1 Temel Kavramlar	15
2.2.2 Yeniden Üretim İşlemi	17
2.2.3 Başlangıç Yığınının Oluşturulması	17
2.2.4 Uygunluk Değeri	18
2.2.5 Genetik Operatörlerin Uygulanacağı Dizilerin Seçilmesi.....	20
3. BULGULAR	35

3.1	Paralel Makine Problemi	35
3.2	Genetik Algoritma Çözümü	38
4.	TARTIŞMA.....	46
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	48
5.1	Sonuçlar.....	48
5.2	Öneriler.....	49
	KAYNAKLAR	51
	EKLER.....	54
	EK 1. FARKLI PROBLEM BÜYÜKLÜKLERİNDE ALTERNATİF ÇÖZÜM SAYILARI.....	54
	EK 2. İSTATİSTİKSEL BİLGİLER	55
	EK 3. RASTGELE ÜRETİLEN PROBLEM PARAMETRELERİ	56
	EK 4. DENEYSEL SONUÇLAR (10 İŞ 2 MAKİNE).....	57
	EK 5. DENEYSEL SONUÇLAR (20 İŞ 2 MAKİNE).....	58
	EK 6. DENEYSEL SONUÇLAR (30 İŞ 2 MAKİNE).....	59
	EK 7. HATA DAĞILIM GRAFİKLERİ	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Kaynak Özetleri	6
2.1. GA Kodlama Biçimleri	21

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bit Karakter Çaprazlama.....	14
2.2. Bit Karakter Çevirme Mutasyonu	15
2.3. Kromozom Yapısı	16
2.4. Popülasyon Yapısı.....	17
2.5. Rulet Tekerleği Seçme Operatörü.....	22
2.6. Tek Noktalı Çaprazlama	24
2.7. Çok Noktalı Çaprazlama	25
2.8. Pozisyona Dayalı Çaprazlama.....	26
2.9. Sıraya Dayalı Çaprazlama.....	26
2.10 . Kısmi Planlı Çaprazlama 1. Adım	27
2.11 . Kısmi Planlı Çaprazlamada 2. Adım.....	27
2.12. Değişim Operatörünün Uygulanması.....	28
2.13 .Komşu İki Genin Değişimi	28
2.14 . Keyfi İki Genin Değişimi	29
2.15 . Keyfi Üç Genin Değişimi.....	29
2.16 . Kaydırmalı Gen Değişimi	29
2.17 . Genetik İşlem Sonrası Dizi Durumu	30
2.18 . GA'nın Akış Diyagramı (Elmas, 2007).....	34
3.1 . Tek Servis İki Paralel Makine Çizelgeleme Problemi	37

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

GA	Genetik Algoritma
PD, S	Tek servis ile paralel belirli makineler
PD2, S	Tek servis ile belirli iki paralel makineler
P, S	Tek servis ile paralel makineler
P2, S	Tek servis ile iki paralel makineler
STsd	Sıra bağımlı hazırlık süreleri
STsi	Sıra bağımsız hazırlık süreleri
Prec	Öncelik kısıtlı işler
Cmax	Maksimum tamamlanma zamanı
PLmax	Maksimum gecikme zamanı
PCj	Toplam tamamlanma zamanı
WjCj	Toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı
P	Özdeş makineler
Q	Benzer makineler
R	Tamamen farklı makineler
p	İşlem Süresi

1. GİRİŞ

Çizelgeleme araştırmalarında ortaya koyulan problemlerin birçoğunda hazırlık süreleri aksaklık ortaya çıkmadan rahatlıkla karşılanabilmektedir. Fakat ele alınan problemlerdeki bu durumun aksine bazı durumlarda servis operatörü ihtiyaç olduğunda bir makineden diğeri bir makineye bir çizelge yardımıyla atanmalıdır. Böylece üretim çizelgeleme özellikle aynı anda farklı makinelerde hazırlık süreleri mevcut olduğu durumlarda daha zor bir görev olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu problem hazırlık sürelerinin mevcut olduğu, bu hazırlık sürelerinin karşılanması için gerekli servis personelinin kısıt olarak karşımıza çıktığı paralel makinelerde sıkça ortaya çıkmaktadır. Uygulama olarak bir döküm işletmesinde birbirinden farklı tiplerde birçok sipariş ve bu siparişlerin gerçekleştirilmesi için birbirinden farklı işlemler mevcuttur. Döküm hatları her bir ürün değişikliğinde temizlenmeli, kalıplar değiştirilmeli ve aynı makinede gerçekleştirilecek yeni iş parçası üretimi için diğeri benzer ayarlamaların yapılması gerekmektedir. Bu hazırlık işlemleri bir grup servis personeli tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu takım hazırlık süresini karşılayacak tek bir servis grubu olarak ele alınmıştır. Servis grubu tüm döküm hatlarıyla ilgilenmekte ve aynı anda yalnızca bir makine üzerinde çalışabilmektedirler. Makineler tarafından aynı anda servis isteğinin mevcut olması durumunda makinelerden biri boş beklemektedir. Bu durumda yeni bir sipariş veya iş parçası için makinenin atıl süresi yalnızca hazırlık süresinden değil, servis beklememesi nedeniyle de oluşmaktadır. Ayrıca hazırlık sürelerinin bir iş parçasından diğeri geçerken geçiş sırasına göre değişmesi problemi daha da karmaşık hale getirmektedir. Üretim sürelerinin üzerinde işlem sürelerinin büyük oranda etkisi olduğu gibi hazırlık sürelerinin de önemli bir katkısı mevcuttur. Bu nedenle çizelgeleme problemine çözüm getirilirken hazırlık süreleri ihmal edilememektedir. Hem iş sırası hem de hazırlık işlemlerinin sırası karar verilmesi gereken önemli anahtar öğeler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapılan literatür araştırmasından anlaşılacağı üzere benzer problemlere bazı bakış açıları geliştirilmiş ancak sıra bağımlı hazırlık sürelerinin mevcut olduğu, bu hazırlık

sürelerini karşılamak için yalnız bir servis ekibinin bulunduğu, işlerin sıra bağımlı olmadığı ve iş bölünmesine izin verilmeyen karmaşık paralel makine problemi üzerinde bir çözüm önerisi sunulmamıştır. Yapılan literatür araştırması bu bölümde detaylarıyla sunulmuştur.

Tezin ikinci kısmında kullanılan kavramlar, materyaller ve yöntemler hakkında kısaca bilgi sunulmuştur. Üçüncü bölümde yapılan çalışmalar verilmiş, dördüncü bölümde sonuçlar tartışılmış, beşinci bölümde sonuç ve öneriler sunulmuştur.

1.1 Literatür Araştırması

Konu ile ilgili yapılan çalışmalardan ilki Guinet (1993) tarafından, sıra bağımlı işlerin mevcut olduğu durumlarda belirli paralel makinelerde çizelgeleme üzerine gerçekleştirilen çalışmadır. Ele alınan çizelgeleme probleminde herhangi bir iş makinelerde kesinti olmaksızın gerçekleştirilmelidir ve makine geçiş zamanları her bir makinedeki iş süreciyle ilişkilidir. Bu durumda geçiş süreleri iş sırasına bağlıdır. Çalışmanın amacı işlerin maksimum veya ortalama tamamlanma zamanını en küçükmektir. Problemin çözümü için kaynakların çoklu kullanımında Macar algoritmasının genişletilmesi ile bir atama algoritması ortaya koyulmuştur. Çalışma çizelgeleme problemini modellemekte, çözüm araçları sunmakta, geliştirilen sezgiselin sonuçlarını göstermektedir.

Sivrikaya ve Ulusoy (1999), erken tamamlanma ve gecikme cezalarının mevcut olduğu durumda paralel makine çizelgeleme problemi üzerine çalışmıştır, sıra bağımlı hazırlık süreleri ile bağımsız işler tüm işlerin ağırlıklı erken tamamlanma ve gecikme değerlerinin en küçükleme için paralel makinelerde çizelgelenmiş olarak verilmiştir. İşlerin teslim zamanı farklıdır ve bu problemi karmaşık hale getirmektedir. Ek olarak her bir işin kendi varış zamanları söz konusudur, bu problemi gerçekçi hale getirmekte fakat daha karmaşık hale getirmektedir. Erken tamamlanma ve gecikme ağırlıkları tüm işler için ortak olması ile birlikte genel olarak farklıdır. Mevcut problemin çözümü için iki genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemlerden ilki çok bileşenli tümleşik en iyileme problemlerini çözmek için geliştirilmiş bir çaprazlama operatörü ile gerçekleştirilirken diğerinde

çaprazlama operatörü kullanılmamıştır. Rassal olarak ortaya koyulan 960 problem üzerinde gerçekleştirilen deneyler neticesinde problemin çözümü için genetik algoritmanın etkili bir algoritma olduğu tespit edilmiştir. Komşu genlerin değişiminin kullanılması küçük ve kolay problemlerde nispeten daha iyi sonuç verirken büyük ölçekli, daha zor problemlerde çaprazlama operatörü kullanılan genetik algoritma çok daha iyi sonuç verebilmektedir. Büyük ölçekli ve karmaşık problemlerde çaprazlama operatörü ile genetik algoritmanın birleştirilmesi uygulamaları daha çekici hale getirmektedir.

Kurz ve Askin (2001), çoğu üretim çevrelerinde kesin kapasiteyi belirlemek için çoklu işlem istasyonları paralel olarak kullanılmakta olduğunu, ayrıca makine hazırlık aktivitelerinin ürünlerin değişimi için gerekli olduğunu ifade etmektedir. Bu çalışmalarında sıra bağımlı, sıfır olmayan muhtemel hazırlık sürelerinin mevcut olduğu paralel makine çizelgeleme probleminde tamamlama zamanını en küçükleme çalışmışlardır. Model tamsayılı programlama olarak ifade formüle edilmiştir. Sezgiseller, genetik algoritmalar (GA) ve gezgin satıcı problemi geliştirilmiş ve deneysel olarak kıyaslanmıştır. Problem verilerini oluşturmak için paralel makine sayısını, makine başına düşen ortalama parça sayısını, hazırlık zamanı dağılım parametrelerini, işlem zamanı dağılım parametrelerini içeren yedi faktör belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu tip problemlere en iyi çözümü elde etmek için bir sezgisel bulunmuştur.

Wilson vd. (2004), etkili bir çizelgeleme yardımıyla döşeme mobilya döşemelerinin kesme ve dikme operasyonları için üretim süresini düşürülmesi ve tamamlanma zamanının minimizasyonu üzerine çalışmıştır. İşler bu iki akış hattında her bir operasyonun farklı karakteristiklerine göre gruplandırılmıştır. Birimci aşamadan ikinci aşamaya kadar tek tek işlem gören işler ve her bir aşamada özdeş makineler mevcuttur. İkinci aşamada grup başına çoklu hazırlık işleminin bulunduğu bu durum için bir sezgisel geliştirilmiştir, her bir aşamada grup başına tek bir hazırlık işlemi ile kıyaslanmış ve bir genetik algoritma ile birleştirilmiştir. Sonuçlar, tamamlanma zamanı kayda değer şekilde gelişirken sezgiselin en küçük hazırlık işlemlerini çizelgeye etkili bir şekilde eklediğini göstermektedir.

Farklı hazırlık zamanları veya maliyetlerle ilgili ilk kapsamlı literatür taraması çalışması 1960'ın ortalarından bugüne literatürü gözden geçiren A. Allahverdi vd. tarafından 1999 da gerçekleştirilmiştir. (Allahverdi vd., 1999) . Bu literatür taraması çalışmasının ortaya çıkışından bu güne yılda ortalama 40 dan fazla literatüre ek ile hazırlık süreleri mevcut çizelgeleme problemlerine artan bir ilgi söz konusudur. Çalışmanın amacı o günden bugüne hazırlık zamanları mevcut olan çizelgeleme çalışmaları üzerine 300 çalışmayı içeren geniş bir literatür taraması sağlamaktır. Kısa zamanda ortaya çıkan birçok çalışmada farklı araştırmacıların birbirlerinden bağımsız olarak aynı problemi işledikleri hatta genetik alditmalar gibi aynı yöntemleri kullandıkları durumlar mevcuttur. Çalışmada kıyaslanması gereken bağımsız olarak geliştirilen teknikler kıyaslanmıştır. Çizelgeleme problemleri sıra bağımlı ve sıra bağımsız işler olarak gruplandırılmıştır. Diğer kategoriler ise tek makine, paralel makineler, flow shop, no-wait flow shop, flexible flow shop, job shop, open shop gibidir (Allahverdi vd., 2006).

Abdekhodae vd. (2006), iki operasyonlu iş bölünmesine izin verilmeyen işlerin mevcut oluşu durumunda iki özdeş yarı otomatik makinenin çizelgenmesi üzerine çalışmıştır. Probleme hazırlık sürelerini veya ilk işi karşılamak için yalnızca bir servis takımı mevcuttur. İkinci iş ise otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Genel amaç tamamlanma zamanının minimizasyonudur ve ciddi anlamda NP-hard bir problemdir. İlk olarak eşit hazırlık süreleri, işlem zamanları gibi özel durumlar için etkili ve verimli çözümler geliştirilmiştir. Bu ilk çalışmalar genel problemle başa çıkabilmek için gerçekleştirilmiştir ve çeşitli yöntemler denenmiştir. İşler birleştirilerek problem sıradan bir probleme indirgenebilmekte ya da mümkün olan sezgiseller uygulanabilmektedir. Alternatif olarak ise genetik algoritmalar gibi metasezgisel teknikler, yaygın olarak kullanan Gilmore-Gomory algoritması genel problemin çözümü için kullanılabilir. Çalışmada bu gibi çeşitli metodların performansı raporlanmaktadır.

Huang vd. (2009), hazırlık sürelerinin sıra bağımlı olduğu ve bu hazırlık sürelerinin yalnız bir servis tarafından sağlandığı durumda paralel makine çizelgeleme problemi üzerinde bir genetik algoritma çözümü ortaya koymaktadır. Amaç sistemin tamamlanma zamanını en küçükleme. Problem tamsayı programlama modeli ile

ifade edilmiş ve alt sınırlar oluşturulmuştur. Problemin özel bir durumu sunulmuş ve polinomal zamanda çözülmüştür. Genel durumlarda problemi çözmek için hibrit bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Algoritma hem rastgele üretilen veri setleri hem de kâğıt endüstrisinden elde edilen gerçek veri setleri ile test edilmiştir. Hesaplanan sonuçlar algoritmanın her iki veri tipi için de etkili ve verimli olduğunu göstermektedir.

Yukarıdaki incelenen çalışmaların daha açık ifade edilebilmesi açısından bir çizelge oluşturulmuştur. Çizelge 1.1’de paralel makinelerde genetik algoritmalar dahil olmak üzere ortaya koyulan çözümlere yönelik çalışmaların mevcut olduğu makaleler değerlendirilmiş ve tarih sırasına göre sunulmuştur.

Çizelge 1.1. Kaynak Özetleri

Yılı	Başlığı	Yazarları	Problem
1993	Scheduling sequence dependent jobs on identical parallel machines to minimize completion time criteria	A. Guinet	$PD ST_{sd} C_{max}$
1999	Parallel machine scheduling with earliness and tardiness penalties	F. Sivrikaya-Serifoglu G.Ulusoy	$WE \sum E_j + WT \sum T_j$ (iki benzer paralel makine, r_j)
1999	A review of scheduling research involving setup considerations	A. Allahverdi J.N.D. Gupta T. Aldowaisan	Literatür Taraması
2001	Heuristic scheduling of parallel machines with sequence-dependent set-up times	M. E. Kurz, R. G. Askin	$P r_j, S_{ij} C_{max}$
2004	Scheduling non-similar groups on a flow line: multiple group setups	A. D. Wilson R. E. King T. J. Hodgson	$P ST_{s_i, r_j} C_{max}$
2006	A survey of scheduling problems with setup times or costs	A. Allahverdi C. T. Ng T. C. E. Cheng M. Y. Kovalyov	Literatür Taraması
2006	Scheduling two parallel machines with a single server: the general case	A. H. Abdekhodae, A.Wirth H. Gan	$P2, S p_i, S_i C_{max}$
2009	Parallel dedicated machine scheduling problem with sequence-dependent setups and a single server	S. Huang, L. Chai, X. Zhang	$PD, S ST_{sd} C_{max}$

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Çizelgeleme

Çizelgeleme imalat ve hizmet sektöründe önemli bir role sahip olan karar verme sürecidir, kısıtlı kaynakların uygun görevlere tahsis edilmesi faaliyetidir. Çizelgeleme problemlerinin en önemli elemanları kaynaklar, işler ve amaçlardan oluşur. Çizelgeleme çalışmalarında ortak amaç, mevcut kapasiteyi yüksek seviyede kullanmak, talepleri hızlı bir şekilde karşılamak ve işleri zamanında teslim etmek olarak ifade edilebilir. (Eren, 2004)

Çizelgeleme teorisi ilk olarak süreç çizelgesiyle ilişkili bir matematiksel model olarak karşımıza çıkmaktadır. Çözüm teknikleri ve pratik bulgulara yön veren faydalı modellerin gelişmesi teori ve pratiği buluşturmaktadır. Teorik bakış açısından değerlendirildiğinde problem yapılarına matematiksel olarak yaklaşılmaktadır. Özellikle bu sayısal yöntemler kaynakların hedeflere ve amaç fonksiyonuna göre ve görevlerin tarifi ile başlamaktadır.

Amaç fonksiyonu çizelgeleme kararlarına bağlı olan tüm maliyetleri içermektedir. Fakat pratikte bu gibi maliyetlerin ölçülmesi veya tamamıyla belirlenmesi çoğunlukla zordur. Çizelgeleme ile ilgili maliyetlerin ortadan kaldırılması zordur ve sıklıkla sabit olarak değerlendirilir. Bununla birlikte en büyük operasyon maliyetleri planlama fonksiyonu tarafından belirlenmektedir. Ancak çizelgeleme yaygın olarak çevrim zamanı, zaman, çıktı oranı olmak üzere üç tip hedef mevcuttur. Çevrim zamanı işlerin tamamlanması için gereken zamanı belirtmektedir. Zaman işlerin tamamlanma süresinin verilen teslim zamanına uygunluğunu ifade etmektedir. Çıktı oranı ise belirli bir zaman periyodunda tamamlanan iş miktarını ortaya koymaktadır. Bunlardan çevrim zamanı ve zaman tüm görevlerin ve çizelgelemenin performansının değerlendirilebilmesi açısından detaylı inceleme gerektirmektedir. Çıktı oranı ise bunların tersine çizelgelemenin tamamına uygulanabilecek bir ölçümdür.

Çizelgeleme modellerini işlerin yapısına ve kaynak çeşitliliğine göre sınıflandırmak mümkündür. Örneğin bir model bir veya birkaç makine içerebilmektedir. Tek makine içerirse işler tek aşamalıdır fakat çoklu makine mevcutsa genellikle işler çok aşamalı olmaktadır. Diğer bir durumda makineler paralel olarak mevcut olabilmektedir. Bazı durumlarda ise, hazırlık operasyonları yalnızca bir servis tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu durumda problem ek bir S harfi ile ifade edilmektedir. Bu tip çizelgeleme problemleri için yapılan gösterimler aşağıdaki şekildedir (Hung vd., 2009).

PD, S : tek servis ile paralel belirli makineler

PD2, S : tek servis ile belirli iki paralel makineler

P, S : tek servis ile paralel makineler

P2, S : tek servis ile iki paralel makineler

STsd : sıra bağımlı hazırlık süreleri

STsi : sıra bağımsız hazırlık süreleri

Prec : öncelik kısıtlı işler

Cmax : maksimum tamamlanma zamanı

PLmax: maksimum gecikme zamanı

PCj : toplam tamamlanma zamanı

WjCj : toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı

Bununla birlikte m makine içeren paralel makinelerin özdeş, benzer ya da tamamen farklı olma durumlarına göre aşağıdaki gösterimler kullanılmaktadır. (Allahverdi vd., 2006)

P : Özdeş makineler

Q : Benzer makineler

R : Tamamen farklı makineler

Çizelgeleme problemlerinde kullanılan makine sayısı açısından sınıflandırma dört şekilde yapılabilmektedir (Baker, 1974; Pinedo, 1995; Aarts ve Lenstra, 1997). Eren (2004), çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılmasını aşağıdaki şekilde gerçekleştirmektedir.

2.1.1 Tek Makineli Sistemler

Üretim sistemlerinin birçoğunda tek makineli yapılar mevcuttur. Bu sistemlerde darboğaz oluşturan herhangi bir makine varsa bu makinedeki iş süresi tüm sistemin performansını belirlemektedir. Benzer durumlarda öncelikli olarak darboğaz oluşturan makine çizelgelenmekten sonra ona bağlı diğer işler çizelgelenmektedir. Yaklaşım olarak mevcut problem tek makineli çizelgeleme problemi gibi değerlendirilmektedir. Tek makineli modeller ayrıca ayrıştırma yaklaşımlarında da önemli olmaktadır. Çünkü karmaşık durumlarda çizelgeleme problemleri daha az sayıda tek makineli çizelgeleme problemlerine larak ifade edilebilmektedir. Tek makineli modeller çeşitli özel kısıtlar ve amaç fonksiyonu için tasarlanmış olduğundan dolayı, en iyi çözümleri belirlemek, sağlamak, uygulamak, daha kolay olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.1.2 Paralel Makineli Sistemler

Paralel makineli sistemler tek makineli sistemlerin geliştirilmiş hali olarak karşımıza çıkmaktadır. Üretim sistemlerinin çoğu birçok aşama veya iş merkezinden oluşmaktadır ve her aşamada paralel birçok makine mevcuttur. Bu iş merkezindeki makinelerin özdeş olduğu durumlarda herhangi bir zamanda gelen bir iş mevcut makinelerin herhangi birinde işlem görebilmektedir. Paralel makineli modellerde tek makineli modellerdeki durumlara benzerlikler söz konusudur. Özel bir iş merkezi darboğaz olduğunda bu iş merkezinde çizelgeleme tüm sistemin performansını belirleyebilmektedir. Bu darboğaz bir paralel makine kütlesi olarak modellenerek analiz edilebilmektedir. Fakat paralel makineler her durumda özdeş olmamaktadır. Bazı makineler diğerlerinden daha eski, daha yavaş veya daha iyi, yüksek kalitede olabilmektedir. Bazı durumlarda ise işlerden bazıları paralel makinenin herhangi biri üzerinde işlem görebilirken diğerleri sadece m makinenin özel bir alt seti üzerinde işlem görebilmektedir.

2.1.3 Akış Tipi Sistemler

İmalat veya montaj ortamında, farklı makineler üzerinde birçok işlem gerçekleştirilmek zorundadır. Eğer tüm işlerin rotası aynı olursa, yani tüm işler aynı makineleri aynı sırayla takip ediyorsa bu ortam akış tipi olarak adlandırılmaktadır. Makinelerin seri üretim şekline uygun olarak kurulmakta ve herhangi bir işin makinedeki operasyonu tamamlandığında bir sonraki istasyona gönderilmektedir. İşlerin makineler arasında yeniden sıralanabilmesinden dolayı işlerin işlem sıraları makineden makineye değişebilmektedir. Bazı durumlarda ise sistemde bir malzeme taşıma sistemi mevcut olabilmektedir. Malzeme taşıma sistemi işleri bir makineden diğer bir makineye aktarıyor ise sistemde aynı iş sırası sürdürülmektedir. Akış tipi çizelgeleme problemlerinde en iyi çizelgelemeyi belirlemek için $(n!)^m$ tane farklı çizelgenin incelenmesi gerekmektedir. Bu çizelgelerin bazılarını elimine ederek en iyi çözüme ulaşmak daha kolay olmaktadır. Bazı akış tipi sistemlerde bir iş özel bir makinede işleme ihtiyaç duymuyor ise bu makineyi atlayabilmekte ve ilerleyerek diğer işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Diğer akış tiplerinde ise bu gibi bir atlamaya izin verilmemektedir. Akış tipi sistemlerin genelleştirilmiş hali ise esnek akış tipi modelleridir. Bu modeller çok sayıda seri aşama ve her aşamada paralel pek çok makineye sahip olabilmektedir. İşler her aşamada paralel makinelerin herhangi biri üzerinde işlem görebilmektedir.

2.1.4 Atölye Tipi Sistemler

Çok işlemlerli atölyelerde işler farklı rotalara sahiptir. Bu durum atölye tipi olarak ifade edilmektedir ve akış tipinin genelleştirilmiş bir halidir. En basit atölye tipi modellerinde bir işin özel bir makine üzerindeki rotasında en fazla bir sefer işlem görebileceği varsayımı vardır. Diğerlerinde ise bir iş bir makineyi sistemdeki rotasına bağlı olarak birçok kez ziyaret edebilmektedir. Bu özellik modelin karmaşıklığı önemli derecede artırmaktadır. Atölye tipi sistemlerin genelleştirilmiş bir hali ise esnek atölye tipleridir. Bu atölyedeki iş merkezleri birden fazla paralel makineye sahip olmaktadır.

2.1.5 Öncelik Kısıtları

Çizelgelemenin yapısı gereği bazı operasyonların zorunlu olarak birbirini izlemesi gerekmektedir. Bu özelliklerin tümü öncelik ilişkileri adı altında toplanır. Bu ilişkiler çizelgeleme problemlerinde bir işin kendinden önce verilen iş seti tamamlandıktan sonra başlayabilmesini ifade etmektedir. Çizelgeleme modelinde bu ilişkilerin kısıt olarak belirlenmesi öncelik kısıtları olarak tanımlanmaktadır.

2.1.6 Rotalama Kısıtları

Rotalama kısıtları sistemdeki bir işin rotasını ifade etmektedir. Bu iş belirli makinelerde, verilen sırada yapılması gereken bir grup işlemden oluşmaktadır. İmalat firmalarının birçoğunda bu tip kısıtlar yaygın olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir iş bir aşamada işlem görmeden, bir sonraki aşamaya geçebilmektedir. Bir işin uğraması gerektiği ve atlayabildiği aşamaların bilgisi rotalama kısıtları tarafından sağlanmaktadır.

2.1.7 Malzeme Taşıma Kısıtları

Modern montaj sistemlerinde genellikle işleri bir istasyondan diğerine taşıyacak malzeme taşıma sistemleri bulunmaktadır. Malzeme taşıma sisteminin otomasyonu iş istasyonlarının otomasyon seviyesine bağlıdır. Eğer iş istasyonları yüksek bir otomasyon seviyesine sahipse işlem zamanları deterministiktir ve değişkenlik göstermemektedir. Bu durumda malzeme taşıma sistemi de otomasyona dayalı bir sistem olmaktadır. Ancak operasyonların manüel olarak gerçekleştirildiği bir iş istasyonunda çevrim zamanı işin gerçekleştirilme zamanına bağlı olduğu için malzeme taşıma sistemleri de müdahale edilebilir olmaktadır. Malzeme taşıma sistemi bir işlemin başlama zamanı ile öncüllerin tamamlanma zamanları arasında bağımlılığı zorunlu kılmaktadır. Ayrıca malzeme taşıma sisteminin bulunması stok alanlarını kısıtlamakta, dolayısıyla yarı mamul stoklarını azaltmaktadır.

2.1.8 Hazırlık Zamanları ve Maliyetleri

Bir ürün çevriminin üretimini gerçekleştirmek için makine, süreç veya tezgâhlar üzerinde yapılan işlemler hazırlık faaliyetleri olarak ifade edilmektedir. Bunlar gerekli ekipmanların tespiti, temini, ayarlanması, takılması gibi faaliyetlerden oluşmaktadır (Allahverdi vd., 1999).

Hazırlık zamanları uzun zamandır ihmal edilmiş veya işlem zamanlarının bir parçası olarak düşünülmüştür. Bazı çizelgeleme problemleri için bu tatmin edici olabilirken diğer birçok durumda ayık hazırlık zamanı göz önüne alınır. Ayrık hazırlık zamanı için iki tip problem mevcuttur. Birinci tipte hazırlık zamanı sadece işlem gerekecek işe bağlıdır ve sıra bağımsız olarak tanımlanır. İkinci tipte ise hazırlık zamanı hem işlem göreceği işe, hem de ondan önce yapılan işe bağlıdır ve sıra bağımlı olarak ifade edilir (Allahverdi vd.,1999; Cheng vd., 2000).

2.1.9 İş Bölünmesi

Bir işin işlenmesi sırasında işin akışı başka bir iş için yarıda kesilebilmektedir. Örneğin o makineye yüksek öncelikli ani bir iş siparişi gelebilir. Makineden alınan iş ertelenmiştir. İş bölünmesinin değişik şekilleri vardır. Bir şekli ertelenen işin o zamana kadar yapılan işlemleri kaybolmaz yani ertelenen iş tekrar işleme alındığında kalınan yerden devam edilir. İş bölünmesinin diğer bir şeklinde ise o zamana kadar yapılan işlem yok olur.

2.1.10 Depolama Alanı ve Bekleme Zamanı Kısıtları

Birçok üretim sisteminde özellikle çok yer kaplayan ürün üreten sistemlerde yarı rün stokları için ayrılan alan sınırlandırılmıştır. Bu kısıt makine önünde işlenmek için beklenen işler için bir üst düzey sınır çizer. Akış tipi sistemlerde yer alan kısıtı tikanıklıklara yol açabilir. İki makine arasındaki depolama alanının sınırlandırıldığını

varsayalım alan dolduğunda ilk makine tamamladığı ürünü alana aktaramaz. Bunun yerine iş makinede kalır bu da o makinenin başka bir işi gerçekleştirmesine engel olur.

2.1.11 Stoğa Üretim ve Sipariş Üretim

Bir imalat tesisi talebin sabit olduğu ve ürünün modasının geçmesi riskinin olmadığı durumlarda stok tutulabilir. Bu stoğa üretim yapma kararı çizelgeleme işlemini etkiler çünkü stoğa yapılan üretimin kesin teslim tarihi olamaz. Talep oranları sabit olduğu durumda üretim parti büyüklüğü hazırlık maliyeti ve stokta tutma maliyeti etkilenir. Stok sıfıra düştüğünde firma stoğu yeniler. Stokastik talep durumunda ise stok miktarı belirli bir değerin altına düştüğünde firma stoğu yeniler. Siparişe göre üretimde ise belirli teslim tarihleri vardır ve üretilecek miktarı müşteri tarafından belirlenir. Birçok üretim tesisi kısmen stoğa, kısmen de siparişe üretime göre çalışır.

2.1.12 Takım ve Kaynak Kısıtları

Makineler genellikle bir işi işleyebilmek için bir ya da daha fazla takıma ihtiyaç duyarlar. Bu takımlar değişik tiplerde olabilir. Paralel makineli sistemlerde takım ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için işler çizelgelenmelidir. Bu makine sadece bir tip takıma ihtiyaç duyuyor ancak onlardan R adet varsa bunlar kaynak olarak adlandırılır. Uygulamadaki bilinen kaynaklardan biri de personeldir. Bir atölyede belirli bir makineyi çalıştırabilmek için az sayıda operatör olabilir. Makinee işlenmesi gereken iş operatör uygun olana kadar beklemelidir. Bu noktada makine çizelgeleme ve personel çizelgeleme ortak zeminde buluşur.

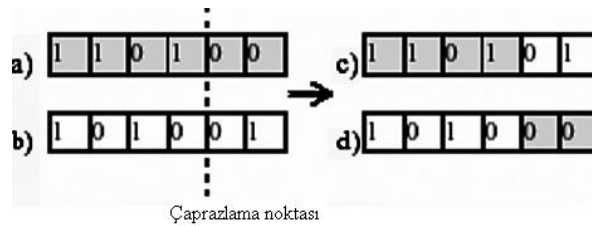
2.2 Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar doğal seleksiyon ve doğal genetikten ortaya çıkarılmış nümerik optimizasyon algoritmalarıdır. Metot genel olarak çok büyük problemlere uygulanabilmektedir. Diğer yöntemlerde olduğu gibi sadece problemlere çözüm

getirmek yerine çoğunlukla günlük pratik problemleri de çözmeye yardımcı olmaktadır. Algoritma kolay ve anlaşılır olmakla beraber gerektiğinde bilgisayar kodunun yazılması basittir. Büyük ölçekli bütünleşik optimizasyon problemleri gibi birçok lokal optimum noktanın mevcut olduğu durumlarda çözüm getirebilmektedir. Kısa sürede optimal çözüme yakınsayabilmektedir. Artan sayıda mühendis ve bilim adamının bu gibi algoritmaları tercih etmelerinin en önemli sebebi de bu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Genetik algoritmalara yönelik ilk çalışmalar Holland (1975), De Kong (1975) ve Goldberg (1989) tarafından gerçekleştirilmiştir. Birçok pratik problemin ve alanın ötesinde genetik algoritmalar görüntü işleme, zaman serilerinin analizi, şebeke optimizasyonu, çizelgeleme, yapay sinir ağlarının oluşturulması ve eğitilmesi gibi karmaşık problemlerin çözümü için de uygulanmaktadır (Coley, 1999).

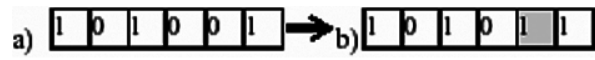
Geleneksel genetik algoritmalar genellikle sabit uzunluktaki bit karakterler olarak gösterilmektedir. Bu karakterlerin değişik sıralanışlarından her biri bireyin kendine has özelliklerini ifade etmektedir ve çözüme etkileri mevcuttur. Genellikle bu karakterler çözümün yapısal özelliklerinin bir bütünüdür ve biyolojik genlerin yapısal olarak birbirinden bağımsız birimler olduğu gibi bu karakterlerin arasında da ya çok az ilişki vardır ya da ilişki yoktur. Temel üretim operatörü olarak iki karakter yapısının aile olarak kullanıldığı ve karşılıklı değişimleri ile yeni bireylerin oluşturulduğu bit karakterlerinin çaprazlaması kullanılmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Bit Karakter Çaprazlama

Diğer bir popüler operatör ise tek bir karakterin değiştirilerek yeni bir bireyin oluşturulduğu bit karakter çevirme mutasyonudur (Şekil 2). Bunların dışında çeşitli

dönüştürme operatörleri üretilmiştir fakat yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu diğer operatörler arasındaki ilk fark popülasyona herhangi yeni bir bilgi üretip üretmemesinden ortaya çıkmaktadır. Tüm operatörler genlerin yapısal olarak tutarlı bir üslupla yorumlanması ve karakterlerin işlenmesi ile kısıtlıdır. Örneğin aynı konumdaki iki karakter dizini üzerindeki iki gen farklı şekillerde yer değiştirmektedir. Geleneksel olarak, bireyler ailelerden uygunluk değerlerine göre olasılıklı olarak seçilmektedirler bu da oluşan bireylerin ailelerinin yerlerini almalarını sağlamaktadır. Örneğin N aileden N birey gelecek nesilde aile bireylerinin yerini alacak şekilde oluşturulmaktadır (Sivanandam ve Deepa, 2008).



Şekil 2.2. Bit Karakter Çevirme Mutasyonu

Bu çalışmada kullanılan yeni nesil genetik algoritmaların temelini oluşturan kavramlar şu şekilde ifade edilmektedir (Elmas, 2007).

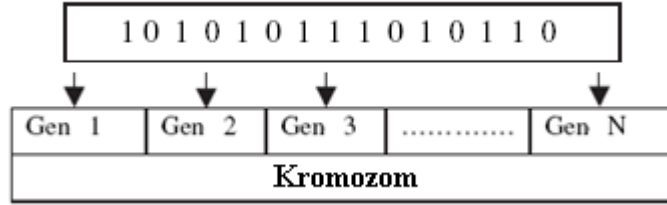
2.2.1 Temel Kavramlar

Genetik algoritmaların temel yapısı incelendiğinde genlerin bir araya gelmesiyle kromozomların, kromozomların bir araya gelmesiyle popülasyonların oluştuğu gözlenmektedir. Popülasyondaki olası çözümleri içeren her bir bireye kromozom, kromozomdaki her bir bilgiye gen adı verilmektedir. Kromozomlar, GA yaklaşımında üzerinde durulan en önemli birim olduğu için iyi ifade edilmeleri gerekmektedir. Kromozomun hangi kısmının ne anlam taşıyacağı, ne tür bilgi içereceği probleme hangi bakış açısıyla yaklaşılacağını ortaya koymaktadır.

- i. Gen: Kromozom yapısında kendi başına birer genetik bilgi taşıyan en ufak yapı birimine gen adı verilmektedir. Kısmi bilgiler taşıyan bu ufak yapıların bir araya gelmesiyle bütün bir çözüm kümesini oluşturan kromozom meydana gelmektedir. GA'nın kullandığı programlama yapısında bu gen yapıları tanımlamaya göre değişiklik göstermektedir. Bir genin içerdiği bilgi, sadece

ikili tabandaki sayıları içerebileceği gibi onluk ve onaltılık tabandaki sayı değerlerini de içerebilmektedir.

ii.Kromozom: Kromozom olarak ifade edilen birey genlerden oluşan tek bir çözümü göstermektedir. Genetik algoritmanın üzerinde durduğu genetik bilgileri içiren genlerden oluşan kromozom yapısı Şekil 2.2’de verilmektedir. Kromozomlar sunulan çözüm hakkında bilgiler içermektedir. Fakat bu her bir çözümün kesin olarak kromozomlar tarafından ifade edildiği anlamına gelmemektedir. Kromozomların bir araya gelmesiyle popülasyonlar oluşmaktadır. Özetle popülasyondaki olası çözümleri içeren her bir bireye kromozom, kromozomdaki her bir bilgiye gen denir.

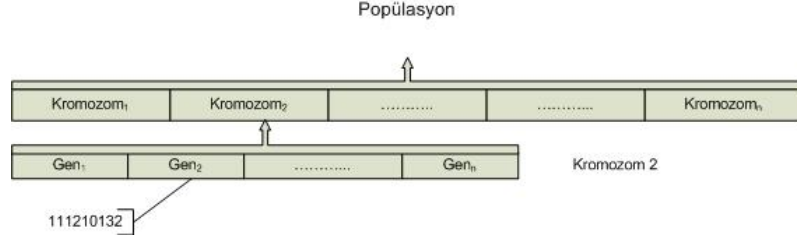


Şekil 2.3. Kromozom Yapısı

iii. Popülasyon: Popülasyon, çözüm bilgilerini içeren kromozomların bir araya gelmesiyle oluşan olası çözüm yığını ifade etmektedir. Popülasyondaki kromozom sayısı sabit olup problemin özelliğine göre değişmektedir. GA'nın işleyişi esnasında bu yığın kümesinden bir takım kromozomlar yok olmakta ve yerlerine yeni kromozom yapıları eklenerek popülasyon büyüklüğü sabitlenmektedir.

Yığın büyüklüğü, problemin çözüm süresini etkilemektedir. Fazla sayıdaki kromozom yığını problemin çözüm süresini uzatırken, az sayıda olması durumunda ise çözüm değerlerine ulaşılamamasına sebep olabilmektedir, ya da problemin çözümü, sistemin belirli çözüm uzayında takılıp iyileşmemesi durumuyla sonuçlanabilmektedir. Problemin özelliğine göre seçilecek olan yığın sayısı yani popülasyon büyüklüğü iyi belirlenmelidir. Bu büyüklük

genellikle 30 ile 100 adet arası kromozom içerecek şekilde düzenlenmektedir. Problemin tipine göre ve programı yazan kişiye göre daha az ya da daha fazla olabilmektedir.



Şekil 2.4. Popülasyon Yapısı

2.2.2 Yeniden Üretim İşlemi

Mevcut yığından gelecek yığına aktarılacak olan dizilerin seçilme işlemidir. Taşınan diziler genetik olarak mevcut yığında en uygun yapıya sahip olan dizilerdir. Bu işlem belirlenen uygunluk değerine sahip iyi bireylerin bir sonraki nesle aktarılmasını sağlar.

2.2.3 Başlangıç Yığınının Oluşturulması

GA'yı diğer sezgisel arama yöntemlerinden ayıran bir özellik çözümü noktadan noktaya değil noktaların oluşturduğu yığın içerisinde aramasıdır. Bu nedenle GA'nın ilk adımı başlangıç yığınının oluşturulmasıdır. Genellikle başlangıç yığını rassal olarak oluşturulur Ancak bu olay kısıtlı en iyileme problemlerinde yığının uygun olmayan çözümlere doğru yönelmesine sebep olabilmektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak için probleme özgün çeşitli sezgisel yöntemler geliştirilebilmektedir.

2.2.4 Uygunluk Değeri

Kromozomların, çözümde gösterdikleri başarı derecesini belirleyen bir değerlendirme işlevidir. Hangi kromozomların bir sonraki nesle taşınacağı ve hangi kromozomların yok olacağı uygunluk değerinin büyüklüğüne göre karar verilmektedir. Uygunluk değeri, yığındaki dizilerin bir değerlendirme işlevi yardımıyla hesaplanır.

Maksimizasyon problemleri için başarı ölçütü genellikle uygunluk işlevi olarak kullanılabilir. Ancak çizelgeleme problemleri gibi kısıtlı optimizasyon problemlerinde genellikle minimizasyon problemleri olduğundan uygunluk işlevi farklı bir yöntemle bulunabilmektedir. C_{\max} maksimum tamamlanma zamanının azaltılması probleminde uygunluk değeri şu şekilde hesaplanabilmektedir.

$$f(s_i(t)) = \max\{C(s_i(t))\} - C(s_i(t)) \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1 deki denklem incelendiğinde, en önce yığındaki bütün diziler için C_{\max} değeri bulunur. Daha sonra en büyük C_{\max} değeri saptanır ve her dizinin 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.

Kısıtlı optimizasyon problemlerinde uygunluk fonksiyonunun bulunması ise;

Uygunluk değeri, yığındaki dizilerin bir değerlendirme fonksiyonu yardımıyla hesaplanır. GA'da kullanılan değerlendirme işlevi veya uygunluk fonksiyonu problemin amaç işlevini oluşturmaktadır.

Ceza işlevi yaklaşımı kısıt sayısı az olan problemler için uygun olmaktadır, kısıt sayısı fazla olan problemler için yeni genetik operatörlerin geliştirilmesi GA'nın etkinliğini artıracaktır.

Aşağıdaki eşitliklerde örnek olarak kısıtlı optimizasyon problemlerinden biri olan atölye çizelgeleme probleminde uygunluk fonksiyonunun nasıl bulunduğu gösterilmektedir.

Seçilen bir kısıt için bir popülasyondaki ceza puanı toplamı;

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^l P_i C_{ij} \quad (2.2)$$

Tüm kısıtlar için bir popülasyondaki ceza puanları toplamı;

$$\sum_{k=0}^t \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^l P_k C_{ij} \quad (2.3)$$

l = kromozomdaki gen sayısı,

n = popülasyondaki kromozom sayısı,

t = kısıt sayısı,

C_{ij} = i . kromozomdaki ceza puanına sahip j . Gen,

P_k = k . Kısıta ait ceza puanı,

$P_k = 0,1,\dots,\dots, t$ kısıt sayısını belirtmektedir.

$$\text{Uygunluk Fonksiyonu } (f) = \frac{1}{1 + (\sum_{k=0}^t \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^l P_k C_{ij})} \quad (2.4)$$

2.2.5 Genetik Operatörlerin Uygulanacağı Dizilerin Seçilmesi

Eşitlik 2.5 kullanılarak hesaplanan uygunluk değerlerine göre daha iyi uygunluk değerlerine sahip dizilerin seçilme ihtimalleri daha fazladır. t . nesildeki i . dizinin seçilme olasılığı $P(s_i(t))$ olarak gösterilirse eşitlik aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$P(s_i(t)) = f(s_i(t)) / \sum f \quad (2.5)$$

2.2.6 Dizi Gösterimi (Kodlama)

GA'nın uygulanmasında ilk adım, problem için arama uzayını en iyi temsil eden kodlama yapısının seçilmiş olmasıdır. Genelde en yaygın olarak kullanılan kodlama ikili düzendeki kodlamadır. Dizinin uzunluğu, parametre ya da parametrelerin alt ve üst sınırları arasındaki tüm noktaları temsil edecek şekilde belirlenir. Alt ve üst sınır U_{min} ve U_{max} olarak verilen bir dizi için uzunluk eşitlik 2.5 de belirtilmiştir.

$$l = \frac{U_{max} - U_{min}}{2^l - 1} \quad (2.6)$$

İkili düzendeki kodlama çok sık kullanılmasına rağmen kısıtlı en iyileme problemleri gibi çok değişkenli kodlamanın yapıldığı problem yapılarında kullanılmazlar. Çünkü değişkenlerin alt ve üst sınırlarına bağlı olarak elde edilen dizi uzunlukları çok uzun olmaktadır.

Parametre değerinin ikilik düzende gösterimi aşağıdaki gibidir.

Parametre değerleri {5, 3}

Genetik Durum 00000101 | 00000011

Bu gösterimden de anlaşılacağı üzere basit bir parametre değerinin ikilik düzende gösterimi çok uzun ve karmaşık olmaktadır. Gezgin satıcı, çizelgeleme, karesel atama gibi optimizasyon problemlerinde ikili düzende kodlama aram uzayının tam

olarak temsil edememektedir. Bu nedenle alfasayısal veya gerçel sayısal gösterimlerle kodlama işlemi yapılmaktadır. Ancak kodlamanın ne şekilde yapılacağı GA kullanılarak çözümü istenen problemin özelliğine göre değişmektedir. Dolayısıyla programın yazılması esnasında dizi gösteriminin ne şekilde olacağı çok iyi belirlenmelidir. Böylelikle çözüm uzayını temsil edecek olan dizilerin en iyi şekilde oluşturulması sağlanır.

Çizelge 2.1. GA Kodlama Biçimleri

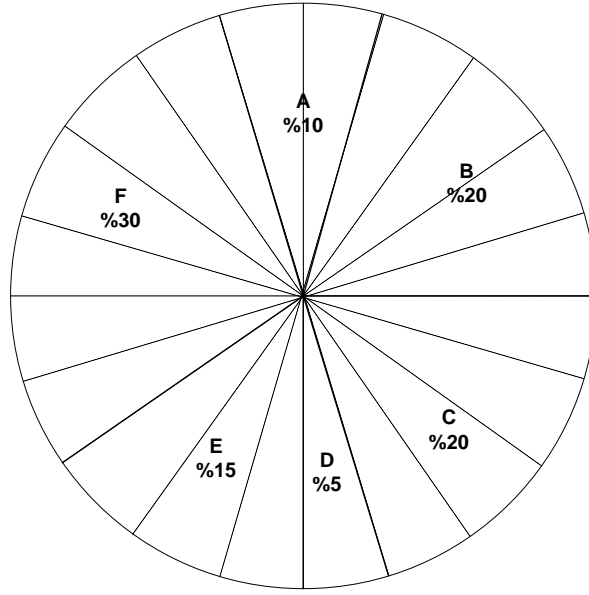
1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
9	7	5	4	2	1	5	6	2	1
A	B	C	R	E	B	V	K	H	U

2.2.7 Seçim Mekanizmaları

Bir nesildeki dizilerin bir kısmının bir sonraki nesle aktarılırken bir kısmı da yok olur. İşte bu aşamada hangi dizilerin bir sonraki nesle aktarılacağı kurulan seçim mekanizmaları ile sağlanır. GA'da kullanılan en asit ve en yaygın olan seçim mekanizması rulet tekerleği seçimidir.

Bu seçimde çember n adet parçacığa bölünmüştür. Her aralık bir diziyi temsil eder. Her dizinin uygunluk değeri toplam uygunluk değerine bölünür. Böylelikle yığın içindeki her dizinin çözüm kümesi içindeki [0-1] değerleri arasındaki yeri bulunur. Diziler uygunluk ve toplam uygunluk değerine göre yüzdeler olarak çemberde temsil edilir. Tekrar üreme için rulet tekerleğinin döndürülmesi gerekmektedir. Bunun için sıfırla toplam uygunluk arasında rastgele bir sayı üretilerek bu sayının tekerleğin hangi parçasına karşılık geleceğine bakılarak kromozom seçilir. Böylelikle çemberin bir defa döndürülmesi ile bir sonraki nesle aktarılacak olan dizilerden bir tanesi seçilmiş olur. Benzer şekilde diğer kromozomların da belirlenmesi ile uygunluk değerleri en barılı olan değerler eşleştirme havuzuna alınır. Bundan sonra artık diğer

nesle ait diziler elde edilir ve genetik operatörlerin uygulanmasıyla yeni nesil elde edilir. Aynı işlem her döngüde devam ederek nesil devamı sağlanır.



Şekil 2.5. Rulet Tekerleği Seçme Operatörü

Rulet tekerleği yöntemi, basit ve kullanışlı olmasına rağmen hataya sahiptir. Bu hata yeni yığında her dizinin beklenen kopya sayısı ile gerçekleşen kopya sayısı arasında büyük farkın olmasıdır. Bu hata programın çözüm değerlerini farklı yönlerde aramasına neden olur. Bu da algoritmanın zamansız yakınsamasına neden olabilmektedir. Bu hatayı azaltmak için bazı araştırmacılar en iyi bireyi bir sonraki nesle aktarmak için elitizm ve crowding yöntemi gibi çeşitli seçim teknikleri önerilmektedir.

i. Orantılı Seçim Mekanizmaları: Rulet çemberi mekanizması, rastgele artan seçim mekanizması ve rastgele evrensel seçim mekanizmasıdır. Aşağıda rastgele artan ve rastgele evrensel seçim mekanizmalarının kısaca tanımları verilmektedir.

Rastgele artan seçim mekanizması; Bu mekanizmada öncelikle yığındaki dizilerin beklenen kopya sayısı hesaplanır. Her dizinin beklenen değerinin tamsayı kısmı

kadar kopyası yeni yığına alınır. Yığın genişliğine ulaşılmadıysa yığını doldurmak için beklenen değerlerin kesirli kısımları olasılık olarak kullanılır. Örnek olarak bir dizinin kopyasının beklenen değeri 1,25 ise bu dizinin bir kopyası alınırken diğer kopyanın alınma olasılığı %25 olur.

Rastgele evrensel seçim mekanizması; Bu mekanizma rulet çemberi mekanizmasına benzemektedir. En önemli farkı çemberin dış kısmının da eşit parçalara bölünmesidir. Bu parçaların sayısı yığın genişliğine eşittir. Seçim aşamasında çember bir kere döndürülür. Bir dizinin kopya sayısı çemberin dış kısmındaki parça sayısı ile belirlenir. Bu durumda bir dizinin çemberdeki ağırlık değerleri verilmiş olan aralığında düşen parça sayısı o dizinin kopya sayısını verir.

ii. Sıralı Seçim Mekanizmaları: Yığındaki diziler uygunluk değerlerine göre iyiden kötüye doğru sıralanırlar. En iyi diziden başlanılarak bir azalan işler yardımıyla dizilerin kopya sayısı belirlenir. Kullanılan en genel atama işlevi doğrusaldır. Bir fonksiyon yardımıyla atanan kopya sayıları yeni yığının oluşturulmasında kullanılır. Bu aşamada orantılı seçim mekanizmalarından birisi kullanılarak yeni yığın elde edilir.

iii. Turnuva Seçim Mekanizması: Yığından rastgele bir grup seçilir. Grup içindeki en iyi uygunluk değerine sahip dizi yeni yığına kopyalanır. Yığın genişliğine ulaşınca kadar bu işlem devam eder.

iv. Denge Durumu Seçim Mekanizması: Diğer seçim mekanizmalarında mevcut yığından yeni diziler seçilerek yeni yığın oluşturulur. Oluşturulan bu yığındaki bireylere genetik operatörler uygulanarak yeni diziler elde edilir. Elde edilen bu dizilerden seçim yapılır denge durumu seçim mekanizmasında ise doğrusal seçim mekanizması kullanılarak seçilen birkaç adet bireye genetik operatörler uygulanır. Elde edilen diziler mevcut yığındaki uygunluk değeri düşük olan bireylerle yer değiştirilir.

2.2.8 Genetik Operatörler

GA'da çözüm yığını incelenirken belirli noktalardan sonra nesil çeşitliliği olmadığı için çözüme gidilememektedir. Nesil çeşitliliğini sağlayacak çözüm uzayında algoritma istenen kısıtları sağlayacak olan çözüm yığına ulaşabilir. Bunun için dizilere çaprazlama ve değişim operatörleri belirli yüzdelik oranlarıyla uygulanarak nesil çeşitliliği sağlanır. Böylelikle sistemin belirli noktalara gelip takılması önlenmiş olur. Aşağıda bu genetik operatörlerin çeşitleri ve uygulamaları anlatılmıştır.

- i. Çaprazlama Operatörü: İki dizinin bir araya gelerek karşılıklı gen yapılarının değişimi ile yeni dizilerin oluşumunu sağlayan operatördür. Çaprazlanarak gen değişiminin yapılmasından önce dizilerin çaprazlamaya tutulma olasılığı belirlenmelidir. Bu oran %50-%95 oranında uygulanmaktadır. Çaprazlamada bir diğer önemli unsur ise ne tür çaprazlama yapılacağıdır. Mesela eş kromozom seçiminde ilk kromozom en yüksek uygunluk değerine sahip kromozom seçilirken ikinci kromozom rastgele olarak seçilebilir.

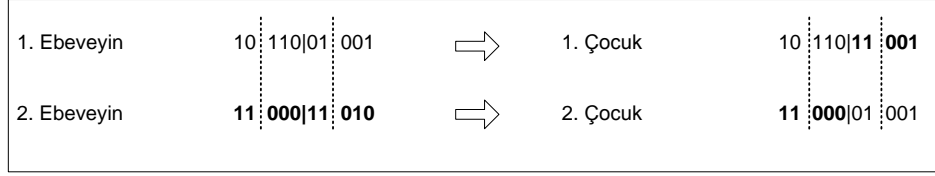
Bir yığına çaprazlama operatörü p_c olasılığı ile uygulanır. Çaprazlama oranı, çaprazlama operatörünün kullanım sıklığını kontrol eder. Her popülasyonda, $p_c \cdot 1.N$ adet kromozoma çaprazlama uygulanır. Yüksek çaprazlama oranı, popülasyon değişikliğini hızlı bir şekilde gerçekleştirir. Düşük çaprazlama oranı aramanın çok yavaş gerçekleşmesine sebep olur.

Tek noktalı çaprazlama operatörü; Bu operatörde çaprazlama noktası "1" ile "L-1" arasında rastgele seçilir. Eşlenen iki dizide bu çaprazlama noktasından sonraki bölümler yer değiştirilerek iki tane yeni birey elde edilir.

1. Ebeveyn	10110 01001	⇒	1. Çocuk	10110 11001
2. Ebeveyn	11000 11010	⇒	2. Çocuk	11000 01001

Şekil 2.6. Tek Noktalı Çaprazlama

Çok noktalı çaprazlama operatörü: Bu operatörde çaprazlama noktası “1” ile “L-1” arasında rastgele çoklu olarak seçilebilmektedir. Eşlenen iki dizide bu çaprazlama noktaları arasında kalan bölümler yer değiştirilerek iki adet yeni birey elde edilir.



Şekil 2.7. Çok Noktalı Çaprazlama

Tek ve çok noktalı çaprazlama işlemi GA’da ilk akla gelen çaprazlama yöntemleridir. Ancak problemin özelliğine göre farklı tiplerde çaprazlama yapmak da mümkündür. Bu çaprazlama yöntemlerinden birkaç tanesini kısıtlı en iyileme problemleri için incelenecek olursa aşağıda belirtilen tiplerde çaprazlama yapmak mümkündür. Atölye çizelgeleme gibi kısıtlı en iyileme problemlerinde gen kodlamasının farklı olmasından ve probleme uygun çeşitli çaprazlama türleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları;

- i.** Pozisyona dayalı çaprazlama
- ii.** Sıraya dayalı çaprazlama
- iii.** Kısmi planlı çaprazlama

Pozisyona göre çaprazlama; Bu çaprazlamada kalıp olarak, sabit kalacak olan gen apılarını belirlemede kullanılan yapı bulunur. Kalıbın gösterdiği noktalar dizide sabit kalırken diğer noktalar iki birey arasında yer değiştirilerek yeni bireylerin oluşumu sağlanır. Şekil 2.8 de kalıp dizisinde 1’lerin gösterdiği değerler sabit kalacak kısımları göstermektedir.

1. Ebeveyn	347110489233
2. Ebeveyn	001472892100
Kalıp	111000110010
	↓ ↓
1. Çocuk	347472482130
2. Çocuk	001110899203

Şekil 2.8. Pozisyona Dayalı Çaprazlama

Sıraya dayalı çaprazlama; Şekil 2.9 daki örnekten de görüldüğü gibi kalıp üzerindeki 1'lerin gösterdiği değerler çaprazlamada kullanılacak olan değerleri belirtir. Sırasıyla Ebeveyn 2 de bulunan 7, 2, 3 değerleri çaprazlanacak olan genlerdir. Ebeveyn 1 de bulunan 2, 3, 7 değerleri ile aynı sıralı olacak şekilde yer değiştirilir. Aynı işlem 1'lerin ebeveyn 1 de gösterdiği değerlerin ebeveyn 2 ye aktarılmasıyla tamamlanır.

1. Ebeveyn	123456789045
2. Ebeveyn	746128353196
Kalıp	100010100000
	↓ ↓
1. Çocuk	172456389045
2. Çocuk	146528373196

Şekil 2.9. Sıraya Dayalı Çaprazlama

Kısmi planlı çaprazlama; İki bireyden rastgele bir aralık belirlenir. Bu aralıktaki değerler yer değiştirilir. Şekil 2.10 da bu şekil gösterilmiştir.

1. Ebeveyn	28	645	712
2. Ebeveyn	87	213	456
	↓	↓	
1. Çocuk	28	213	712
2. Çocuk	87	645	456

Şekil 2.10 . Kısmi Planlı Çaprazlama 1. Adım

Yer değiştirme sonunda dizide aynı olan değerler değiştirilen değerlerle tamamlanır.

1. Çocuk	68	213	745
2. Çocuk	87	645	123

Şekil 2.11 . Kısmi Planlı Çaprazlamada 2. Adım

Önceden de bahsedildiği gibi problemin özelliğine göre farklı yapılarıdaki çaprazlama yöntemleri kullanılabilir. Ancak temel olarak tek ve çok noktalı çaprazlama yöntemleri kullanılmaktadır.

ii. Değişim (Mutasyon) Operatörü: GA'da sistem belirli döngü değerine geldikten sonra diziler birbirlerine gitgide benzemektedir. Bu da çözüm uzayının daralmasına neden olmaktadır. Dizi çeşitliliği sağlanamamaktadır. Bu durumda dizinin kendi içindeki genler rastgele yer değiştirilir. Böylelikle dizi çeşitliliğinin devamı sağlanmış olur. Ancak değişim operatörünün uygulama oranı doğru belirlenmelidir. Değişim oranının yüksek olması çözüm uzayını çok genişleterek sistem çözümünün yanlış yerlerde aranmasına neden olur. Bu nedenler değişim operatörünün uygulanma olasılığı %0,5-%15 arasında değişmektedir.

Özellikle GA'nın ilerleyen nesillerinde değişimin etkinliği artmaktadır. Çünkü ilerleyen nesillerde popülasyon iyi çözümlere yakınsadığından, kromozomlar birbirlerine çok benzemektedir. Bu durum ise çaprazlama operatörünün aramasını kısıtlamaktadır. Nitekim çaprazlama sonucu elde edilen kromozomlarda birbirine

benzer olacaktır. Bu aşamada değişim operatörü popülasyondaki değişkenliği geręekleştirek arama uzayında yeni çözümler noktasının elde edilmesini sağlamaktadır.

Değişim işlemi, p_m olasılığı ile tek bir pozisyonun rastgele değişimi olup bu işlem oluşturulmuş neslin elverişli durumunu birden bozabileceği için önemlidir. Sonuçta $p_m \cdot 1..N$ değişim geręekleşir. Böylece p_m olasılığı küçük tanımlanır.

Değişim Öncesi	Değişim Sonrası
1. Çocuk 10110 1 1010	1. Çocuk 10110 0 1010

Şekil 2.12. Değişim Operatörünün Uygulanması

Şekilde 2.12 belirtilen değişim operatörünün basitçe gösterimidir. Değişim operatörünün uygulama biçimi GA'nın kullanıldığı probleme göre değişebilir. Aşağıda kullanılması muhtemel değişim operatörlerinden birkaçı gösterilmiştir.

Komşu İki İşi Değiştirme: Şekil 2.13 de görüldüğü gibi rastgele seçilen iki komşu gen yer değiştirilir.

Değişim Öncesi	Değişim Sonrası
1. Çocuk 257 19 432	1. Çocuk 257 91 4432

Şekil 2.13 .Komşu İki Genin Değişimi

Keyfi İki İşi Değiştirme: Şekil 2.14 de görüldüğü gibi rastgele seçilen iki gen yer değiştirilir.

Değişim Öncesi	Değişim Sonrası
1. Çocuk 25719432	1. Çocuk 24719532

Şekil 2.14 . Keyfi İki Genin Değişimi

Keyfi Üç İş Değiştirme: Şekil 2.15 de görüldüğü gibi rastgele seçilen 3 gen rastgele yer değiştirilir.

Değişim Öncesi	Değişim Sonrası
1. Çocuk 25719432	1. Çocuk 24759132

Şekil 2.15 . Keyfi Üç Genin Değişimi

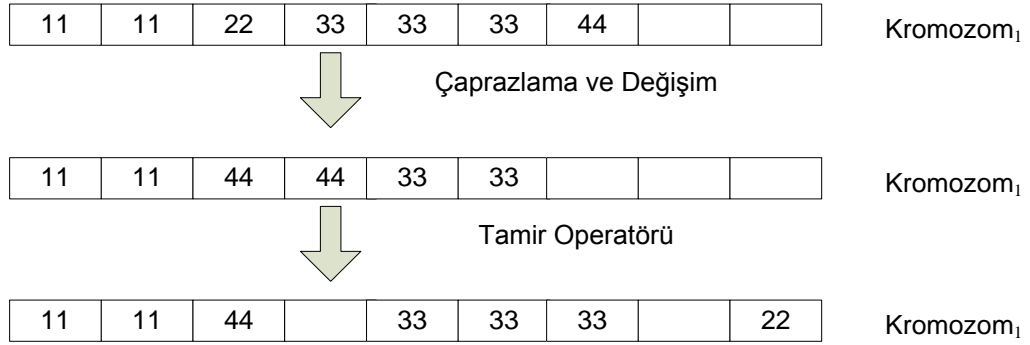
Araya Gen Ekleyerek Değiştirme: Şekil 2.16 da görüldüğü gibi keyfi olarak seçilen genin rastgele sayıda sağa ve sola kaydırılması ile gerçekleştirilir.

Değişim Öncesi	Değişim Sonrası
1. Çocuk 25719432	1. Çocuk 235719432

Şekil 2.16 . Kaydırmalı Gen Değişimi

iii. Tamir Operatörü: Tamir operatörü (Düzenleyici algoritma) uygun olmayan dizileri uygun duruma getirmek için özel olarak tasarlanan algoritmadır. Problemin özelliğine göre geliştirilen bu algorithmada genetik operatörlerin uygulanmasında sonra diziden mevcut bilgilerin yok olması veya fazladan istenmeyen bilgilerin gelmesi çizelgeleme problemlerinde

istenmeyen bir durumdur. Bu sorunu ortadan kaldırmak için başlangıç dizisinin bilgilerine sadık kalarak özel bir algoritma geliştirilir.



Şekil 2.17 . Genetik İşlem Sonrası Dizi Durumu

Şekil 2.17 de görüldüğü gibi genetik işlem sonrası oluşan yeni dizide fazla veya kaybolan genler bulunmaktadır. Bu dizinin tamir edilip bir sonraki nesle aktarılarak GA'nın çalışmasına devam edilir. Bu yaklaşımda probleme özgü genetik operatörler kullanılır. Amaç genetik operatörler sonucunda elde edilen yeni dizilerin uygun birer çözüm kümesini içermesidir.

iv. Elitizm (En İyinin Saklanması) Yöntemi: Elitizm ya da en iyinin saklanması olayında yığın içindeki en iyi bireylerin ya da belirli bir genişlikteki yüzdeliğe sahip bireylerin o yığından alınarak hiçbir değişikliğe uğramadan bir sonraki nesil yığına aktarılır. Genetik operatörlerin kullanımı sonrası en iyi bireyin yok olması söz konusu olduğu için yığın içindeki çözümü en iyi temsil eden dizi bir sonraki nesle kopyalanır.

GA'nın temel kavramlarının açıklanmasından sonra GA'nın problemi çözme aşamasında yapısının nasıl oluşturulduğunu basamaklar şeklinde anlatmak ve program akış diyagramının verilmesi konunun daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

2.3 Genetik Algoritmanın Çalışma İlkesi

GA ile çözüme gidilirken takip edilmesi gereken adımlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Toplumda bulunacak birey sayısı belirlenerek başlanır. Bu birey sayısı ile ilgili olarak kesin belirlenmiş bir sayı yoktur. Yapılan araştırmalar sonucunda yığılma bu sayının en iyi 30-100 bireyden oluşması önerilmektedir.
2. Dizilerin (kromozomun) ne kadar iyi olduğunu bulan işleve uygunluk işlevi denir. Bu işlev sonucunda dizilerin uygunluk değerlerinin bulunmasına uygunluk değeri hesabı denir. Bu işlev GA'nın ana yapısını oluşturan ve probleme özgü olarak çalışan tek kısımdır. Uygunluk işlevi, dizileri problemin parametreleri haline getirerek onların bir bakıma şifresini çözmektedir. Bu parametrelere göre uygunluk değeri hesabı yapılarak dizi uygunluğu bulunur. GA'nın başarısı bu işlevin verimli ve hassas olmasına bağlıdır.
3. Dizilerin eşlenmesi, dizilerin uygunluk değerine göre yapılır. BU seçimi yapmak için rulet tekerleği seçimi, turnuva seçimi gibi seçme yöntemleri kullanılır. En çok kullanılan seçim mekanizması olan rulet tekerleği seçiminin işleyişini açıklarsak;
 - a. Tüm bireylerin uygunluk değerleri bir tabloda tutulur.
 - b. Bu değerler toplanır.
 - c. Tüm bireylerin değerleri toplam değere bölünerek [0-1] aralığında sayılar elde edilir. Bu sayılar bireylerin seçilme olasılıklarıdır ve bir tabloda tutulur.
 - d. Seçilme olasılıklarının tutulduğu tablodaki sayılar birbirine eklenerek rastgele bir sayıya kadar ilerlenir. Bu sayıya ulaşıldığında ya da geçildiğinde son eklenen sayının ait olduğu dizi seçilmiş olur. Rulet tekerleği seçimi çözümlerin uygunluk değerlerinin negatif olmamasını gerektirir. Çünkü olasılıklar negatif olursa bu çözümlerin seçilme şansı hiç olmayacaktır. Çoğunluğunun uygunluk değeri negatif olan bir toplumda yeni nesilleri belirli noktalara takılıp kalabilir.,
4. Çaprazlama ve değişim operatörleri GA'nın yürütücüsü olarak kabul edilir. Çaprazlama basitçe iki birey (dizi) arasındaki belirlenen paraların yer

değiştirilmesidir. Değiştirme ise aynı dizinin bir parçasının dışarıdan değiştirilmesi olarak tanımlanır. Çok düşük bir değiştirme olasılığı toplumda bazı özelliklerin kaybolmasına neden olabilir. Bu da en iyi çözümün bulunmasına engeldir. Yüksek bir değiştirme olasılığı ise eldeki çözümlerin bozulmasına neden olabilir. Bunun için değiştirme olasılığı %0,1-%15 aralığında seçilir. Çaprazlama olasılığı ise gen çeşitliliğinin sağlanması açısından %60-%90 arasında seçilir.

5. Bu değişimler sonucunda dizi yapılarının içerdikleri bilginin ilk nesildeki bilgilerle aynı olması gerekmektedir. Bunun için çaprazlama ve değişim operatörlerinin uygulanmasından sonra GA'nın uygulandığı problem tipine göre diziyeye tamir operatörü uygulama ihtiyacı doğabilir. Tamir operatörü uygulanarak mevcut dizi bilgilerinin korunması sağlanır. Aksi takdirde GA Çözüm uzayından çok uzaklaşarak sistem çözümünün imkansızlaşmasına neden olur.
6. Eski diziler çıkartılarak sabit büyüklükte yeni bir toplum (yığın) sağlanır.
7. O andaki çözüm kümesindeki en iyi birey bir sonraki yığına aktarılır. (Elitizm)
8. Tüm diziler yeniden hesaplanarak yeni toplumun başarısı bulunur.
9. GA belirlenen döngü sayısı veya durdurma kriterleri sağlanana kadar defalarca çalıştırılır.
10. GA'nın işleyişinin sonucunda en iyi birey (dizi, kromozom) çözüm olarak alınır.

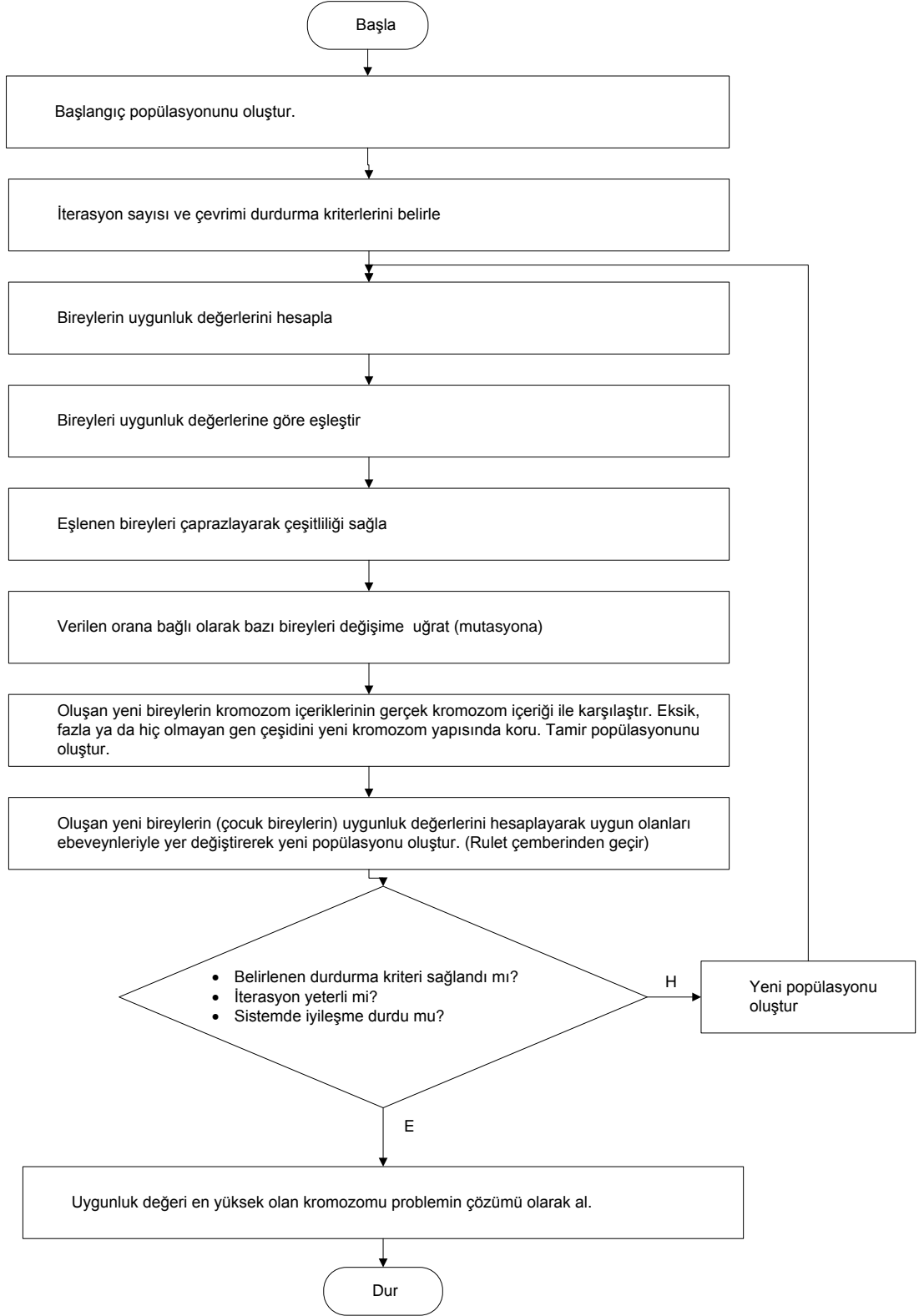
GA'nın işleyişini belirleyen ve GA'nın çalışma başarısını etkileyen operatörler şunlardır;

- a. Parametre kodlama operatörü
- b. Üreme operatörü
- c. Çaprazlama operatörü
- d. Değişim operatörü
- e. Tamir operatörü

En son madde belirtilen tamir operatörü GA'nın genel operatörleri arasında yer almasa bile atölye çizelgeleme gibi kısıtlı en iyileme problemlerinde mutlak suretle kullanılması gereken bir operatördür. Çünkü çaprazlama ve değişim operatörlerinden

sonra oluşan yeni dizideki gen yapıları gerçekte olmayan yapılarla dönüşmektedir. Döngü boyunca bu işlem Tekrarlandığında GA düzgün çalışmayacak ve gitgide bireyler yok olacaktır (Elmas, 2007).

GA'nın temel işleyişini gösteren akış diyagramı Şekil 2.18 de verilmiştir.



Şekil 2.18 . GA'nın Akış Diyagramı (Elmas, 2007)

3. BULGULAR

Paralel makineler ya da çok aşamalı çizelgeleme problemleri için sıra bağımlı hazırlık süreleri üzerine birkaç çalışma dışında çalışmaların çoğunluğu sıra bağımsız hazırlık süreleri modelleri üzerine çalışmaktadır. Akış tipi üretim için sıra bağımlı çizelgeleme üzerine yalnızca birkaç çalışma mevcuttur. Bu da paralel makineler ve çok aşamalı çizelgeleme problemleri üzerine araştırma ihtiyacı olduğunu göstermektedir (Allahverdi vd., 1999).

Çizelgeleme problemleri üzerine ilk sistematik yöntem 1950'lerin ortalarında gerçekleştirilmeye başlamıştır. O günden bu güne kadar farklı çizelgeleme problemleri üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların büyük bir çoğunluğu hazırlık zamanlarını ya da işlem zamanlarını ihmal edilebilir varsaymaktadır. Bu varsayımlar belirli uygulamaları yansıtırken ve analizi kolaylaştırırken hazırlık süresi gerektiren çoğu çizelgeleme uygulamasının çözüm kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir (Allahverdi vd., 2006).

3.1 Paralel Makine Problemi

Paralel makine problemleri hem atama hem de sıralama çözümlerini içermektedir. Optimal çizelgeleme kararının verilmesi sıklıkla bu iki çözümün yerine getirilmesi ile elde edilmektedir ve analitik değerlendirmeler maksimum tamamlanma zamanı üzerinden gerçekleştirilmektedir çünkü modelin bu amaç fonksiyonu ile kurulması problemi atama problemine yaklaştırmaktadır. Asıl olarak tek makine çizelgeleme problemlerinde sıra bağımlı hazırlık süreleri mevcut olmadıkça maksimum tamamlanma zamanı nadiren önemli bir kıstas olmaktadır. Paralel makine vakalarında ise maksimum tamamlanma zamanının değerlendirilmesi daha makul bir durumdur.

Çalışmada incelenen paralel makine probleminde 2 makinenin mevcut ve bir işin aynı anda en fazla bir makinede işlem görme durumunun söz konusu olduğu durum mevcuttur. Temel paralel makine modellerinde olduğu gibi makineler özdeş ve

işler bağımsız olarak gerçekleştirilmektedir. Amaç fonksiyonu olarak da işlerin tamamlanma zamanı değerlendirilmektedir. Tek makine modellerinde maksimum tamamlanma zamanının işlerin herhangi bir sırasına göre değişmediği düşünüldüğünde analiz edilmesine gerek olmadığı gözlenmektedir. Paralel makine modellerinde ise işlerin hangi makineye atandığı, makinelerdeki sırası maksimum tamamlanma zamanını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle tamamlanma zamanı yaygın bir amaç fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. İncelenen paralel makine probleminde iş bölünmesine izin verilmediği ve maksimum tamamlanma zamanının en küçüklenmesi üzerine çalışıldığı düşünülürse iş bölünmesine izin verilen durumlara göre daha zor bir yapının mevcut olduğu anlaşılabilir.

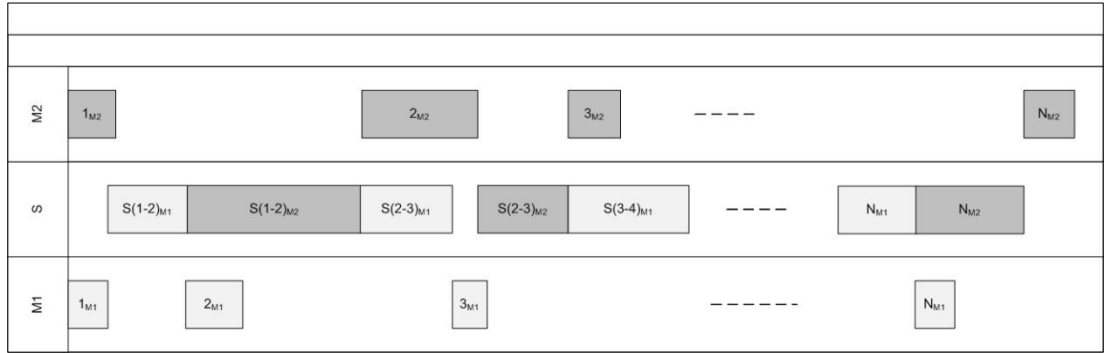
Tamamlanma zamanı için optimal çizelgenin belirlenmesi dal sınır algoritması ve dinamik modeller gibi genel amaçlı metotlar gerektirmektedir. Dal sınır algoritmasında kesin alt sınırlar belirlemek zordur, dinamik programlama da ise durumların sayısı çok fazla olmaktadır. Bu nedenle genel amaçlı teknikler küçük ölçekli problemler haricinde başarılı olamamaktadır. Tamamlanma zamanına göre optimal sonucun belirlenmesinin zor olmasına karşın genetik algoritmalar gibi daha iyi sonuç veren sezgisel yaklaşımlar mevcuttur. (Baker, 1974)

Bu sezgisel yaklaşımların çözüm stratejisi bir makine grubundaki sonlu sayıda işin tamamlanma zamanını en küçüklemek ve mevcut zaman dilimi içerisinde çıktı oranını artırmak üzerine kurulmaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde paralel makine çizelgeleme problemlerinin iki temel amacı makinelerdeki üretimi dengelemek, sıra bağımlı hazırlık sürelerini azaltarak çıktı oranını artırma olarak karşımıza çıkmaktadır. (Pinedo ve Chao, 1999)

Allahverdi vd. (2006) non-batch sıra bağımsız hazırlık sürelerinin mevcut olduğu genel paralel makine problemleri üzerinde düşünmeye işlem zamanlarının hazırlık sürelerini içerebileceğinden dolayı ihtiyaç olmağını vurgulamaktadır. Fakat bazı paralel makine problemlerinde hazırlık süreleri işlem zamanlarından ayrı olarak düşünülebilmektedir. Bununla birlikte n iş ve m paralel makine çizelgeleme problemleri de mevcuttur. Bu problemlerde bir işin bir makineye yüklenmesi durumunda hazırlık süresi yalnızca bir servis tarafından sağlanmaktadır. Diğer bir

tarafından hazırlık süresi karşılanmadan işlem makinede gerçekleştirilememektedir. Sonuç olarak aynı zamanda gelen servis ihtiyaçları makinenin atıl kalması ile sonuçlanmaktadır.

Bu çalışmada sıra bağımlı hazırlık süreleri ve bu süreleri karşılamak için yalnızca tek bir servis grubunun mevcut olduğu paralel makine problemi incelenmiştir. Probleme öncelikli olarak matematiksel modelinin oluşturulması ile yaklaşılmış ve ardından genetik algoritmalar yöntemi kullanılarak çözüm geliştirilmiştir. Ortaya koyulan çözümün amacı tamamlanma zamanını en küçükmektir. Problemin herhangi bir durum için dizayn edilmiş şematik gösterimi, problemin temel ve özet olarak ifadesi Şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1 . Tek Servis İki Paralel Makine Çizelgeleme Problemi

Bazı çizelgeleme problemleri yapısı itibariyle basittir. Bu problemlerden çoğunun mevcut etkili algoritmalar yardımıyla kolayca çözülebilen doğrusal programlama modellerinin formüle edilebilmektedir. Bu gibi diğer basit problemler etkili algoritmalarla çözülebilmektedir. Fakat çizelgeleme problemlerinin çoğu doğal olarak karmaşık ve zordur. Bu problemler NP-hard problemler olarak adlandırılmaktadır, çoğunlukla doğrusal programlama modelleri ile ifade edilememektedir, basit kurallar veya algoritmalarla kısıtlı koşum zamanında çözülememektedir. Bu gibi problemlerin matematiksel modellenmesi tamsayı veya kısıt programlama olarak gerçekleştirmek mümkün olabilmektedir fakat optimal çözümleri için büyük koşum zamanları gerekmektedir. Bu nedenle optimal çözümden çok uzak olmayan kabul edilebilir mümkün bir çözüme ulaşmak tercih

edilmektedir. Bu çözüm yöntemini benimseyen metotların çoğu optimal çözümü garanti etmemektedir ve amaçları nispeten kısa bir zaman içerisinde makul bir sonuç bulmaktır (Pinedo ve Chao, 1999).

Huang vd. (2009), benzer bir probleme makinelerin belirli olduğu durumlar üzerine matematiksel model geliştirmiştir. Ancak ele alınan problemin makinelerin belirli olmadığı durumlarda matematiksel gösterimi tam sayılı yöneylem modeli olarak çok karmaşık hale gelmektedir. Bu nedenle tezde tüm alternatif modellerin elde edilmesi ve tamamlanma zamanlarının değerlendirilmesi üzerine bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen programdan elde edilen kesin sonuçlar genetik algoritma sonuçları ile kıyaslanmıştır. Genetik algoritmanın çok daha çabuk sonuç elde edildiği tespit edilmiştir.

3.2 Genetik Algoritma Çözümü

Genetik algoritmalar (GA) çoğu bütünleşik problemlere uygulanabilmektedir (Holland, 1975; Davis ve Streenstrup, 1987). Temel genetik algoritmalarda, bir popülasyonu temsil eden çözümler (kromozomlar) oluşturulmaktadır ve ilgilenilen problemi ne düzeyde çözdüklerine göre değerlendirilmektedir. Her bir kromozomun kalitesi uygunluk fonksiyonu ile ölçülmektedir. Her bir jenerasyonda kromozomlar rastgele olarak değiştirilebilmektedir. Bu yöntemle eski jenerasyondaki uygun bireyler tutulması ve zayıf bireylerin elenmesi neticesinde yeni bir jenerasyon oluşturulur (Kurz ve Askin, 2001). GA'nın tasarımında aşağıdaki bileşenlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Davis ve Streenstrup, 1987).

- i. Çözümlerin kromozom yapısı şeklinde gösterimi
- ii. Kromozomların ve bileşenlerin değişiminde kullanılan genetik operatörler
- iii. Başlangıç popülasyonunun oluşturulma metodu
- iv. Bireylerin çözüm üzerindeki etkilerinin ne kadar olduğunu gösteren uygunluk fonksiyonu
- v. Popülasyon büyüklüğü, izin verilen jenerasyon sayısı, durdurma kriteri gibi diğer parametreler.

GA da kullanılan en önemli aşamalardan biri kromozomların ve çözümlerin nasıl kodlandığıdır. GA uygulamalarının çoğu ikili gösterimi kullanmaktadır. Bu durum ilk GA uygulamalarının ikili kodlamalarla gerçekleştirilmesinden kaynaklanmaktadır ve ilk uygulamalar göz önüne alındığında karmaşık kodlama ve çaprazlama yapılarının kullanımının zor olduğu ortaya çıkmaktadır. Fakat çizelgeleme problemlerinde sıralamayı içeren reel sayıların kullanıldığı gösterimler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde yakınlık listeleme ve pozisyon listeleme gibi çeşitli gösterimlerle karşılaşılmaktadır. Gezgin satıcı problemlerinde yaygın olarak kullanılan yakınlık listelemesi gösteriminde komşuluk ilişkisinin önemli olduğu her bir işin pozisyonu, dizideki işlerin pozisyonu vurgulanmamaktadır. Pozisyon listelemede ise dizideki her bir işin pozisyonu da düşünülmektedir. Üstelik herhangi bir dizi orijinal sıralamayı ifade edebilmekte ve güncel pozisyonu gösterebilmektedir. Ayrıca gelecek jenerasyonun çözümü üzerinde hayati rol taşıyan uygunluk fonksiyonunu belirlemek çizelgeleme problemleri için genel olarak tamamlanma zamanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte mutasyon operatörü genellikle basit olarak tek bir dizi veya çözüm üzerine uygulanmış ve arama işleminde daha fazla çeşitlilik oluşturulması için tasarlanmıştır. İki önemli mutasyon operatörü değiştirme ve ekleme mutasyonlarıdır. Değiştirme mutasyonunda iki iş sıraya göre pozisyonlarını değiştirmektedir. Ekleme mutasyonunda ise bir iş pozisyonundan silinmekte ve sıranın başka bir parçası eklenmektedir. Çözümdeki çeşitliliği artıran çaprazlama ve mutasyon operatörünün tersine seçim operatörü gelecek jenerasyona geçecek olan çözüm sayısını kısıtlayan ve ayarlayan bir operatördür. Seçim operatörü için limitlerin keskin olması durumunda algoritma lokal optimuma yakınsarken, çok gevşek tutulduğunda ise etkin bir GA elde edilememektedir (Abdekhodae vd., 2006).

Sivrikaya-Serifoglu ve Ulusoy (1999) tarafından gerçekleştirilen erken teslim ve gecikme cezalarının mevcut olduğu paralel makine çizelgeleme problemi incelendiğinde çözümün GA ile gerçekleştirildiği gözükmektedir. Çalışmada N iş mevcuttur, kısıtlar işlerin öncelik kısıtları olarak kullanılabilir. Genetik operatör olarak çok bileşenli uniform sıra tabanlı operatör seçilmiştir. Bu operatör iki aile kromozomun çaprazlanması üzerine kurulmuştur. Kromozomlar hem işleri hem de ilişkili atamaları gerçekleştirmek için N genden oluşmaktadır. Ayrıca her bir gen

bir seçim çifti ile ilişkilidir. Kromozomların çaprazlanması temel olarak problemin sıralama bileşenlerine bağlıdır. Aile bireylerinden biri rassal olarak seçilmiştir ve eğer iş için seçilen alternatifte aile bireylerinden ikisi de aynı ise seçim çocuklardan yapılmıştır. Eğer birden fazla bileşen seçimi mevcutsa algoritma her bileşen için tekrarlanmaktadır. Kromozomlardaki genler iki ayrı bilgi olmak üzere hem iş sırası hem de makine seçimini içermektedir. Her bir iş için bir gen mevcuttur. Örneğin N=5 iş ve M=2 makine içeren bir durumda genler [4-1,2-1,5-2,1-1,3-2] şeklinde oluşturulmaktadır. Kromozom yapısından anlaşıldığı gibi verilen sırada 4,2,1 işleri birinci makinede gerçekleştirilirken, 5,3 işleri ikinci makinede gerçekleştirilmektedir. Mutasyon operatörü olarak iki ayrı operatör kullanılmıştır. Bunlardan ilki kromozomda rassal olarak seçilen iki pozisyonun değişimi için kullanılan değiştirme mutasyon operatörüdür. Diğeri için ikili mutasyon operatörü kullanılmıştır. Bu operatör popülasyondaki her bir gene çok küçük bir olasılıkla uygulanmaktadır. Eğer ikili mutasyon özel bir bölgeye uygulanmak isteniyorsa makinelerden biri o pozisyona rastgele atanmıştır. Fakat önceki ile aynı makine seçimiyle sonuçlanabilmektedir, bu nedenle ikili mutasyon belirli bir orandan daha düşük kullanılmıştır. Uygunluk fonksiyonu, genetik algoritma kromozomların uygunluğunu maksimizasyon olarak değerlendirdiği için amaç fonksiyonuna göre minimizasyona dönüştürülerek kullanılmıştır. Bu dönüşüm fonksiyonu Şekil 3.1 de gösterilmiştir.

$$f(x) = z_{max}(P_t) - z(x) \quad (3.1)$$

z_{max} : P_t gözleminin maksimum amaç değeri

$z(x)$: x ile ilişkili amaç fonksiyonu değeri

Popülasyonun ilklenmesi için ilk jenerasyonda kromozomlarda rassal çözümler geliştirilmiştir. Çizelgelenmemiş işlerden her birinin rassal olarak seçilmesi ile genler oluşturulmuştur. Tüm genler tamamlanana kadar M makineden seçimler tekrarlanmaktadır. Seçim operatörü olarak rulet tekerleği tercih edilmiştir. Genetik algoritmanın parametre seviyeleri için popülasyon büyüklüğü 51, çaprazlama olasılığı 0,65, ikili mutasyon olasılığı 0,05, tekrar sayısı 10 olarak alınmıştır. N=50 iş M=4 makine ve $A_{max}=8$ maksimum hazırlık süresi durumlarının mevcut olduğu çizelgeleme problemi GA ile değerlendirilmiştir.

Kurz ve Askin (2001) hazırlık sürelerinin mevcut olduğu durumda paralel makineler üzerine gerçekleştirdiği çalışmada sıralama içeren kromozom gösterimi kullanılmıştır. Kromozom yapısında yalnızca makine bilgisini içeren genler mevcuttur. Bu gösterim [2, 3, 1, 3, 2, 1] şeklindedir ve 3 ve 6 işlerin birinci makinede, 1 ve 5 işlerin ikinci makinede, 2 ve 4 işlerin üçüncü makinede gerçekleştirileceğini ifade etmektedir. İş sırası her bir makine için gezgin satıcı çözümü ile bulunabilmektedir. Problemin çözümü için gezgin satıcı probleminde doubling metodu kullanılmış bu çözüm etkili çözüm üretmemiş olsaydı gen yapısında iş sırasının da verileceği belirtilmiştir. Bir veya daha fazla iş için atanan makinelerin değişimi için de mutasyon operatörü mevcuttur. Çaprazlama için herhangi sayıdaki iş seçilebilmektedir. Popülasyonun ilklenmesi rassal olarak gerçekleştirilmiştir, bu nedenle her bir işi makinelerde başlama şansı eşittir. Maça fonksiyonu olarak tamamlanma zamanı belirlenmiştir. Çalışmada oluşturulan genetik algoritma genel hatlarıyla ifade edilmektedir. Tezde ortaya koyulan çalışma bu algoritmadan faydalanılarak, probleme adapte edilerek gerçekleştirilmiştir.

Abdekhodae vd. (2006), hazırlık sürelerini karşılayacak yalnızca bir servis olduğu durumda iki paralel makine problemi üzerinde genetik algoritma ile gerçekleştirdikleri çalışmada popülasyonu koşum zamanı (verimlilik), optimalliğe yakınlık (etkinlik) göz önünde bulundurularak karar verilmiştir. Kromozom yapısı olarak sıralamaya dayalı bir yapı kullanmışlardır. Uygunluk fonksiyonu olarak tamamlanma zamanı ele alınmıştır. Çaprazlama operatörü olarak farklı üç metot kullanılmıştır. İlk olarak kısmi eşleşmeli çaprazlama kullanılmıştır. Bu yapıda benzer popülasyonlarda kromozomlar arasında birebir eşleştirme yapılmıştır. Örneğin, A= 231578496 ve B=167342895 kromozomlarında 5 ile 3, 7 ile 4, 8 ile 2 birebir eşleşmiş durumdadır. İlk olarak A'=XXX342XXX B'=XXX578XXX, sonrasında A'= XX1342X96 B'=16X578X9X ve sonuç olarak A'=851342796 B'=164578293 şeklinde çaprazlama gerçekleştirilmektedir. İkinci olarak sıralı çaprazlama yapısı kullanılmıştır. Bu yapı A=231578496 B=167342895 şeklindeki kromozom yapısının öncelikle A'=XXX578XXX B'=XXX342XXX ve sonuç olarak A'= 342578916 B'=578342961 şeklinde çaprazlamayla örneklenebilmektedir. Kullanılan diğer çaprazlama operatörü ise uniform çaprazlamadır. Bu çaprazlama operatörünün işlevi dört adımda ifade edilebilmektedir. İlk adım olarak aile

bireylerinden bir alt dizi seçilmekte ve S1 değişkenine kaydedilmektedir. İkinci adımda kalan diziler diğer aile bireyindeki sıraya göre S2 değişkenine kaydedilmektedir. Üçüncü adımda S1 ve S2 değişkenlerinden rastgele seçilen biri ilk dizi olarak atanmakta ve bu element S1 veya S2 değişkeninden silinmektedir. Son adım olarak tüm bireyler tamamlanana kadar üçüncü adım tekrarlanır. Mutasyon operatörü olarak ekleme yapısı kullanılmaktadır. Bu yapıda bir iş pozisyonundan silinmekte ve sıradaki başka bir iş eklenmektedir. Seçim operatörü olarak ise turnuva seçim prosedürü kullanılmıştır. Popülasyondan belirli bir kısım rassal olarak seçilerek gerçekleştirilmektedir.

Genetik algoritmanın probleme uygulanmasında ilk aşama olarak, problemin uygun çözümlerinin kromozom yapısına dönüştürülmesidir. Çizelgeleme problemlerinin kromozomlarında mevcut işler yer almaktadır. Problemin çözümünün bulunması için standart GA, rassal olarak üretilmiş kromozomların oluşturduğu bir başlangıç neslinden arama işlemine başlamaktadır ve iterasyonlar üzerinden iyi çözüm setlerine ulaşmaya çalışmaktadır. Ancak başlangıç çözümü olarak çeşitli sezgisellerle üretilen kromozomlar çözüme ulaşmayı hızlandırmaktadır. Her bir nesilde amaç fonksiyonu yardımıyla oluşturulan uygunluk fonksiyonu kromozomların uygunluğunu test etmekte ve bu değerlendirmeye göre kromozomlardan bazıları yeniden üretim için seçilmektedir. Paralel makine çizelgeleme problemi için her bir kromozomun uygunluk değeri maksimum tamamlanma zamanı değerinden üretilen bilginin minimumizasyon yapısına dönüştürülmesinden oluşmaktadır. Ebeveynin yeniden üretilen kopya sayısının sahip olduğu uygunluk değeriyle orantılı olması beklenmektedir, bu yöntem neticesinde seçim mekanizmasının işletilmesi sağlanmaktadır. Böylece mekanizma iyi kromozomları seçerek kötülerini elimine etmektedir. Seçilen kromozomlara çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörler uygulanarak yeni nesle ait kromozomlar oluşturulmaktadır. Bu işlemler iterasyon sayısının, her bir iterasyondaki iyileşmenin kayda değer olup olmadığının analizi gibi belirlenen bir bitirme koşulu sağlanıncaya kadar tekrar etmektedir. (Iyer ve Saxena, 2004)

Kromozom Yapısı: Kromozom yapısı oluşturulurken çok bileşenli kodlama yapısı kullanılmıştır. Bu yapıya göre kromozomlarda işlerin kendileri ve atandıkları makineler yer almaktadır. Örneğin $N=8$ iş ve $M=3$ makine içeren bir durumda genler [7-3, 6-1, 2-3, 5-2, 3-1, 1-2, 4-2, 8-1] şeklinde oluşturulmaktadır. Örnek kromozom yapısından anlaşılacağı üzere verilen sırada 6, 3, 8 işleri birinci makinede, 5, 1, 4 işleri ikinci makinede gerçekleştirirken, 7, 2 işleri üçüncü makinede gerçekleştirilmektedir.

Başlangıç Nesli: Genetik algoritmanın performansı kromozom çeşitliliğine bağlıdır. Bu nedenle popülasyonun ilklenmesi önemli bir işlemdir. Genellikle başlangıç bireylerinin bir sezgisel kullanarak belirlenmesi, rastgele oluşturulmasından daha kabul gören bir yöntemdir. Bizim yöntemimizde başlangıç popülasyonu üç farklı metot kullanılarak üretilmiştir. İlk metot belirlenen popülasyon büyüklüğünden 10 kat daha geniş bir popülasyondan en iyi 100 bireyin seçilmesi mekanizmasıdır. İkincisi, belirlenen popülasyondan 10 kat daha büyük olan popülasyondan 100 bireyin rastgele seçilmesidir. Sonuncusu, 10 kat genişletilmiş popülasyondan 100 bireyin pareto 60-30-10 kuralına göre seçilmesidir. Pareto yöntemi rulet tekerleği mekanizması kullanılarak uygunluk değerlerine bağlı olasılıklarla ilk 600 bireyden 60 bireyin, sonraki 300 bireyden 30 bireyin ve kalan 100 bireyden 10 bireyin seçilmesini sağlamaktadır. Pareto metodunun çalışma mekanizması neticesinde kromozom çeşitliliğine katkısı olacağı düşünülmüştür. Başlangıç çözümü için oluşturulan rassal yapının kullanılması sonuca varmayı güçleştirmekte veya gerekli iterasyon sayısını artırmaktadır. Deneysel çalışmalar esnasında ortaya çıkan bu bulgu ışığında ne kadar iyi bir başlangıç nesli ile başlanırsa o kadar sağlıklı sonuçlar elde edildiği anlaşılmaktadır. Başlangıç neslinin elde edilmesinde en iyi yöntem popülasyon büyüklüğünün 10 katına kadar rassal olarak popülasyon oluşturulması ve bu yığından normal popülasyon büyüklüğü kadar en iyi bireylerin seçilmesi daha etkili bir başlangıç nesli oluşturulmaktadır.

Uygunluk Fonksiyonu: Uygunluk fonksiyonunun hesaplanmasında tamamlanma zamanı değerinden faydalanılmıştır. Maksimum tamamlanma zamanı performans ölçütünü göz önüne alındığında paralel makine çizelgeleme probleminde temel amaç tamamlanma zamanının minimizasyonudur. Genetik algoritma ise maksimizasyon

esasına göre çalışmaktadır. Problemin bir maksimizasyon problemine dönüştürülmesi amacıyla nesildeki kromozomlara ait tüm tamamlanma zamanı ile problemin olabilecek en ideal çözümünden elde edilebilecek Cmax değeri arasındaki farkın hesaplanması yoluyla kromozomların uygunluk değerleri hesaplanmaktadır. Cmax(i) nesildeki i. kromozomun maksimum tamamlanma zamanı, Fitness(i), g. nesildeki i. kromozomun uygunluk değeri ve idealCmax ise problemin olabilecek en ideal çözümünden elde edilebilecek Cmax değeri olmak üzere uygunluk fonksiyonu denklem 3.2 deki gibi ifade edilebilmektedir.

$$Fitness(i) = idealCmax - Cmax(i) \quad (3.2)$$

Yeniden Üretim: Yeniden üretim işleminde Rulet Tekerleği Mekanizması kullanılmaktadır. Bu yöntemde, mevcut nesilde bulunan çizelgelere uygunluk değerlerine göre gelecek nesle aktarılma fırsatı verilmektedir. Yeniden üretim işlemi esnasında mevcut bireylerden en iyi %10 unun gelecek nesle herhangi bir seçim mekanizmasına uğramadan geçmesi problemin çözüme ulaşmasını hızlandırmıştır. Dolayısıyla rulet tekerleği kalan %90 popülasyon büyüklüğündeki çaprazlanacak eşleri seçmek amacıyla işlem görmektedir. Popsiz değişkeni i. nesilde bulunan toplam çizelge yani kromozom sayısını ifade etmekte iken, mevcut nesilde bulunan i. kromozomun seçilme olasılığı Roulette(i), toplam uygunluk değeri Fitness(i) değişkeni üzerinden denklem 3.3 deki gibi hesaplanmaktadır ve çözümde kümülatif olarak kullanılmaktadır.

$$Roulette(i) = \frac{Fitness(i)}{\sum_{j=popsiz * \%10}^{popsiz} Fitness(j)} \quad (3.3)$$

Çaprazlama Operatörü: Bu operatörün temel amacı daha iyi yavruların oluşturulması için seçilen ebeveyn kromozomlardaki bilgi değişiminin sağlanmasıdır. Başka bir ifadeyle bu operatör, ebeveyn kromozomların iyi özelliklerini koruyarak yeni nesil için yavru üretilmesi amacıyla iki ebeveyn kromozomun genetik materyallerini birleştirmektedir. Ayrıca bu değişim daha iyi genlerin araştırılması amacını taşımaktadır. Rassal olarak seçilen ebeveyn kromozomlar belirli bir olasılıkla çaprazlamaya tabi tutulurken diğerleri çaprazlama işlemi uygulanmaksızın yeni

nesilde aynen korunmaktadır. Bu çalışma kapsamında uygun olmayan çizelgelerin üretilmesinin engellenmesi amacıyla sıralama temelli çaprazlama operatörü kullanılmıştır. Bu yönteme göre yeniden üretim işlemiyle seçilen iki ebeveyn, rastsal seçilmiş çaprazlama noktaları temel alınarak bilgi değişimi yapmakta, bu yolla yavru kromozomlar elde edilmektedir. Kullanılan yönteme göre ilk bireyden 0,5 olasılıkla seçilen genler yavruya doğrudan aktarılır ve diğer farklı değerlere sahip genler ikinci bireydeki mevcut sıralamaya göre boş pozisyonlara yazılır. Bu sayede ilk yavru elde edilmiş olur. Daha sonra ebeveynlerin rolleri değiştirilerek ikinci yavru oluşturulmaktadır. Makine atamalarını ifade eden ikinci bileşen ise bireyler arasında tek noktali çaprazlama ile rastgele belirlenen genlerin değişimi neticesinde bilgi değişimini gerçekleştirmektedir.

Kellegöz vd. tarafından toplam ağırlıklı gecikmenin minimizasyonu üzerinde tek makineli çizelgeleme problemlerinde kullanılan çaprazlama operatörleri detaylı olarak incelenmiş ve değerlendirilen algoritmalarından en etkin ve hızlı çözümleri üreten algoritma olarak sıralama temelli çaprazlama operatörü seçilmiştir (Kellegöz vd., 2008). Tezde kullanılan sıra tabanlı çaprazlama operatörü bu çalışmanın değerlendirmelerinden faydalanılarak seçilmiştir. Çalışmada ele alınan çaprazlama yöntemleri denenmiş ve en uygun yöntemin sıra tabanlı çaprazlama operatörü olduğu doğrulanmıştır.

Mutasyon Operatörü: Yeni nesilde bulunan kromozomlardan belirli bir olasılıkla seçilenleri aynı olasılıkla mutasyon işlemine tabi tutulurken diğerleri ise aynen korunur. Mutasyon işlemi makine bileşenleri üzerinde gerçekleştirilmiş, iş bileşenleri aynen korunmuştur. Çaprazlamayla sağlanan çeşitliliğin makine bileşeni açısından desteklenmesi bu operatör sayesinde gerçekleştirilmektedir.

Genetik Algoritmanın Parametrelerinin Belirlenmesi: Genetik algoritmanın parametrelerinin belirlenmesinde rastsal oluşturulmuş örnek problemler kullanılmıştır. Her bir problem boyutunda her bir parametrenin olası birçok değeri göz önünde bulundurulmuş, gerek iyileştirme gerekse de işlem zamanları açısından bir birleriyle kıyaslanmıştır. Sonuç olarak her bir problem büyüklüğü için farklı parametre seviyeleri analiz edilmiştir. Temel algoritma olarak ele alınan 10 iş iki

makinenin mevcut olduğu yaklaşımda en uygun popülasyon büyüklüğü 100, işler için çaprazlama olasılığı 1.0, makineler için çaprazlama olasılığı 0.5, mutasyon olasılığı 0.25, ideal çözüm ile her bir çözüm arasındaki fark 0 ve en fazla jenerasyon (iterasyon) sayısı olarak $n=10$ $m=2$ problemi için 5000 $n=20$ $m=2$ için 3000 $n=30$ $m=2$ için 1000 değerleri seçilmiştir. Seçilen bu parametre seviyelerinde etkin çözümler üretildiği gözlenmiştir.

Sonuç olarak genetik algoritmanın etkinliğini kıyaslamak için iki makine 10 iş, 20 iş, 30 iş problem büyüklüklerinde optimum sonucunu elde eden bir algoritma kullanılmıştır. Bu algoritma tüm iş ve makine permutasyonlarını değerlendirmek için fonksiyon içinde fonksiyonu tekrar çağırma metodu kullanılarak geliştirilmiştir. Alternatif permutasyonların sayısı exploransiyel olarak artmaktadır. Permutasyon algoritması tüm permutasyonları tek tek incelediği için çözüm uzun süre almaktadır. Genetik algoritma, problemi permutasyon algoritmasına kıyasla çok kısa bir sürede çözebilmektedir. Bununla birlikte Çözümlerin daha iyi bir noktaya taşınması genetik algoritmanın bulduğu çözümü makine dizilişi sabit kalmak şartıyla başlangıç çözüm alan bir tabu algoritması geliştirilmiştir. Tabu olarak makinelere atanan işlerin indexlerinin toplamı bir özellik olarak değerlendirilmiştir. Bu tabu algoritması çözümü daha iyi noktalara taşımakta etkin olurken genetik algoritmadan bağımsız olarak çalıştırıldığında aynı performansı göstermemektedir.

4. TARTIŞMA

Genetik algoritmalar tabu arama ve tavlama benzetimi algoritmalarından farklı daha genel algoritmalarlardır. Tavlama benzetimi ve tabu arama bir bakıma GA'nın özel durumlarıdır. Bu nedenle problemin çözümüne ulaşabilmek için GA kullanılmıştır. GA çizelgeleme problemlerine uygulandığında popülasyondaki her birey bir çizelge, sıralama ifade etmektedir ve bu bireylerden her biri uygunluk değeri ile karakterize edilmektedir. Bir bireyin uygunluğu ilgili amaç fonksiyonu değeri ile ölçülmektedir. Çalışma yapısı olarak iterasyonlar bazında çalışmaktadır ve bu iterasyonlar jenerasyonları oluşturmaktadır. Popülasyon önceki jenerasyondan hayatta kalarak yeni jenerasyona geçen çizelge, sıralama bilgilerinden oluşmaktadır. Çok makineli problemlerde kromozomlar genellikle hem sıralama hem de makine bilgisini içermektedir. Popülasyon büyüklüğü bir jenerasyondan diğerine sabit kalmaktadır. Mutasyon ve yeniden üretim operatörleri ile oluşturulan çocuklar ebeveynlerinden aldıkları makine ve iş sıralaması gibi yeni bilgileri içermektedirler. Aile bireylerinde gerçekleştiren mutasyon gen sıralamanın değişimi olarak ifade edilebilmektedir. Doğum, ölüm ve yeniden üretim fonksiyonları yeni jenerasyonun uygunluk seviyesine göre kompozisyonunu belirlemektedir.

Genetik algoritmalar bir arama süreci olarak tavlama benzetimi ve tabu aramadan ayrılmaktadır. Her bir iterasyonda farklı çizelgeler oluşturulmakta ve bir diğer adıma taşınmaktadır. Tabu arama ve tavlama benzetiminde ise yalnızca bir çizelge bir iterasyondan diğerine taşınmaktadır. Bu nedenle tabu arama ve tavlama benzetimi popülasyon büyüklüğünün yalnızca bir olduğu özel bir genetik algoritma metodolojisidir. Dolayısıyla çözüm çeşitliliği açısından değerlendirildiğinde GA daha ileri çözümler sunmaktadır. GA yalnızca bir çözüm üzerinden değil bir çözüm seti üzerinden hareket etmektedir ve yeni çizelgeleme çözümlerin oluşturulmasında tavlama benzetimi ve tabu aramadan daha genel teknikler kullanmaktadır. Yeni çizelgeleme çözümü popülasyondaki diğer çözümlerin birlikte değerlendirilmesi ile gerçekleşmektedir. Bu süreç çaprazlama operatörünün etkisini ortaya koymaktadır. (Pinedo, Chao, 1999)

Küçük boyutlu problemlerde Tabu Arama Algoritması daha iyi sonuçlar ortaya koyarken büyük çaplı problemlerde Genetik Algoritma diğer algoritmaları nispeten daha iyi sonuçlar üretebildiğinden tercih edilmektedir. İşlem zamanları açısından ise her boyuttaki problemlerde genetik algoritma tabu arama ve tavlama benzetimi algoritmalarından daha hızlı çözümler üretebileceğinden daha avantajlıdır. Tabu Arama Algoritmasının olası çözümleri ortaya koymakta zorlanmaktadır. Genetik algoritmanın performanslarının iyileştirilmesi amacıyla başlangıç çözümü oluşturulmasında çizelgeleme problemlerine ilişkin kurucu algoritmaların kullanılması gerekmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada işlerin hazırlık sürelerinin tek bir servis tarafından sağlandığı ve sıra bağımlı hazırlık sürelerinin mevcut olduğu bir paralel makine çizelgeleme problemine genetik algoritma kullanılarak çözüm getirilmektedir. Problemden tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amaçlanmaktadır. Tez neticesinde daha önce ele alınmamış bu tip karmaşık bir probleme bakış açıları geliştirilmiştir. Etkin çözümler ortaya koyan bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Bununla birlikte tüm alternatif çözümleri deneyecek bir algoritma ortaya koyulmuş ortaya koyulan bu algoritma ile mukayeseler gerçekleştirilerek genetik algoritma çözümünün etkinliği test edilmiştir. Elde edilen bu etkinliğe başlangıç çözümünün oluşturulma stratejisinin ve seçilen çaprazlama yönteminin etkisi araştırılmıştır.

Genetik algoritma özdeş iki makine 10 iş, 20 iş, 30 iş problem büyüklüklerinde rastgele oluşturulmuş problemler ile çalıştırılmıştır. Bu algoritmanın kısa zamanda kabul edilebilir sonuçlar bulmakta etkin bir algoritma olduğunu ortaya çıkarmıştır. Genetik algoritma ile bulunan sonuçlar optimum ve optimuma yakın Cmax değerleri ve çizelgeler üretmiştir. Üretilen problemlerin parametreleri işlem zamanları, sıra bağımlı hazırlık süreleri, hazırlık sürelerinin yapısı ve makine sayısıdır.

Ayrıca genetik algoritmanın performansını etkileyen üç parametre mevcuttur. Bunlar popülasyon büyüklüğü, çaprazlama ve mutasyon olasılığıdır. Popülasyon büyüklüğü için 10 ile 100 arasında 10 aralıklı artım ile elde edilen değerler, çaprazlama ve mutasyon olasılıkları için 0.25, 0.50, 0.75 değerleri denenmiştir. Her bir örnek ve seviye için program 5 kere çalıştırılmış ve ilgili Cmax değerleri hesaplanmıştır. En iyileme çalışmalarını ardından parametreler sırasıyla 100, 0.5, 0.25 olarak bulunmuştur.

Algoritmanın etkinliği tüm alternatifler ve problem büyüklükleri için 50 tekrarın sonuçları kullanılarak test edilmiştir. Test sonuçları optimum sonuçtan sapmaları gösteren dağılımın elde edilmesi için çalışılmıştır ve en iyi 100 kromozomu kullanan ilkleme yönteminin hataların minimize edilmesi açısından etkin olduğunu sunmaktadır. Dağılım analizinin sonucunda en iyi 100 ilkleme yöntemini kullanan genetik algoritma çözümünün optimal çözüme yakın değerleri diğer yöntemlerden daha etkin bir şekilde bir araya getirdiği ortaya gözlenmiştir. Bu yöntem optimum çözümleri bulmakta da diğer ilkleme yöntemlerinden daha iyidir.

Genetik algoritma çözüm yöntemini kullanmanın avantajları ve dezavantajları söz konusudur. Bu avantajlardan ilki problemin yapısal karakterlerinin detaylarıyla analiz edilemediği durumlarda kullanılabilmesidir. Çok kolay bir şekilde kodlanabilmekte ve çoğunlukla iyi sonuç vermektedir. Fakat koşum zamanı açısından değerlendirildiğinde daha sıkı ve özel yöntemlere göre nispeten uzun bir çözüm zamanı gerektirmektedir (Pinedo, Chao, 1999). Tüm alternatiflerin aynı anda değerlendirilmesi ile kıyaslandığında çok hızlı ve etkin çözümler elde edildiği gözlenmektedir.

5.2 Öneriler

Çalışmanın sonucunda görüldüğü üzere genetik algoritma çözümü etkin bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna karşın koşum zamanı açısından değerlendirildiğinde problemin karakteristiğine göre özel olarak tasarlanmış yöntemlerden daha kısa çözüm zamanına ihtiyaç duymaktadır. Fakat yinede geliştirilen çözüm yöntemine çözümü hızlandıracak sezgisel metodolojilerinin eklenmesi sonuca daha doğru ve çabuk ulaşmayı sağlayacaktır. İleriki çalışmalarda oluşturulan çözümün koşum zamanı temel alınarak farklı sezgisel tekniklerle, doğrusal programlama modelleriyle, elitizm gibi diğer operatörler ve farklı parametre seviyeleri kullanılarak oluşturulan genetik algoritmalarla kıyaslanması algoritmanın etkinliğini daha da kesin bir şekilde ortaya koyacaktır. Bu çalışmalar neticesinde sezgisel modellerle bütünleşik olarak kullanılabilen yeni bakış açıları da geliştirilebilecektir.

Tezin sonucunda ortaya konulan bu algoritmanın çeşitli çaprazlama ve seçim operatörlerinin kullanımı ile bu operatörlerin performanslarının kıyaslanması, geliştirilecek çeşitli matematiksel model veya sezgisellerle birlikte değerlendirilmesi gibi yeni birçok araştırma konusu ortaya koymaktadır. Bu da oluşturulan temel algoritmanın hem literatüre hem de gelecek çalışmalara katkı sağlayabileceği anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak algoritmanın çözüm zamanı ve optimum çizelgeleri bulması açısından $P2,S|STsd|Cmax$ çizelgeleme problemini çözmek için kabul edilebilir şekilde etkin olduğu ortaya koyulmuştur. İleriki çalışmalarda bu problem için daha karmaşık proses, hazırlık zamanları ve daha fazla sayıda makine kullanılması ve optimum değerden sapmaların iyileştirilmesine yönelik yeni araştırmalar ortaya koymak mümkündür.

KAYNAKLAR

Aarts, E., Lenstra, J. K., Local search in combinatorial optimization. New York: Wiley and Sons, 1997.

Abdekhodae, A. H., Wirth, A., Gan, H. S., Scheduling two parallel machines with a single server: the general case. *Computers & Operations Research* (33), 994–1009, 2006.

Allahverdi, A., Gupta, J. N., Aldowaisan, T., A review of scheduling research involving setup considerations. *OMEGA The International Journal of Management Sciences* (27), 219–239, 1999.

Allahverdi, A., Mg, C. T., Cheng, T. C., Kovalyov, M. Y., A survey of scheduling problems with setup times or costs. *European Journal of Operational Research* (187), 985–1032, 2006.

Baker K. R., Elements of sequencing and scheduling, Amos Tuck School, Dartmouth Collage, Hanover, 1995.

Baker K. R., Introduction to sequencing and scheduling, John Wiley and Sons, New York, 1974.

Cheng, T. C., Gupta, J. N., & Wang, G., A review of scheduling research with setup times. *Production and Operations Management* , 9 (3), 262-282, 2000.

Coley, D. A. , An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers, World Scientific, Singapore, 1999.

Davis, L., & Streenstrup, M., Genetic algorithms and simulated annealing: an overview. London: Pitman, 1987.

De Jong, K. A., An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems, Ph. D Thesis, University of Michigan, 1975.

Elmas, Ç., Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin, Ankara, 2007.

Eren, T., Çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemleri için çözüm yaklaşımları . Ankara: Gazi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 2004.

Golberg, D. E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, M. A. 1989.

Guinet, A., Scheduling sequence dependent jobs on identical parallel machines to minimize completion time criteria. Int. J. Prod. Res. , 31 (7), 1579-1594, 1993.

Holland, J. H., Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor: MI: The University of Michigan Press, 1975.

Huang, S., Chai, L., Zhang, X., Parallel dedicated machine scheduling problem with sequence-dependent setups and a single server. Computers & Industrial Engineering (58), 165-174, 2009.

Iyer, S., Saxena, B. Improved genetic algorithm for the permutation flowshop scheduling problem. Computer & Operations Research , 31, 593-606, 2004.

Kellegöz, T., Toklu, B., Wilson, J., Comparing efficiencies of genetic crossover operators for one machine total weighted tardiness problem, Applied Mathematics and Computation (199) ,590–598, 2008.

Kurz, M. E., Askin, R. G., Heuristic scheduling of parallel machines with sequence-dependent set-up times. Int. J. Prod. Res., 39 (16), 3747-3769, 2001.

Pinedo, M., Chao, X., Operations Scheduling with Applications in Manufacturing and Services. Singapore: Irwin McGraw Hill, 1999.

Pinedo, M. L. Scheduling: Theory, algorithms and systems. Englewood: Prentice-Hall, 1995.

Sivriaya, F., Ulusoy, G., Parallel machine scheduling with earliness and tardiness penalties. *Computers & Operations Research* (26), 773-787, 1999.

Sivanandam, S. N., Deepa, S. N., Introduction to Genetic Algorithms. Springer, New York, 2008.

Wilson, A. D., King, R. E., & Hodgson, T. J., Scheduling non-similar groups on a flow line: multiple group setups. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* (20), 505–515, 2004.

EKLER

EK 1. FARKLI PROBLEM BÜYÜKLÜKLERİNDE ALTERNATİF ÇÖZÜM SAYILARI

Problem Büyüklüğü n iş, m makine	Alternatif Çözüm Sayısı
n = 10, m = 2	3715891200
n = 20, m = 2	2551082656125828464640000
n = 30, m = 2	2,8481308951595832473664081994187e+41

EK 2. İSTATİSTİKSEL BİLGİLER

Problem Büyüküğü	Başlangıç Nesli	Ortalama	Standard Sapma	Maksimum Hata	Optimum. Sonuç
n = 10 m = 2	En iyi 100	206.96	0.532993	2	206
	Pareto 60-30-10	207.16	0.618095	2	206
	Rastgele 100	207.08	0.565685	2	206
n = 20 m = 2	En iyi 100	490.04	1.456302	6	486
	Pareto 60-30-10	490.28	1.355864	7	486
	Rastgele 100	490.22	1.250143	6	486
n = 30 m = 2	En iyi 100	769.46	2.383703	12	762
	Pareto 60-30-10	769.88	1.814229	11	762
	Rastgele 100	769.56	2.442481	11	762

EK 3. RASTGELE ÜRETİLEN PROBLEM PARAMETRELERİ

Parametreler	En Düşük (tamsayı)	En Yüksek (tamsayı)
İşlem Süresi	10	100
Sıra Bağımlı Hazırlık Süreleri	1	10
Hazırlık Süresi Matrisi	Simetrik	Asimetrik
Makine Sayısı	2	2
İş Sayısı	10	30

EK 4. DENEYSEL SONUÇLAR (10 İŞ 2 MAKİNE)

Problem Büyüküğü n iş, m makine	En iyi 100	Pareto 60-30-10	Rastgele 100
n = 10, m = 2			
1	207	207	208
2	207	207	207
3	207	208	207
4	208	206	207
5	207	207	207
6	207	207	207
7	207	207	207
8	208	208	208
9	206	207	207
...
50	206	206	207
Optimum Sonuç Sayısı	8	6	6

EK 5. DENEYSEL SONUÇLAR (20 İŞ 2 MAKİNE)

Problem Büyüküğü n iş, m makine	En iyi 100	Pareto 60-30-10	Rastgele 100
n = 20, m = 2			
1	490	492	490
2	492	492	489
3	492	491	491
4	490	490	487
5	492	488	491
6	490	488	492
7	491	491	490
8	489	490	489
9	488	490	491
...
31	486	491	491
...
50	490	490	489
Optimum Sonuç Sayısı	1	1	0

EK 6. DENEYSEL SONUÇLAR (30 İŞ 2 MAKİNE)

Problem Büyüküğü n iş, m makine	En iyi 100	Pareto 60-30-10	Rastgele 100
n = 30, m = 2			
1	769	770	771
2	771	772	770
3	771	770	770
4	770	765	765
5	768	772	768
6	769	768	769
7	771	771	773
8	771	769	771
9	768	770	768
...
26	762	769	764
...
50	771	771	767
Optimum Sonuç Sayısı	1	1	0

EK 7. HATA DAĞILIM GRAFİKLERİ

