

**MONTAJ HATTI İŞÇİ ATAMA VE DENGELEME
PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMALARLA
ÇÖZÜLMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Olçay POLAT

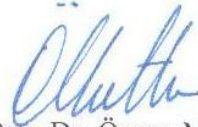
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özcan MUTLU

Eylül, 2008

DENİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Olcay POLAT tarafından Yrd. Doç. Dr. Özcan MUTLU yönetiminde hazırlanan “Montaj Hattı İşçi Atama ve Dengeleme Problemlerinin Genetik Algoritmalarla Çözülmesi” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr. Özcan MUTLU

Jüri Başkanı (Danışman)



Doç. Dr. Osman KULAK

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Sezai TOKAT

Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23/10/2008 tarih ve 21/16 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



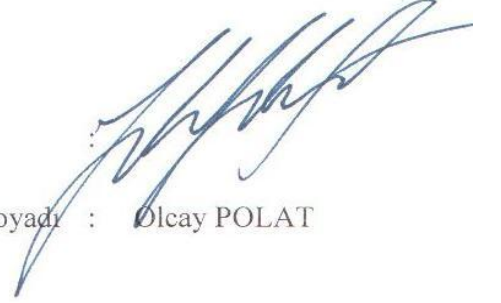
Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL

Müdür

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

İmza :

Öğrenci Adı Soyadı : Olcay POLAT



TEŞEKKÜR

Hazırlamış olduğum tez çalışmamda, öncelikle beni yönlendiren, fikirleriyle bana yol gösteren, tezime yoğunlaşabilmem için bana çalışma ortamı sunan ve çalışmamın daha anlaşılır hale gelmesini sağlayan Değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Özcan MUTLU'ya,

Tez çalışmam süresince manevi desteği ve fikirleriyle bana destek olan Sayın Hocam Doç. Dr. Aşkîner GÜNGÖR'e ve Sayın Hocam Doç. Dr. Osman KULAK'a

Yardımlarını asla unutamayacağım çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. Can Berk KALAYCI'ya ve Arş. Gör. Yusuf ŞAHİN'e,

Bu tezin gerçekleşmesinde 2007FBE016 numaralı proje ile destek sağlayan Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine,

Son olarak, bugünlere gelmemi sağlayan, beni her konuda destekleyen, bana güvenen, bana inanan ve her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

☺lcay POLAT

ÖZET

MONTAJ HATTI İŞÇİ ATAMA VE DENGELEME PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMALARLA ÇÖZÜLMESİ

Polat, Olcay

Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği ABD

Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Özcan MUTLU

Eylül 2008, 155 Sayfa

Montaj hattı dengeleme problemi, montaj işleminin yapılabilmesi için operasyonların, aralarında ki öncelik ilişkileri göz önüne alınarak farklı amaçlara göre iş istasyonlarına atanmasıdır. Bu tezde montaj hattı dengeleme konusunda son birkaç yılda ortaya atılan bir problem olan montaj hattı işçi atama ve dengeleme problemi incelenmiştir.

Montaj hattı işçi atama ve dengeleme problemine kıt işgücü kaynaklara sahip olan, iş sürelerinin işi gerçekleştiren operatörün yetilerine bağlı olarak değiştiği yada bazı operatörlerin bazı operasyonları gerçekleştiremediği montaj hatlarında gün geçtikçe daha fazla karşılaşılmaktadır. Eş zamanlı operasyonların istasyonlara atanması ve uygun işçilerin istasyonlara atanması bu problemin içeriğini oluşturmaktadır.

Montaj hattı dengeleme problemi gibi montaj hattı işçi atama ve dengeleme problemi de NP-zor problemler sınıfına girdiği için en iyi çözümü bulan yöntemler ile çözüm zamanı problem boyutuna bağlı olarak üstel artış göstermektedir. Bu nedenle pratikte karşılaşılan problemlerin çözümünde yaklaşık çözümü bulan sezgisel yöntemlerden yararlanılmaktadır

Bu tezde montaj hattı işçi atama ve dengeleme problemi için matematiksel model tanımlanmış ve problemin çözümüne yönelik iki aşamalı bir genetik algoritma modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın performansına etki eden parametrelerin en iyi kombinasyonu belirlemek amacı ile bir deney tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Montaj Hattı Dengeleme, İşçi Atama, Genetik Algoritma, Montaj Hattı İşçi Atama ve Dengeleme Problemi

Yrd. Doç. Dr. Özcan MUTLU

Doç. Dr. Osman KULAK

Yrd. Doç. Dr. Sezai TOKAT

ABSTRACT

A GENETIC ALGORITHM FOR THE ASSEMBLY LINE WORKER ASSIGNMENT AND BALANCING PROBLEM

Polat, Olcay

M.Sc. Thesis in Industrial Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Özcan MUTLU

September 2008, 155 Pages

Assembly line balancing problem is to assign a set of operations to an ordered set of work stations so that the precedence relations are satisfied and some measure of performance is optimized. In this thesis, a new problem called as assembly line worker assignment and balancing problem is introduced.

This problem arises in those assembly lines where we have certain limited resources available in which the operation time for every task is different depending on who executes the task, and where there are also some task-worker incompatibilities defined. The problem consists of providing a simultaneous solution to tasks to stations and available workers to stations.

Just as in the case of assembly line balancing problems, assembly line worker assignment and balancing problems fall into Np-hard class, solution time of all exact algorithms increase exponentially with problem size. For this reason, heuristics are used to solve real application problems. A well known heuristic approach in solution of assembly line balancing problems is genetic algorithm.

After defining the mathematical model for this problem, a genetic algorithm based two leveled algorithm is developed. An experimental design has been used to determine the best combination of factors which are effective on performance of developed algorithm.

Keywords: Assembly Line Balancing, Worker Assignment, Genetic Algorithm, Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem

Assist. Prof. Dr. Özcan MUTLU

Assoc. Prof. Dr. Osman KULAK

Assist. Prof. Dr. Sezai TOKAT

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU	i
BİLİMSEL ETİK SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	14
2. MONTAJ HATTI Dengeleme Problemi	17
2.1. Üretim	17
2.1.1 Üretim tipleri.....	18
2.2 Montaj Hatları	20
2.2.1 Montaj hattılarının sınıflandırılması	22
2.3 Montaj Hattı Dengeleme Problemi	26
2.3.1 Montaj hattı dengeleme problemlerinde kullanılan temel kavramlar	27
2.3.2 Montaj hattı dengeleme problemlerinde yer alan kısıtlar	33
2.3.3 Montaj hattı dengeleme problemlerinde operasyon süreleri.....	34
2.3.4 Montaj hattı dengeleme probleminin sınıflandırılması	35
2.4 Montaj Hattı İşçi Atama ve Dengeleme Problemi	37
3. GENETİK ALGORİTMALAR.....	43
3.1 Genetik Algoritmanın Tarihçesi.....	43
3.2 Genetik Algoritmanın Tanımı	44
3.3 Genetik Algoritmanın Üstünlükleri ve Sınırlamaları	45
3.4 Genetik Algoritma Terimleri.....	46
3.5 Genetik Algoritmaların Çalışma Prensibi	47
3.6 Genetik Algoritma Adımlarına Ayrıntılı Bakış.....	47

3.6.1 Kromozom yapısı	47
3.6.2 Toplum büyüklüğünün belirlenmesi	49
3.6.3 Başlangıç toplumunun belirlenmesi	49
3.6.4 Uygunluk değeri.....	50
3.6.5 Ölçeklendirme ve Seçim havuzu.....	50
3.6.6 Seçim ve Elitizm	52
3.6.7 Çaprazlama operatörü	53
3.6.8 Mutasyon operatörü	58
3.6.9 Durdurma Kriteri.....	60
4. MONTAJ HATTI Dengeleme Problemlerinde Genetik Algorİtma Uygulamaları	62
4.1 Problem Özelliklerine Göre Literatür İncelemesi	64
4.1.1 Basit montaj hattı dengeleme problemi.....	64
4.1.2 Genel montaj hattı dengeleme problemi	68
4.2 GA Özelliklerine Göre Literatür İncelemesi	72
4.2.1 MHDP-GA kromozom yapısı	74
4.2.2 MHDP-GA uygunluk fonksiyonu	77
4.2.3 MHDP-GA genetik operatörler.....	80
5. MONTAJ HATTI İŞÇİ ATAMA VE Dengeleme Problemlerinin Genetik Algorİtmalarla Çözülmesi	84
5.1 Problemin Tanımı ve Varsayımlar	84
5.2 Geliştirilen Algorİtma	85
5.2.1 GA1 Algorİtması.....	85
5.2.1.1 Kromozom yapısı	88
5.2.1.2 Çevrim süresi Alt-Sınır'ın belirlenmesi	89
5.2.1.3 Başlangıç toplumunun belirlenmesi.....	90
5.2.1.4 Uygunluk değeri.....	95
5.2.1.5 Ölçeklendirme ve Seçim havuzu.....	95
5.2.1.6 Seçim ve Elitizm	97
5.2.1.7 Çaprazlama.....	99
5.2.1.8 Mutasyon.....	103
5.2.1.9 Durdurma kriteri.....	108
5.2.2 GA2 Algorİtması.....	108
5.2.2.1 Kromozom yapısı	109
5.2.2.2 Başlangıç toplumunun belirlenmesi.....	109

5.2.2.3 Uygunluk değeri.....	110
5.2.2.4 Ölçeklendirme ve Seçim havuzu.....	114
5.2.2.5 Seçim ve Elitizm	114
5.2.2.6 Çaprazlama.....	114
5.2.2.7 Mutasyon.....	116
5.2.2.8 Durdurma kriteri.....	119
5.3 Deneysel Çalışmalar.....	119
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	130
KAYNAKLAR	133
EKLER.....	142
ÖZGEÇMİŞ	154

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Teknolojik öncelik diyagramı	30
Şekil 2.2 Tam dengelenmiş ve dengelenmemiş hat durumları	31
Şekil 2.3 Montaj hattı dengeleme problemlerinin sınıflandırılması.....	36
Şekil 3.1 Genetik algoritma kullanarak problem çözme	44
Şekil 3.2 İkili kodlama gösterimi	48
Şekil 3.3 Permütasyon kodlama gösterimi.....	48
Şekil 3.4 Değer kodlama gösterimi	49
Şekil 3.5 Tek noktalı çaprazlama işlemi	54
Şekil 3.6 Tek noktalı çaprazlama işlemi	55
Şekil 3.7 Çok noktalı çaprazlama işlemi.....	55
Şekil 3.8 Uniform çaprazlama işlemi.....	56
Şekil 3.9 PMX çaprazlama işlemi	57
Şekil 3.10 OX çaprazlama işlemi.....	58
Şekil 3.11 Bit çevirme operatörü işlemi.....	59
Şekil 3.12 İkili yer değiştirme operatörü işlemi.....	60
Şekil 3.13 Yerine koyma operatörü işlemi.....	60
Şekil 4.1 MHDP'lerin GA'la çözümünün incelenmesi için yapısal bir çerçeve.....	63
Şekil 4.2 Alternatif kromozom yapısı gösterimi örnek montaj hattı.....	75
Şekil 4.3MHDP kullanılan kromozom yapıları	75
Şekil 5.1 MHİADP için hazırlanan GA akış şeması	86
Şekil 5.2 Örnek modele ilişkin operasyon öncelik ilişki şebekesi	88
Şekil 5.3 Operasyon temelli kromozom gösterimi.....	88
Şekil 5.4 Operasyon sıralaması başlangıç toplumunda örnek bir kromozom.....	94
Şekil 5.5 Kromozomların eşleştirme havuzuna alınması.....	96
Şekil 5.6 Rulet terkeri seçimi (Kalaycı 2008)	98
Şekil 5.7 Tek noktalı sağdan çaprazlama operatörü.....	100
Şekil 5.8 Tek noktalı sağdan çaprazlama ile oluşan Çocuk A	101
Şekil 5.9 Tek noktalı soldan çaprazlama operatörü	102
Şekil 5.10 Tek noktalı soldan çaprazlama ile oluşan Çocuk A.....	103
Şekil 5.11 SSM Operatörünün uygulanması	105

Şekil 5.12 SSM operatörünün uygulanması ile oluşan mutant	106
Şekil 5.13 SM operatörünün uygulanması	107
Şekil 5.14 SM operatörünün uygulanması ile oluşan mutant	108
Şekil 5.15 İşçi ataması gerçekleştirilecek verilen operasyon sırası	109
Şekil 5.16 İş istasyonu temelli kromozom gösterimi	109
Şekil 5.17 İşçi ataması başlangıç toplumunda örnek bir kromozom	110
Şekil 5.18 Uygunsuz bir istasyona sahip atama matrisi	113
Şekil 5.19 İşçi ataması PMX çaprazlama işlemi	115
Şekil 5.20 İşçi ataması OX çaprazlama işlemi	116
Şekil 5.21 İşçi ataması ikili yer değiştirme operatörü işlemi	118
Şekil 5.22 İşçi ataması yerine koyma operatörü işlemi	118

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1 Örnek öncelik matrisi.....	30
Tablo 4.1 MHDP-GA uygunluk fonksiyonlarında kullanılan notasyonlar	78
Tablo 5.1 Operasyon öncelik ilişkileri	87
Tablo 5.2 Örnek modelde yer alan işçi havuzu operasyon süreleri	87
Tablo 5.3 Örnek modele ilişkin en düşük operasyon süreleri	90
Tablo 5.4 Operasyon öncelik ilişkileri matrisi	91
Tablo 5.5 Operasyon öncelik ilişkileri matrisi	92
Tablo 5.6 1.Güncelleştirme işlemi öncesi ve sonrası ilişki matrisi.....	93
Tablo 5.7 2.Güncelleştirme işlemi öncesi ve sonrası ilişki matrisi.....	94
Tablo 5.8 Rulet çemberi olasılık hesaplaması.....	98
Tablo 5.9 Sağdan çaprazlama sonrası güncelleştirme matrisi	101
Tablo 5.10 Soldan Çaprazlama sonrası güncelleştirme işlemi matrisi	103
Tablo 5.11 SSM Aktarım sonrası güncelleştirme işlemi matrisi	106
Tablo 5.12 SM Aktarım sonrası güncelleştirme işlemi matrisi.....	107
Tablo 5.13 MHİADP-GA Kullanılan faktörler ve seviyeleri.....	120
Tablo 5.14 Kilbridge-45 tam denge durumu.....	122
Tablo 5.15 Beklenen işçi ataması durumu	123

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

NP	: Doğrusal olmayan problemler
N	:Ürüne ait operasyon sayısı
r	:Ürüne ait öncelik ilişkisi sayısı
t_i	:i. operasyonunun işlem süresi
C	:Çevrim süresi
T	:Toplam üretim süresi
$ÜS$:Üretilmek istenen ürün sayısı
n_{enk}	:Minimum iş istasyonu sayısı
C^*	:Ortalama iş istasyonu süresi
E	:Esneklik oranı
Y	:Öncelik matrisinde “0” değerine sahip hücre sayısı
D	:Denge kaybı
$Dİ$:Düzensizlik indeksi
T_j	:j. istasyon operasyon süresi
T_{enb}	:İş istasyonu sürelerinin en büyüğü
A	Hat dengesizliği
HE	:Hat etkinliği
TE	:Teorik etkinlik
MH	:Montaj hattı
MHD	:Montaj hattı dengeleme
$MHDP$:Montaj hattı dengeleme problemi
$TMMHD$:Tek modellenli montaj hattı dengeleme
$CMMHD$:Çok modellenli montaj hattı dengeleme

<i>KMMHD</i>	:Karışık modellenli montaj hattı dengeleme
<i>BMHD</i>	:Basit montaj hattı dengeleme
<i>GMHD</i>	:Genel montaj hattı dengeleme
<i>MHIADP</i>	:Montaj hattı işçi atama ve dengeleme problemi
<i>MHTP</i>	:Montaj hattı tasarım problemi
<i>MSTP</i>	:Montaj sistem tasarım problemi
<i>GA</i>	:Genetik algoritmalar
<i>GGA</i>	:Gruplama genetik algoritması
<i>L</i>	:Kromozmdaki gen sayısı
<i>K</i>	:Gendeki kodlama karakter sayısı
f_i	:i. kromozom uygunluk değeri
f'_i	:i.kromozom ölçeklendirilmiş uygunluk değeri
f_{ort}	:Toplum ortalama uygunluk değeri
<i>PMX</i>	:Parçalı haritalanmış çaprazlama
<i>OX</i>	:Sıra temelli çaprazlama
<i>SM</i>	:Çabalama mutasyonu
<i>SSM</i>	:Çabalayıcı liste mutasyonu
<i>GA1</i>	:Modelde çalışan üst genetik algoritma
<i>GA2</i>	:Modelde çalışan üst genetik algoritma
<i>AS</i>	:Alt sınır değeri
<i>uco</i>	:Üst çaprazlama oranı
<i>umo</i>	:Üst mutasyon oranı
<i>aco</i>	:Alt çaprazlama oranı
<i>amo</i>	:Alt mutasyon oranı

1. GİRİŞ

Günümüzün yoğun rekabete dayalı endüstriyel üretim teknolojilerinde birim üretim maliyetlerinin düşürülmesi için üretim kaynaklarının daha etkin kullanılmasının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Endüstriyel işletmeler kısıtlı olan üretim kaynaklarını daha etkin kullanabilmek ve üretim maliyetlerini düşürebilmek amacıyla akış tipi üretim sistemlerine yönelmişlerdir. Akış tipi üretim sistemlerinde, standartlaştırılmış ürünleri yüksek hacimlerde üretilebilmesine olanak vermesi dolayısıyla montaj hatları çok önemli bir yapı taşı oluşturmaktadır.

Montaj hatları kısaca, akış hattı boyunca işgücü veya taşıma bandı gibi kaynaklar kullanılarak transfer edilen ve parça üzerinde gerçekleştirilen operasyonların, mevcut kısıtlar göz önüne alınarak iş istasyonlarında toplanması ve oluşturulan iş istasyonlarının bir hat boyunca sıralanması ile oluşan sistemlerdir. Hat üzerinde yer alan istasyonlarda bulunan operatörler ya da robotlar, montajı gerçekleştirilecek ürün kendi iş istasyonlarına geldiğinde kendisine tanımlanmış operasyonu veya operasyonları gerçekleştirirler.

Yüksek hacimlerde üretim gerçekleştirebilmek amacıyla tasarlanan montaj hatlarında, tasarlanan iş istasyonlarına atanan operasyonların toplam işlem sürelerinin dengelenmesi sorunu ortaya çıkmaktadır. Kurulacak montaj hattının verimli olarak çalışabilmesi için kısıtlar altında istasyon kapasitesinin en yüksek şekilde kullanılmasının sağlanması ve iş istasyonları arasındaki işlem süresi toplamı farkının en küçüklenmesi gerekmektedir.

Montaj işleminin yapılabilmesi için gerekli işler, bu işlerin aldıkları süreler ve aralarındaki öncelik ilişkileri verildiğinde, işlerin bir performans ölçütünü eniyileyecek şekilde sıralı iş istasyonlarına atanması, montaj hattı dengeleme problemi olarak tanımlanmaktadır (Ağpak vd 2002). Montaj hatlarının tasarlanması sırasında kullanılan performans ölçütleri genellikle; toplam iş istasyonu sayısının veya hatta üretilecek ürün veya ürünler için çevrim süresinin en küçüklenmesidir.

Tasarlanan montaj hatlarının dengelenmiş olarak kurulması; üretim hızlarının artırılması, sağlıklı bir üretim planlama çalışmasının yapılmasına imkan vermesinden dolayı, endüstriyel işletmeler açısından büyük önem taşır. Aynı zamanda artan rekabet, zorlaşan piyasa şartları altında üretimi en verimli şekilde tasarlamak ve değişimlere cevap verebilecek düzeyde tutabilmek için hat dengeleme çalışmalarının detaylı ve düzenli olarak yapılması gerekmektedir.

Yukarıda bahsedildiği gibi montaj hatları, üretim sistemlerinin verimliğinde önemli rol oynamaktadır ve bu nedenle hattın tasarım ve dengeleme konusuna duyulan ilgi her geçen gün artmaktadır. Ancak, literatür incelendiğinde yapılan çalışmaların çoğu teorik kalmakta, pratiğe yönelik çok az çalışmaya rastlanmaktadır. Bunun pek çok sebebi olmakla birlikte, başlıca sebeplerinde bir tanesi, uygulamada hat dengeleme esnasında ortaya çıkan işgücü farklılıklarının ihmal edilmesidir. Bu da doğrudan işçi çizelgeleme problemiyle bağlantılıdır. Fakat literatürde, montaj hatlarındaki işçi çizelgeleme konusu ayrı bir başlık altında incelenmekte, dengeleme probleminden ayrı tutulmaktadır. Gerçek anlamda verimlilik ve karlılığı yakalamak isteyen endüstriyel işletmeler, montaj hatları için çizelgeleme ve dengeleme problemlerini birlikte ele almalıdır.

Montaj hattı dengeleme problemleri literatürde NP-Zor problemler arasında yer almaktadır. Montaj hattı dengeleme ve işçi çizelgeleme problemleri; montaj hattı dengeleme problemlerinin literatürde bulunduğu yer ve montaj hattı dengeleme problemlerine kıyasla karmaşıklık seviyesinin artması dolayısı ile NP-Zor problemler arasında değerlendirilebilir. Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümüne yönelik geliştirilen algoritmaların bir kısmı en iyi çözümü bulan kesin metotlar, bir kısmı ise en iyiye yakın çözümü bulan sezgisel metotlardır. Kesin metotlar, büyük boyutlu test problemlerini çözerken oldukça uzun operasyon süresi gerektirmektedir, bu nedenle uygulamada daha hızlı ve kullanışlı olan sezgisel metotlar montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, montaj hattı dengeleme problemi ve işçi çizelgeleme problemlerinin eş zamanlı olarak çözülmesi için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bu problemin çözülmesi sırasında modern sezgisel yöntemlerden genetik algoritmalarından yararlanılmıştır.

Bu tez, altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde genel bir giriş yapılmıştır. İkinci bölümde, montaj hatları, montaj hattı dengeleme problemi incelenmiş ve montaj hattı dengeleme ve işçi çizelgeme problemi tanımlanmıştır. Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan modern sezgisel yöntemlerden olan genetik algoritma metodu anlatılmıştır. Dördüncü bölümde montaj hattı dengeleme problemlerinde genetik algoritma uygulamalarına yer verilmiştir. Beşinci bölümde montaj hattı dengeleme ve işçi çizelgeme problemlerinin genetik algoritma metodu ile çözülmesine ilişkin geliştirilen model tanımlanmış, geliştirilen model bir örnek problem üzerinde uygulanmıştır. Ayrıca bu bölümde farklı test problemleri ile modelin performansı deneysel tasarım yöntemleri kullanılarak sınanmıştır. Son bölümde ise, çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilerek ileride yapılabilecek yeni çalışmalar önerilmiştir.

2. MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ

2.1. Üretim

Tanım olarak üretim, ekonomistler ve mühendisler tarafından ayrı biçimlerde ortaya atılır. Ekonomistler üretimi, ‘yarar yaratmak’ şeklinde tanımlarlar. Mühendisler ise, fiziksel bir varlık üzerinde, onun değerini artıracak bir değişiklik yapmayı veya hammadde ya da yarı ürünleri, kullanılabilir bir ürüne dönüştürmeyi üretim sayarlar. Sonuç olarak üretim; temel amacı topluma değer yaratmak olan ve insan gereksinimlerinin, doğa tarafından tam olarak karşılanmaması sonucu ortaya çıkan ve insanlar tarafından geliştirilen bir etkinliktir (Erkut ve Baskak 1997).

Üretim sonucunda ortaya ürün ve/veya hizmet çıkarılır. Üretimin amacına ulaşabilmesi için, üretim etmenleri ve kaynaklarının istenen özelliklerde birleştirilmesi ve kullanılması gerekir. Üretim kaynakları; toprak veya hammadde kaynakları, işçilik veya insan gücü kaynakları ve sermaye adı verilen üç ana bölümden oluşur. Ama insan gereksinimlerinin sonsuz ve kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle, gelişen teknoloji, üretim sistemlerinin karmaşıklaşması ve üretim kaynaklarının verimli kullanılması gereksiniminin bir sonucu olarak yönetim ögesi de üretim kaynaklarına katılmıştır.

Bir üretim işletmesine girdi olarak katılan başlıca üretim kaynakları; hammadde, işçili ve sermayedir. Üretim ile bu girdiler, ürün ve/veya hizmet durumuna dönüştürülür. Yönetim etmeni ise, bu etkinliklerin düzenlenmesini ve yürütülmesini sağlar. Amacı, bir işletmenin elinde bulunan malzeme, makine ve insan gücü kaynaklarının, istenen kalite ve sürede, en düşük maliyette bir araya getirilmesi yani miktar, kalite, zaman ve maliyet parametrelerinin en uygun şekilde kullanımını sağlamaktır.

Üretim tasarlama ve kontrolü, genel olarak bir üretim yönetimi etkinliğidir. Bu etkinlikte, üretilecek ürünü belirlemek, üretim için donanım gereksinimini saptamak ve ürünlerin, istenen kalite ve maliyette, istenen sürede, doğru zamanlarda ve istenen sayılarda oluşumunu sağlayacak çizelgeleme, programlama çalışmalarını yapmak, ana öğelerdir. Özetle üretim tasarlama ve kontrolü, üretimden sorumlu yöneticilerin, kısa

zamanda ve yüksek verimde hedefe ulaşması için yol gösteren önemli bir üretim aracıdır.

En genel anlamda üretim sistemlerinin tasarımı ile ilgili etkinlikleri içeren ve üretim etkinliklerinin sınırlarını belirleyen üretim işlevi olarak tanımlanan üretim tasarlama ve kontrol çalışmalarında amaç, gereken mal ve hizmetlerin oluşturulması için gerekli kaynakları bulmak, varlığını garanti altına almak, gereksiz kaynak harcamalarını en düşük düzeye indirmek, istenen miktarda ürünü, kalite ve sürede, en iyi ve en ucuz yöntemlerle üretmek yoluyla en yüksek verimliliği sağlamaktır.

2.1.1 Üretim tipleri

Sipariş tipi üretim sistemi

Üretim sistemleri içinde en çok kullanılan ve en eski olanıdır. Atölye tipi üretim sistemi olarak da adlandırılan bu sistemde daha çok, genel amaçlı (üniversal) takım tezgâhları kullanılır. Tezgâhların yerleştirilmesi, işlevsel (sürece göre) düzenleme olarak adlandırılan, aynı işlemleri tezgâhların gruplanarak belirli alanlarda toplanmasıyla sağlanır. Bu nedenle bu üretim sistemi bir bakıma, “işleve göre yerleştirme” ye de örnek oluşturur. Bazı durumlarda tezgâhlardan karma gruplar da oluşturulabilir. Sisteme giren farklı siparişler, seçenek makinelerden boş olanlarında veya boş yoksa makineler arkasında kuyruğa alınmak yoluyla üretime sokulur.

Sipariş tipi üretim sisteminde makineler için söz konusu olan bu eylem esnekliği, yüksek makine süresi verimlerine ulaşılmasını sağlar. Ama bu tip üretim, iş akışının karmaşık olmasına neden olmaktadır. Karmaşık iş akışı ise, uzun üretim süresi, büyük süreç içi stokları, kayıp sipariş ve kötü kalite şeklinde üretime yansır.

Proje tipi üretim sistemi

Proje tipi üretim sistemi genellikle büyük, hareketsiz bir ürün veya hizmetin oluşturulmasına yöneliktir. Böyle bir ürünün üretimi söz konusu olduğunda; malzeme veya parça sabit bir yerde kalır; takımlar makineler, işçi ve diğer malzemeler, bu proje bölgesine gelerek, amaca uygun işlemlere ve montaj işlerine katılır. Uçak ve ev yapımları, bu sisteme örnek olarak verilebilir.

Sürekli proses üretim sistemi

Bu tip üretim sistemine genellikle, kimyasal ürünlerin üretiminde rastlanır. Ürünler genellikle gaz veya sıvı hammadde (girdi) ile bitmiş ürün (çıkıtı) arasında ilişki kuran bir seri işlem veya etkinlikler aracılığıyla sürekli olarak akarlar. Bir petrol rafinerisine gelen ham petrolün, sürekli işleme alınarak, birtakım yan ürünlerine ayrıştırılması, sürekli bir süreçtir. Bu sistem, üretim sistemlerinin bir ideal durumunu temsil eder. Üretim hızı yüksek, akış hızı oldukça düzgündür

Akış tipi üretim sistemi

Ürünlerin standart ve çok miktarda üretilmesinin gerekli olduğu sürekli istem durumlarında, akış tipi atölye sistemine geçilmesi, üretim için ekonomik olmaktadır. Bu sistemde üretilen ürünler özel ekipmanlar aracılığı ile belirlenen bir sırada farklı bölümlerde üretilir. Böylece üretilen ürüne uygun bir tesis dönüşümü gerçekleştirilir.

Belirli işlemlere ayrılan makineler, genellikle özel veya otomatik tezgahlar ve yardımcı donanımları ile bir hat boyunca sıralanırlar. Bir taraftan hammadde ve yarı ürün olarak alınan malzemeler, hat sonunda işlemleri tamamlanmış veya ürün durumuna gelmiş olarak alınırlar. Üretim sırasında her makine işlemi için belirli bir süre ayrılarak duraklama ve ara bekleme süreleri en aza indirilmeye çalışılır. Hat üretiminde boş beklemeler, gecikmeler ve ara depolardaki yığılmalar; işlem süreleri arasındaki farklılardan dolayı oluşur. Bu farkları gidermek için, “üretim hattı dengelemesi” yapılır.

Akış tipi üretim (seri üretim) olarak adlandırdığımız üretim tipi kendi içinde;

- Sürekli seri üretim akış hatları,
- Kesikli seri üretim akış hatları

olmak üzere ikiye ayrılır. Kesikli seri üretim akış hattı ise kendi içinde;

- Transfer hattı,
- Montaj hattı

olmak üzere ikiye ayrılır.

Transfer Hatları: Transfer makineleri olarak da bilinirler. Büyük ve karmaşık makinelerden oluşan üretim sistemleridir. Bu hatlar düz veya devirli tiplerde olabilir. Genel tanım şöyle verilebilir: Transfer donanımı ile birbirine bağlanmış otomatik imalat makine serilerinin oluşturduğu üretim hatları, transfer hatları olarak adlandırılırlar. Bu hatlar, önceleri metal -veya malzeme- kesme ve işleme operasyonları için kullanılmışlardır. Ancak son zamanlarda montaj tipi transfer hatlarını da geliştirilmiştir. Eski transfer hatlarında ürün veya malzemeli bir yerden bir yere geçirilmesi, işgücü ile sağlanmaktaydı. Bugün ise otomatik hareket ve transfer yöntemleri kullanılmaktadır. Bu otomatik transfer, çeşitli otomatik makinelerle birlikte, transfer hatlarının en belirgin karakteristiğidir.

Montaj Hatları: Bu hatların en belirgin özelliği, malzemelerin hat boyunca işgücünden yararlanılarak transfer edilmeleri ve parça üzerindeki işlemlerin de yine bir hat boyunca sıralanmalarıdır.

2.2 Montaj Hatları

Endüstrileşme sürecinde, toplam işin öğelerine ayrılarak, bu parçaların ayrı ayrı işçiler tarafından yapılmasıyla daha hızlı ve kitlesel ve daha ucuz üretim yapılabileceği görüşü ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak üretim, üzerinde değişik iş istasyonlarının bulunduğu belirli bir hat üzerinden parçaların geçirilmesi yoluyla yapılır. Malzemelerin, akış hattı boyunca işgücü veya donanımdan yararlanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin; aralarındaki -öncelik ilişkileri ve çevrim süresi gibi kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturdukları istasyonların, yine bir hat boyunca sıralanmalarıyla oluşan sisteme, “montaj hattı” adı verilir. Hat üzerindeki iş istasyonlarında bulunan işçiler, ürün durumuna getirilecek yarı ürün önlerinden geçerken, kendilerine ait iş öğeleriyle ilgili bir veya birkaç işlemi yaparlar. Bu işlem sonucunda, hatta giren parça ve yarı ürünler, gereken tüm işler yapılmış şekilde, hattın sonundan ürün olarak çıkarlar.

Bir veya birkaç ürün için yapılacak montaj hattı üretimi tasarlandığında; üretim hattındaki iş istasyonlarına ilişkin işlem sürelerinin dengelenmesi sorunu ortaya çıkar. Bundaki amaç; kurulan montaj hattının verimli olarak çalışabilmesi için; üretim süresi içinde her bir montajcıya, montaj hattında çok az süre bırakılacak veya hiç boş süre

bırakılmayacak şekilde işlemlerin istasyonlara dağıtılması, yani var olan kısıtlar altında, işlem sayısının çok ve üretim hızının yüksek olması nedeniyle iş istasyonları arasındaki işlem süresi farkları toplamının en küçük olmasıdır. Sorunun bu noktasında, sürekli üretim yapan sistemlerin yerleştirme düzeninin kurulmasında, hat dengeleme problemi ortaya çıkar.

Ürün oluşumu sırasında yapılması gereken işlerin, montaj istasyonlarına, kayıp süreleri en aza indirecek şekilde atanması olayına, bir başka tanımla iş öğelerinin iş duraklarına özgülenmesine, “montaj hattı dengeleme” veya kısaca “hat dengeleme” denir.

Üretim hızının artırılması, sağlıklı bir tasarlama yapılması ve işletmenin ekonomik sorunlarına çözüm getirmeye yönelik olmasından dolayı, montaj hattı dengeleme konusu, endüstri dünyasında büyük önem taşır.

Hat dengeleme problemi, üretim hatlarının tasarımında ve işletmesinde her an ortaya çıkabilen bir konudur. Gerçekte hat dengeleme problemleri, çeşitli sıralarda ve üretim hızlarında çalışıldığında, hatta oluşabilecek ve istasyonların verimliliğini etkileyecek başlıca etkenlerden olan atıl kaynak kullanımını en alt düzeyde tutmak için en uygun çözümün atanmasında ortaya çıkmıştır.

Yukarıda genel olarak açıklanan hat dengeleme konusu, gerçekte, üretimi yapan işletmeciler için çok önemli bir konudur. Kaliteli ve yüksek hızlı bir üretim düzeyi tutturmak, gerçekte hat dengeleme çalışmalarının ayrıntılı ve iyi bir şekilde yapılması ile sağlanır.

Günümüzde ise üretim miktarları, rekabet arttığından ve piyasa koşulları zorlaşmaya başladığından, artık üretim hatlarını tasarlamak ve bu hatlara, oluşan çeşitli dalgalanmalar karşısında yeterli esnekliği verebilmek için girilen çalışmalar, bilgisayar desteği ile geliştirilen simülasyon programları ile oldukça kolay olmaktadır.

Üretimde, tezgâhlar ve çağdaş montaj aletleri kullanıldığı takdirde, görece kısa bir sürede daha çok üretim sağlanmaktadır. Ürün şeması veya montaj hatlarının kullanılması ile bir kez üretim veya montaj hatlarına atama yapılmasıyla, büyük hacimdeki mallar verimli bir şekilde üretilir.

2.2.1 Montaj hatlarının sınıflandırılması

Montaj hatları, literatürde birçok farklı şekilde sınıflandırılabilir. Genel olarak literatürde yer alan montaj hatları:

- Otomasyon seviyesine göre,
- Model sayısına göre,
- İstasyon yerleşimine göre,
- Taşıma sistemlerine göre,
- Kurulum sıklığına göre sınıflandırılabilir.

Otomasyon seviyesine göre montaj hatları

Otomasyon seviyesine göre montaj hatları Otomasyon seviyesine göre montaj hatları, manuel hatlar ve otomatik hatlar olarak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Manuel Hatlar: Günümüzde gelişen teknolojinin etkisiyle otomasyon ve robotların montaj hatlarında kullanılması artsa da, hala pek çok işletme temelde işgücüne dayalı montaj hatlarını kullanmaktadır. Manuel hatlar, her istasyonda toplam iş yükünün bir bölümünün bir veya daha çok işçi tarafından yapıldığı hatlardır. Manuel hatlar özellikle kırılğan ya da hassas parça üreten firmalar tarafından tercih edilmektedir (Abdel-Malek ve Boucher 1985). Ayrıca, işgücü maliyetlerinin makine maliyetlerine göre daha düşük olduğu durumlarda, manuel hatlar tercih edilmektedir. Manuel hatlarda montaj hattı dengeleme çalışmasına giderken dikkat edilmesi gereken temel husus, operasyon sürelerinin işgücü performansındaki değişimleri dikkate alarak stokastik olmasıdır. Motivasyon, iş çevresindeki koşullar, fiziksel ya da zihinsel stres çalışanın performansını etkileyebilmekte, aynı işi yapma zamanı değişkenlik gösterebilmektedir. Özellikle sık tekrar eden işler, çalışanda bir bıkkınlık hissi uyandırmakta, bu da manuel hatlar için büyük bir dezavantaj oluşturmaktadır. Manuel hatlarda işgücünü etkileyen diğer bir faktör de çalışanın deneyimidir. Çalışanlar zaman içinde deneyimlerini arttırarak, işin yapılışında pratiklik kazanmaktadır. Böylece, operasyon süreleri azalacaktır. Burada, hat dengelemeye giderken öğrenme etkisini de dikkate alarak, operasyon süreleri dinamik kabul edilen çalışmalar yapılmalıdır. Manuel hatlarda dengeleme yapılırken, hattın yerleşim şekli önem taşımaktadır. Çünkü istasyonlar arasında yardımlaşmaya izin veren U tipi hatlarda, işçilerin diğer görevleri de yerine

getirebilecek kalifiye işçiler olması ve istasyonların mümkün olduğunca birbirine yakın olması istenmekte, bu da problemi daha karmaşık hale getirmektedir. Son zamanlarda uygulamada, manuel hatlar ile U tipi hatlar birlikte kullanılmaktadır. Toyota'da uygulanan üretim sistemi, bu tip hatlara örnek verilebilir (Monden 1998).

Otomatik Hatlar: İstasyonlardaki işler ve istasyonlar arası transferler otomatik olarak yapılmaktadır. İstasyonlar arası iş transferinin mekanik ve mekanik olmayan hatlar şeklinde iki yolu vardır. Mekanik olmayan hatlarda parçalar bir istasyondan diğerine elle geçerler. Diğerlerinde ise hareketli konveyörler ve benzeri malzeme aktarma sistemleri kullanılmaktadır. Çalışma ortamının, çalışanda ciddi sağlık sorunlarına yol açabileceği iş çevreleri için tasarlanan otomasyon hatları, önceleri otomotiv sektöründe kullanılmıştır. Daha sonra pek çok ürünün üretiminde otomatik hatlar kullanılmıştır. Özellikle işgücü maliyetinin yüksek olduğu durumlarda iş sahipleri, tesis tasarım aşamasında otomasyon hatlarını ve robotları kullanmayı tercih etmektedir. Otomasyonun montaj hattı dengeleme problemine sağladığı en büyük avantaj, operasyon sürelerindeki değişkenliğin çok az olmasıdır. Bu nedenle manuel hatlarda yaşanan gecikme ve boş bekleme zamanları, bu hatlarda daha az oluşmaktadır.

Otomasyon seviyesine göre montaj hatları

Üretim hattında tek bir model ya da birden fazla ürünün üretilmesine göre montaj hatları; tek modelli, çok modelli ve karışık modelli hatlar olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Özgörmüş 2007).

Tek Modelli Hatlar: Tek tip ürün ya da modelin sürekli olarak ve yüksek miktarlarda üretildiği hatlardır. Ürün çeşitliliğinin artması nedeni ile günümüzde tek modelli montaj hatları ile pek karşılaşılmamaktadır. Ürün grupları arasında çok fazla farklılık olmayan ve partiler arasında hazırlık zamanına göreceli olarak daha az ihtiyaç duyan üretim hatları da tek modelli montaj hatlarına dahil edilmektedir.

Karışık Modelli Hatlar: Karışık modelli hatlar aynı anda birden fazla benzer tipteki modellerin karışık olarak üretildiği hatlardır. Karışık modelli üretimin en önemli faydası, müşteri isteklerinin anında karşılanması ve bu nedenle bitmiş ürün stoklarının daha az olmasıdır. Karışık modelli hatlarda gözlenen temel olumsuzluk, modellerin özelliğinden kaynaklanan, ayrı iş parçalarının; eşit olmayan iş akışlarına, boş

istasyosürelerine ve daha fazla istasyon sayısına neden olmasıdır. Bu tip problemlerde dengeleme problemi oldukça zordur. Bu nedenle istasyonlarda daha fazla istasyon boş zamanlar oluşmakta ve ara stoklar meydana gelebilmektedir.

Tek modelli hatlardan farklı olarak karışık modelli hatlarda, kısa dönem model sıralama ve çizelgeleme problemi ortaya çıkmaktadır (Boysen vd 2008). Burada dengeleme problemiyle aynı anda ortaya çıkan sıralama ve çizelgeleme probleminde, üretilecek modellerin kendi içerisinde sıralarını belirlerken, hattın duruş zamanını, işçilerin verimliliğini, üretim hızını ve her istasyondaki çevrim süresi kısıtlarını da dikkate almak gerekmektedir. Literatürde, hat dengeleme ve çizelgeleme problemini birlikte ele alan pek çok çalışma bulunmaktadır (Kim vd 2000).

Çok Modelli Hatlar: Çok modelli hat üzerinde, birden fazla modelin üretimi gerçekleştirilir. Modellerin üretimi partiler halinde yapılır. Yani üretim yapılırken modellerin karıştırılmasına izin verilmez. Çok modelli hatlarda dengeleme yapılırken, hazırlık zamanı ve hazırlık maliyetlerinin dikkate alınması gerekir. Bu nedenle hattın dengelenmesi öncesinde hazırlık maliyetlerini dikkate alarak parti büyüklüğünün belirlenmesi gerekmektedir. Çok modelli montaj hatları, eğer yığınlar büyük ise tek modelli montaj hatlarına, küçük ise karışık modelli montaj hatlarına benzerlik gösterirler.

İstasyon yerleşimine göre montaj hatları

Fiziksel yerleşimlerine göre montaj hatları, düz, dairesel, değişik açılı, U-şekilli, zigzag gibi değişik biçimlerde tasarlanabilir. Geleneksel montaj hatları düz olarak tasarlanmıştır. Daha sonra yeni üretim hatlarında U-hatlar daha çok tercih edilmeye başlanmıştır. U tipi hatlar tam zamanında üretim sistemleri için daha çok tercih edilen hatlardır.

Taşıma sistemlerine göre montaj hatları

Taşıma sistemlerinin yapısına göre montaj hatları gecikmesiz ve gecikmeli montaj hatları olmak üzere iki sınıfı ayrılmaktadır (Yılmaz 2006).

Gecikmesiz Hatlar: Konveyörler, hareketli bantlar gibi malzeme taşıma kaynakları, istasyonları esnek olmayan bir biçimde birbirine bağlar. İş parçaları hareketli bantlar

üzerinde bir istasyondan diğerine sabit hızda hareket ederler veya işlendikten sonra kesik kesik transfer edilirler. Her iki durumda da her bir istasyona, görevlerin yerine getirilmesinde aynı zaman miktarı verilir.

İş parçası istasyondan geçerken operatörde onunla birlikte hareket etmekte, işlemi gerçekleştirmekte ve istasyonun başlangıç noktasına geri dönmektedir. Kesikli transferde ise parça istasyonda beklemekte ve işlem biter bitmez bir sonraki istasyona sevk edilmektedir. Transferdeki gecikmeyi önlemek için, malzemenin hareketinin çok hızlı olması gerekmektedir.

Gecikmeli Hatlar: Bu tip hatlarda istasyonlar arasında tampon bulunmaktadır. Tampon, takip eden istasyonda bir önceki işlem devam ederken iş parçasının tutulduğu yer olarak tanımlanır. Tampon kapasiteleri kısıtlı olduklarından, eğer takip eden tampon tam doluysa istasyon tıkanır. Bu durumda istasyon, tampon da alan müsait olana kadar boş bekleyecektir. Bir başka olumsuz durum ise istasyon açlığıdır. İstasyon açlığı istasyonun uygun olması durumunda işlem yapacak parçanın olmamasıyla ortaya çıkar bu durumda tampona parça girene kadar istasyon boş bekleyecektir. İstasyon açlığının sebepleri düşük istasyon verimlilikleri ve bir önceki istasyonda meydana gelen arızalar olabilmektedir. İstasyon açlığı, eğer iş yükleri eşit olarak dağıtılmazsa, gecikmesiz hatlarda kaçınılmazdır.

Kurulum sıklığına göre montaj hatları

Kurulum sıklığı dikkate alındığında montaj hatları, ilk kez dengeleme ve yeniden dengeleme olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır (Özgörmüş 2007).

İlk Kez Dengeleme: Bir montaj hattı ilk kez kurulacağı zaman, üretim sistemine ilişkin kaynaklar ve maliyetler henüz tam olarak belirlenmediği için üretilecek ürüne göre hattın tasarlanması problemi karşımıza çıkmaktadır. Bu durumda üretilecek ürüne ait iş akışı ve olası öncelik ilişkileri diyagramları çizilerek alternatif üretim seçenekleri değerlendirilir. Kullanılacak farklı makineler ve farklı yeteneklere sahip işçilerin görevlere ve istasyonlara atamalarının oluşturacağı maliyetler hesaplanarak, maliyeti en küçükleyecek montaj hattı kurulur.

Yeniden Dengeleme: Montaj hattı probleminin gerçek hayatta karşımıza çıkış şekli, genelde, kurulum aşamasından ziyade, değişen müşteri talepleri ya da yeni kaynakların

alınması ile yeniden dengelemeye ihtiyaç duyulması şeklindedir (Falkenauer 2005). Yeniden dengeleme durumu yeni makine, yeni işgücü, yeni ürün ve yeni metot olmak üzere temelde dört sebepten ortaya çıkmaktadır. Yeniden dengeleme yapılırken, üretim programında meydana gelecek değişiklikler örneğin, vardiya değişimleri dikkate alınır. Artık montaj hattı kurulmuş olduğu için, burada amaç istasyon sayısını en küçüklemeden ziyade, çevrim süresini en küçükleyerek üretim miktarını ve satışları arttırmaktır. Bunu yaparken hedef, istasyonlara iş yükünü mümkün olduğunca eşit dağıtmaktır. Bir makinenin bir istasyona yerleştirildikten sonra tekrar yerinin değiştirilmesi özellikle ağır sanayide pek mümkün olmamakla birlikte bir maliyet oluşturmaktadır. Makinelerin istasyonlara etkin bir şekilde yerleşimi yapılabilmesi için alan kısıtı da dikkate alınmalıdır. Ayrıca, yeni bir makinenin alınması durumunda hattın dengelenmesi yapılırken, makinenin alım maliyeti ve hatta yapacağı iyileştirmenin getirisi birlikte değerlendirilmeli ve ona göre karar verilmelidir. Bu koşulları dikkate alan çalışmalara son yıllarda daha çok rastlanmaktadır.

2.3 Montaj Hattı Dengeleme Problemi

Yukarıdaki bölümlerde bahsedilen yüksek hacimlerdeki üretimleri; standart üretim koşulları altında yüksek kalite ve düşük maliyetlerle karşılamak için kurulan montaj hatlarındaki temel problemlerden birisi; yapılması gereken operasyonların hattaki istasyonlara, ürün ve üretim kısıtlarına bağlı kalarak istasyonlar arası işyükü dengesini sağlayacak şekilde atanmasıdır. Bu problem literatürde montaj hattı dengeleme problemi olarak adlandırılmaktadır. Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümlenmesi sırasında iki farklı performans kriteri sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlar kurulacak olan yada mevcut istasyon sayısının önceden bilindiği yada belirlendiği durumlarda ürüne ilişkin çevrim süresinin en küçüklenmesi ve istasyon sayısına ilişkin kısıtların bulunmadığı taleplere uygun olarak belirlenen çevrim zamanlarının yakalanması için gerekli istasyon sayısının en küçüklenmesi şeklindedir.

Hat dengeleme problemlerinin matematiksel modellerinin kolay oluşturulabilmesine rağmen istenen performans ölçütlerine uygun olarak istasyon atamalarının yapılması oldukça güçtür. N tane operasyon ve bu operasyonlar arasında r tane öncelik ilişkisi içeren bir ürüne ilişkin montaj hattı oluşturulması sırasında yaklaşık olarak $N!/2^r$ tane değişik hat tasarımı elde edilebilir (Ignal 1965). Endüstriyel uygulamalar göz önüne

alındığında $N!/2^f$ hat tasarımının analiz edilmesi günümüz bilgisayarlarının bile bazı durumlarda günlerce işlem yapmasına sebebiyet verebilmektedir. Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümüne yönelik geliştirilen algoritmaların bir kısmı en iyi çözümü bulan kesin metotlar, bir kısmı ise en iyiye yakın çözümü bulan sezgisel metotlardır. Kesin metotlar, büyük boyutlu test problemlerini çözerken oldukça uzun operasyon süresi gerektirmektedir, bu nedenle uygulamada daha hızlı ve kullanışlı olan sezgisel metotlar montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde tercih edilmektedir.

Montaj hattı dengeleme problemlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için problem için var olan temel kısıtların ve tanımların açıklanmasında fayda bulunmaktadır.

2.3.1 Montaj hattı dengeleme problemlerinde kullanılan temel kavramlar

Montaj hattı dengeleme probleminde kullanılan temel kavramlardan bazıları Operasyon, iş istasyonu, toplam iş süresi, iş istasyonu süresi, çevrim süresi, gerekli en az iş istasyonu sayısı, ortalama iş istasyonu süresi, teknolojik öncelik diyagramı, öncelik matrisi, esneklik oranı, denge kaybı, düzgünlük indeksi, hat etkinliği, kuramsal etkinlik, güvenlik düzeyi, ve ürün karışımıdır (Erkut ve Baskak 1997).

Operasyon: İşler, temel hareketlerden veya iş parçacıklarından oluşur. Operasyonlar; toplam işin, uygun ve pratik en küçük alt parçalarıdır. Operasyon; üretim süreci içinde toplam iş içeriğinin, mantıksal olarak bölünmüş bir parçasıdır. Diğer bir görüşe göre operasyon; montajcılar arasında gereksiz karışıklıklara neden olmadan, iki veya daha fazla işçi arasında paylaştırılması olanaksız en küçük iş birimidir. Yani toplam işin kaç aşamada tamamlanacağını ve bunların hangi aşamalar olacağını belirleyen işi yeterli ve anlamlı en azlara bölme sonucu ortaya çıkan birimler ve yapılacak işlemlerdir. Örneğin bir parçaya beş tane delik açmak için beş operasyon tanımı yapılabilir. Ama montaj hattının dengelenmesi söz konusu olunca, mantıksal bir operasyon, beş deliği birden açmayı içeren iş grubu olarak tanımlanmalıdır. Ayrıca bu işlem otomatik bir tezgâhta tek bir seferde yapılıyor ise o zaman beş tane delik açma işi tek bir operasyondur.

İş İstasyonu: Montaj hattı üzerinde verilen bir işin, operatör tarafından yapıldığı alandır. Her istasyonunda bir operatörün, bir işlem için gerekli araçlarla çalıştığı

varsayılır. Genellikle iş istasyonu, bir operatör tarafından doldurulan yer olarak düşünülür. Montaj hatlarında istasyon kurulacak istasyon sayısının belli olduğu durumlarda bu sayının altında istasyon kurulamayacağı varsayılır.

Toplam İş Süresi: Montaj hattı üzerinde üretilecek bir ürünün montajı için gerekli olan süre veya işi oluşturan tüm operasyonların standart süreleri toplamıdır. Toplam iş süresi (TS), 2.1 nolu denklemdeki gibi hesaplanır.

$$TS = \sum_{i=1}^N t_i \quad (2.1)$$

Burada, N operasyon sayısı, t_i ise i . operasyonun işlem süresidir.

İş İstasyonu Süresi: Bir iş istasyonunda yapılması gerekli olan operasyonların standart süreleri toplamıdır.

Çevrim Süresi: Çevrim süresi; montaj hattında ürünün bir istasyonda kalabileceği en büyük süre veya bir iş istasyonundaki operatörün o istasyonda yapılması gerekli işleri tamamlaması için gerekli süre olarak tanımlanabilmektedir. Çevrim süresi, iş istasyonu süresine eşit veya daha büyük olabilen, iş istasyonundaki operatörün işini tamamlayabilmesi için kullanabileceği süredir. Bir istasyonda, o istasyona atanan tüm operasyonların tamamlanmasına rağmen ürün için belirlenen çevrim süresi dolmamış olabilir. Bu neden istasyonlarda çevrim süreleri; üretken iş süresi, üretken olmayan iş süresi, ve atıl süre olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Teorik olarak çevrim süresi, 2.2' nolu denklemdeki gibi bulunur.

$$C = \frac{T}{\bar{U}S} \quad (2.2)$$

Burada, C Çevrim süresi, T toplam üretim süresi, $\bar{U}S$ üretilmek istenen ürün sayısıdır.

Gerekli En Az İş İstasyonu Sayısı: Bir ürünün belirlenen çevrim süresi ile en az kaç iş istasyonunda yapılması gerektiğini ifade eder. Montaj hattındaki işlemleri, her istasyona, çevrim süresini tümüyle veya en az bir tanesi dışında tümüyle dolduracak

şekilde atandığı düşünülürse gerekli en az iş istasyonu sayısı: Minimum iş istasyonu sayısı 2.3 nolu denklemdeki gibi bulunur.

$$n_{enk} = \left[\frac{\sum_i^N t_i}{C} \right]^+ \quad (2.3)$$

Burada n_{enk} minimum iş istasyonu sayısını göstermekte ve $[x]^+$; x ' e eşit ya da x ' ten büyük en küçük tamsayı değeri ifade etmektedir.

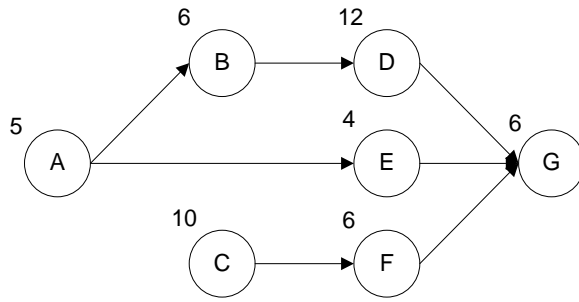
Ortalama İş İstasyonu Süresi: Ürünün montaj hattında üretilmesi sırasında kullanılan iş istasyonlarının ortalama işlem süresidir. Ortalama iş istasyonu süresi 2.4 nolu denklemdeki gibi hesaplanır.

$$C^* = \frac{\sum_i^N t_i}{n} \quad (2.4)$$

Burada C^* ortalama iş istasyonu süresini göstermektedir. Eşitlikte ayrıca $n \geq n_{enk}$, $C \geq C^*$ olmak zorundadır.

Teknolojik Öncelik Diyagramı: Montajın teknik özelliklerinden dolayı bazı iş öğelerinin birbirlerini izlemesi gerekebilmektedir. Bu özelliklerin tümü, genellikle öncelik ilişkileri adı altında toplanmaktadır. Bu ilişkilerin gösterilmesinde genellikle teknolojik öncelik grafik diyagramı adı verilen grafik yöntemlerden faydalanılmaktadır. Bu diyagram, bir okla birbirine bağlanmış iki operasyondan okun çıktığı yönde bulunanın, okun ucunda bulunan operasyondan daha önce işleme alınacağını gösterir. Dairelerin içersinde yer alan numaralar ya da harfler operasyonu temsil ederken, dairelerin sol üstündeki rakamlar ise operasyon süresini göstermektedir. Teknolojik öncelik diyagramlarına ilişkin bir örnek Şekil 2.1’de verilmiştir.

Öncelik Matrisi: Teknolojik öncelik diyagramının üst üçgensel matris durumuna dönüştürülmüş şeklidir. Bu matriste, aralarında doğrudan veya dolaylı öncelik ilişkisi bulunan operasyonlar için, matriste önde gelen operasyon satırıyla, izleyen operasyonun sütununun kesiştiği hücreye “1” değeri, diğer hücrelere ise “0” değeri yerleştirilir. Tablo 2.1’de, Şekil 2.1’de gösterilen teknolojik öncelik diyagramına ilişkin olarak hazırlanan öncelik matrisi yer almaktadır.



Şekil 2.1 Teknolojik öncelik diyagramı

Tablo 2.1 Örnek öncelik matrisi

	A	B	C	D	E	F	G
A	-	1	0	0	1	0	0
B	0	-	0	1	0	0	0
C	0	0	-	0	0	1	0
D	0	0	0	-	0	0	1
E	0	0	0	0	-	0	1
F	0	0	0	0	0	-	1
G	0	0	0	0	0	0	-

Esneklik Oranı: Bir montaj sürecinde elde edilebilen uygun sıralama sayısının değerlendirilmesinde kullanılan bir ölçüttür. Esneklik oranı (E) 2.5 nolu denklemdeki gibi bulunur.

$$E = \frac{2 * Y}{N * (N - 1)} \quad (2.5)$$

Burada Y öncelik matrisinde “0” değerine sahip hücre sayısıdır. Bu oran, teknolojik tüm operasyonlar birbirbiri ardına öncelik ilişkilerine bağlı ise 0 değerine, öncelik ilişkisi bulunmayan bir ürüne ilişkin bir montaj hattı ise 1 değerine eşittir. E oranının

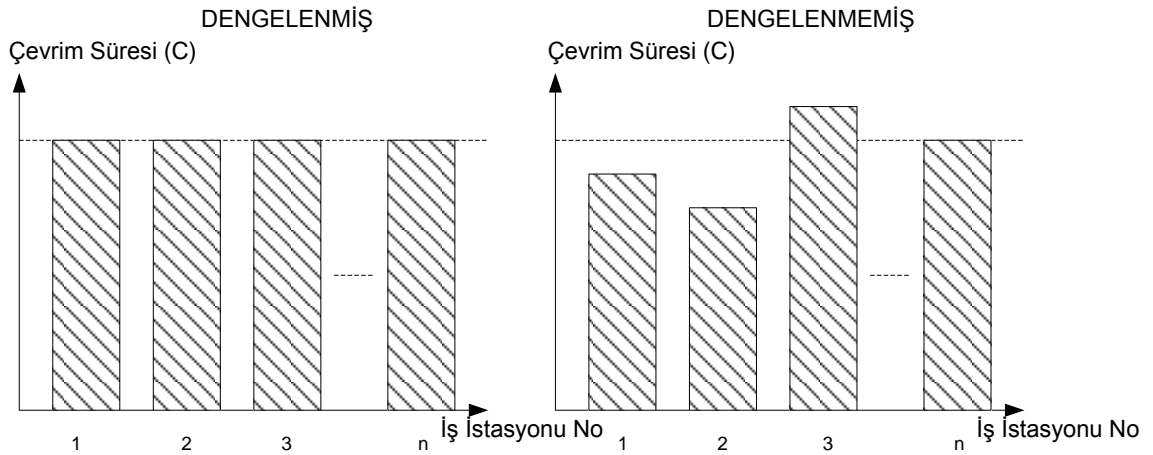
sıfıra yakın olması, iş istasyonlarına operasyonların atanması sırasında esnekliğin az olduğunu göstermektedir.

Denge Kaybı: Operasyonların veya operatörlerin iş istasyonlarına dağıtılmasının ne ölçüde dengeli olduğunu gösterilmesi amacıyla kullanılan bir ölçüttür. Denge Kaybı D 2.6 nolu denklemdeki gibi bulunur.

$$D(\%) = \frac{C - C^*}{C} * 100 = \frac{n * C - \sum_{i=1}^N t_i}{n * C} * 100 \quad (2.6)$$

Denge kaybı her istasyonda, birim üretim için ayrılan toplam süreyle gerekli süre arasındaki farkın, ayrılan süreye oranıdır. Denge kaybına ilişkin ideal durum (tam denge durumu) 0 olup, genellikle sıfırdan büyük bir değerdir.

Denge kaybının bulunmasında kullanılan çevrim süresi (C), eğer tüm istasyon süreleri çevrim süresinden küçükse, en büyük istasyon süresi olarak alınmaktadır.. Şekil 2.2.'de tam dengelenmiş ve tam dengelenmemiş hat durumlarına ilişkin örnekler yer almaktadır.



Şekil 2.2 Tam dengelenmiş ve dengelenmemiş hat durumları

Düzensizlik İndeksi: Montaj hatlarındaki işlem sürelerinin düzensizliğinin gösterilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Operasyonların iş istasyonları arasında düzensiz, orantılı dağıtılıp dağıtılmadığının kontrolü amacıyla kullanılmaktadır. Düzensizlik indeksinin küçük olması, hat üzerinde iyi bir dengenin sağlanmış olduğunu göstermektedir. Düzensizlik indeksi $Dİ$ 2.7 nolu denklemdeki gibi bulunur.

$$DI(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (T_{Enb} - T_i)^2}}{n * C} * 100 \quad (2.7)$$

Burada T_i i. iş istasyonu süresini, T_{Enb} iş istasyonu sürelerinin en büyüğünü ifade eder.

Hat Etkinliği: Toplam iş süresi, iş istasyonlarına atanan operasyon süreleri toplamı olan iş istasyonu süresi değerlerinin genel toplamıdır. Bir diğer anlamda bu süre hattın dengelenmesinden bağımsız olarak hesaplanan, etkin olarak gerçekleştirilen işlerin toplam süresidir. Hesaplanan toplam etkin sürenin (toplam iş süresinin) dengeleme sonucunda montaj için ayrılması gerektiği saptanan süreye oranı hat etkinliği olarak adlandırılmaktadır. Hat etkinliği; Hat etkinliği HE 2.8 nolu denklemdeki gibi bulunur.

$$HE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{n * C} * 100 \quad (2.8)$$

Hat etkinliği; montaj hattında kullanılan toplam işgücünün kullanım etkinliğini gösteren önemli bir ölçüttür.

Teorik Etkinlik: Hattın, belirlenmiş bir çevrim süresinden hareketle, en az istasyon sayısı ile kurulması durumundaki etkinliğidir. Hat etkinliğinin üst sınırıdır ve ancak operasyonlarda gerçekleştirilebilecek iyileştirmelerle üst seviyelere çıkartılabilir. Teorik etkinlik; Teorik etkinlik TE 2.9 nolu denklemdeki gibi bulunur.

$$TE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{C * n_{Enk}} * 100 \quad (2.9)$$

Güvenlik Düzeyi: Stokastik operasyon sürelerine sahip montaj hatlarındaki iş istasyonları için kullanılmaktadır. İstasyonlar için belirlenen çevrim süresi içerisinde, istasyonlara atanan işlerin tamamlanabilme olasılığı olarak ifade edilmektedir.

Ürün Karışımı: Birden çok ürünün partiler halinde veya karışık olarak üretildiği montaj hatlarında; ürünlerin üretimine süre olarak ayrılan payların ne olması gerektiğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

2.3.2 Montaj hattı dengeleme problemlerinde yer alan kısıtlar

Montaj hattı dengeleme probleminde yedi adet kısıttan söz edilebilir. Bunlardan ilk iki kısıt temel kısıtları oluştururken ve diğer beş kısıt yan kısıtları oluşturmaktadır (Erkut ve Baskak 1997).

Çevrim Süresi: Montaj hattında, ürünün bir istasyonda kalabileceği en büyük süre veya bir iş istasyonundaki işçinin o istasyonda yapılması gerekli işleri tamamlaması için gerekli süre olarak tanımlanabilir.

Çevrim süresi, iş istasyonu süresine eşit veya daha büyük olabilen, iş istasyonundaki işçinin, işini tamamlayabilmesi için kullanabileceği süredir. Çevrim süresini seçmekteki ana düşünce, gerek duyulan üretim hızıdır.

Öncelik Kısıtı: Ürünün montaj bandında gerçekleştirilecek operasyonlarının kendi araları arasında var olan ilişkilerdir. Bir operasyonun bir istasyonda işlem görmeye başlayabilmesi için teknik olarak birbirini izlemesi gerekebilir. Bu o operasyonun başlayabilmesi için öncelik operasyonların kesinlikle bitirilmiş olması gerekmektedir. İstasyonlara yapılan operasyon atamalarının, bu öncelik ilişkilerine aykırı olmamaları zorunludur.

Konum Kısıtı: Konumsal kısıtlamalar, montajı yapılan ürünün konumu ile iş görenin montaj bandındaki konumunu ifade etmektedir. Konumsal kısıtlamalarla genellikle büyük ölçekli ürünlerin montajında karşılaşmaktadır. Montaj hattı dengeleme probleminin amaçları da göz önüne alındığında, montaj bandının önünde ve arkasında yapılacak işlerin, birbirinden ayrılmasının gerekli olduğu söylenebilir. Her istasyonda, yükseltme, ters döndürme vb işlemlerini yapacak donanım bulunmadığından ürünün aynı yüzeyinden yapılan işlemlerinin bir veya birkaç istasyonda toplanması, daha verimli ve gerçekçi bir tasarım oluşturacaktır.

Sabit Donanım Kısıtı: Montaj hatlarında bazı operasyonların tezgah, test araçları gibi sabit donanımların ortak olarak kullanılması dolayısı ile sabit istasyonlarda yapılması zorunlu olabilmektedir. Sabit donanım kısıtı, operasyonların iş istasyonları arasındaki değiştirilebilirliğini azaltmaktadır.

İstasyon Yüğü: Montaj hatlarında bazen bazı iş istasyonlarının toplam iş yüklerinin, çevrim süresinin %100'ünden az olması talep edilebilir. Bu talebin amacı ilk istasyonda veya istasyonlarda oluşabilecek aksamaların tüm hatta olan etkisini azaltmak olabilmektedir. Diğer bir amaç ise bu istasyonda görev yapan işçinin ya da ekipmanın başka bir montaj hattında eş zamanlı olarak görevlendirilmesinin zorunlu olması olabilmektedir.

Aynı İş İstasyonuna Atanması İstenen Operasyonlar: Bu özelliğe sahip operasyonların, aynı veya birbirini izleyen istasyonlara atanması gerekebilmektedir. Böyle durumlarda bir operasyon alt grubu, tek bir operasyon gibi düşünülebilir.

Aynı İş İstasyonuna Atanmaması İstenen Operasyonlar: Bu özelliğe sahip bir iş ögesi, diğer bazı operasyonlarda aynı iş istasyonuna atanamaz. Örneğin, aşırı fiziksel güç uygulamasını gerektiren iki iş ögesinin, iş yükü açısından ayrı istasyonlarına atanmaları istenebilir. Benzer şekilde, birden fazla iş ögesi, teknolojik olarak istenmediği için aynı iş istasyonuna yada komşu istasyonlara atanamayabilirler. Örneğin, titreşimli bir çalışma ile hassas ölçüm gerektiren bir çalışmanın ayrılması buna örnek olarak gösterilebilir.

2.3.3 Montaj hattı dengeleme problemlerinde operasyon süreleri

Montaj hattı dengeleme problemi (MHDP), operasyon sürelerinin kesin olarak bilinmesine bağlı olarak üç ana başlık altında incelenmektedir: operasyon sürelerinin belirli olması (Deterministik MHDP), operasyon sürelerinin değişken olması (Stokastik MHDP) ve operasyon sürelerinin belirsiz olması (Bulanık MHDP).

Deterministik MHDP: Deterministik MHDP'de, operasyon sürelerinin ve bu sürelerin sabit olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayım, montaj hattında makinelerin ve robotların kullanıldığı hatlarda geçerli olmakla birlikte insanların çalıştığı hatlarda çok geçerli değildir (Çakır 2006).

Stokastik MHDP: Stokastik MHDP'de ise, operasyon sürelerinin kesin olarak bilinmediği varsayılmakta fakat operasyon süreleri belirli bir olasılık dağılımı ile modellenebilmektedir. Operasyon süresindeki değişiklik, insandan ve/veya süreçten kaynaklanmaktadır. Yorulma, dikkatin dağılması, yetersiz nitelikteki işgücü, iş tatminsizliği, hatalı girdiler, hatalı montaj, araç/gereç bozulmaları değişkenliğin temel

sebeplerini oluşturmaktadır. Bu durum, istasyonlara atanan işlerin aldıkları toplam zamanın, çevrim süresinin aşmasına ve dolayısıyla bazı görevlerin bitirilememesine, bazı istasyonların da boş kalmasına sebep olmaktadır (Erel 1991).

Bulanık MHDP: Bulanık MHDP, operasyon sürelerine ilişkin sabit ya da olasılık dağılımları kullanılarak sürelerin belirlenemediği durumlarda, operasyon sürelerinin bulanık sayılar kullanılarak ifade edildiği problemlerdir. Bulanık zamanlı montaj hattı dengeleme problemleri genellikle hattın ilk tasarımı aşamasında ortaya çıkmaktadır. Örneğin, hat tasarlanırken, operasyon sürelerine ilişkin veriler elde mevcut değilse, tecrübeye dayanarak ve sezgisel olarak operasyon süreleri belirlenebilir. Bu aşamada bulanık sayıların kullanılması daha doğru olacaktır.

Literatürde, MHDP ile ilgili olarak yapılan pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaları, ele alınan problemin yapısına ve çözüm yaklaşımlarına göre değişik şekillerde sınıflandırmak mümkündür.

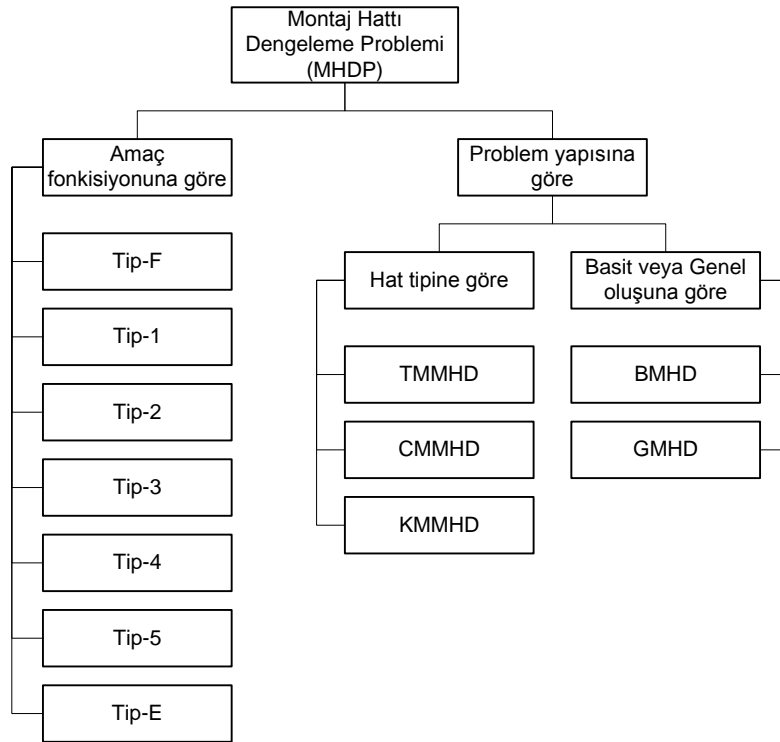
2.3.4 Montaj hattı dengeleme probleminin sınıflandırılması

Montaj hatlarının yaygın olarak üretim ortamlarında kullanılması montaj hattı dengeleme problemi üzerinde yapılan çalışmaların artmasına neden olmuştur. Uygulamada varolan durumlara göre farklı dengeleme problemleri ile karşılaşmaktadır. Literatürde MHDP, amaç fonksiyonuna göre ve problem yapısının karmaşıklığına göre Şekil 2.3' de olduğu gibi sınıflandırılabilir (Tasan ve Tunalı 2008).

Literatürdeki en sık kullanılan amaç fonksiyonu hat verimliliğini en büyükmeyi amaçlayan, tüm operasyonların toplam işlem süresinin oluşturulan iş istasyonu sayısının çevrim süresiyle çarpımına bölünmesidir. MHDP için çeşitli sınıflandırma şekilleri bulunmaktadır (Baybars 1986a; Becker ve Scholl 2006; Erel ve Sarin 1998; Ghosh ve Gayman 1989; Scholl 1999). MHDP nin birkaç türü amaç fonksiyonunun değişmesi ile ortaya çıkmıştır (Scholl 1999).

Tip-F probleminde, en iyi değeri araştıran bir amaç fonksiyonu yoktur. Bu problemde verilen bir çevrim süresi için uygun bir hat dengelemesi yapılmaya çalışılır. Tip-1 probleminde verilen bir çevrim süresi için iş istasyonlarının sayısı en küçüklenmeye çalışılır. Tip-2 probleminde, verilen belirli sayıdaki iş istasyonu için çevrim süresini en küçüklemeyi amaçlar. Tip-E en genel problem çeşididir, burada eş

zamanlı olarak hem çevrim süresi hemde iş istasyonu sayısını en küçükleme amaçlanır. Son olarak Tip-3,4,5 işyükü dalgalanmasını en küçükleme ile alakalıdır. Sırasıyla Tip-3 ve Tip-4 de çoklu hedeflerin ve iş ilişkileri en büyükleme amaçlanır (Kimve diğ 1996)



Şekil 2.3 Montaj hattı dengeleme problemlerinin sınıflandırılması

Problem yapısı dikkate alınarak MHDP iki sınıfa ayrılabilir. İlk grup Tek Modelli Montaj Hattı Dengeleme (TMMHD), Çok Modelli Montaj Hattı Dengeleme (CMMHD) ve Karışık Modelli Montaj Hattı Dengeleme (KMMHD) yi içerir, TMMHD sadece tek tür ürünle ilgilidir. CMMHD birden fazla ürün ve partiler biçiminde üretim ile ilgilidir, KMMHD problemi, benzer ürün modellerini eş zamanlı olarak üretim yapabilme yeteneğine sahip montaj hatları için söz konusudur (Becker ve Scholl 2006; Scholl 1999).

İkinci grup basit montaj hattı dengeleme (BMHD) problemi ve genel montaj hattı dengeleme (GMHD) problemi olarak sınıflandırılır (Baybars 1986a). BMHD problemi MHDP nin en basit çeşididir ve TMMHD in özel bir halidir. BMHD probleminde, sadece bir ürünün üretimi yapılır, çevrim süresi bilinmektedir, belirli bağımsız süreç zamanlı, hiçbir atama kısıtı olmadan, seri yerleşim, tek taraflı işistasyonu, eşit kaynak (ve yetenekte) iş istasyonları ve sabit oran başlangıçlı özellikleri söylenebilir.

GMHD problemi BMHD olmayan tüm problemleri içerir, karışık modelli dengeleme probleminin özellikleri olarak, U-biçimli ve iki taraflı hatlar, stokastik bağımlı süreç zamanları gösterilebilir, GMHD sayesinde daha gerçekçi MHD'leri formüle edilebilir ve çözülebilir.

Montaj hatlarının dengelenmesinin aktif bir araştırma alanı olmasından bu zamana birkaç kapsamlı inceleme makalesi çözüm yöntemleri de dahil olmak üzere yayınlanmıştır (Baybars 1986a), tam çözüm yöntemlerini, Talbot ve diğ (1986) geliştirilmiş sezgisel yöntemleri karşılaştırmış ve değerlendirmiştir, Gosh ve Gagnon (1989) montaj hatlarının dengelenmesi, çizelgelenmesi ve tasarımı konusunda farklı yöntemleri incelemiş ve analiz edilerek kapsamlı bir inceleme sunmuşlardır, Rekiek ve diğ (2002a) montaj hattı tasarımının, hat dengeleme ve kaynak planlaması adımlarına odaklanan optimizasyon yöntemleri üzerine odaklanmıştır, Scholl ve Becker (2006) tam ve sezgisel çözüm prosedürlerinin BMHD üzerinde incelemiş ve analiz etmişlerdir ve GMHD için problemler ve yöntemler üzerine maliyet/yarar odaklı amaçlar, kaynak seçimi/süreç seçenekleri, paralel işstasyonları/görevler u-biçimli hat yerleşimi, atama kısıtları, stokastik iş süreç zamanları ve karışık model montaj hatları gibi özellikleri üzerine bir inceleme gerçekleştirmişlerdir.

Bu bölümün dördüncü kısmında, literatüre son birkaç yılda giren montaj hattı işçi atama ve dengeleme problemi konusundaki çalışmalardan bahsedilecek ve probleme ilişkin tanımlamalara yer verilecektir.

2.4 Montaj Hattı İşçi Atama ve Dengeleme Problemi

Montaj Hattı Dengeleme çalışmaları için literatüre bakıldığında genellikle bilimsel ve akademik bazlı çalışmalarla karşılaşmaktadır. Bu çalışmalar endüstriyel çevrelerde karşılaşılan bazı gerçekçi, özel ve hayata dair içeriklerden uzak kalmış bir şekilde ilerlemiştir. Bu nedenle montaj hattı dengeleme konusunda yapılan çalışmalarda problemde, gerçek hayata uyumlu yaklaşımlarla sonuca gidilmesi gerekmektedir.

Mansoor (1968), MHD problemleri için değişken işçi performans seviyelerini göz önüne alarak bir sezgisel yöntem geliştirmiştir. Bartholdi ve Eisenstein (1996) işçilerin farklı çalışma hızlarındayken nasıl işlere yerleştirileceğine dair bir yöntem geliştirmiştir. Geliştirdikleri yöntem, TSS (Toyota Swen Sistemi) adı verilen operasyonların en

başarılı olarak gerçekleştirilmesini sağlayan bir yapı kullanmaktadır. Doerr ve diğ (2000) temposu belirlenmemiş bir hat üzerinde farklı yeteneklere sahip işçilerle hat tasarımı konusunda çalışmışlardır. Çalışmalarında gerekli günlük üretim miktarına ulaşılmadığı durumlarda fazla mesai kullanımına izin vermişlerdir. Hopp ve diğ (2004) atandıkları işten bağımsız olarak yavaş yada hızlı çalışan işçilerin bulunduğu hatları incelemişlerdir. Çalışmalarında hâlihazırda dengelenmiş bir hat üzerinde işçilerin dönüşümlü rotasyonunu sağlamışlardır. Gel ve diğ. (2002) işçilerin kendilerine atandıkları işlere göre yavaş veya hızlı olmaları durumunu incelemiştir. Çalışmalarında hâlihazırda dengelenmiş bir hat üzerinde işçilerin etkin olarak rotasyonunu sağlamışlardır. Corominas ve diğ (2003) operasyonun atandığı istasyona göre değişiklik gösterdiği MHD problemlerini incelemişlerdir. Endüstriyel uygulamalarda önemli olan bu problem için sadece uzman ve uzman olmayan işçileri kullanarak çözüm yoluna gitmişlerdir.

Diğer çalışmalar birden fazla makinenin kullanıldığı problemlere yöneliktir. Operasyon yönteminin yada kaynağın seçimi karar problemleri dengeleme problemleri ile birleştirildiklerinde, modeller kara ve maliyete göre optimize edilmelidir. Bu durum literatürde genellikle Montaj Hattı Tasarım Problemi (MHTP) olarak ifade edilir. (Becker ve Scholl 2006). Graves ve Lamar (1983) ve Pinnoi ve Wilhelm (1998) problemi Montaj Sistem Tasarım Problemi (MSTP) olarak ele almışlardır. Graves ve Lamar (1983) çalışmalarında eş olmayan iş istasyonlarının kurulması gereken yerlerin belirlenmesi konusunu incelemişlerdir. Bununla birlikte, montaj hattı dengelemesi sabit işlem sıralaması varsayımıyla çözümlenmiştir. Pinto ve diğ (1983) çalışmalarında operasyonların bir ve ya daha fazla alternatif yöntemle gerçekleştirilmesi durumunu incelemişlerdir. Bu alternatifler her bir zaman birimi için farklı sabit maliyetler yaratır. İstenilen üretim seviyesine göre dal sınır algoritması ile belirlenmiş en düşük ve en yüksek çevrim süresi dal sınır algoritması ile belirlenir. Bukchin ve Tzur (2000) kaynak alternatiflerini incelemişlerdir ve verilen bir çevrim süresi için toplam kaynak maliyetlerini minimize etmeye çalışmışlardır. Her istasyon kendisine ait bir adet kaynak ile görevi çerçevesinde desteklenir. Her türün kendisine ait marjinal bir maliyeti ve faydası söz konusu olmaktadır. Bu nedenle iki farklı problem belirlemektedir : (1) Değişken sayıda istasyon kurulmalı ve kaynaklarla desteklenmeli, (2) Operasyonlar istasyonlara bazı atama kısıtları göz önüne alınarak atanmalıdır. Operasyon temelli yapı kullanarak minimum en düşük bant stratejisini kullanan Dal – Sınır yaklaşımı

tasarlamışlardır. Bu prosedür, orta büyüklükteki problemlerin çözüme ulaştırılmasında etkilidir, bu yüzden modelin girdi parametreleri kullanan sezgisel versiyonu geliştirilmiştir. Aynı problem, Nicosia ve diğ (2002) tarafından dinamik programlama ve Dal-Sınır yaklaşımı kullanılarak incelenmiştir. Rubinovitz ve Bukchin (1993) problemin bütün kaynak maliyetlerinin aynı olduğu robotik montaj hatları için olan kısıtlı versiyonunu incelemişlerdir. Pinnoi ve Wilhelm (1997;1998) çalışmalarında temel ve genelleştirilmiş MSTP için Dal – Kesme prosedürü uygulamışlardır. Rekiek ve diğ (2002b) çalışmalarında, her bir operasyon için kendi kaynak maliyetleri ve operasyon sürelerine sahip MSTP’leri incelemişlerdir.

Bununla birlikte, bu referansların çoğu operasyonların ve kaynakların istasyonlara atanmasıyla ilgilenmektedir. Bu konuda bahsedilen problem, montaj hatlarında farklı maliyetlere sahip alternatif kaynaklara ilişkin toplam maliyetin minimize edilmesi değildir. Bu konunun literatürdeki diğer çalışmalarla farkı uygun kaynakların kısıtlı ve farklı özelliklere sahip olmasıdır. Bazen bir kere atanabilecek özel kaynaklar mevcut olabilir. Bazı durumlarda benzer özelliklere sahip kaynakların söz konusu olabilir, ancak bu durumda bile bu kaynaklar MSTP olduğu gibi limitsiz değildirler. Bu yüzden montaj hatlarındaki farklı yetilere sahip işçi kaynaklarının istasyonlara atanması ve dengelenmesi durumu için adı Montaj Hattı İşçi Ataması ve Dengelemesi Problemi olan yeni bir problem çeşidi ortaya çıkmaktadır (Miralles ve diğ 2008). Miralles ve diğ (2008), bu problemin çözümü için Dal-Sınır algoritmasına dayalı bir prosedür önermişlerdir. Engelliler için korunaklı iş merkezlerindeki montaj hatlarına yönelik bir uygulama gerçekleştirmişlerdir.

Bu problemde amaç tanımlanmış bir montaj hattı için, işçi kaynaklarının montaj hattında oluşturulan iş istasyonlarına; çevrim süresini en düşükleyecek ve bununla birlikte istasyonların hat dengesini en iyi kuracak şekilde atanmasıdır.

Bu problemde;

- her iş bir iş istasyonuna ve bir işçiye atanmalı,
- her işçi sadece bir istasyona atanmalı ve her istasyona sadece bir işçi atanmalı,
- operasyonların öncelik ilişkileri tanımlanmalı,
- istasyonlara çevrim süresi aşılmadığı sürece birden fazla operasyon atanabilmeli,
- kurulacak istasyon sayısı işçi kaynağı sayısına esit ya da daha az olmalıdır.

Bu açıklamalar kapsamında tanımlanan problemin tamsayılı programlama modeli aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

İndisler

i, j	operasyon
h	işçi
s	iş istasyonu

Problem Verileri

N	operasyon kümesi
H	uygun işçi kümesi
S	iş istasyonu kümesi
p_{hi}	h işçisinin i operasyonunu gerçekleştirmesi durumundaki operasyon süresi
dp_i	i operasyonu için bütün uygun işçiler arasındaki en düşük proses süresi
D_j	j operasyonu için öncelik matrisindeki öncelikli işler kümesi

Karar Değişkenleri

C	çevrim süresi
A	dengeleme yardımcı değişkeni
x_{shi}	1: i operasyonun h işçisi tarafından s istasyonunda yapılması durumunda 0: diğer durumlarda.
y_{sh}	1: h işçisinin s istasyonuna atanması durumunda 0: diğer durumlarda.

Amaç Fonksiyonu z

$$\text{Min } (\alpha * C + \beta * A) \quad (2.10)$$

Kısıtlar Altında

$$A \leq \frac{(\sum_{s=1}^S (C - \sum_{i \in N} p_{hi} * x_{shi}))^2}{S}, \forall h \in H, \forall s \in S \quad (2.11)$$

$$\sum_{h \in H} \sum_{s \in S} x_{shi} = 1, \forall i \in N \quad (2.12)$$

$$\sum_{s \in S} y_{sh} \leq 1, \forall h \in H \quad (2.13)$$

$$\sum_{h \in H} y_{sh} \leq 1, \forall s \in S \quad (2.14)$$

$$\sum_{h \in H} \sum_{s \in S} s * x_{shi} \leq \sum_{h \in H} \sum_{s \in S} s * x_{shj}, \forall i, j/i \in D_j \quad (2.15)$$

$$\sum_{i \in N} p_{hi} * x_{shi} \leq C, \forall h \in H, \forall s \in S \quad (2.16)$$

$$\sum_{i \in N} x_{shi} \leq M, \forall h \in H, \forall s \in S, \quad (2.17)$$

$$M > \sum_{h \in H} \sum_{s \in S} p_{hi}$$

$$y_{sh} \in [0,1], \forall h \in H, \forall s \in S$$

$$x_{shi} \in [0,1], \forall h \in H, \forall s \in S, \forall i \in N \quad (2.18)$$

$$A \geq 0, C > 0$$

$$\alpha \gg \beta$$

- Amaç fonksiyonu (2.10) çevrim süresini, hat dengesini koruyarak minimize etmeyi amaçlar. Bu denklikte $\alpha \gg \beta$ olduğundan dolayı öncelikli amaç çevrim süresi iken, eş çevrim süresi durumunda hat dengelemeyi amaç haline dönüşür.
- Kısıt (2.11) operasyonların istasyonlara dengeli bir şekilde atanmasını sağlar.
- Kısıt (2.12) Her bir operasyonun bir işçiye ve bir iş istasyonuna atanmasını sağlar.
- Kısıt (2.13) Her bir işçinin en fazla bir iş istasyonuna atanmasını sağlar.

- Kısıt (2.14) Her bir iş istasyonunun bir işçi içermesini sağlar.
- Kısıt (2.15) i. operasyonun j. operasyona öncüllük ettiğinin göstermesini sağlar.
- Kısıt (2.16) ve Kısıt (2.17) s istasyonuna atanmış bir h işçisine çevrim süresi aşılmadığı takdirde bir den fazla operasyon atanabileceğini ifade eder.
- Kısıt (2.18) karar değişkenlerinin durumlarını ifade eder.

Bu bölümde montaj hattı dengeleme konusunda son birkaç yılda ortaya atılan Montaj Hattı İşçi Atama ve Dengeleme Problemi tanımlanmış ve probleme ilişkin bir tamsayılı programlama modeli ortaya konmuştur.

Sonraki bölümde bu problemin çözümünde kullanılması önerilen sezgisel yöntem olan genetik algoritma prosedürü detaylı olarak anlatılmıştır.

3. GENETİK ALGORİTMALAR

3.1 Genetik Algoritmanın Tarihçesi

Michigan Üniversitesinde psikoloji ve bilgisayar bilimi uzmanı olarak görev yapan John Holland bu konuda ilk çalışmaları yapan kişidir. Mekanik öğrenme (machine learning) konusunda çalışan Holland, Darwin'in evrim kuramında etkilenecek canlılarda yaşanan genetik süreci bilgisayar ortamında gerçekleştirmeyi düşünmüştür. Tek bir mekanik yapının öğrenme yeteneğini geliştirmek yerine böyle yapılarda oluşan bir topluluğun çoğalma, çiftleşme, mutasyon, vb. genetik süreçlerden geçerek başarılı (öğrenebilen) yeni bireyler oluşturabildiğini görmüştür. Araştırmalarını, arama ve optimumu bulma için, doğal seleksiyon ve genetik evrimden yola çıkarak yapmıştır. İşlem boyunca, biyolojik sistemde bireyin bulunduğu çevreye uyum sağlayıp daha uygun hale gelmesi örnek alınarak, optimum bulma ve makine öğrenme problemlerinde, bilgisayar yazılımı modellenmiştir.

Çalışmalarının sonucunu açıkladığı kitabının 1975'te yayınlanmasından sonra geliştirdiği yöntemin adı Genetik Algoritmalar (ya da kısaca GA) olarak yerleşti. Ancak 1985 yılında Holland'ın öğrencisi olarak doktorasını veren David E. Goldberg adlı inşaat mühendisi 1989 da konusunda bir klasik sayılan kitabını yayınlana dek genetik algoritmaların pek pratik yararı olmayan bir araştırma konusu olduğu düşünülüyordu. İlk olarak Hollanda' da makine öğrenme sistemlerine yardımcı olarak kullanılmış daha sonra De Jong Goldberg ve diğerleri tarafından analiz edilmiştir. Goldberg, GA'nın çok sayıda kollara ayrılmış gaz borularında, gaz akışını düzenlemek ve kontrol etmek için uygulamasını tanımlamıştır. Ayrıca kendisinin kullandığı makine öğrenmesi, nesne tanıma, görüntü işleme ve işlemsel arama gibi alanlarda kullanıldığını vurgulamıştır.

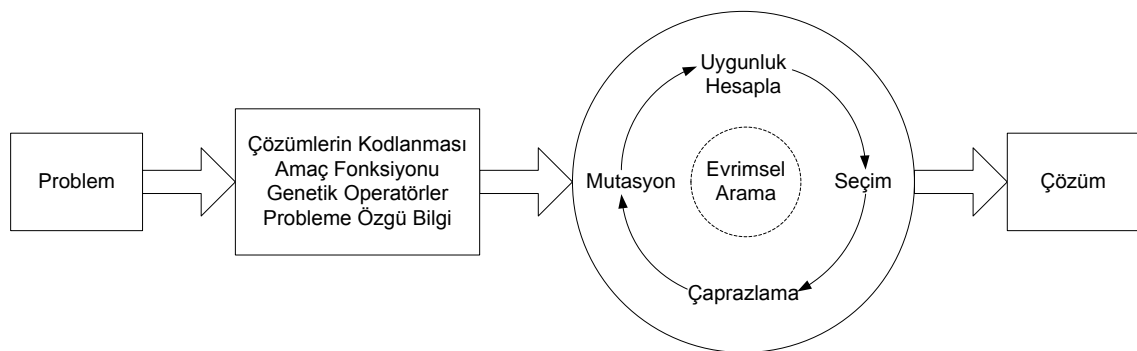
Goldberg'in gaz boru hatlarının denetimi üzerine yaptığı doktora tezi ona sadece 1985 National Science Foundation Genç Araştırmacı ödülünü kazandırmakla kalmamış, ayrıca genetik algoritmaların pratik kullanımının da olabirliğini kanıtlamasını sağlamıştır. Ayrıca kitabında genetik algoritmalara dayalı tam 83 uygulamaya yer

vererek GA'nın dünyanın her yerinde çeşitli konularda kullanılmakta olduğunu göstermiştir.

3.2 Genetik Algoritmanın Tanımı

Genetik algoritmalar, doğal biyolojik evrim ve gelişimi örnek alan stokastik arama metotlarıdır. Genetik algoritmalar çözüme en uygun veya en yakın potansiyel çözümler içeren toplumlar üzerinde çalışırlar. Her nesilde daha güçlü ve amaçlara daha uygun bireyler üretilerek sonuca gidilir. Doğada güçlü olan bireylerin hayatta kalma ve üreme şansları daha yüksektir. Bu prensipten yola çıkan genetik algoritma da bu prensibi takip ederek, yani daha iyi çözümler üreten bireyleri sonraki toplumlara taşıyarak en iyi çözümü bulmayı amaçlar.

Genetik algoritmalar doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretir. Bunun için “iyi”nin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk (fitness) fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için çaprazlama (crossover), mutasyon (mutation) gibi operatörleri kullanır. Genetik algoritmaların bir diğer önemli özelliği de bir grup çözümle uğraşmasıdır. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyileri seçilip kötülerini elenebilir. Genetik algoritmaları diğer algoritmalarından ayıran en önemli özelliklerden biri de seçmedir. Genetik algoritmalarda çözümün uygunluğu onun seçilme şansını artırır ancak bunu garanti etmez. Seçim de ilk grubun oluşturulması gibi rastgeledir ancak bu rastgele seçimde seçilme olasılıklarını çözümlerin uygunluğu belirler (Goldberg 1989). Şekil 3.1’de Genetik algoritmaların problem çözme yapısı şekilsel olarak özetlenmiştir (Varlı 2007).



Şekil 3.1 Genetik algoritma kullanarak problem çözme

Optimizasyon problemleri ayırık kararlarının verilmesinin zorunlu olduğu durumlarda ortaya çıkar ve bu problemleri sonlu yada sayılabilir sonsuz sayıdaki seçenek içerisinde belirlenerek optimum çözümü bulmaya çalışırlar. Birçok optimizasyon problemi NP-Zor yapıdadır. Optimizasyon problemlerinin etkili bir şekilde çözülmesi yolunda son yıllarda alınan gelişmelere rağmen evrensel bir yöntem mevcut değildir. Sonuç olarak makul bir hesaplama zamanında optimuma yakın sonuç veren tahmin algoritmalarına büyük bir ilgi duyulmaktadır.

Başlangıçta doğrusal olmayan (nonlinear) en iyileme problemlerine uygulanan GA, sonraları gezgin satıcı, karesel atama, yerleşim, atölye çizelgeleme, ders/sınav programı hazırlanması gibi optimizasyon problemlerinde başarıyla uygulanmıştır (Liepins vd 1990). Son yıllarda üretim planlama, tasarım, elektronik ve finansman gibi farklı ve çok geniş sahaları kapsayan konuların alt birimlerinde yapılan gerek teorik gerekse uygulamalı genetik algoritma çalışmalarının sayısı artmaktadır.

3.3 Genetik Algoritmanın Üstünlükleri ve Sınırlamaları

Genetik algoritmalar sezgisel bir yöntem olduğundan diğer çözüm yöntemlerine göre bazı üstünlük ve sınırlamaları bulunmaktadır. Genetik algoritmaların üstünlükleri şunlardır (Kulluk 2003):

- Çözüm uzayı hakkında bir bilgiye ihtiyaç duymazlar,
- Yerel en iyi noktada takılı kalmaya direnç gösterirler,
- Büyük ölçekli eniyileme problemlerinin çözümünde iyi sonuçlar üretirler,
- Çözüm uzayını oluşturan bölümler arasındaki devamsızlık ve kopuklukların genel eniyileme performansı üzerinde etkisi azdır.
- GA uygunluk fonksiyonu herhangi bir forma girebilir ve eşzamanlı olarak kullanılabilir.

Genetik algoritmaların sınırlamaları şunlardır (Kulluk 2003):

- Uyum fonksiyonu hesabında yoğun işlem yükü gerektirir.
- Kullanılan biçim genel değil, probleme özgü yapı taşımaktadır.
- Global olarak tam en iyi noktanın saptanmasında problem yaşanmaktadır.
- Nesiller arasında iyi özelliklerden sapma ihtimali vardır.

3.4 Genetik Algoritma Terimleri

GA'nın çalışmasında ve başarılı çözüm değerlerine ulaşmada algoritma yapısında kullanılan kavramların ve bu kavram değerlerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir.

Aşağıda bu kavramlara değinilmiştir:

Gen: Kromozom yapısında kendi başına birer genetik bilgi taşıyan en ufak yapı birimine gen denir. Kısmi bilgiler taşıyan bu ufak yapıların bir araya gelmesiyle bütün bir çözüm kümesini oluşturan kromozom (dizi) meydana gelir.

Kromozom (Birey): Bir yada birden fazla gen yapısının bir araya gelerek problemin çözümüne ait tüm bilgiyi içeren dizilere kromozom denir. Kromozomların bir araya gelmesiyle toplum (toplum, yığın) oluşturulur. Yığındaki her bir bireye kromozom, kromozomdaki her bir bilgiye gen denir. Kromozomlar, üzerinde durulan problemin olası çözüm bilgilerini içermektedir.

Kromozomlar, GA yaklaşımında üzerinde durulan en önemli birim olduğu için bilgisayar ortamında iyi ifade edilmesi gerekir. Kromozomun hangi kısmının ne anlam taşıyacağı, ne tür bilgi içereceği kullanıcının olaya bakışını değiştirir.

Plan-Katar (Schemata): Belirli pozisyonlarda uygun olan alt dizileri tanımlamak için kullanılan sayı katarlarına veya planlarına denir (Goldberg 1989).

Örneğin, iki tabanlı(1,0) kodlama sisteminde beş adet genden oluşan bir kromozom dizisinde her bir genin yerine (0,1,*) gibi üç farklı kod kullanılabileceğinden,

$L = 5$ için, $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 243$ farklı alt dizi tanımlanabilir.

Genel olarak iki tabanlı kodlama dizisinde plan(katar) sayısı, 3.1 no'lu denklemde kromozomdaki gen (rakam) sayısı (L) ve kodlama sistemindeki karakter sayısı (K) iken gösterilmiştir (Goldberg 1989).

$$Plan\ Sayısı = (k + 1)^L \quad (3.1)$$

Toplum (Toplum, Yığın): Toplum, çözüm bilgilerini içeren kromozomların bir araya gelmesiyle oluşan olası çözüm yığına denir. Toplumdaki kromozom sayısı sabit olup problemin özelliğine göre programlayıcı tarafından belirlenir. GA'nın işleyişi

esnasında bu yığın kümesinden bir takım kromozomlar yok olmakta ve yerlerine yeni kromozom yapıları eklenerek toplum büyüklüğü sabitlenmektedir.

Toplum, problemin çözüm süresini etkilemektedir. Fazla sayıdaki kromozom yığını problemin çözüm süresini uzatırken, az sayıdaki yığın çözüm değerlerine ulaşamamasına sebep olabilir, yada sistemin belirli çözüm uzayında takılıp iyileşememesine neden olabilir. Problemin özelliğine göre seçilecek olan yığın sayısı programcı tarafından iyi belirlenmelidir.

3.5 Genetik Algoritmaların Çalışma Prensibi

Temel bir GA'nın çalışma prensibi adım adım açıklanacak olunursa:

Adım 1: Problemi temsil eden gen kodlama şekli ve kromozom uzunluğu belirlenir.

Adım 2: Toplumda bulunacak kromozom (birey) sayısı (toplum büyüklüğü) belirlenir.

Adım 3: Rastgele kromozomlardan oluşan bir başlangıç toplumu oluşturulur.

Adım 4: Belirlenen uygunluk fonksiyonuna göre her bir kromozomun uygunluk derecesi hesaplanır.

Adım 5: Uygunluk fonksiyonunun yapısına ve kullanılacak seçim yöntemine uygun olarak, uygunluk değerlerinin ölçeklendirilir ve seçim havuzu oluşturulur.

Adım 6: Belirlenen seçim yöntemi kullanarak toplumdaki kromozomlar çiftleştirmek için seçilir ve elit bireyler belirlenir.

Adım 7: Seçilen kromozomlara çaprazlama ve mutasyon operatörleri uygulanır.

Adım 8: Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar Adım 4'ten itibaren çözüm aranmaya devam edilir.

3.6 Genetik Algoritma Adımlarına Ayrıntılı Bakış

3.6.1 Kromozom yapısı

Kromozom yapısındaki genin kodlanması GA'nın çok önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Probleme GA uygulanmadan önce, verinin uygun şekilde kodlanması

gerekmektedir. Kurulan genetik modelin hızlı ve güvenilir çalışması için bu kodlamanın doğru yapılması gerekmektedir. Kodlamanın nasıl yapılacağı probleme bağlı olarak yapılmalıdır. İyi bir genetik yapının oluşması iyi bir kodlamayla sağlanabilir. Bunun kararı uygulama hakkında yeterince bilgi sahibi olunmasıyla sağlanabilir. Kromozomda kullanılacak gen sayısında kullanılacak kodlama yöntemine göre belirlenmektedir. Aşağıda uygulamalarda kullanılan kodlama biçimlerine yer verilmiştir (Eiben ve Smith, 2003).

İkili Kodlama: İkili kodlama en çok kullanılan yöntemdir, çünkü ilk GA araştırmalarda bu kodlama yöntemi kullanılmıştır ve görece basit bir yöntemdir. İkili kodlamada, her kromozom bit (0 veya 1) karakter dizilerinden oluşmaktadır. Ancak, bu kodlama çoğu problemin çözümü için uygun değildir. Bunun için geçtiğimiz yıllarda çeşitli problemlerde genetik algoritmanın etkin olarak kullanılabilmesi için başka çeşit kodlama yöntemleri geliştirilmiştir (Gen ve Cheng 1999). Şekil 3.2 de ikili kodlama biçimi gösterilmiştir.

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

Şekil 3.2 İkili kodlama gösterimi

Permutasyon Kodlama: Permutasyon kodlama, gezgin satıcı problemi veya görev sıralama gibi sıralama problemlerinde kullanılabilir. Permutasyon kodlamada, her kromozom sıra'da konum belirten numara karakter dizisinden oluşur. Şekil 3.3 de permutasyon kodlama gösterilmiştir.

Kromozom A:	1	5	3	2	6	4	7	9	8	11	10
Kromozom B:	8	5	6	7	10	2	3	11	1	4	9

Şekil 3.3 Permutasyon kodlama gösterimi

Değer Kodlama: Bu kodlama, gerçel gibi kompleks sayıların yer aldığı problemlerde kullanılır. Bu tür problemler için ikili kodlama çok zordur. Burada her kromozom bazı, değerler dizisidir. Bu değerler ise problemle ilişkilidir; örneğin gerçel sayı, karakter veya kompleks nesnelere olabilir (Nabiyev 2005). Şekil 3.4’de değer kodlama ile oluşturulmuş kromozom örnekleri yer almaktadır.

Kromozom A:	3.27	6.12	2.54	2.45	6.54	0.12	0.15	7.89	8.25	1.24	2.48
Kromozom B:	A	B	A	B	F	F	C	A	D	F	G
Kromozom C:	sağ	sol	sağ	sağ	ileri	ileri	sol	geri	sol	ileri	ileri

Şekil 3.4 Değer kodlama gösterimi

Ağaç Kodlama: Ağaç kodlama genellikle evrimleşen program veya ifadeler için kullanılmaktadır. Örneğin genetik programlama için ağaç kodlamada her kromozom bazı nesnelere ağacıdır, işlevler veya programlama dilindeki komutlar için kullanılabilir (Nabiyev 2005).

3.6.2 Toplum büyüklüğünün belirlenmesi

Problemin çözümünde kullanılacak birey sayısı için belli bir kabul bulunmamaktadır. Genel olarak önerilen 100-300 arasında bir büyüklüktür (Nabiyev 2005). Ghedjati (1999) toplum büyüklüğünün 10-100 arasında seçilebileceğini belirtirken, literatürde kromozomda kullanılan gen sayısının 10 katının kullanılması yönünde uygulamalar mevcuttur (Kulak, 2006).

3.6.3 Başlangıç toplumunun belirlenmesi

GA’nın diğer sezgisel arama metodlarından ayıran bir özellik; çözümü noktadan noktaya değil, noktaların oluşturduğu yığın içinde aramasıdır. Bu nedenle GA’nın ilk adımı başlangıç toplumunun oluşturulmasıdır. Başlangıç toplumu büyüklüğü belirlenen toplum büyüklüğü sayısı ile aynı sayıda kullanılabilirken, toplum büyüklüğünün sayısının iki katı şeklinde üretilmesi gibi uygulamalarla da karşılaşılabilmektedir.

(Kulak, 2006). Genelde başlangıç toplumu rastgele oluşturulur. Ancak bu olay kısıtlı en iyileme problemlerinde yığının uygun olmayan çözümlere doğru yönelmesine sebep olabilir. Bu durumu ortadan kaldırmak için probleme özgün çeşitli sezgisel yöntemler geliştirilebilir.

3.6.4 Uygunluk değeri

Kromozomların, çözümde gösterdikleri başarı derecesini belirleyen bir değerlendirme işlevidir. Hangi kromozomların (dizi) bir sonraki nesile taşınacağı ve hangi kromozomların yok olacağı uygunluk değerlerinin büyüklüğüne göre karar verilir. Uygunluk değeri, yığındaki dizilerin bir değerlendirme işlevi yardımıyla hesaplanır. GA'da kullanılan değerlendirme işlevi problemin amaç işlevini oluşturur (Fang 1994).

3.6.5 Ölçeklendirme ve Seçim havuzu

Özellikle orantılı seçim mekanizmalarında aramanın etkin bir şekilde yürütülmesi büyük bir problem olmaktadır. Algoritmanın ilk birkaç iterasyonu sonucunda elde edilen toplumda uygunluk değeri yüksek birkaç kromozom bulunabilmektedir. Bu kromozomların seçim olasılıkları yüksek olduğundan, arama bu kromozomlar etrafında yoğunlaşmaktadır. Bu olay, algoritmanın zamansız yakınsamasına sebep olmaktadır. Diğer taraftan, algoritmanın son iterasyonlarında toplumdaki kromozomların uygunluk değerleri birbirlerine çok yakın olmaktadır. Kromozomların seçim olasılıkları da birbirlerine çok yakın olduğu için yeni toplumlarda iyi kromozomların korunması zorlaşmaktadır. Bu durum ise aramanın etkinliğini azaltmaktadır (Çalkın 2003).

Orantılı seçim mekanizmalarında bu iki sorunu ortadan kaldırmak için uygunluk değerinde bir düzenlemenin yapılması gerekmektedir. Literatürde bunu gerçekleştirebilmek amacıyla ölçeklendirme fonksiyonları kullanılmaktadır. Doğrusal ölçeklendirme, standart sapma kadar azaltma ve üst yaklaşımı olmak üzere üç yaklaşım aşağıdaki bölümde tanımlanmıştır.

Doğrusal ölçeklendirme: Bu yöntemde, i . kromozomun f_i uygunluk değeri, doğrusal bir fonksiyon (3.2) kullanılarak aşağıdaki gibi yeniden düzenlenerek, f'_i ölçeklendirilmiş uygunluk değerine dönüştürülür.

$$f'_i = a * f_i + b \quad (3.2)$$

Fonksiyondaki a ve b katsayıları iki koşulu sağlayacak şekilde seçilmelidir. Birincisi, mevcut toplumda ortalama uygunluk değerine sahip kromozomların yeni toplumda birer kopyalarının olmasını sağlamaktır. Bunu gerçekleştirmek için, ölçeklendirilmiş uygunluk değerlerinin ortalamasının ham uygunluk değerlerinin ortalamasına eşit olması gerekir. İkincisi, mevcut toplumda maksimum uygunluk değerine sahip kromozomun kopya sayısını kontrol etmektir. Bunu gerçekleştirmek için ölçeklendirilmiş dizinin maksimum değeri f'_{mak} ; f_{ort} mevcut toplumun ortalama uygunluk fonksiyonu ve c_{mult} 1.2 ila 2 arasında değişken bir sayı iken (3.3) deki gibi hesaplanır (Goldberg 1989).

$$f'_{mak} = c_{mult} * f_{ort} \quad (3.3)$$

Doğrusal ölçeklendirme fonksiyonu kullanıldığındaki en büyük problem negatif değerlerin elde edilebilmesidir.

Standart sapma kadar azaltma (Sigma truncation): Doğrusal ölçeklendirmedeki negatif sayılardan kurtulabilmek için Forrest (1985), toplumun varyans bilgisinin kullanılmasını önermiştir. Bu yaklaşımda, ölçeklendirilmiş uygunluk değerleri (3.4) deki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$Uygunluk_{yeni} = Uygunluk_{ort} + c * Standarsapma - Uygunluk_{eski} \quad (3.4)$$

Bu eşitlikteki c sabitinin 1 ile 3 arasında seçilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşımda ortalamanın c*standartsapma kadar altındaki değerler negatif olarak ölçeklenmektedir. Forrest (1985), böyle bir durumda negatif değerlerin 0'a eşitlenmesini önermektedir.

Üs yaklaşımı: Bu yaklaşım Gillies (1985) tarafından önerilmiştir. En büyük avantajı negatif değerlerin üretilmemesidir. Denklem (3.5) de yer alan eşitlikten yararlanılarak uygunluk değeri ölçeklendirilir.

$$f'_i = f_i^k \quad (3.5)$$

Bu yaklaşımda da k sabiti probleme bağlıdır. Gillies çalışmalarında bu sabiti 1.005 olarak almıştır.

Seçilen ölçeklendirme yöntemine uygun olarak gelecek nesillerin oluşturulması için kullanılacak olan seçim havuzu oluşturulur.

3.6.6 Seçim ve Elitizm

Mevcut yığından gelecek yığına aktarılacak olan dizilerin seçilme işlemidir. Taşınan diziler, genetik olarak mevcut yığında en uygun yapıya (değere) sahip olan dizilerdir. Bu işlem belirlenen uygunluk değerlerine sahip iyi bireylerin bir sonraki nesile aktarılmasını sağlar. Aşağıdaki bölümlerde çözüme ulaşma seviyesi üzerinde önemli etkisi olan farklı seçim operatörleri hakkında detaylı bilgiler yer almaktadır.

Rulet tekeri seçimi

Bu yöntem Holland tarafından önerilen standart seçim yöntemidir. Bu seçimde, her kromozom tamamen uygunluk değerinin oranına göre seçilme şansına sahiptir. Bu etki tamamen toplumdaki uygunluk değerlerinin dağılımına bağlıdır. Toplumdaki en yüksek uygunluk değeri ile en düşük uygunluk değeri arasındaki farkın oransal olarak azalması seçilme olasılıklarını birbirine çok yakın yaparak aramada hareketsizliğe neden olacağı için istenmeyen bir durumdur. Bu problemi çözmek için seçim aşamasına geçmeden önce uygunluk değerlerini ölçülendirmek gerekir (Goldberg 1989).

Sıralama tabanlı seçim

Sıralama tabanlı seçimde, seçim olasılıkları mutlak uygunluk değerlerinden ziyade, kromozomun toplumdaki pozisyonuna ya da göreceli sırasına göre belirlenmektedir (Barker 1985). Sıralama tabanlı seçimin, sıraların nasıl amaç uygunluğuna çevrileceğine bağlı olan farklı şekilleri bulunmaktadır (Whitley 1989). Whitley'in eğilim seçiminde (genitor), daha iyi uygunluk değerine sahip olan kromozomlara daha büyük ağırlık verilerek seçilme olasılıkları artırılmaktadır.

Turnuva seçimi

Orijinal turnuva seçiminde, belli sayıda rastgele seçilen kromozom arasından en iyi uygunluk değerine sahip olan kromozom seçilir (Brindle 1981). Boltzmann turnuva seçiminde toplumdaki olasılıklara göre kabul veya red mekanizması çalışmaktadır. Rastgele seçilen bir kromozom komşu kromozom ile değerlendirilerek olasılık hesabına göre kabul veya reddedilmektedir (Goldberg 1989). Evlilik turnuva seçimine göre rastgele bir kromozom seçilir. Daha iyi bir kromozom bulmak için belli sayıda deneme yapılır ve sonuçta en iyi kromozom seçilir (Ross ve Ballinger 1993).

Uzaya dayalı seçim

Tüm toplum içinden seçim yapmak yerine farklı bölgelerdeki kromozomlar arasından seçim yapıldığı için global değil, yerel bir seçim yöntemidir. Rastgele kromozomlardan başlayarak belli sayıda rastgele iki farklı yürüyüş ile bulunan en iyi iki kromozom seçilir. Bu eşleşmeden elde edilen çocuklar ebeveynlerinden daha iyi kromozomlar ise, ilk kromozomların yerlerine geçerler (Ross ve Ballinger 1993).

Denge durumu seçimi (Genitor)

Bu seçim yönteminin mekanizmasının işleyişi diğerlerinden biraz farklıdır. Anlatılan seçim yöntemlerinin mekanizmalarında öncelikle mevcut yığından dizilerin seçimi ile yeni yığın oluşturulur. Oluşturulan bu yeni yığına genetik operatörler uygulanarak yeni diziler elde edilir. Elde edilen yeni diziler, kendilerini oluşturmakta kullanılan diziler ile yer değiştirerek yeni yığına alınır. Bu mekanizma da ise, öncelikle doğrusal sıralı seçim mekanizması kullanılarak seçilen bir yada iki bireye genetik operatörler uygulanır. Elde edilen yeni diziler mevcut yığındaki uygunluk değeri en düşük diziler ile yer değiştirerek yeni yığın oluşturulur.

Seçkinlik (Elitism)

Çaprazlama ve mutasyon genetik operatörlerinin uygulanarak yeni toplum üretildiği zaman, en iyi kromozom kaybedilecektir. Seçkinlik, önce en iyi kromozomu (ya da birkaç en iyi kromozomu) yeni topluma kopyalar. Geri kalanı diğer yöntemlerle oluşturulur. Seçkinlik, bulunan en iyi sonucun kaybını önlediğinden GA'nın performansını oldukça hızlı bir şekilde artırır.

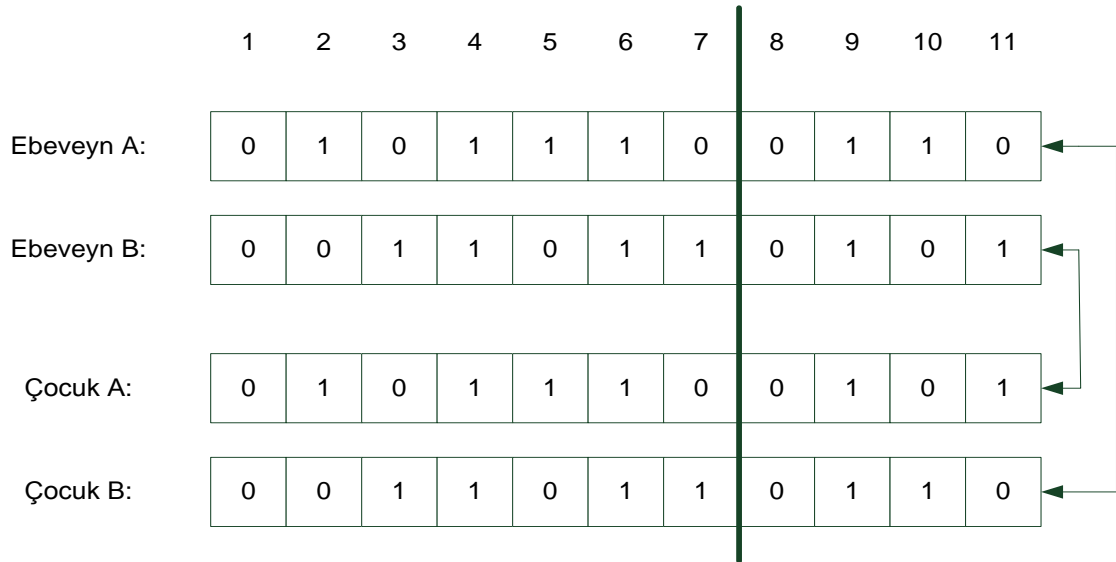
3.6.7 Çaprazlama operatörü

Çaprazlama, farklı kromozomlar arasında gen değişimi sağlayarak arama uzayının benzer ancak araştırılmamış bölgelerine ulaşmayı hedefleyen bir genetik algoritma operatörüdür (Booker 1987). Çaprazlama operatörü toplumdaki belirlenen seçim yöntemine uygun olarak seçilen iki kromozomun belirli bölümlerini karşılıklı değiştirerek arama uzayında yeni noktaları verecek yeni farklı iki kromozomu elde eder (Michalewicz ve Janikow 1992).

Popülasyonda ne oranda bir çaprazlamaya izin verildiği bir çaprazlama oranı ile belirlenir. Literatürde çeşitli çaprazlama operatörleri önerilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanlarından bazıları aşağıdaki bölümlerde gösterilmiştir.

Tek noktalı çaprazlama operatörü:

Bu operatörde, kromozom uzunluğundan küçük ya da eşit bir nokta çaprazlama noktası olarak rastgele seçilir. Çaprazlanmak için seçilen iki kromozomda, bu noktadan önceki genler sabit bırakılarak, bu noktadan sonraki genler ise iki kromozom arasında değiştirilir. İkili kodlama yapısına sahip bir kromozom yapısı için gerçekleştirilmiş bir tek noktalı çaprazlama örneği Şekil 3.5’de gösterilmiştir.

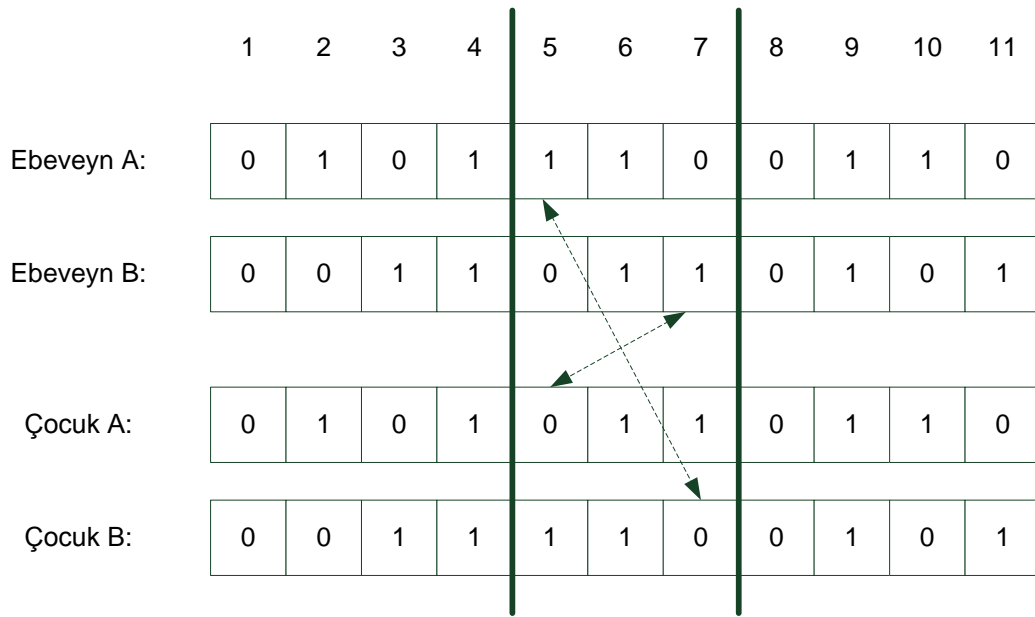


Şekil 3.5 Tek noktalı çaprazlama işlemi

Tek noktalı çaprazlama genellikle ikili kodlama yapısıyla oluşturulmuş kromozomların çaprazlanmasında kullanılmaktadır. Permutasyon kodlama yapısıyla oluşturulmuş kromozomlarda kullanılması durumunda uygun olmayan çözümler üretebilmektedir. Bu durumda, uygun olmayan (tekrar eden genlerin) düzeltilmesi amacıyla tamir fonksiyonun bu operatörden sonra uygulanması gerekmektedir.

İki noktalı çaprazlama operatörü:

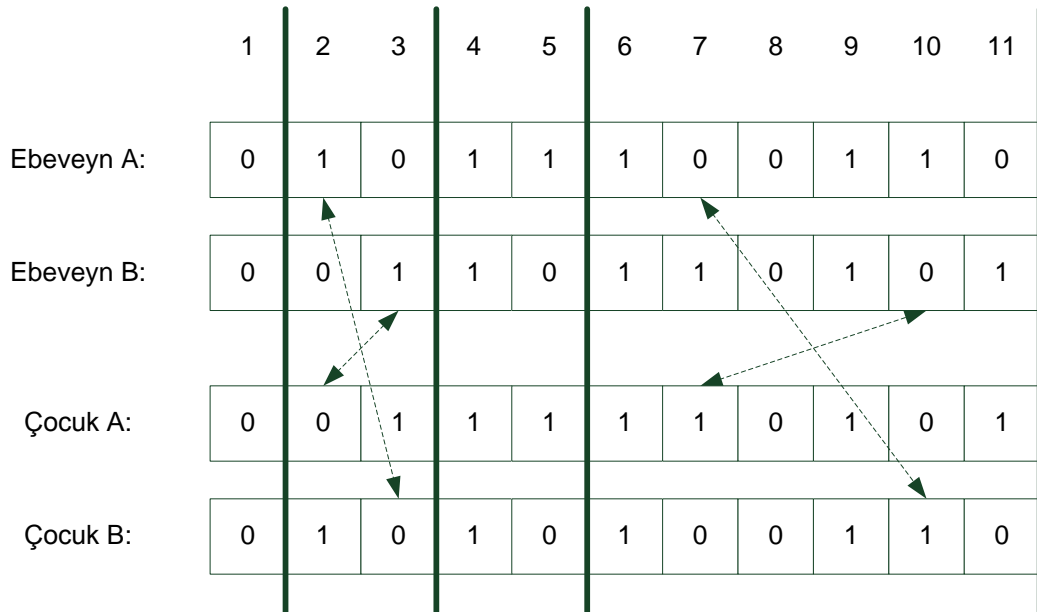
Bu operatörde, kromozom uzunluğundan küçük ya da eşit iki nokta çaprazlama noktaları olarak rastgele seçilir. Bu iki nokta arasındaki genler kromozomlar arasında değiştirilirken, diğer genler ise sabit bırakılır. İkili kodlama yapısına sahip bir kromozom yapısı için gerçekleştirilmiş çift noktalı çaprazlama örneği Şekil 3.6’de gösterilmiştir



Şekil 3.6 Tek noktalı çaprazlama işlemi

Çok noktalı çaprazlama operatörü

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi kromozom uzunluğundan küçük ya da eşit çok sayıda nokta çaprazlama noktası olarak rastgele seçilir. Sırasıyla, tek ve çift çaprazlama noktaları arasındaki genler kromozomlar arasında değiştirilirken, çift ve tek çaprazlama noktaları arasındaki genler sabit bırakılır.



Şekil 3.7 Çok noktalı çaprazlama işlemi

Uniform çaprazlama operatörü

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Rastsal Sayı:	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1
Ebeveyn A:	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0
Ebeveyn B:	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
Çocuk A:	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
Çocuk B:	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0

Şekil 3.8 Uniform çaprazlama işlemi

Çaprazlanmak için seçilen iki kromozomda, bir kromozomun her bir geninin diğer kromozomdaki karşılığı olan gen ile değiştirilmesi olasılığı 0,5 belirlenmiştir (Syswerda 1989). Şekil 3.8’de gösterildiği gibi kromozomlardaki gen sayısı uzunluğunda rastgele sıfır veya bir değerlerinden oluşan bir dizi oluşturularak, sıfır değerine karşılık gelen genler sabit tutularak bir değerine karşılık gelen genler kromozomlar arasında değiştirilir.

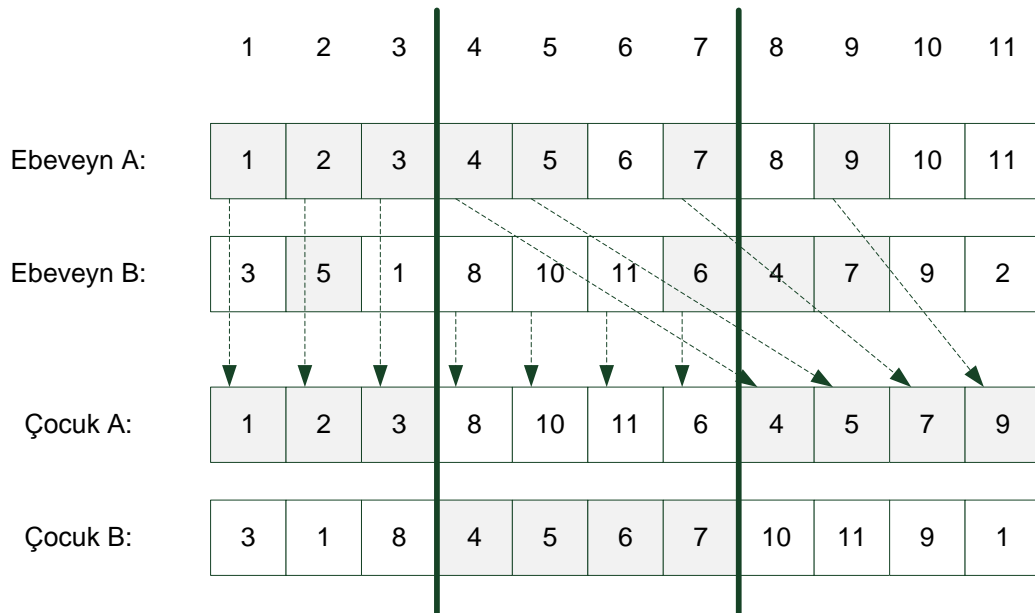
Noktalı çaprazlama operatörlerinde olduğu gibi uniform çaprazlama da genellikle ikili kodlama yapısıyla oluşturulmuş kromozomların çaprazlanmasında kullanılmaktadır. Permutasyon kodlama yapısıyla oluşturulmuş kromozomlarda kullanılması durumunda uygun olmayan çözümler üretebilmektedir. Bu durumda, uygun olmayan (tekrar eden genlerin) düzeltilmesi amacıyla tamir fonksiyonun bu operatörden sonra uygulanması gerekmektedir.

PMX çaprazlama operatörü

“Parçalı Haritalanmış Çaprazlama” (PMX) operatörü, permutasyon kodlamanın kullanıldığı gezgin satıcı problemi için geliştirilmiştir (Goldberg ve Linge 1985). Daha sonra çizelgeleme problemi içinde kullanılmıştır. Bu çaprazlama operatöründe mevcut

bir kromozomdan genlerin bir alt kümesi seçilerek ve diğer mevcut kromozomda mümkün olduğunca genlerin sırası ve pozisyonu korunarak yeni çözüm elde edilir. Aşağıda örnek iki ebeveyn kromozomda PMX çaprazlama operatörü kullanılarak iki yeni çocuk oluşturulması anlatılmaktadır.

Seçilen A ve B ebeveynleri için rassal olarak iki nokta belirlenir. Daha sonra bu iki nokta arasında yer alan genler kromozomlar arasında değiştirilir. Daha sonra eski kromozomun yeni yerleşiminde yer almayan genler, eski kromozomdaki sıralarıyla yeni kromozoma aktarılırlar. Şekil 3.9’da PMX çaprazlama operatörünün örnek bir uygulaması verilmiştir.



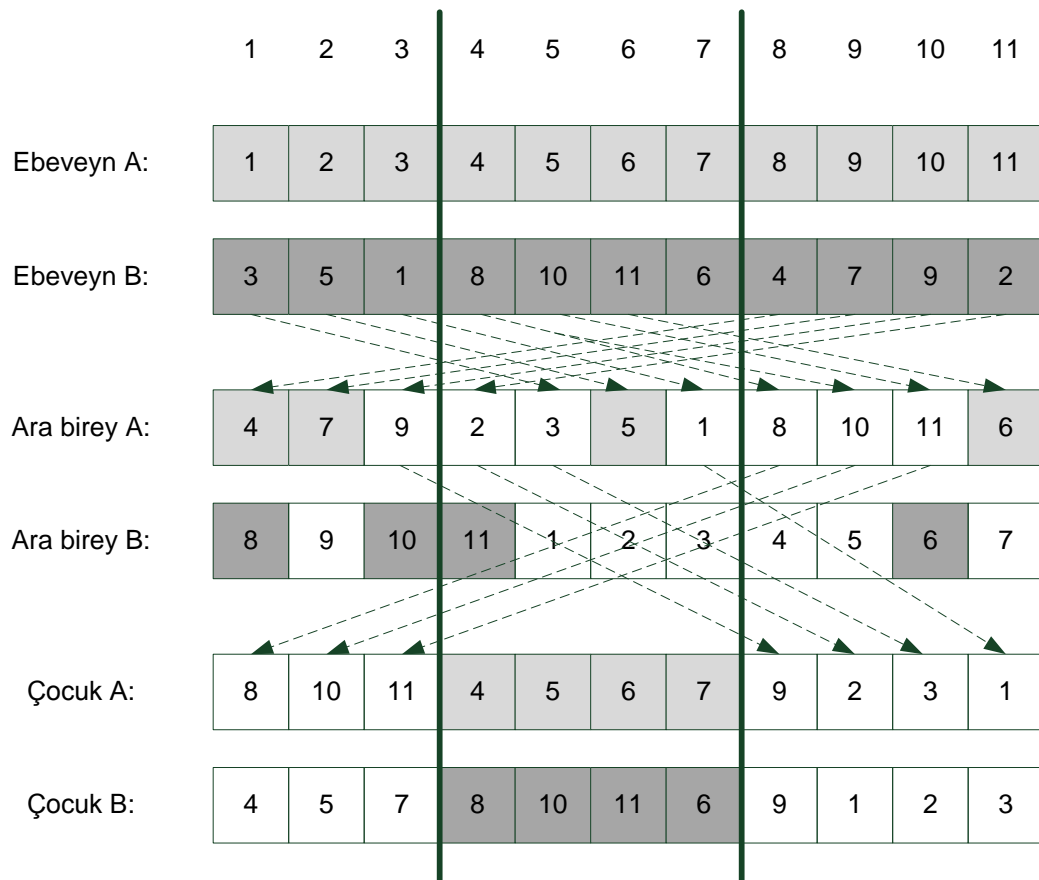
Şekil 3.9 PMX çaprazlama işlemi

OX çaprazlama operatörü

“Sıra Temelli Çaprazlama” (OX) operatörü, permutasyon kodlama ile tasarlanmış kromozom yapıları için tasarlanmıştır (Davis 1991). Bu çaprazlama operatöründe yeni bir çözüm mevcut kromozomdaki genlerin bir alt kümesinin seçimi ve diğer kromozomdaki genlerin mümkün olduğu sürece görelî sırası korunarak yeni kromozomlar elde edilir.

Seçilen A ve B ebeveynleri için rassal olarak iki nokta belirlenir. Daha sonra bu iki nokta arasında yer alan genler kromozomlarda korunarak A ve B çocukları oluşturulur..

A çocuğunu oluşturmak için B' ebeveyninin ikinci kesme noktasından başlayarak, kromozomun sonuna kadar olan genler bir ara bireye aktarılır. Aynı şekilde ara bireye birinci kesme noktasına kadar olan genler ve iki kesme nokta arasında kalan genler sırası ile yerleştirilir. Oluşturulan ara bireyden A çocuğuna ebeveyninden aktarılan genler silinir. Ara bireyde kalan elemanlar ikinci kesme noktasından başlanarak A çocuğunun boş genlerine aktarılır. Bu operasyonlar B çocuğunun oluşturulmasında da aynen kullanılır. Şekil 3.10'da OX çaprazlama operatörünün örnek bir uygulaması verilmiştir.



Şekil 3.10 OX çaprazlama işlemi

3.6.8 Mutasyon operatörü

Mutasyon, GA'nın çalışmasında ikinci dereceden rol oynar. GA'da mutasyon operatörü, küçük bir olasılıkla bir kromozom içindeki bir veya birkaç gen değerini rassal olarak değiştirerek toplumda yeni kromozomların (yani, arama uzayında yeni çözüm noktalarının) elde edilmesini sağlar (Goldberg 1989).

Özellikle GA'nın son iterasyonlarında mutasyonun etkinliği artmaktadır. Çünkü son iterasyonlarda toplum iyi çözümlere yakınsadığından, diziler birbirlerine çok benzemektedir. Bu durum ise çaprazlama operatörünün aramasını kısıtlar. Nitekim, çaprazlama sonucu elde edilen diziler de birbirlerine benzer olacaklardır. Bu aşamada mutasyon, toplumdaki değişkenliği gerçekleştirerek arama uzayında yeni çözüm noktalarının elde edilmesini sağlamaktadır (Çalkın 2003).

Toplum ne oranda bir mutasyona izin verildiği bir mutasyon oranı ile belirlenir. Literatürde çeşitli mutasyon operatörleri önerilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanlarından bazıları aşağıdaki bölümlerde gösterilmiştir.

Bit değiştirme operatörü

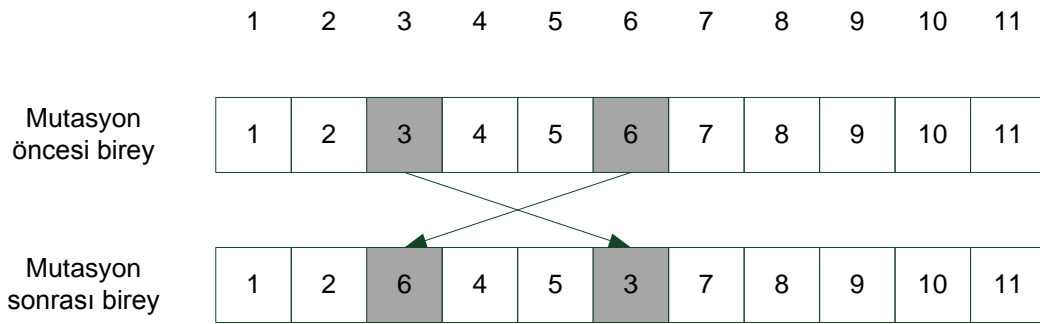
Bu operatör ikili kodlama yapısıyla oluşturulmuş kromozomlardaki genlerin mutasyon operasyonlarında kullanılmaktadır. Şekil 3.11'de gösterildiği gibi kromozomdan rastgele seçilen bir veya daha fazla genin bit değeri sıfır ise bir, bir ise sıfıra dönüştürülmektedir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Mutasyon öncesi birey	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
Mutasyon sonrası birey	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1

Şekil 3.11 Bit çevirme operatörü işlemi

İkili yer değiştirme operatörü

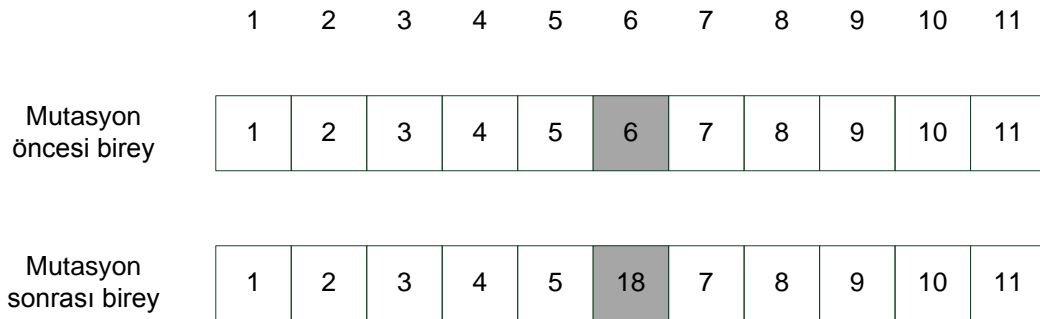
Swap operatörü olarak da bilinen ikili yer değiştirme operatörü permutasyon kodlama yapısıyla oluşturulmuş kromozomlardaki genlerin mutasyon operasyonlarında kullanılmaktadır. Mutasyon uygulanmak için belirlenen kromozomda rastgele seçilen iki gen yerlerinin değiş tokuş edilmesi ile uygulanır. Şekil 3.12'de örnek bir ikili yer değiştirme operatörü uygulaması yer almaktadır.



Şekil 3.12 İkili yer değiştirme operatörü işlemi

Yerine koyma operatörü (replacement)

Permutasyon kodlama yapısı ile oluşturulmuş kromozomlarda, permutasyon uzayının kromozom uzunluğundan daha büyü olması durumunda replacement olarak da bilinen bu operatör kullanılabilir. Mutasyona uğratılmak için belirlenen kromozomda rastgele seçilen bir gen, tanımlanan sınırlar içerisindeki değerlerden herhangi bir değer ile değiştirilmektedir. Şekil 3.13'deki örnek için 1 ile 20 arasındaki tamsayı değerler tanımlanan sınırları belirlenmiştir.



Şekil 3.13 Yerine koyma operatörü işlemi

3.6.9 Durdurma Kriteri

Türevsel en iyileme noktasını bulamaması nedeniyle yakın çözüm bulan genetik algoritmalarının hesaplama işlemlerinin sona ermesi için tanımlanan bir durdurma kriterine ulaşması gerekmektedir. Bu durdurma kriteri probleme özgü olarak toplam iterasyon sayısına ulaşılması, bulunan en iyi çözümün istenmeyen iterasyon sayısı kadar tekrar etmesi, istenen en yüksek süreyi aşması veya probleme özgü hesaplanan en düşük banda yakınsama oranı olabilmektedir.

Genetik algoritmaların performansları için bu bölümde tanımlanan algoritmanın, yöntemlerin ve parametrelerin probleme uygun bir şekilde seçilmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Dördüncü bölümde montaj hattı dengeleme konusunda gerçekleştirilen genetik algoritma çalışmalarına ilişkin literatür incelenmiştir.

4. MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMLERİNDE GENETİK ALGORİTMA UYGULAMALARI

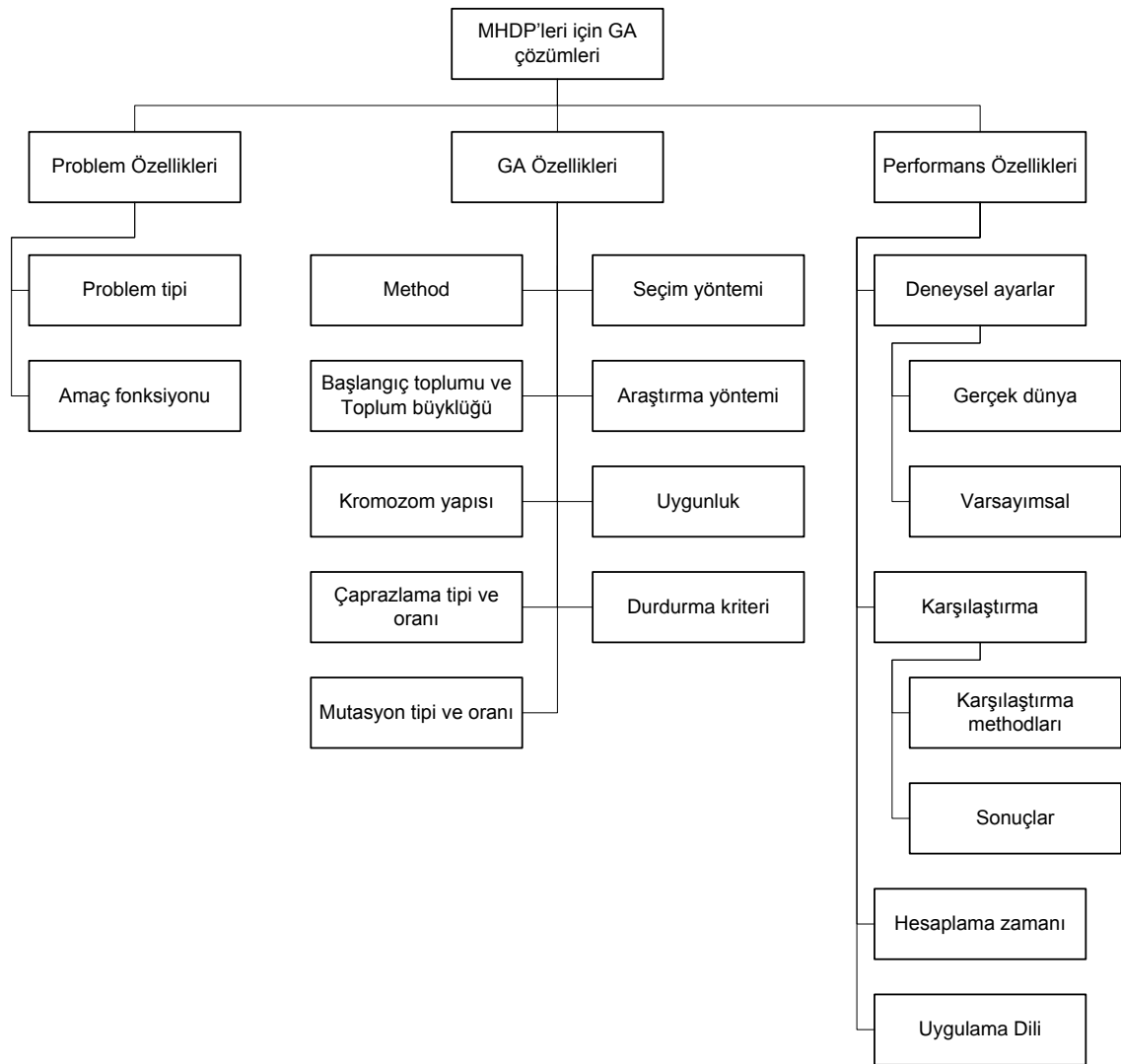
Montaj Hattı Dengeleme Problemleri (MHDP), NP-Zor kombinatorial optimizasyon problemi sınıfına girer (Karp 1972). Bu sebepten MHDP için optimum çözüm arama yöntemlerini kullanışsız bir hal almaktadır, örnek olarak birkaç iş ve/veya işstasyonu için eğer elimizde m iş ve r tercih kısıtı mevcut ise bu durumda $m!/2^r$ olası iş sırası vardır (Baybars 1986a). Bundan dolayı böyle geniş bir arama uzayından optimum arama yöntemleriyle bir en iyi sonuç elde etmek insan hayatı ile ölçülen süreler alabilmektedir.

Bu geniş arama uzayına rağmen literatürde optimum arama yöntemleri ile MHDP ni çözmeye yönelik birçok teşebbüs gerçekleştirilmiştir. Doğrusal programlama (Salveson 1955), tamsayılı programlama (Bowman 1960), dinamik programlama (Held vd 1963). Yapılan tüm bu çalışmalara rağmen hiçbirisi geniş problemler için etkisiz hesaplama verimlilikleri sebebiyle herhangi denenmiş bir pratik kullanımları bulunmamaktadır. Tüm bu zorluklar sebebiyle birçok araştırma sezgisel yöntemlerin geliştirilmesi yönünde bir çaba göstermiştir, Dar-El (1973) tarafından geliştirilen MALB, Dar-El ve Rubinovitch (1979) tarafından geliştirilen MUST, ve Baybars (1986b) tarafından geliştirilen LBHA, çalışmaları bunlara örnek gösterilebilir (Tasan ve Tunalı 2008).

Tavlama algoritması (Suresh ve Sahu 1994), tabu araştırması (Peterson 1993) ve genetik algoritmalar (Falkenauer ve Delchambre 1992) ise meta-sezgisellere örnek gösterilebilir. Meta-sezgiseller arasında genetik algoritmalar (GA) doğrudan rastgele arama ile en iyi çözümün bulunmasını amaçlayan geleneksel optimizasyon tekniklerine bir seçenek olmayı dolayısıyla hergeçen gün yeni araştırmalar için artan bir ilgi görmektedir. GA'nın MHDP deki geniş uygulama alanına rağmen sadece birkaç yayınlanmış inceleme mevcuttur (Scholl ve Becker 2006). Dimopulos ve Zalzalá (2000) evrimsel hesaplama metotlarının, üretim optimizasyonu problemleri, klasik atölye ve akış tipi, MHDP ve ana üretim planlama problemlerinin çözümlerindeki kullanımlarını incelemişlerdir.

Çalışmanın bu bölümünde literatürde var olan MHDP'lerinin GA ile çözülmesine ilişkin yöntemler üzerinde odaklanılmıştır. Tasan ve Tunalı (2008) bir yapısal çerçeve üzerinde MHDP türleri, GA metodolojisi ve performans şartları dikkate alınarak yapılan

çalışmaları sınıflandırmıştır. Şekil 4.1’de MHDP’lerinin GA ile çözümlerinin incelenmesi için geliştirdikleri yapısal çerçeve yer almaktadır.



Şekil 4.1 MHDP'lerin GA'la çözümünün incelenmesi için yapısal bir çerçeve

Bu bölümde Şekil 4.1’de verilen yapısal çerçevede problemin özellikleri, GA özellikleri ve performans özellikleri dikkate alınarak günümüz literatürü incelenmiştir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi problemin özellikleri bölümü çalışılan problemlerin ana hatlarını içermektedir. GA özelliklerine göre yapılan sınıflandırmada GA metotları, başlangıç toplumu, kromozom yapısı, uygunluk fonksiyonu, genetik operatörler, seçim ve hayatta kalanlar şeması, uygulanabilirlik ve sonlandırma koşulu yer almaktadır. Performans özelliklerine göre yapılan sınıflandırmada GA sonuçlarını test ederken kullanılan kriterler ve özellikleri içermektedir. Bu yapısal çerçeve kullanılarak “Problem Özellikleri” bölümünde kronolojik sırayı dikkate alarak yayınlanmış çalışmalardaki

problem özelliklerine odaklanılmıştır. “GA Özellikleri” bölümünde GA’ların elitleri ve GA’ların kendi aralarındaki farklılıkları tanımlanmıştır Tasan ve Tunali (2008).

4.1 Problem Özelliklerine Göre Literatür İncelemesi

Çalışılan problem türlerindeki ana konular hakkındaki tanımlamalar için (Baybars 1986a) da kullanılan sınıflandırma kullanılmıştır. Bundan dolayı yayınlanmış literatür iki grup altında incelenmiştir; BMHD ve GMHD. EK 1’de yer alan Tablo incelenmiş çalışmalar problem tipi ve amaç fonksiyonları dikkate alınarak kronolojik olarak listelenmiştir.

4.1.1 Basit montaj hattı dengeleme problemi

BMHD probleminin tipik yapısı tek ürünün üretilmesi, h hızı bir çevrim süresi ile sabitlenmiştir, deterministik bağımsız süreç zamanı, sıfır atama kısıtı, seri yerleşim, tek yönlü ve eşit kaynaklı işstasyonları ve sabit üretim miktarlarıdır.

Falkenauer ve Delchambre (1992) BMHD’yi GA ile çözen ilk araştırmacılarıdır. Falkenauer (1991) bir küme içerisindeki üyeleri gruplayarak küçük sayıdaki aileleri amaç fonksiyonunu optimize edecek ve kısıtları sağlayacak şekilde gerçekleştiren gruplama optimizasyonu problemleri için gruplama genetik algoritmasını (GGA) sunmuşlardır. GGA özel bir kromozom gösterimi şeması ve genetik operatörlere sahiptir. Daha sonra, Falkenauer ve Delchambre (1992) GGA yı iki grup optimizasyonu problemi için uygulamışlardır, bunlar kutu paketleme ve BMHD Tip-1 problemleridir. Bu çalışma Tip-1 MHDP nin GA ile çözülmesine yönelik ilk girişimdir. Yazarlar ilk olarak özel bir gösterim şeklini sunmuşlar ve kutu paketleme problemi için özel genetik operatörler sunmuşlardır, ardından bu özel genetik operatörleri hat dengeleme problemi için değişiklikler yapmışlardır. GGA nın MHDP nin çözümüne yönelik diğer uygulamaları Falkenauer (1997), Rekiekve diğ (1999), Brown ve Sumichrast (2005) de bulunabilir. Falkenauer (1998) çalışmasında standart gösterim şekli ve standart genetik operatörleri kullanarak tipik GA uygulamalarında ortaya çıkabilecek gruplama problemleri hakkındaki sakıncalarını açıklamıştır.

Falkenauer ve Delchambre (1992) tarafından incelenen BMHD problemi birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Leu ve diğ (1994) BMHD Tip-1 problemleri için bir GA geliştirmişlerdir ve başlangıç toplumu belirlemek için sezgisel prosedürleri

kullanmışlardır. Ayrıca yeniden yapılandırma safhasında ve başlangıç toplumunda birlikte görülebilen uygulanabilirlik sorunlarının üstesinden gelebilmek amacıyla bir dizi uygulama tekniğini önermişlerdir. Aynı zamanda çok kriterli ve alan kısıtlı montaj hattı dengelemesinin olasılığını göstermişlerdir. GA'yı TMMHD Tip-2 problemlerinde ilk kullanan makale Anderson ve Ferris (1994) tarafından yapılmıştır. Yazarlar (temel amaç olarak) GA'nın kombinatorial optimizasyon problemlerinde kullanımının etkinliğini göstermeyi amaç edinmişlerdir. İlk önce GA'nın sade bir seri uygulamasını MHDP için tanımlamışlardır ve GA'nın çeşitli değişkenlerinin GA'nın performansına olan etkileri üzerine çalışmışlardır. Ardından GA'nın alternatif paralel bir türünü tanıtmışlardır ki bu sade toplumdaki herhangi bir süreçte bulunmaktadır. Seri GA ve paralel GA arasındaki karşılaştırma göstermiştir ki paralel uygulamadaki ürünlerin kalitesi seri uygulamanın elde edilen en iyi çözümünden daha kötüdür.

Rubinovitz ve Levitin (1995) bir işin süreçlerinin zamanını işstasyonu atamalarına bağlı olduğu bir BMHD Tip-2 problemi için GA kullanmıştır. Yazarlar dar-El ve Rubinovitz (1979) MUST GA'sını önerilen GA ile karşılaştırmıştır, burada önerilen GA 20 iş istasyonunu ilgilendiren bir sorunu MUST dan daha hızlı bir şekilde çözmüştür. Son olarak yazarlar geliştirdikleri GA'nın öncelik kısıtlarının daha az sınırlama yaptığı durumlarda çok büyük avantaj sağladığı sonucuna varmışlardır.

Kim ve diğ (1996) çok amaçlı TMMHD problemi için bir GA geliştirmiştir.. Birçok MHDP türünü çözebilecek yetenekteki bu algoritma örnek olarak işstasyonu sayısını en küçükleyen (Tip-1) çevrim süresini en küçükleyen (Tip-2), işyükü dalgalanmasını en küçükleyen (Tip-3), iş ilişkilerinde bulunmayı en büyükleyen (bağlantısız işler aynı iş istasyonu tarafından mümkün olduğunca çok paylaşılmalıdır) (Tip-4), Tip-3 ve Tip-4'ün çok amaçlı olarak ele alındığı (Tip-5) amaç fonksiyonu kullanabilmektedir. Kim ve diğ (1996)'nin çok amaçlı GA'sı çok vaadkar görünmesine rağmen kromozom gösterim şekli birçok problem türü için uygun bir yapıda değildir, bu da tek kromozom gösterimi şekli ile tüm problem türlerini amaçlamasına bağlanabilir.

Kim ve diğ (1998a) literatürde ihmal edilmiş bir konu olan işyükü dalgalanmasını en küçükleme konusu üzerinde durmuştur. Geniş çaplı hesaplama örnekleri kullanılmış ve özel sezgisel bilginin dahil edilmesinin yararları açıklanmıştır. Deneysel sonuçlar göstermiştir önerilen GA, mevcut sezgisellerden ve standart GA'dan daha iyi bir performans göstermiştir.

Rekiek ve diğ (1999) bir GGA önermiştir bu (Falkenauer ve Delchambre 1992) temel alınarak eşit yükler yaklaşımını almış ve bunun ile BMHD problemini çözmeye çalışmıştır. Operasyonları sabit sayıda iş istasyonu için her işistasyonunun iş yükünün hemen hemen eşit olduğu ve ortalama büyüklükleri seviyesinde her işistasyonu için (büyükler arasındaki standart sapmaları en küçükleme) işlerin atanmasına çalışmışlardır. Bu sebepten önerilen yöntem istenilen sayıda işistasyonu için iş yükünü işistasyonları arasında olabildiğince eşitlemeye çalışmaktadır ve algoritma bu yapıyı elde etmeyi garanti etmektedir. Ardından Rekiek bir GGA geliştirmiştir bu çok amaçlı montaj hattı tasarımı problemini yazar kendi doktora tezinde kullanmıştır (Rekiek 2000).

Bautista ve diğ (2000), BMHD probleminde işler arasındaki uyumsuzlukların üstünde durmuşlardır. İki uyuşmayan işi aynı istasyona atmaktan kaçınmak için yazarlar bir Greedy rasgele uyumlu arama prosedürü olan (GRASP) denen, bazı klasik sezgisel yöntemler ile GA'dan elde edilmiş bir yöntem geliştirmişlerdir. Önce BMHD Tip-1 problemini çözmeyi denemişler ve ardından BMHD Tip-2 probleminin iş istasyonu sayısı belirli olduğu durumlar için denemişlerdir. Aynı zamanda GRASP'ı ağırlıklar ile yeniden de ele alarak Greedy Rastgele Ağırlıklı Uyumlu Arama Prosedürü (GRWASP) olarak adlandırılan bir yöntem daha geliştirmişlerdir. Önerilen metod Greedy sezgisel yöntemleri, en uzun işlem süresi ve en büyük sayıdaki acil ardılların öncelik kuralları temelinde işlere atanmasına dayanıyor. Greedy sezgiselleri işleri en iyi dizin değerlerine göre ayırarak, GA safhasının çözümde kolayca elemanların sırasını değiştirmesini sağlar. Karşılaştırmalı çalışmalarda göstermiştir ki önerilen GA ve GRWASP, Greedy sezgiselleri ve GAST dan daha iyi performans sergilemektedir.

Ponnambalam ve diğ (2000), TMMHD Tip-1 için birçok amacı aynı anda optimize eden çok amaçlı GA geliştirdiler. Bu amaçlar iş istasyonlarının sayısı; hat etkinliği ve dalgalanma indeksidir. Diğer sezgiseller ve diğer örnekler ile birçok karşılaştırma yapıldı bu karşılaştırmaların sonucu olarak GA çalışılan tüm konularda daha iyi sonuçlar vermiştir. Ama GA'nın uygulama zamanı daha uzun bulunmuştur.

Sabuncuoğlu ve diğ (2000), yeni bir GA'yı TMMHD problemi için problemin içsel karakteristiklerini kullanarak çözen bir GA geliştirmiştir. Yazarlar ayrıca "Dinamik Ayırma" adını verdikleri bir yöntemi önermişlerdir. Burada GA'nın işlemci zamanı kazanmak amacıyla yeni bir kromozom yapısı düzenlemişlerdir. Yöntem kromozom yapısını işleri iş istasyonlarına dağıtarak (belirli işleri dondurma) bazı ölçütleri

sağlayarak ve kalan donmamış işlerle devam ederek düzenler. Dahası tavlama algoritmasından uyarladıkları yeni bir elitleştirme yapısı inşa etmişlerdir. Bu yeni elitleştirme yapısının yüksek miktarda GA'nın performansına katkı sağladığı gözlenmiştir. Daha doğrusu geniş çaplı hesaplama örnekleri işaret etmiştir ki önerilen GA yaklaşımı literatürde bilinen sezgisellerden daha iyi bir performans göstermiştir.

Carnahan ve diğ (2001), BMHD Tip-2 probleminin çözümünde işlerde istenilen fiziksel yetenekleri dikkate almıştır. Fiziksel talepleri ölçmek amacıyla bir işçinin yarı dönüş halinde iken elinin ihtiyacı olan sıkma gücünden türetilen, döndürme gücü ile gösterilen elin sıkıştırma kuvvetini kullanmışlardır. Seviyelendirme sezgiselleri, kombinatorial GA ve problem uzayı GA'dan oluşan üç metot geliştirmişlerdir. Bunlar ile eşzamanlı olarak en büyük elle sıkıştırma ihtiyacı ile çevrim süresini en küçükmeyi amaçlamaktadırlar. Yazarlar problem uzayı GA sınıfının diğer yöntemlerden daha iyi sonuç verdiği karar vermişlerdir.

Goncalves ve De Almedia (2002) bir melez GA geliştirmişlerdir. Burada GA ile sezgisel öncelik kuralları bileşimi BMHD Tip-1 problemini çözmek için sunulmuştur. Literatürdeki çeşitli problemler melez GA'nın etkinliğini göstermek amacıyla kullanılmıştır. Deneilerin sonucu göstermiştir ki önerilen yöntem dikkate değer bir şekilde iyidir.

Stockton ve diğ (2004a,b), üretim işlemlerinin tasarımı ve planlaması durumunda ortaya çıkan çeşit planlaması, üretim planlaması, malzeme ihtiyaç planlamasının çevresindeki parti büyüklüğü, hat dengelenmesi ve işletme yerleşimi gibi çeşitli problemlerin GA ile çözümlerini araştırmışlardır. Stockton et al (2004a) da yazarlar GA'yı TMMHD Tip-1 problemi üzerinde uygulamışlardır. GA'nın performansını klasik bir çözüm yöntemi olan Seviyeli Konumsal Ağırlık (RPW) ile karşılaştırmışlardır. Stockton ve diğ (2004b) de yazarlar uygulama örneklerini, uygun genetik operatörler ve parametre değerlerini tanımlayabilmek için incelemişlerdir.

Brown ve Sumichrast (2005) (Falkenauer 1991) GGA performansı ile tipik GA'nın bir dizi gruplama problemindeki performanslarının karşılaştırmıştır. Bu problemler kutu paketleme, makine, parça hücre dizilişi ve BMHD Tip-1 problemidir. standart GA ve GGA tekniklerini problem kümesine uygulamışlardır, böylece çözüm kalitesine ve hesaplama zamanının karşılaştırmasına güven duyabilmektedirler. Yazarlar her iki

teknğinde tüm test problemleri için en iyi çözümü bulabildiklerini ancak GGA'nın optimum çözümü daha hızlı bulunduğunu belirtmişlerdir.

4.1.2 Genel montaj hattı dengeleme problemi

Bu bölümde GMHD problemleri üzerine odaklanılmıştır, bu problemlerin içinde BMHD olmayan tüm problemler bulunmaktadır. Örnek olarak tek modelli yada karışık modelli, paralel, U-Biçimli ve iki taraflı hatların, stokastik, bulanık (fuzzy), yada bağımlı işlem süreli durumlar için hat dengelemesi çalışmaları bulunmaktadır.

Tsujimura ve diğ (1995), GMHD problemini GA ile çözen ilk çalışmadır. Yazarlar belirsizliği göstermek için bulanık sayıları kullanmışlardır, mutlak ve kesin olmayan iş süreleri işlem süreleri gibi makine ve insan faktörü dolayısıyla kesin değildir. TMMHD Tip-1 için bulanık işlem süreli bir GA önermişler ve bunu 80 işli bir problem için hayata geçirmişlerdir. Daha sonraları, Tsujimura ve diğ (1995) in kullandığı GMHD problemi farklı araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılmıştır.

Suresh ve diğ (1996) stokastik süreç zamanlarına sahip TMMHD Tip-1 problemini çözümü için GA kullanmışlar ve iki popülasyon ile çalışan bir GA geliştirmişlerdir. Bu algorithmada popülasyonun uygulanabilir çözüme izin vermekte ve düzenli aralıklarla örnekleri değiştirmektedir. Bu yapı düzensiz arama uzayının (problem özelliklerinden kaynaklanan uygulanamazlık problemi) üstesinden gelmek için önerilmiştir. Yazarlar şuna inanmaktadır ki uygulanabilir çözümlerden meydana gelen bir popülasyon parçalanmış bir arama uzayına yol açar ve böylece yerel en iyi noktalarında sıkışma olasılığı artmaktadır. Şunu ifade etmişlerdir ki uygunsuz çözümlerin popülasyon içerisinde bulunmasına izin verilmelidir, böylece genetik operatörler uygunsuz çözümlerden yola çıkarak uygun çözümleri bulabilir. Nesillerin hepsinde bazı çözümler düzenli aralıklarla, iki popülasyon arasında değiştirilmektedir (değiştirilen çözümler kendi popülasyonlarının içerisinde aynı uygunluk değeri seviyesine sahip olmaktadır). deneylerin sonucu şuna işaret etmektedir, iki popülasyon ile çalışan GA tek uygun popülasyon ile çalışan GA dan daha iyi sonuç vermektedir.

Falkenauer(1997), GGA (Falkenauer ve Delchambre 1992) tabanlı bir GA yı ve bir Dal-Sınır algoritmasını TMMHD Tip-1 problemi için kaynağa bağımlı proses süreleri ile sundular. Problem kaynakları farklı maliyet ve hızlarda işlere dağıtılmasında ilgilidir, aynı zamanda işleri iş istasyonlarına atamayı toplam hat maliyeti en küçük

olacak şekilde yapmaktadır. Yazar GGA'yı işleri iş istasyonlarına dağıtmak amacıyla kullanmış ve Dal-Sınır algoritmasını her işstasyonu için en iyi kaynağı seçmekte kullanmıştır. Bu problemde işlerin proses süreleri kullanılan kaynak miktarına bağlıdır, bu yüzden işlerin işstasyonlarına atamalarına ek olarak farklı maliyet ve hızlarda kaynaklar her işe paylaştırılmıştır. Önerilen metot da işler işstasyonlarına GGA ile dağıtılmış, her işstasyonu için optimum kaynak Dal-Sınır algoritması ile kullanılmıştır.

Ajenblit ve Wainwright (1998), U-Biçimli TMMHD Tip-1 problemin GA kullanarak dengeleme konusunun öncüleridir. Yazarlar bu problemin iki olası çeşidi üzerine çalışmışlardır. Bunlar toplam boş zamanı en küçükleme ve iş istasyonları arasındaki iş yükü dalgalanmasını yada bu işlerin kombinasyonlarıdır. Altı farklı atama algoritması geliştirmişlerdir, bunlar kromozom ve işstasyonlarına işleri atamayı yorumlayabilmek amacıyla yapılmışlardır. Yazarlar önerilen GA'yı 61 test problemi için uygulamışlardır. 11 konuda önceki araştırmalardan üstün sonuçlar elde etmişlerdir, 49 konuda aynı sonucu ve 1 konuda da daha kötü bir sonucu elde etmişlerdir.

Chan ve diğ (1998), TMMHD Tip-1 in konfeksiyon endüstrisindeki bir problemi için GA önermiştir. Yazarlar MHD planlamasında geçen zamanı en küçükleyerek hat verimliliğini geliştirmeyi denemişlerdir. Aynı zamanda problemin özel bilgileri ile 41 işli bir MHDP'ni çözmek için çeşitli yetenek seviyelerine sahip işçileri probleme dahil etmişlerdir. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki GA'nın performansı çeşitli seçenekler içerisinde her işe en yetenekli işçiyi atamak koşuluyla Greedy algoritmalarından daha iyidir.

Kim ve diğ (2000), iki taraflı TMMHD Tip-1 probleminin konumsal kısıtlı türü için bir GA geliştirmiştir. İki taraflı montaj hatları tek yönlü hatların paralel olarak bağlanmasını kapsar, bazı işler hattın sadece bir tarafında çalışılabilir, diğer taraf da bu çalışmalarda ayrıca bu işlerde kullanılabilir. İki yönlü montaj hatlarında işler 3 başlıkta sınıflandırılır, L(Sol), R(Sağ), E(her iki yön) tipi işler. L türü işler basitçe hattın sol tarafında yürütülebilir, benzer şekilde R tipi işler hattın sağ tarafında yürütülebilir, E tipi işler hattın her iki tarafında da kolayca yürütülebilir. Önerilen GA'nın performansı tamsayı programlama ve (Kim ve diğ 1998b)'deki farklı sezgisel yöntemler ile 5 test problemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki önerilen GA diğer

seçeneklerden daha iyi performans sağlamıştır. Yazarlar önerilen GA'nın farklı çeşitlerdeki MHDP'lerinde doğrudan kullanılabileceğini belirtmişlerdir

Smaria ve Vilarinho (2001a), KMMHD Tip-2 problemi için paralel işstasyonları için iteratif arama prosedürünü ekledikleri bir GA önermişlerdir. Önerilen GA prosedürü Smaria ve Vilarinho (2001b)'deki TMMHD Tip-2 için geliştirilen model temel alınarak hazırlanmıştır, referans çalışmada tavlama algoritması bir çözüm yöntemi olarak kullanılmıştır. İteratif prosedür çevrim süresinin en küçük olduğu anda başlıyor ve başarılı bir biçimde KMMHD Tip-1 problemini artan çevrim zamanları ile çözmektedir. Bir uygun çözüm bulduktan sonra prosedür GA'yı çevrim süresini azaltmak için kullanmaktadır. Prosedür çevrim süresini en küçüklemenin yanında işyükün de dengelemektedir. İteratif prosedür iki montaj modeli ve 25 iş için basit bir örnek kullanılarak ölçülmüştür.

Chen ve diğ (2002), çeşitli amaçları ilgilendiren bir montaj hattı planlaması için bir GA yaklaşımı sunmuşlardır. Bu amaçla çevrim süresi en küçüklenmesi, işyükü dalgalanmasının azaltılması alet ve makine sayısının en küçüklenmesi ve montaj hattı iş sıralamasının karmaşıklığının en küçüklemesidir. Montaj hattı planlama problemlerini içerisinde araç teçhizatlandırma ve çizelgeleme içerisinde sınıflandırmışlardır. Önerilen metot başlangıç topluma içine sezgisel çözümleri de kattığı ve doğru, uygulanabilir kromozomu içsel ayarlamayı geliştirerek yükseltmiştir. Önerilen GA yı göstermek için çeşitli örnekler kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki önerilen GA montaj hattı tasarımı ve yürütülmesi konusunda gerekli birçok alternatif montaj planı üretmiştir.

Miltenburg (2002), montaj hattı dengeleme problemi Tip-1 i ve sıralama problemlerini aynı anda çözmeye çalışmıştır. Karışık model ve U-Biçimli montaj hatları için dengeleme ve sıralama problemlerini ortaklaşa çözen bir GA önermişlerdir. Önerilen GA iyi çözümler vaat eder görünmektedir.

Valente ve diğ (2002), MHD Tip-2 probleminin gerçek hayattan alınmış iki yönlü, araba montaj hattı uygulaması için bir GA önermişlerdir. Problemin çözümü her iş istasyonunun uzunluğunun sabit olması kısıtının sağlanmasıyla ilgilidir. Önerilen GA'nın toplam montaj zamanının %28,5 azalttığı bulunmuştur.

Bruderu ve Valmar (2004), TMMHD Tip-1 problemi için bir melez GA önermişlerdir. Tsujimura ve diğ (1995) gibi onlarda işlerin proses zamanlarını bulanık

sayılar olarak ele almışlardır. Bu melez metod Dal-Sınır yöntemi ile GA'yı birleştirmektedir. Yazarlar özel bir kromozom gösterimi şeması, embriyo gösterimi ki bunlar çözümün alt kümelerinde sunulmuşlardır. Aynı zamanda yeni bir tür genetik operatör olan ve büyüme operatörü olarak adlandırılan, melez GA için kullandıkları bir operatörde önermişlerdir, önerilen GA'nın çözüm kalitesiyle ilgili olarak çok uzun hesaplama zamanı gerektirdiği bulunmuştur.

Martinez ve Duff (2004), U-biçimli TMMHD Tip-1 problemiyle ilgilenmişlerdir. Bu problemi öncelikle basit hat dengelemesinden aldıkları 10 sezgisel kuralı ekleyerek çözmüşlerdir, örnek olarak en büyük konumsal derece ağırlığı, en büyük sayıda izleyen işler, bu sezgisel çözümleri önceki araştırmacıların elde ettikleri öncelikli işler ve en büyük işlem süresi için optimal çözümler ile karşılaştırmışlardır. Ardından Ponnambalam ve diğ (2000)' nin GA'sını düzenleyerek bu sezgisel kurallarda elde edilen çözümleri başlangıç popülasyonuna katmışlardır. Önerilen GA'yı Jackson (1956)' un problemini kullanarak uygulamışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki GA ya yapılacak eklentiler mevcut çözümü geliştirmektedir.

Simaria ve Vilharinho (2004), Simaria ve Vilarinho(2001a) çalışmasının uygulamasını genişleterek KMMHD Tip-2 paralel işstasyonları problemi için iteratif GA temelli bir arama prosedürü önermişlerdir. Yazarlar ayrıca türetilmiş MHDP nin hesaplanan deneylerden bir kümeyi uygulamışlardır.

Levitin ve diğ (2006) robotik montaj hattı dengeleme (RMHD) problemi gibi yerlerde kullanılan TMMHD Tip-2 probleminin özel bir türü için bir GA önermişlerdir. Yazarlar robotların farklı yeteneklerde ve özelliklerde oldukları bir robotik montaj hattı tanımlamışlardır buna montaj işlerini atamışlardır. RMHD problemine yerel en iyi (tepe tırmanma) iş-parça değişimi prosedürü gibi GA'yı uyarlayan prosedürler tanıtılmıştır. Testler rastgele türetilmiş problemlerden oluşan bir küme kullanılarak yürütülmüştür, böylece en etkin GA prosedürü en iyi parametre kombinasyonu temel alınarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Noorul ve diğ (2006), KMMHD Tip-1 probleminin çözümü için melez bir GA önermişlerdir. Düzenlenmiş RPW (MRPW) metodunun çözümünü GA'nın rastgele türetilmiş başlangıç popülasyonu ile birleştirmişlerdir. Böylece global uzayın içerisinden arama uzayı küçültülmüştür. Bu birleşmenin arama zamanını azalttığı belirtilmiştir. Yazarlar melez GA yaklaşımının uygulamasını yedi problem üzerinde

gerçekleştirmişlerdir ve MRPW ile standart GA'yı karşılaştırmışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki önerilen yaklaşım standart GA'dan daha iyi sonuç vermiştir.

Problem özellikleri açısından, birçok araştırmacının BMHD'ye odaklandığı görülmüştür. Problemin bu en basit hali tek amaçlı olarak ve karışık modelli üretim, U-Biçimli hatlar vb son gelişmeler yok sayılarak çözülmeye çalışıldığı görülmüştür.

4.2 GA Özelliklerine Göre Literatür İncelemesi

Bu bölümde önerilen GAlar dokuz ölçüt dikkate alınarak araştırılmıştır, bunlar önerilen GA'nın methodu, başlangıç toplumu, kromozom yapısı, uygunluk fonksiyonu, genetik operatörler (Çaprazlama ve Mutasyon), seçim yöntemi, yeni nesil seçimi, uygunluk ve durdurma koşuludur.

Araştırılan çok fazla sayıdaki ölçüt dikkate alındığında bu inceleme çalışmasında bulunanlar özetle iki parça halinde sunulacaktır. Birinci kısım da GA içerisindeki sadece 6 ölçüt dikkate alınmıştır bunlar, başlangıç toplumu, seçim yöntemi, yeni nesil seçimi, uygunluk ve sonlandırma koşuludur. İkinci kısımda yayınlanmış literatürün tartışılması ve kromozom yapısı, genetik operatörler ve uygunluk değeri temelinde ele alınmıştır.

MHDP'ni çözmek için geliştirilen birçok GA benzer yapılara sahiptir. Brundaru ve Valmer (2004), GA ve Dal-Sınır algoritmasını uygunluk fonksiyonunu değerlendirmek için birleştirilmiştir. GA'nın etkinliğini arttırmak için kullanılan son zamanların eğilimi GA'yı diğer sezgiseller ile melezlemektir. Kim ve diğ (1998a), Bautista ve diğ (2000), Goncalves ve Dealmedia (2002) melez GA uygulamalarına çalışmalarında yer vermişlerdir. Simarina ve Vilarinho (2001a,2004) sırasıyla Tip-1 ve Tip-2 problemlerinin çözümlerini değerlendirmek için iki seviyeli iteratif bir GA önermişlerdir.

Bir GA başlangıç toplumu denilen, bireylerin oluşturduğu bir kümenin oluşturulmasıyla başlar. Çeşitli başlatma metotları tümüyle rastgele bir toplum üreten rastgele metotlardır. Arama uzayı hakkında önbilgiyi alması halinde seçilmiş bir başlangıç toplumunu üreten daha direkt yöntemlere kadar değişen yapılar içermektedir. Ayrıca bu iki yaklaşımın birleştirildiği diğer başlatma türleri de bulunmaktadır örneğin probleme sezgisel çözümlerin sonuçlarını eklemek gibidir. Sezgisellerden türetilmiş çözümleri topluma eklemeyi ilk dile getirenler Leu et al(1994) ve Anderson ve

Ferris(1994) tür. Görülmüştür ki birçok araştırmacı (16/29) başlangıç toplumunu rastgele üretmektedir. Diğer araştırmacılar ise rastgele ve sezgisel türetilmiş popülasyonları birlikte kullanmışlardır. Toplumu başlatmak için Ponnambalam ve diğ (2000) ve Talbot ve diğ (1986) greedy sezgiselini kullanılmıştır.

Başlangıç popülasyonundan sonraki nesilde ilk önce her birey için uygunluk hesaplanmaktadır, potansiyel ebeveynler döleri oluşturmak için seçilmektedir ve sonra bir seçim şeması, görelî uygunlukları dikkate alarak bireyleri eşleştirmek için, kullanılmaktadır. Literatürdeki çok sayıda GA için bazı istisnalar rulet tekeri yada stokastik üniversal örnekleri ebeveynleri seçmek için kullanılmaktadır.

Bir GA'da hayatta kalanların belirlenmesi özgün bir süreçtir, bu sayede düşük uygunlukta olan bireyler ayrılmakta ve popülasyonun daha iyi çözümlere ilerlemesinin yolu açılmaktadır. Hayatta kalanların (sağlamlar) şeması popülasyon büyüklüğü ile sıkı bir ilişki içerisindedir. Günümüzün MHDP'nin pek çok GA'sı kullanıcı kontrollü bir parametresi olarak sabit bir N popülasyon büyüklüğünü varsaymaktadır, sabit popülasyon büyüklüklü GA'lar genellikle "Steady-State" GA olarak tanımlanır. Bu çeşit GA katı bir biçimde bu (N) popülasyon büyüklüğü sınırını sağlamaktadır, her yeni nesil üretildiğinde bu N+1 birey ile sonuçlanır sağlamlar şeması popülasyon büyüklüğünü tekrar N'e indirgenmesini sağlar. Buna karşın Leu ve diğ (1994) daha fazla esnekliğe izin vermektedir burada hayatta kalanlar şeması aktif olmadan popülasyonun büyümesine izin verilmektedir. Bazı istisnalar dışında tüm araştırmacılar bireylerin hayatta kalanlarını bir sonraki nesle elitizm stratejisini kullanarak sağlamışlardır.

Elitizm stratejisi popülasyonun en iyi bireylerini bir sonraki nesle katılmasını garanti etmektedir. Chan ve diğ (1998) elitizm stratejisini popülasyondaki en kötü bireyin çocukla yer değiştirilmesinden ziyade ebeveynlerin çocukla yer değiştirilmesi şeklindeki bir strateji uygulamışlardır. GA tasarımıdaki bir diğer önemli nokta, uygunsuz bireylerin popülasyonda olmasına izin verilip verilmeyeceğinin kararıdır. GA ile MHDP de her işi tam olarak bir iş istasyonuna atarak ve öncelik ilişkileri ile tüm diğer kısıtların sağlanmasıyla bir uygun birey türetmek istenir. Ancak çaprazlama ve mutasyon operasyonları uygunsuz bireyler oluşturabilir. Bu çalışmada gözlemledik ki araştırmacılar uygunsuz bireylerle başa çıkabilmek için üç farklı strateji izlemektedirler, ilki bireyleri uygunluğa zorlama, ikincisi uygunsuz bireyleri tamir etme, üçüncüsü

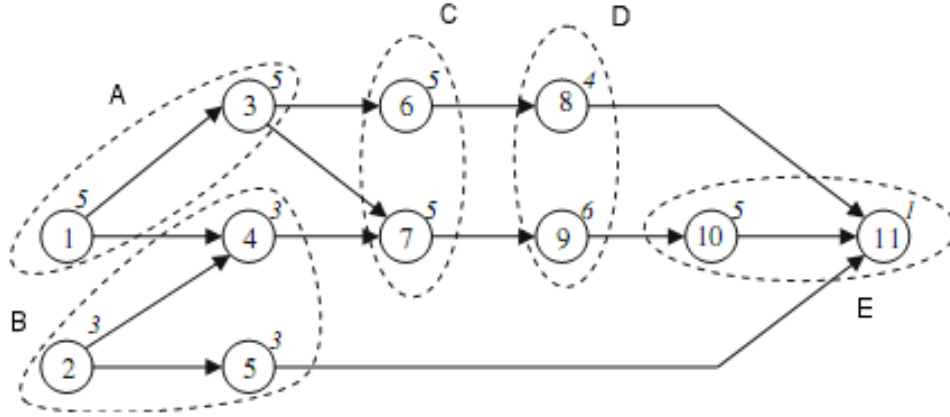
uygunsuz bireyler için bir ceza puanı eklemektir. İlk strateji, bireyleri uygunluğa zorlama sadece başlangıç toplumundaki geçerli bireyler için uygulanabilmektedir (Ajenblit ve Wainwright 1998; Chan ve diğ 1998; Leu ve diğ 1994). Başlangıç toplumundaki kromozomun her geni bir sonraki işi, öncülleri daha önceden seçilmiş olan dağıtılmamış olan işlerin arasından rastgele alınmaktadır. Aynı zamanda bazı özel genetik operatörler uygulanabilir kromozomları garanti altına almaktadır böylece bunlar bireylerin uygulanabilir olmasına zorlanabilir. Uygun bir gösterim şeması, dikkatlice tasarlanmış genetik operatörler ve uygunluk fonksiyonunun ortaklaşa kromozomların uygunluğunu sürdürmek için zorunludur. İkinci strateji uygunsuz bireyleri tamir etmeyi amaçlar, bunu işleri öncelik ilişkilerine ve diğer tanımlanmış kısıtlara göre yeniden ayarlayarak yapar (Kim ve diğ 1996; Tsujimura et al 1995). Üçüncü strateji uygunsuz bireyi toplum dışına atar ve uygunluk değerini bir ceza fonksiyonu kullanarak hesaplar. Anderson ve Ferris(1994) ve Stockton ve diğ (2004a,b) geleneksel standart genetik operatörleri kullanmıştır ve bir miktar uygunsuz bireyin arama uzayında geniş bir alanı kaplamasına izin vermiştir. Dahası uygunluk fonksiyonunca bir ceza maliyeti eklenmiş ve uygunsuz bireyleri toplumdaki değişkenliği arttırmaları sebebiyle toplum içerisinde kalmalarına izin vermişlerdir. Ceza puanı ile birlikte uygunluk fonksiyonunca “uygunsuzluk değeri” bölümünde açıklanmıştır.

MHDP çözümünde GA'nın sonlandırılması belirli bir sayıda nesle ulaşılması yada kabul edilebilir bir yığılma noktasında, ki bu durumda belirli bir nesil sonra en iyi çözümde hiçbir iyileşme olmaması halinde karar verilir. Toplumun en iyi bireyleri daha sonra öncelik yada alan kısıtlarını sağlayıp sağlamadıklarına karar verebilmek için test edilir. Oldukça fazla sayıdaki araştırmacı sonlandırma koşulu olarak belirli bir sayıdaki nesil miktarını kullanmaktadır. Ayrıca GA'yı uygulamaya koymak için, kromozomları belirtmek için bir kromozom yapısı kurmak gerekir, genetik operatörler (çaprazlama ve mutasyon) ve bir amaç fonksiyonu uygunluğu değerlendirmek için gereklidir. Bu inceleme çalışmasının bulguları hakkında şu ölçütler izleyen bölümde verilmiştir.

4.2.1 MHDP-GA kromozom yapısı

GA uygulamasının ilk adımı kendi içinde özel bir problemdir, buna göre MHDP'nin çözümlerini (bireylerini) kromozom adını verdiğimiz şerit tipi yapılara dönüştürmektir. Basit GA'nın klasik binary gösterimi MHDP için sadece Stockton et al (2004a,b) de kullanılmıştır. Bireylerin binary gösterimi konusundaki bilgiden yoksun olması

sebebiyle MHDP’de literatürde karşılaşılan geri kalan 5 kromozom gösterimi detaylı olarak açıklanmıştır. Kromozom gösterimi karakteristiği ile uygun olarak adlandırılmaktadır. Bu gösterimler Şekil 4.2’de gösterilen örnek montaj hattı için Şekil 4.3’de temsil edilmiştir.



Şekil 4.2 Alternatif kromozom yapısı gösterimi örnek montaj hattı

1	3	2	5	4	6	7	9	8	10	11
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

a) Operasyon temelli gösterim

1	3	2	5	4	6
---	---	---	---	---	---

b) Embiryonik gösterim

A	B	A	B	B	C	C	D	D	E	E
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

c) İş istasyonu temelli gösterim

A	B	A	B	B	C	C	D	D	E	E	:	A	B	C	D	E
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

d) Gruplama temelli gösterim

H1	H2	H5	H4	H7	H6	H3
----	----	----	----	----	----	----

e) Sezgisel temelli gösterim

Şekil 4.3MHDP kullanılan kromozom yapıları

Operasyon Temelli Gösterim: Kromozomlar işlerin uygulanabilir öncelik sıralarına göre tanımlanır (Ajenblit ve Wainwright 1998; Leu ve diğ 1994; Sabuncuoğlu et al 2000). Kromozomun uzunluğu işlerin sayısına bağlı olarak belirlenir, örneğin Şekil 4.2'nin çözümünün iş temelli gösterimi Şekil 4.3-a'da verilmiştir. Operasyon temelli bir kromozom uygunluğunu hesaplamak için kromozomda işleri operasyon sırasına göre

işstasyonlarına atamak gibi ek işlemler gerekmektedir. Operasyon temelli gösterim MHDP Tip-1 için Tip-1 problemlerinde işstasyonlarının sayısının en küçüklenecek amaç fonksiyonu olarak ele alınırsa en uygun gösterimdir.

Embriyonik Gösterim: Embriyonik kromozom gösterimi Brudaru ve Valmar (2004) tarafından önerilmiş ve operasyon temelli gösterimin özel bir çeşididir. İkisi arasındaki tek fark embriyonik gösterimin tek tek bireylerin çözümlerinden ziyade çözümlerin alt kümelerini dikkate almaktadır. Nesiller boyunca embriyonik kromozom tam uzunlukta bir çözüme dönüşür. Böylece kromozom uzunluğu nesiller arasında çeşitlilik gösterir. Uzunluk başlangıç olarak bir rastgele sayı ile tanımlanır ve işlerin sayısına ulaşıncaya kadar artar. Şekil 4.3-b, Şekil 4.2'deki çözümün embriyonik gösterimine bir örnektir.

İş istasyonu temelli gösterim: Kromozom işlerin atandığı işstasyonlarının etiketlendiği bir vektör olarak tanımlanır Anderson ve Ferris 1994; Kim ve diğ 2000). Kromozom uzunluğu operasyon sayısı olarak tanımlanır. Örneğin Şekil 4.2'deki iş istasyonu temelli gösterim Şekil 4.3-c de canlandırılmıştır. Burada 4 işi, iş istasyonu B' ye atamıştır. Bu çeşit kromozom gösterimi genel olarak MHDP Tip-2 için kullanılmaktadır.

Küme temelli gösterim: Bu tip gösterim Falkenauer ve Delchambre (1992) tarafından özellikle MHDP Tip-1 gibi kümeleme problemleri için önerilmiştir. Yazarlar iş istasyonu temelli gösterimin nesne yönelimli olduğunu ve MHDP Tip-1 için uygun olmadığına karar vermişlerdir. Kromozomun küme kısmı mevcut çözümün ardından yarı kolon olarak mevcut tüm işstasyonlarının listesinden sonra yer almaktadır (Bkz. Şekil 4.3-d). Kromozom uzunluğu çözümden çözüme çeşitlilik göstermektedir. Şekil 4.3-d'de görüldüğü gibi ilk kısım işstasyonu temelli kromozomla aynıdır. Farklılık küme kısmında ortaya çıkmaktadır burada tüm işstasyonları listelenmektedir örnek de bunlar A,B,C,D ve E'dir.

Sezgisel temelli kromozom gösterimi (Dolaylı gösterim): Bu tür gösterimlerde çözümleri dolaylı bir tarzda göstermektedir. Goncalves ve De Almedia (2002) ve Bautista ve diğ (2000), yazarlar ilk olarak işlem öncelik değerlerini (bir dizi öncelik kuralı) kodlamışlardır ardından bu kuralları uygulayarak çözümleri türetmişleridir. Kromozom uzunluğu sezgisel sayılarla tanımlanmıştır. Örneğin Şekil 4.3-e'de de 7

farklı sezgisel içeren bir kromozom gösterilmektedir bunlar işleri iş istasyonlarına atamak için kullanılan sırasıyla H1, H2, H5, H4, H7, H6 ve H3 tür.

Bir uygun kromozom gösterimi dikkatlice tasarlanmış genetik operatörler ve uygunluk fonksiyonu arasındaki bağ standart çaprazlama ve mutasyonların işlere uygulanması, işistasyonları ve küme temelli kromozomlar uygun olmayan çözümlerle sonuçlanabilmesi sebebiyle GA tasarımı için vazgeçilmezdir. Bu uygunsuzlukların cezalandırılması, belirli sezgisel stratejiler yada özel genetik operatörler inşa ederek uygunluğa zorlayarak bunun ile başa çıkabiliriz.

4.2.2 MHDP-GA uygunluk fonksiyonu

Doğal hayatta canlı kalabilmenin uygunluğu sürecinin taklidini yapmak amacıyla uygunluk değeri fonksiyonu görelî üstünlük olarak her bireye bir değer vermektedir. Amaç fonksiyonu bireylerin performansı ile ilgili bir ölçü sağlar yada arama uzayındaki uygunluk konusunda. Temel kavramlar bölümünde bahsedildiği üzere her problem özelinde olduğu gibi MHDP içinde farklı amaç fonksiyonları, geniş bir karmaşıklık alanı ile her özel problem türü için geliştirilmiştir. Bu amaç fonksiyonları arasında Tip-1 amacının uygunluk fonksiyonu olarak yürütülmesinde bazı zorluklar olduğu fark edilmiştir. Alternatif optimum çözümlerin aynı amaç değerini aldıkları durumlarda bu amaç fonksiyonu bu alternatifler arasında güçlü bir fark sağlayamamaktadır. Bu sorun Tip-2 ve Tip-E ile daha az ilgilidir.

Literatürde karşılaşılan bazı uygunluk fonksiyonlarında kullanılan notasyonlar Tablo 4.1’de yer almaktadır. Bu uygunluk fonksiyonları aşağıdaki bölümde yer almaktadır.

- Falkenauer ve Delchambre (1992) ve Brown ve Sumichrast (2005) izleyen uygunluk fonksiyonunu kullanmıştır. $f(S)$ BMHD Tip-1 için:

$$f(S) = \sum_{i=1}^n \frac{(c - t(iY_i))^2}{n} \quad (4.1)$$

- Anderson ve Ferris (1994) işleyen uygunluk fonksiyonu kullanmışlardır. $f(S)$ BMHD Tip-2 için en büyük işistasyonunu ve ceza teriminin toplamını bulmakta. Bu ceza terimi bazı ceza maliyetlerini öncelik ihlalleri yüzünden uygunsuz olan bireylere kullanmak amacıyla bulunmaktadır.

$$f(S) = \max t(\dot{Y}_i) + k * N_v \quad (4.2)$$

Tablo 4.1 MHDP-GA uygunluk fonksiyonlarında kullanılan notasyonlar

Notasyon	Tanım
N	İş istasyonu sayısı $i=1, \dots, n$
C	Çevrim süresi
M	Operasyon sayısı $j=1, \dots, m$
t_j	j. operasyonun işlem süresi
t_{top}	Operasyonların toplam işlem süresi, $t_{top} = \sum_{j=1}^m t_j$
\dot{Y}_i	i. iş istasyonunun iş yükü
$t(\dot{Y}_i)$	i. iş istasyonunun toplam işlem süresi, $t(\dot{Y}_i) = \sum_{j \in S_i} t_j$
$\max t(\dot{Y}_i)$	Maksimum iş istasyonu süresi
K	Bir operasyonun olası en büyük işlem süresi
N_v	Öncelik ilişkilerindeki viyolasyon sayısı
ϵ	Bulanık çevrim süresi
$t(\dot{Y}_i)$	i. iş istasyonunun toplam bulanık işlem süresi
n_s	s. çözümdeki iş istasyonu sayısı
M	Model sayısı, $k=1, \dots, M$
q_k	k. modelin talep oranı
it_{ik}	k.model işlem gördükten sonra i. iş istasyonunda kalan boş süre
IT_i	i. istasyonu için ortalama boş süre; $IT_i = \sum_{k=1}^M q_k * it_{ik}$
E	Hat etkinliği
$f(s)$	s. çözümün uygunluk fonksiyonu

- Leu ve diğ (1994) aşağıdaki 3 uygunluk fonksiyonu $f_1(S)$, $f_2(S)$, $f_3(S)$, BMHD Tip-1 problemi için kullanılmıştır. İlk amaç fonksiyonu ortalama kareler boş

zamanın en küçüklemesini amaçlar, ikincisi ortalama boş zamanın en küçüklenmesini sağlar ve üçüncüsü her iki amacın birleşimidir.

$$f_1(S) = \sum_{i=1}^n \frac{(c - t(iY_i))^2}{n}$$

$$f_2(S) = \sum_{i=1}^n \frac{(c - t(iY_i))}{n}$$

$$f_3(S) = 2 * \sqrt{f_1(S)} + f_2(S)$$
(4.3)

- Tsujimura ve diğ (1995) dengeleme gecikmesini TMMHD Tip-1 için uygunluk fonksiyonu olarak kullanmıştır. Burada çevrim süresi ve işlerin proses zamanı bulanık sayılar ile gösterilmiştir.

$$f(S) = \sum_{i=1}^n (c - t(iY_i))$$
(4.4)

- Bautista ve diğ (2000) izleyen $f(S)$ uygunluk fonksiyonunu kullanmıştır bu fonksiyon ilk terimde iş istasyonlarının sayısını, ikinci terimde iş istasyonları alt sınırını ve dengesizlik derecesini ise üçüncü terimde göstermektedir.

$$f(S) = -n_s + \left[\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{c} \right]^+ + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c - t(iY_i))^2}{c * \sqrt{n_s}}}$$
(4.5)

- Sabuncuoğlu ve diğ (2000) aşağıdaki $f(S)$ uygunluk fonksiyonunu kullanmıştır, bu fonksiyonda amaç ilk terimde dengesizliği azaltmak ve iş istasyonu sayısını en küçüklemek ikinci terimdedir ve BMHD Tip-1 i çözmek için kullanılmıştır.

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\max t(iY_i) - t(iY_i))^2}{n}} + \frac{\sum_{i=1}^n (\max t(iY_i) - t(iY_i))^2}{n}$$
(4.6)

- Simaria ve Vilarinho (2001a, 2004) aşağıdaki $f(S)$ uygunluk fonksiyonunu kullanmıştır, bu fonksiyonda amaç ilk terimde çevrim süresini azaltmak ve ikinci terimde ise KMMHD Tip 2 problemi için hat dengelemesi sağlamaktır.

$$f(S) = c + \frac{M}{n(M-1)} * \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^M \left(\frac{q_k * it_{ik}}{IT_i} - \frac{1}{M} \right)^2$$
(4.7)

4.2.3 MHDP-GA genetik operatörler

Bölüm 3’de anlatıldığı gibi iki tür genetik operatör vardır, çaprazlama ve mutasyon. Çaprazlama mevcut popülasyonda iki bireyin bir sonraki popülasyona çocuk verdikleri işlemidir. Mutasyon popülasyondaki çeşitliliği sürdürmek için kullanılır. Mutasyon bunu bir kromozomdaki üyeleri rastgele değiştirerek sağlar. GA uygulamaları büyük bir çeşitlilikte kromozom gösterimi ve genetik operatörler yaratmıştır. En sık kullanılan gösterimler nümerik alanlar, permütasyon alanları, matris alanları ve fonksiyon alanlarıdır. MHDP ile ilgili nümerik ve fonksiyon alanları kullanılan iki ana yöntemdir.

Anderson ve Ferris (1994) geleneksel standart genetik operatörleri kullanmışlardır. Belirli bir oranda uygunsuz çözümün toplumdaki varlığını sürdürmesi halinde arama uzayında iyi bir kapsama alanı elde edebileceklerine inanmışlardır. Bundan dolayı uygunluk fonksiyonuna bir ceza maliyeti eklemiştirler.

Literatürde kullanılmış bazı özelleşmiş çaprazlama operatörleri içerisinde “*Düzenlenmiş Kutu Paketleme Çaprazlama*” (*Modified BPCX*) (Falkenauer ve Delchambre 1994), “*Sıra Temelli Çaprazlama (OX)*” (Leu ve diğ 1994), “*Düzenlenmiş Parçalı Haritalanmış Çaprazlama*” (*MPMX*) (Tsujiimura ve diğ 1995), “*Sezgisel Yapısal Çaprazlama*” (*HSX*) (Kim ve diğ 1998a), “*Sabit Emir Temelli Çaprazlama*” (Chan ve diğ 1998) ve “*Emirli Çaprazlama*” (Sabuncuoğlu ve diğ 2000) dır.

Falkenayer ve Delchambre (1992), MBPCX’i özellikle kümeleme temelli gösterimlerde kullanmışlardır. Bu çaprazlama operatörü sadece kromozomun küme kısmında uygulanmıştır, kromozom işistasyonu temelli kısımda kalanlarda aynı şekilde çaprazlanır. Küme temelli kromozom çeşitlilik gösterse de bu operatör kromozom uzunluğundaki değişkenliğin üstesinden gelebilir. Leu ve diğ (1994) standart iki noktalı emirli çaprazlamanın, örneğin OX, her ebeveyn kromozomun 3 parçaya ayrıldığı düzeltilmiş bir çeşidini kullanmıştır. Çocuklardan birisi ilk ebeveynin ilk yada son parçasına sahiptir. Sıranın orta parçası istenilen işin kayıp parçalarını ekleyerek doldurulur ki bunlar ikinci ebeveynde bulunmaktadırlar. Diğer çocuk da benzer biçimde ilk ve son parçasını ikinci ebeveynden alır. Ortaya çıkan her iki çocukta orta parçanın öncelik uygunluğu olması halinde uygulanabilir kromozomlardır. Aynı zamanda Tusujimura ve diğ (1995) den standart iki noktalı çaprazlamayı düzenlemiştir (MPMX). İlk olarak kromozomların orta parçalarını değiştirerek çocukları meydana getirmektedir. Ardından oluşan kromozomları orta parçayı değiştirmeden tamir ederek öncelik

ilişkilerini sağlamaktadır. HSX problem özeli kısıtlamalar kullanarak iki ebeveynden çocuğa kopyalayarak iş istasyonlarının çoklu guruplarını seçmektedir. Bu prosedür iki defa tekrar edilmekte, böylece iki ebeveyn kullanılarak iki çocuk elde edilmektedir (Kim ve diğ1998a). *Dü z g ü n S ı r a l a m a T e m e l l i Ç a p r a z l a m a d a* P1 ve P2 olarak iki ebeveyn kullanılmaktadır, bunlardan C1 ve C2 çocuklarını yaratılmaktadır. Bir gen şeridi türetildiği ebeveyn ile aynı uzunlukta olmaktadır. Eğer P1 deki kromozomdaki i geninin değeri 1 e eşit ise i geninin değeri C1 e kopyalanmaktadır. P1 deki elemanların bir listesi 0 ile benzer ise gen şeridi P2 de aynı sıra ile gözlenir, ardından C1 deki boşluklar bu sıralanmış ve değiştirilmiş üyeler ile doldurulur. C2 de benzer yöntemle yaratılır (Chan et al 1998). *S ı r a l a m a l ı ç a p r a z l a m a* (Sabuncuoğlu et al 2000) OX çaprazlama ile benzer bir çaprazlamadır. İki rasgele kesme noktası iki ebeveynde türetilir; ancak sıralamalı çaprazlamada merkezi bölüm uç noktalar değişmeden kalırsa değiştirilir. Her iki çocuğun bu merkez kısmı diğer ebeveyndeki sırasına göre kayıp üyeler ile ve çocuğun kromozomundaki hiçbir eleman kopyalanmadan doldurulur.

Özelleştirilmiş mutasyon operatörleri “*Dü z e l t i l m i Ő K u t u P a k e t l e m e M u t a s y o n u*” (MBPM) (Falkenauer ve Delchambre 1992), “*S e z g i s e l Y a p ı s a l M u t a s y o n*” (HSM) (Kim et al 1998a), “*Ç a b a l a y ı c ı A l t L i s t e M u t a s y o n u*” (SSM) (Chan et al 1998) ve “*Ç a b a l a m a M u t a s y o n u*” (SM) (Sabuncuoğlu et al 2000)’dur.

Falkenauer ve Delchambre (1992), MBPM’yi kullanmıştır, özellikle kümeleme temelli gösterimler için türetilmiştir. Çaprazlama operatörü gibi bu mutasyon operatörü de aynı zamanda sadece kromozomun küme kısmına uygulanır, iş istasyonu tabanı kromozom kısmı aynı şekilde kalır. HSM (Kim ve diğ 1998a) rastgele bazı işleri her kromozomdan seçer, mutasyon oranı ile orantılı olarak bu işleri yeniden atar. SSM (Chan et al 1998) bir ebeveynden bir alt liste seçer merkez bölgesi rastgele belirlenmiş iki kesim noktasına sahiptir. Alt listedeki elemanlar yeniden yaratılır; böylece, yenice yaratılan çocuk yeniden yaratılmış olur ve iki uç noktada orijinal atanın parçaları ile çevrilerek oluşturulmuş olur. Benzer şekilde SM) (Sabuncuoğlu et al 2000) bir ebeveynden bir kesme noktası tanımlar ve çocuk bu kesme noktasından önceki elemanların çocuğa kopyalanması ile oluşturulur böylece ebeveynde ortaya çıkarlar. Kalan kesmeden sonraki genler çocuğa uygulanabilirlik sürdüğü müddetçe rastgele dağıtılır.

İlginç olarak Ajenblid ve Wainwright (1998) uygulamalarında mutasyon kullanmamışlardır. Dayandıkları nokta ise mutasyonun çözümü geliştirmek için herhangi bir potansiyeli olmadığı ve sadece başlangıçtaki çalışmayı kopyaladığını belirtmişlerdir.

Çaprazlama ve mutasyon operatörlerine ek olarak Brudaru ve Valmer (2004) yeni bir tür genetik operatör önermişlerdir. Bu operatöre büyüme operatörü adını veren yazarlar bu kendi embriyonik gösterimlerinde belirtmişlerdir. Önerilen büyüme operatörü embriyonik kromozomdan tam uzunluktaki bir kromozoma olan bir çözüm gösterimi alt küme gelişmesinde yardım eder. Uygunsuz bireylere topluma izin verildiği durumlarda geleneksel standart genetik operatörler kullanıldığında ve diğer taraftan toplumda sadece uygun bireylere izin verildiğinde özel operatörlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Genetik algoritmaların Montaj Hattı Dengeleme Problemlerindeki uygulamaları ve kullanılan algoritma, yöntem ve parametreler bu bölümde incelenmiştir. Yapılan incelemede sadece Chen ve diğ (1998) TMMHD Tip-1'de uyguladığı GA bu tez'de incelenen probleme benzerlik göstermektedir. Ancak yazarlar çalışmalarında işçi kaynaklarını işlem sürelerine göre değil yeteneklerine göre değerlendirmişlerdir. Problemin çözümünde farklı yeteneklere sahip işçilerin operasyon sürelerinin aynı olduğu varsayılmıştır. İşçilerin arasından yetenekli olan işçi Greedy sezgiseli kullanılarak seçilmiştir.

Detaylı literatür incelemesinde de görüldüğü gibi montaj hattı işçi atama ve dengeleme problemlerinin genetik algoritmalarla çözülmesi konusunda yapılmış çalışma bulunmamaktadır.

Genetik algoritma modelinde, içindeki her kromozomun bir aday çözüm olduğu nüfus, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörlerin etkisi altında sürekli evrim geçirir. Her bireyin hayatta kalması bir uygunluk fonksiyonuna göre belirlenerek, daha iyi gen kombinasyonlarından oluşan kromozomların sonraki nesillerde varlığını sürdürebilme şansları daha fazla iken, daha kötü gen kombinasyonlarına sahip kromozomlar ise seçim olasılıklarına bağlı olarak evrim sürecinde kaybolurlar. Belirlenen sonlandırma koşulu sağlanıncaya kadar devam eden evrim sürecindeki en son nesilde en iyi gen kombinasyonuna sahip kromozom ulaşılan en iyi çözümü temsil eder.

Çalışmanın beşinci bölümünde bu tezde incelenen montaj hattı işçi atama ve dengeleme problemlerinin genetik algoritmalarla çözülmesi incelenmiştir. Oluşturulan model ve kullanılan yöntemler detaylandırılmıştır. Ayrıca algorithmada kullanılan operatörlerin en uygun kombinasyonu ve bu operatörlerin parametrelerini belirlemek için yapılan deneysel tasarım ve sonuçları incelenmiştir.

5. MONTAJ HATTI İŞÇİ ATAMA VE Dengeleme Problemlerinin Genetik Algoritmalarla Çözülmesi

Bu bölümde, Montaj Hattı İşçi Atama ve Dengeleme Problemi (MHİADP) olarak adlandırılan yeni bir problemin çözümü için geliştirilen Genetik Algoritma'ya dayalı bir algoritma açıklanmaktadır.

5.1 Problemin Tanımı ve Varsayımlar

Bu çalışmada dikkate alınan montaj hattı işçi atama ve dengeleme problemi, en genel anlamda m adet operasyonun farklı yetilere sahip n adet işçiye minimum çevrim süresinde mümkün olduğunca dengeli bir şekilde atanması şeklinde tanımlanabilir. Çalışmada, problemin daha gerçekçi olarak ele alınabilmesi için bazı varsayımlarda bulunulmuştur. Bu varsayımlar;

- Öncül bir operasyon tamamlanmadan ardıl operasyon başlayamaz. Ardıllara öncüllerinden daha küçük operasyon numarası verilemez.
- Düz ve tampon içermeyen bir montaj hattı için çözüm aranmaktadır.
- İşçilerin yetilerine göre, operasyon süreleri değişkenlik göstermektedir.
- Her bir işçi için operasyon süreleri kesin olarak bilinmektedir.
- Her operasyon sadece bir istasyona atanmalıdır. Operasyonlar bölünemez.
- Çözümün uygun çözüm olabilmesi için her bir istasyon belirlenen çevrim süresini aşmamalıdır.
- İstasyon süreleri çevrim süresini aşamaz.
- Her bir işçi sadece bir iş istasyonuna atanabilir.
- Bazı işçilerin bazı operasyonları gerçekleştirememesi durumunda işçinin o operasyona ilişkin işlem süresi çevrim süresinin iki katı olarak alınır.

5.2 Geliştirilen Algoritma

Montaj Hattı Dengeleme Problemleri (MHDP), NP-Zor problemler sınıfında yer almaktadır (Kop 1972). Bu nedenle MHDP için optimum çözümü bulan kesin yöntemler tercih edilmemektedir. Operasyon sayısı m ve öncelik ilişkisi sayısı r olan bir problemde $m!/2^r$ olası iş sırası vardır (Baybars 1986a). Bu çalışmada işçi ataması ve hat dengelemesi eş zamanlı yapıldığından problemin zorluk derecesi daha da artmaktadır.

Bu çalışmada montaj hattı dengeleme problemlerinin ve bu montaj hatlarındaki işçi atama problemlerinin eş zamanlı olarak çözülmesine yönelik sezgisel yöntem tabanlı bir model geliştirilmiştir. Montaj Hattı İşçi Atama ve Dengeleme Problemi olarak ele alınan bu problemin çözülmesi için iç içe iki aşamalı bir genetik algoritma modeli hazırlanmıştır. Modelde birinci aşamada yer alan genetik algoritma en iyi operasyon sırasını belirlemeye çalışırken, ikinci aşamada yer alan genetik algoritma istasyonlara en uygun işçi atamasını belirlemeye çalışmaktadır.

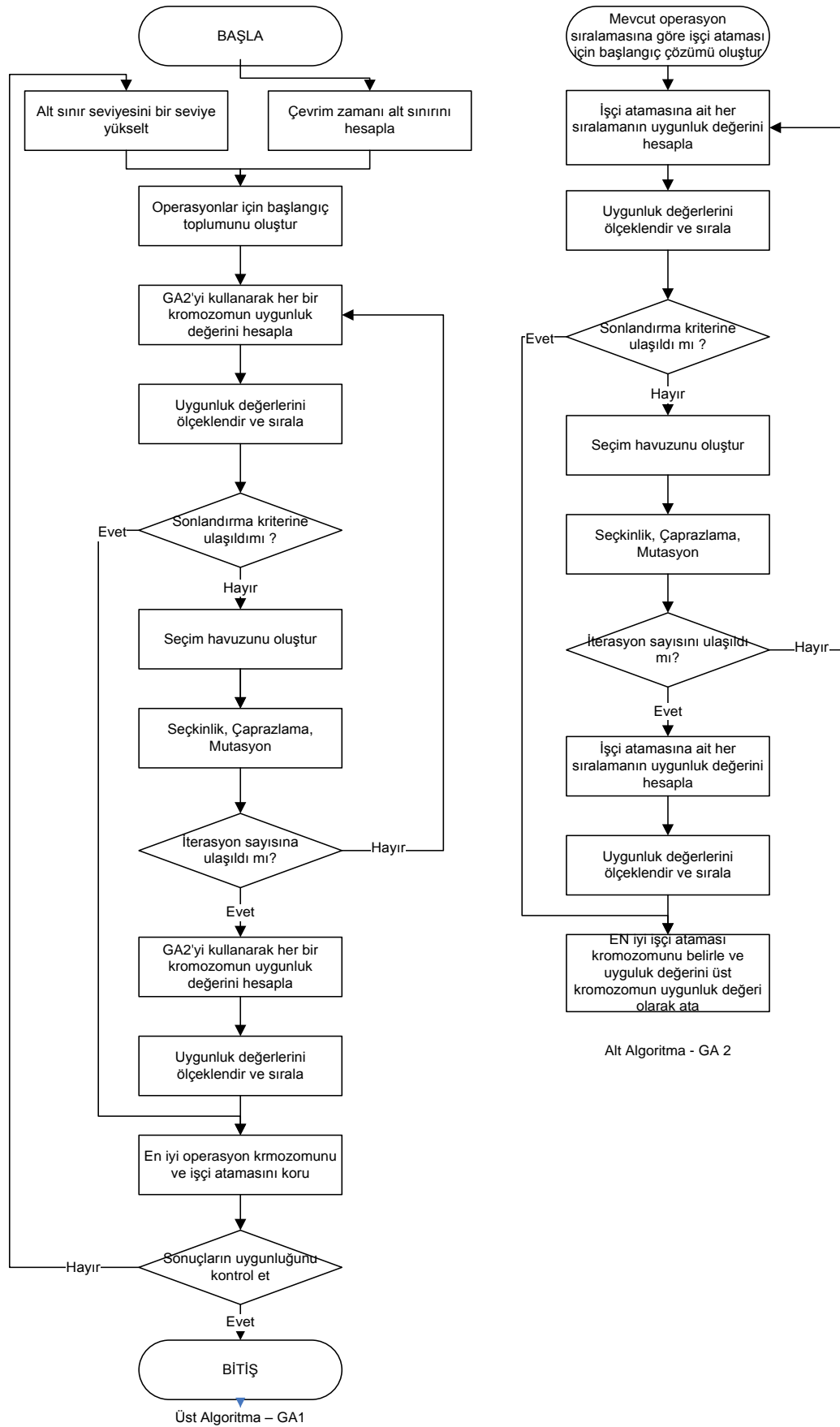
Modelin çözülmesi için hazırlanan GA'ya ait akış şeması Şekil 5.1'de yer almaktadır. Algoritma iki aşamadan oluşmaktadır. Montaj hattındaki operasyonlarını sıralamayı amaçlayan alt algoritma GA1; ve iş istasyonlarını dengeli hale getirebilmek için işçi ataması yapan algoritma GA2 olarak tanımlanmıştır.

5.2.1 GA1 Algoritması

GA1 algoritmasıyla, N operasyona sahip tek modellenmiş basit montaj hattı için operasyonların öncelik ilişkileri daima korunarak arama uzayındaki en uygun operasyon sırasını bulunmasına çalışır. GA1 algoritması, bu aramayı gerçekleştirirken sıraların etkinliğini, o sıralama için alt algoritma ile bulunmuş en iyi işçi ataması ile ölçmektedir.

Geliştirilen bu GA1 algoritmasının daha iyi açıklanabilmesi için kullanılan yöntemler, parametreler ve operatörler bir örnek problem üzerinde açıklanacaktır.

Örnek problem 13 operasyonlu bir modele ait olup, 3 istasyon kurulması planlanmaktadır. Planlanan bu iş istasyonu için işçi havuzunda 5 adet işçi kaynağı mevcuttur. Tablo 5.1 örnek modele ilişkin öncelik ilişkisi, Tablo 5.2 örnek model için işçi havuzundaki kaynakların operasyon süreleri ve Şekil 5.2'de öncelik ilişkisi şebekesi verilmiştir.



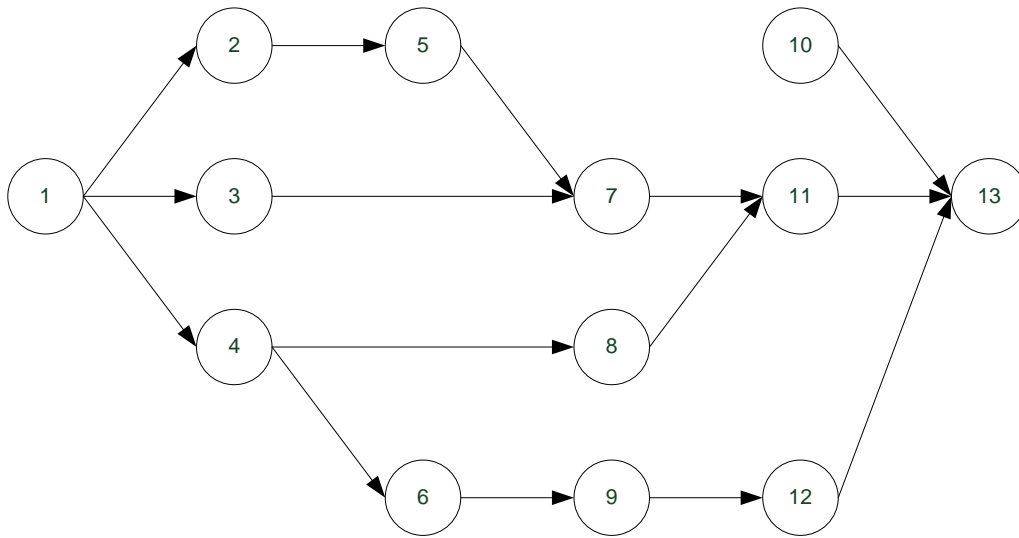
Şekil 5.1 MHIADP için hazırlanan GA akış şeması

Tablo 5.1 Operasyon öncelik ilişkileri

Operasyon No	Öncüller
1	-
2	1
3	1
4	1
5	2
6	4
7	3,5
8	4
9	6
10	-
11	7,8
12	9
13	10,11,12

Tablo 5.2 Örnek modelde yer alan işçi havuzu operasyon süreleri

Operasyon No	İşçi 1	İşçi 2	İşçi 3	İşçi 4	İşçi 5
1	3	4	5	5	4
2	4	4	5	3	6
3	4	4	5	7	4
4	6	7	8	8	10
5	6	6	6	5	7
6	8	8	8	7	9
7	4	4	4	3	2
8	5	5	-	6	8
9	3	3	2	3	3
10	4	4	4	4	5
11	3	4	5	6	7
12	7	8	10	5	4
13	10	11	12	9	9



Şekil 5.2 Örnek modele ilişkin operasyon öncelik ilişki şebekesi

5.2.1.1 Kromozom yapısı

Genetik algoritmalar, optimizasyon problemlerini çözmek için kullanıldığında bir çözüme karşılık gelen kromozomun nasıl gösterileceği en önemli adım olarak öne çıkmaktadır. Çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin başarısı kromozom yapısı ile doğrudan ilgilidir.

Bu çalışmanın GA1 algoritmasında kromozom yapısı olarak, iş istasyonu ataması alt algoritma ile gerçekleştirildiğinden dolayı operasyon temelli gösterim tercih edilmiştir. Bu yöntemde, kromozomlar işlerin uygulanabilir öncelik sıralarına göre tanımlanır (Ajenblit ve Wainwright 1998; Leu ve diğ 1994; Sabuncuoğlu et al 2000). Kromozomun uzunluğu operasyon sayısına bağlı olarak belirlenir. Operasyon temelli bir kromozomun uygunluk değeri hesaplanmasında operasyonların istasyonlara atanması için ek işlemler gerekmektedir. Bu çalışmada, bu atama temelli hesaplama işlemi içinde GA kullanılmıştır.

Şekil 5.2’de yer alan örnek model için oluşturulmuş örnek bir kromozom yapısı Şekil 5.3’de yer almaktadır.

İşlem Sırası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Operasyon	10	1	3	2	5	7	4	8	11	6	9	12	13

Şekil 5.3 Operasyon temelli kromozom gösterimi

Bu kromozom çözüm uzayındaki bir çözüm noktasını tanımlamak için çalışmadaki GA1 algoritmasında kullanılmıştır. Bu kromozomun genlerini gerçekleştirilecek operasyonlar oluşturmaktadır. Genlerin kromozomda buldukları pozisyonlar ise operasyonun montaj hattında gerçekleştirileceği sırayı ifade etmektedir.

5.2.1.2 Çevrim süresi Alt-Sınır'ın belirlenmesi

MHIAD problemi yapısal olarak Bölüm 2.4'de tanımlandığı üzere BMHD Tip 2 problemlerine benzerlik göstermektedir. BMHD Tip 2 problemde, istasyon sayısının belli olduğunda çevrim süresinin en küçüklenmesi amaçlanmaktadır. MHIAD problemde de amaç, çevrim süresini en küçükmektir. BMHD probleminden tek farkı işçilerin atandığı operasyonlara göre işlem sürelerinin farklılık göstermesidir.

Bu amaçla geliştirdiğimiz algoritma uygun çözümün elde edildiği en küçük çevrim süresini aramaktadır. Bu aramanın başlangıç noktasını ise literatürde Alt-Sınır olarak adlandırılan, ele alınan modelin olası en düşük çevrim süresi oluşturmaktadır. Bu sınır noktası MHIAD problemde her bir operasyon için kaynak havuzunda yer alan işçiler arasından operasyon süresi en düşük olanlarının toplanılması ve kurulacak istasyon sayısına bölünmesi ile oluşturulur. Şekil 5.2'de yer alan örnek model için Alt-Sınır'ın hesaplanması aşağıda tanımlanmıştır. Tablo 5.3'de, Tablo 5.2'de yer alan operasyon sürelerinin en küçükleri koyu hücrelerle belirtilmiştir.

MHIAD problemde model'deki çevrim süresine yönelik Alt-Sınır (AS) değeri 5.1 nolu denklemdeki gibi hesaplanır.

$$AS = \frac{\sum_i^N \min(t_{ih})}{S}, \forall h \in H \quad (5.1)$$

Verileri Tablo 5.3'de yer alan örnek modeldeki çevrim süresine yönelik Alt-Sınır (AS) değeri 5.1 deki yer alan formülle şu şekilde hesaplanır.

$$AS = \frac{3 + 3 + 4 + 6 + 5 + 7 + 2 + 5 + 2 + 4 + 3 + 4 + 9}{3} \approx 19$$

Örnek modeldeki 13 operasyonlu 3 iş istasyonlu ve 5 işçi için alt sınır değeri 19 olarak hesaplanmıştır. İşlem süreleri tam sayı olduğundan, AS değeri bir üst tam sayı değerine yuvarlanır.

Tablo 5.3 Örnek modele ilişkin en düşük operasyon süreleri

Operasyon No	İşçi 1	İşçi 2	İşçi 3	İşçi 4	İşçi 5
1	3	4	5	5	4
2	4	4	5	3	6
3	4	4	5	7	4
4	6	7	8	8	10
5	6	6	6	5	7
6	8	8	8	7	9
7	4	4	4	3	2
8	5	5	-	6	8
9	3	3	2	3	3
10	4	4	4	4	5
11	3	4	5	6	7
12	7	8	10	5	4
13	10	11	12	9	9

Bulunan AS değeri, teorik olarak ulaşılabilecek en düşük çevrim süresini ifade etmektedir. Algoritmada, başlangıçta çevrim süresi, önce teorik AS değerine eşitlenerek çözüm aranmakta, uygun bir çözümün olmaması durumunda çevrim süresi değeri bir birim artırılmaktadır.

5.2.1.3 Başlangıç toplununun belirlenmesi

Başlangıç toplumu sayısı, genel toplum sayısının iki katı büyüklüğünde olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu şekilde, rastgele oluşturulan ilk toplumun en iyi değerlere sahip olan yarısı genel toplumu kabul edilerek evrim süreci başlatılır (Kulak vd 2007). Genel toplum sayısı literatürdeki yöntemlerden yararlanılarak bir sonraki bölümde yer alan deneysel çalışmalarla belirlenmektedir.

MHİADP'nin operasyon sıralaması için tasarlanan yapıda başlangıç toplumundaki kromozomun her bir geni öncülleri daha önceden gerçekleştirilmiş ve daha önce herhangi bir gene atanmamış operasyonların arasından rastgele olarak belirlenmektedir. Bu sayede oluşturulan kromozomun daima uygun çözüm uzayında kalması sağlanmaktadır. Böylece arama uzayının uygun çözüm vermesi imkânsız noktaları başlangıç kromozomu oluşturulurken engellenmiş olmaktadır. Özel geliştirilmiş genetik

operatörler kullanılarak tüm yeni çocukların öncelik ilişkilerine sahip olması sağlanmaktadır. Bu sayede öncelik ilişkileri açısından, çözümün arama uzayının daima uygun çözüm uzayında kalması zorunlu hale getirilmektedir.

Şekil 5.2’de verilen örnek model için oluşturulan Tablo 5.1’deki operasyon öncelik ilişkileri matrisi yardımıyla örnek bir başlangıç kromozomu oluşturulması aşağıda açıklanmıştır.

Operasyonların sahip olduğu öncüllerin gösterimin kolaylığı için yeni bir öncülük ilişkisi tablosuna ihtiyaç duyulmuştur. Bu tabloda birinci sütün operasyon numaralarını gösterirken diğer sütunlar öncelik ilişkilerini göstermektedir. Bu sütunlarda bulunan 0 değerleri satırında buldukları operasyonun öncüllerinin bulunmadığını yada hepsinin tamamlandığını göstermektedir. Bu sütunlarda bulunan 1 değerleri ise satırında buldukları operasyon gerçekleşmeden önce yapılması gereken operasyon numaralarını göstermektedir. Tablodaki sütun sayısı sahip olunan en büyük öncüllük sayısına göre değişmektedir. Öncül sayısı, belirlenen sütun sayısı kadar olmayan operasyonlarda sahip olduklar mevcut öncül numaraları ikinci sütundan başlanarak yerleştirilir. Burada boş kalan hücrelere 0 değeri yerleştirilerek tablo oluşturulmuş olur. Tablo 5.4’de Şekil 5.2’de verilen örnek model için kullanılan öncelik ilişki matrisi gösterilmiştir.

Tablo 5.4 Operasyon öncelik ilişkileri matrisi

Operasyon No	Öncül 1	Öncül 2	Öncül 3
1	0	0	0
2	1	0	0
3	1	0	0
4	1	0	0
5	2	0	0
6	4	0	0
7	3	5	0
8	4	0	0
9	6	0	0
10	0	0	0
11	7	8	0
12	9	0	0
13	10	11	12

Bu tablo içersinde Öncül 1 sütunu 0 olan satırlar hiçbir öncüllüğü bulunmayan operasyonları göstermektedir. Kromozomda bulunan genlerde öncelik ilişkilerine göre yer alacak genler bu sütunla belirlenmektedir. Tablo 5.5’de kromozoma sıradaki gen (bu safhada birinci gen) için atama adayı olan operasyonlar koyuyla gösterilmiştir.

Bu örnekte “1.” ve “10” nolu operasyonlar kromozomun birinci geni için adaydır. Bahsedilen kromozom yapısı ile oluşturulmuş uygun çözüm veren tüm çözüm noktalarında başlangıç genini diğer bir tabirle 1. sırada gerçekleştirilecek operasyonu bu adaylar oluşturur. Eş seçilme olasılığına sahip adaylardan bir tanesi rastgele seçilerek oluşturulan örnek kromozomun birinci genini oluşturur.

Tablo 5.5 Operasyon öncelik ilişkileri matrisi

Operasyon No	Öncül 1	Öncül 2	Öncül 3
1	0	0	0
2	1	0	0
3	1	0	0
4	1	0	0
5	2	0	0
6	4	0	0
7	3	5	0
8	4	0	0
9	6	0	0
10	0	0	0
11	7	8	0
12	9	0	0
13	10	11	12

Örnek kromozomun oluşturulması için $1/2$ (%50) seçilme şansına sahip bu adaylardan “1.” operasyon rastgele (monte carlo simülasyon yapısı yardımıyla) seçilmiştir. Adaylar arasından atama işlemi gerçekleştirildikten sonra Tablo 5.4’teki operasyon öncelik ilişkileri matrisi güncellenmelidir. Güncelleme yapılırken sırasıyla;

- Atanan operasyona karşı gelen satırı tablodan silinir,
- Atanan operasyonun öncül sütunlarında yer aldığı tüm hücre değerinin silinmesi,
- Silinen hücre(ler)in sağında yer alan tüm hücrelerin bir sola kaydırılması,

- Silme-kaydırma işlemi ile bu satır(lar)da boş kalan en sağdaki hücre değerine 0 atanması ile gerçekleştirilir.

Tablo 5.6 güncelleme işlemi öncesi ve sonrası ilişki matrisi yer almaktadır.

Tablo 5.6 1.Güncelleştirme işlemi öncesi ve sonrası ilişki matrisi

a) Güncelleştirme işlemi öncesi				b) Güncelleştirme işlemi sonrası			
Oper. No	Öncül1	Öncül2	Öncül3	Oper. No	Öncül1	Öncül2	Öncül3
1	0	0	0	2	0	0	0
2	1	0	0	3	0	0	0
3	1	0	0	4	0	0	0
4	1	0	0	5	2	0	0
5	2	0	0	6	4	0	0
6	4	0	0	7	3	5	0
7	3	5	0	8	4	0	0
8	4	0	0	9	6	0	0
9	6	0	0	10	0	0	0
10	0	0	0	11	7	8	0
11	7	8	0	12	9	0	0
12	9	0	0	13	10	11	12
13	10	11	12				

Tablo 5.6-a'da açık gri ile gösterilen alanlar, atanan operasyonu yani tablodan silinen satırı göstermektedir. Tabloda koyu gri ile gösterilen alanlar atanan operasyonun öncelik yaptığı diğer operasyonlarda bulunduğu hücreleri göstermektedir. Verilen Tablo 5.6-b'de koyu gri ile gösterilen alanlar gerçekleştirilen algoritmanın son adımında yapılan 0 atama işlemini göstermektedir. Tabloda açık gri ile gösterilen alanlar kromozomdaki birinci gene "1" operasyonunun atanmasından sonra ikinci gene atanabilecek öncelik ilişkilerini bozmayan yani öncül 1 sütunu "0" olan operasyonları göstermektedir. Bu tabloya göre kromozomun ikinci geni için adayları "2.", "3.", "4." ve "10." operasyon oluşturmaktadır. Örnek kromozomun oluşturulması için 1/4 (%25) seçilme şansına sahip bu adaylardan "4." operasyon rastgele (monte carlo simülasyon yapısı yardımıyla) seçilmiştir. Seçilen operasyon oluşturulan örnek kromozomda 2. geni yani 2. sırada yapılması önerilen operasyonu temsil etmektedir.

Bu atamadan sonra yukarıdaki algoritmanın yeniden uygulanması ile oluşan öncelik matrisinin güncelleme işleminden önceki ve sonraki hali Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7 2.Güncelleştirme işlemi öncesi ve sonrası ilişki matrisi

a) Güncelleştirme işlemi öncesi				b) Güncelleştirme işlemi sonrası			
Oper. No	Öncül1	Öncül2	Öncül3	Oper. No	Öncül1	Öncül2	Öncül3
2	0	0	0	2	0	0	0
3	0	0	0	3	0	0	0
4	0	0	0	5	2	0	0
5	2	0	0	6	0	0	0
6	4	0	0	7	3	5	0
7	3	5	0	8	0	0	0
8	4	0	0	9	6	0	0
9	6	0	0	10	0	0	0
10	0	0	0	11	7	8	0
11	7	8	0	12	9	0	0
12	9	0	0	13	10	11	12
13	10	11	12				

Tablo 5.7-b göre kromozomun ikinci geni için adayları “2.”, “3.”, “6.”, ”8.” ve “10.” operasyon oluşturmaktadır.

Atama işlemleri, yukarıda belirtilen algoritmanın yardımıyla tabloda hiçbir satır kalmayınca kadar tekrarlanması ile sona erer. Atama işlemlerinin devam ettirilmesi ile oluşturulabilecek bir başlangıç kromozomu örneği Şekil 5.4’de yer almaktadır.

İşlem Sırası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Operasyon	1	4	8	2	3	5	7	6	11	10	9	12	13

Şekil 5.4 Operasyon sıralaması başlangıç toplumunda örnek bir kromozom

Genel toplum sayısının iki katı büyüklüğünde belirlenen başlangıç toplumu, yukarıda bir bireyi örnek olarak gösterilen şekilde oluşturulmaktadır. Bu başlangıç toplumunun en iyi değerlere sahip olan yarısı genel toplum kabul edilerek evrim süreci başlatılır.

5.2.1.4 Uygunluk değeri

Tanımlanan GA1 algoritması ile elde edilen bireylerin uygunluk değerleri gA' algoritmasında kullanılarak tespit edilmektedir. GA2 algoritması sonucunda elde edilen en iyi değer, GA1 algoritmasındaki uygunluk değeri olarak kullanılmaktadır.

Uygunluk değerinin hesaplanması için kullanılan çevrim süresi değeri, Alt-Sınır değerinin kademeli olarak geliştirilmesi ile elde edilir. Hesaplanan Alt-Sınır değerinden başlanarak Üst Algoritma hiçbir istasyonda aşılmayan en düşük çevrim süresine ulaşmaya kadar durdurma kriterleri yardımıyla çalıştırılır. Bu algoritmanın detayları Şekil 5.1'de yer almaktadır.

Bu algoritma, basitçe ifade edilmeye çalışılırsa uygun çözüm elde edebildiği en düşük çevrim süresine ulaşmaya çalışmaktadır. Algoritma detayları çevrim süresinin belirlenmesi için aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Adım 1: Çevrim süresi olarak teorik alt sınır değerini al.

Adım 2: GA1 algoritmasını durdurma kriterine ulaşmaya kadar çalıştır.

Adım 3: Mevcut çevrim süresi için uygun bir çözüm varsa Adım 5'e aksi takdirde Adım 4'e git.

Adım 4: Çevrim süresini bir artır. Adım 2'ye git.

Adım 5: En iyi çözüme ulaşılmıştır. Dur. İşçi ve operasyon atamalarını tespit et.

GA1 algoritmasındaki GA'da yer alan bir kromozomun değerlendirilmesi için kullanılan GA2 algoritması'nın uygunluk fonksiyonu Bölüm 5.2.2.3'de yer almaktadır.

5.2.1.5 Ölçeklendirme ve Seçim havuzu

Bölüm 3.6.5'de anlatıldığı gibi GA'nın arama etkinliğinin artırılması için bulunan uygunluk değerlerinin ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada problem yapısına uygun olması nedeniyle standart sapma kadar azaltma (Sigma truncation) yöntemi kullanılmıştır.

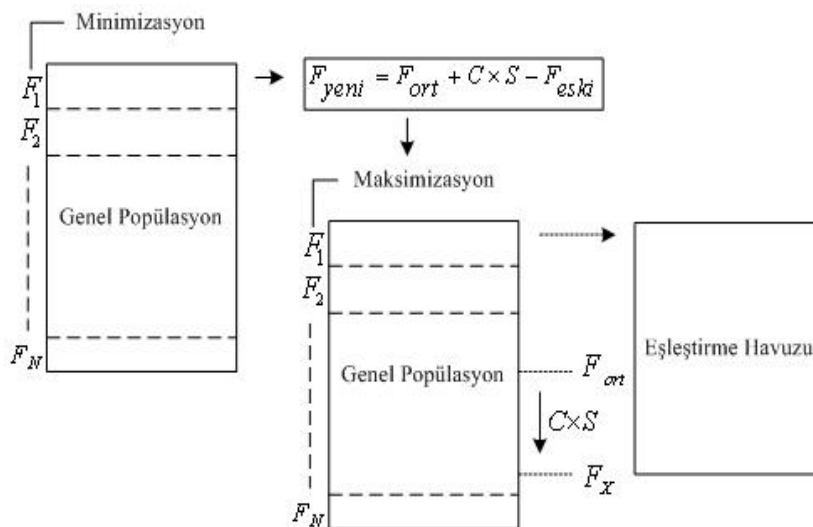
Popülasyondaki bireylere genetik operatörler uygulanmadan önce uygunluk değerlerine göre sıralanarak, belli noktadan daha iyi uygunluk değerine sahip olan bireyler eşleştirme havuzuna alınır. Sigma $C = 0,1,2$ veya 3 olmak üzere, 5.2 nolu denkleme göre uygunluk değerleri yeniden hesaplanarak pozitif uygunluk değerine

sahip olan bireylerin eşleştirme havuzuna alınması sağlanır. C katsayısının sıfıra eşit olması, ortalamanın altındaki her bireyin eşleştirme havuzu dışında tutulması anlamına gelirken, bu katsayı arttıkça ortalamanın altındaki bireyler de eşleştirme havuzuna alınmaktadır.

$$Uygunluk_{yeni} = Uygunluk_{ort} + C * Standartsapma - Uygunluk_{eski} \quad (5.2)$$

Şekil 5.5’da görüldüğü gibi genel popülasyondaki en küçük uygunluk değerine sahip olan kromozom en iyi çözümü temsil ederken, 5.2 formülü ile en iyi kromozom en büyük uygunluk değerine sahip olmaktadır. Bu şekilde problem minimizasyon probleminde maksimizasyon problemine dönüşmektedir. Artık bireyler olasılık kurallarının uygulanmasına hazır hale gelmiştir. Uygunluk değerleri yeniden düzenlenen genel popülasyonda, hangi bireylerin eşleştirme havuzuna alınacağı ortalamanın ne kadar altına inileceği ile bağlantılıdır. C katsayısının her artışı ortalamanın standart sapma kadar altına inilmesi anlamına gelmektedir. Kullanılan formüle göre, bu noktanın altındaki kromozomların uygunluk değeri negatif olduğu için eşleştirme havuzunun dışına itilmektedirler. Sonuçta, sadece eşleştirme havuzuna alınan bireylere çaprazlama uygulanır. Bu noktada amaç, iyi bireylerin eşleşme olasılıklarını artırılmasıdır.

Bu çalışmada uygunluk değerinin 0 çıkması durumunda ölçeklendirme işleminde bazı sorunlar çıktığı gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı orijinal uygunluk fonksiyonu değerinin 0 çıkması durumunda bu değer ölçeklendirmeye alınırken “0.1” değeri olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.5 Kromozomların eşleştirme havuzuna alınması

5.2.1.6 Seçim ve Elitizm

Bu çalışmada geliştirilen algorithmda iki tip seçim mekanizması kullanılmıştır. Bunlar rulet tekeri seçim mekanizması ve turnuva seçim mekanizmasıdır. Her iki seçim mekanizmasında da (*üst toplum büyüklüğü – elitizmle üretilen birey sayısı*) / 2 kadar eşleştirilmiş çift üretilir. Kullanılan mekanizmalar aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

Elitizm

Oluşturulan toplumlarda genetik operatörün uygulanmasından sonra toplumdaki en iyi bireylerin kaybolma ihtimali bulunmaktadır. Elit olarak isimlendirilen bu bireyler korunarak, yeni nesile aynen aktarılması elitizm olarak isimlendirilir. Elitlerin aktarılması bir popülasyondaki iyi bireylerin korunarak kaybolmasını önlemek için yapılır. Bu şekilde yeni nesil oluşturulmuş olur. En iyi kromozomların seçimi her nesilde bu şekilde devam eder.

Bu çalışmada, üretilecek çift sayısının daima tek sayı olmasını sağlamak için, elitlerin sayısı daima çift sayı olarak belirlenmektedir. Bir sonraki nesle doğrudan aktarılacak elit sayısı; GA1 algoritmasındaki elit oranının, toplum büyüklüğü ile çarpılması ve bu değer en yakın üst çift sayıya yuvarlanması ile elde edilir.

Rulet tekeri seçim mekanizması

Bölüm 3.6.6'da bahsedilen rulet tekeri seçim mekanizması uygulamada en sık kullanılan seçim yöntemidir. Eşleştirme havuzuna alınan kromozomlar hesaplanan yeni uygunluk değerleri ile görülen rulet tekeri seçimine tabi tutulurlar. Her kromozom, uygunluk değeri ne kadar iyi ise rulet tekerinden o kadar pay almaktadır. Bu şekilde daha iyi olan kromozomların çaprazlama olasılığı artırılmaktadır. Ancak bu, yine de daha kötü olan kromozomların seçilemeyeceği anlamına gelmez.

Her ikisi de farklı kromozom olmak kaydı ile aynı çiftlerin tekrar seçilmesi olasılık dâhilindedir. Seçim havuzuna alınmış bireylerin yeni uygunluk değerleri toplamından her bireyin aldığı yüzde paya göre rulet tekeri şekillendirilir. Rulet tekeri birinci ebeveyn için çevrilerek bir kromozom seçilir. İkinci ebeveyn için ise ilk ebeveyninden farklı bir kromozom seçilene kadar rulet tekerinin çevrilmesine devam edilir.

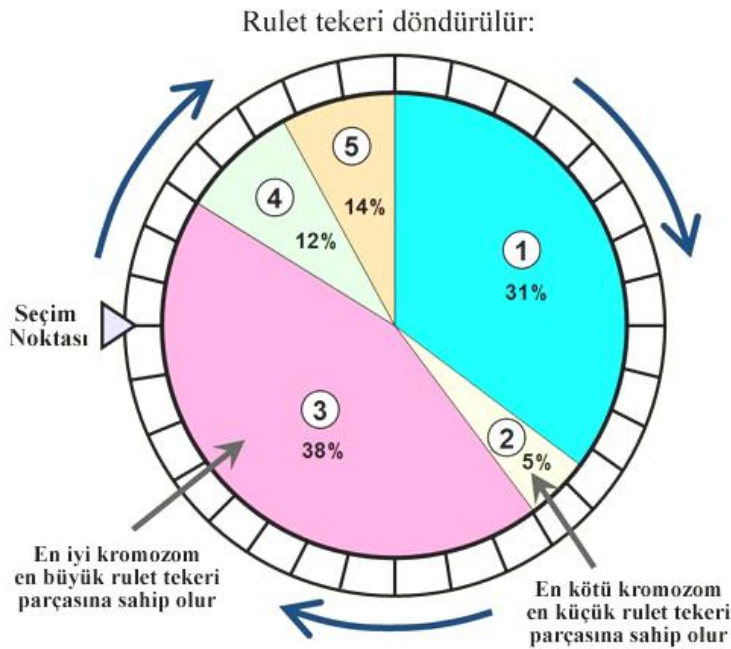
Bu fonksiyona parametre olarak gönderilen elde edilmesi gereken çocuk sayısı kadar kadar kromozom çifti eşleştirilmesi sağlanır.

Tablo 5.8’de, eşleştirme havuzunda 5 kromozomun bulunması durumunda rulet çemberinde kullanılacak olasılık değerlerinin hesaplanması yer almaktadır.

Tablo 5.8 Rulet çemberi olasılık hesaplaması

Kromozom	Yeni Uygunluk	% Olasılık	Birikimli Olasılık
1	21.7	%31	0.31
2	3.5	%5	0.36
3	26.6	%38	0.74
4	8.4	%12	0.86
5	9.8	%14	1
Toplam	70	%100	

Şekil 5.6’de beş adet kromozoma sahip bir rulet tekerleği şekil olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.6 Rulet terkeri seçimi (Kalaycı 2008)

Turnuva seçim mekanizması

Turnuva seçim mekanizmasında; seçim havuzundaki bütün bireyler eş olasılığa sahiptirler. Bu havuzdan rastgele iki birey seçilmekte ve seçilen bireylerin uygunluk değeri en iyi olan üretilecek çiftin birinci ebeveynini oluşturmaktadır. Aynı şekilde çiftin ikinci ebeveyni de üretilir. Seçim işlemi, üretilecek çift sayısına ulaşıncaya kadar devam eder.

Tablo 5.8’de yer alan kromozomlardan rastgele “4.” ve “5.”, “1.” ve “5.” çiftleri seçilmiş olsun. Bu kromozomlara ait uygunluk değerleri “8.4”, “9.8” ve “21.7”, ”9.8” olur. Bu durumda, birinci çiftten uygunluk değeri yüksek olan “5” ve ikinci çiftten kromozom değeri yüksek olan “1” bireyleri çiftleştirilir.

5.2.1.7 Çaprazlama

Bölüm 5.2.1.3, başlangıç toplumunun belirlenmesinde bahsedildiği bu çalışmada kullanılan tüm kromozomlar, operasyonlar arası öncelik ilişkilerine uygun bir şekilde üretilmektedir. Özel geliştirilmiş genetik operatörler kullanılarak üretilen tüm yeni çocukların da öncelik ilişkilerine sahip olması sağlanmaktadır. Bu sayede, çözümün öncelik ilişkileri açısından uygunluğu garanti altına alınmış olmaktadır.

Seçim mekanizmasıyla elde edilen (*üst toplum büyüklüğü – elitizmle üretilen birey sayısı*) / 2 kadar çift çaprazlama şansına sahip olmaktadır. Bu çiftlerin çaprazlanması işlemleri için bu çalışmada kullanılan operatörler aşağıdaki bölümde tanımlanmıştır.

Bu çalışmada GA1 algoritmasındaki bireylerin çaprazlama oranı “**uco**” ile belirtilmiştir. Çaprazlama görececek bireylerin sayısının beklenen değeri 5.3 nolu denklem kullanılarak bulunmaktadır. Herhangi bir çiftin çaprazlama işlemine tabii tutulup tutulmayacağına belirlenmesi için her çift için 0-1 arasında bir rassal sayı üretilir. Oluşturulan rassal sayı “uco” değerinden küçük ise çift belirlenen çaprazlama operatörüne tabii tutulur.

$$B[Cap] = uco \times (toplum\ büyüklüğü - elitizmle\ üretilen\ birey\ sayısı) \quad (5.3)$$

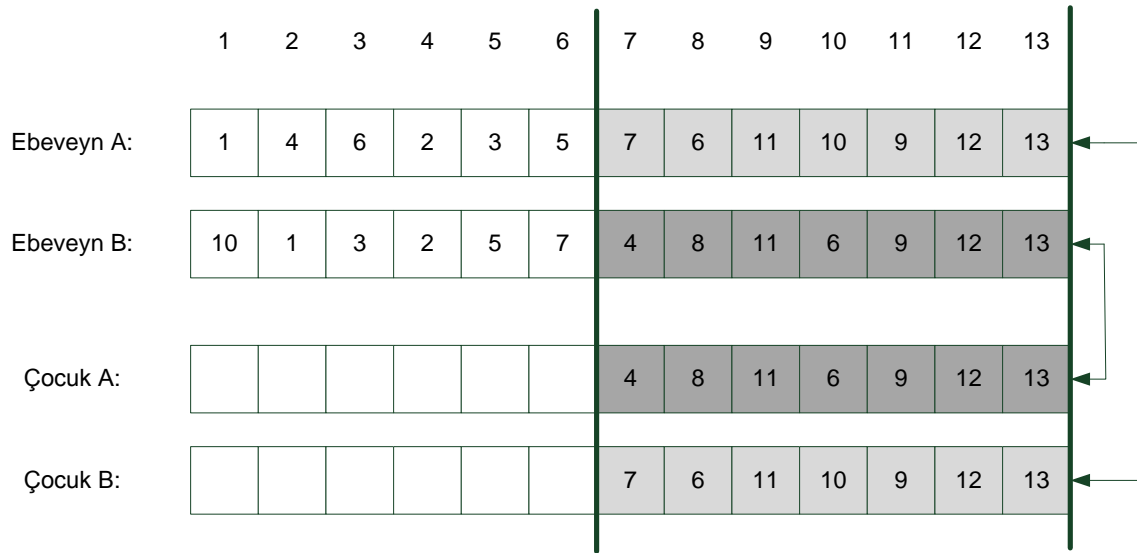
Bu çalışmada GA1 algoritması için “*tek noktalı sağdan çaprazlama*” ve “*tek noktalı soldan çaprazlama*” olarak isimlendirilen iki çaprazlama yöntemi kullanılmıştır.

Tek noktalı sağdan çaprazlama

Bu çalışmada kullanılan tek noktalı sağdan çaprazlama operatörü, Tusujimura ve diğ (1995)’tarafından geliştirilen MPMX operatörünün birinci noktasının rassal ikinci noktasının ise kromozom uzunluk sayısı olarak yeniden oluşturulmuş halidir. Bu çaprazlama operatörü; ikinci çaprazlama noktası daha önceden belirlendiğinden ve rastgele birinci çaprazlama noktasının sağındaki genler aynen oluşturulan çocuklardan birine aktarıldığından tek noktalı sağdan çaprazlama olarak adlandırılmaktadır. Çocuklarda çaprazlama noktasından önceki genler, başlangıç toplumu oluşturulmasında

anlatılan yöntemle yeniden oluşturulur. Bu oluşturulma sırasında kullanılacak Tablo çaprazlama noktasından sonra olan genlere göre ilgili bölümde (Bölüm 5.2.1.3) anlatıldığı gibi güncellenir.

Şekil 5.7’de çalışmada kullanılan örnek bir tek noktalı sağdan çaprazlama operatörünün işleyişi tanımlanmıştır. Örnekte çaprazlama operatörü için birinci kesme noktası 6 olarak tanımlanmıştır. Bu sebeple 6.genin sağ tarafında yer alan genler çaprazlama işlemine tabii tutulmuştur. Ebeveyn A’nın birinci çaprazlama noktasının sağında yer alan genleri Çocuk B’ye, Ebeveyn B’nin birinci çaprazlama noktasının sağında yer alan genleri Çocuk B’ye geçmiştir.



Şekil 5.7 Tek noktalı sağdan çaprazlama operatörü

Çocuk A’nın çaprazlama sonrası boş kalan genleri için Tablo 5.6’nın yeniden bu çaprazlama işlemi sonrası durum için oluşturulması gerekmektedir. Çaprazlama sonrası oluşan durum Tablo 5.9’da yer almaktadır.

Atama işlemlerine en soldaki boş genden başlanarak bu noktadan itibaren Bölüm 5.2.1.3’de bahsedildiği gibi devam edilir ve Çaprazlama sonrası Çocuk A oluşturulmuş olur. Atama işlemlerinin bu noktadan itibaren devam ettirilmesi ile oluşturulabilecek bir Çocuk A kromozomu örneği Şekil 5.8’de yer almaktadır.

Tablo 5.9 Sağdan çaprazlama sonrası güncelleştirme matrisi

a) Güncelleştirme işlemi öncesi				b) Güncelleştirme işlemi sonrası			
Oper. No	Öncül1	Öncül2	Öncül3	Oper. No	Öncül1	Öncül2	Öncül3
1	0	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	2	1	0	0
3	1	0	0	3	1	0	0
4	1	0	0	5	2	0	0
5	2	0	0	7	3	5	0
6	4	0	0	10	0	0	0
7	3	5	0				
8	4	0	0				
9	6	0	0				
10	0	0	0				
11	7	8	0				
12	9	0	0				
13	10	11	12				

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Çocuk A:	1	2	3	5	7	10	4	8	11	6	9	12	13

Şekil 5.8 Tek noktalı sağdan çaprazlama ile oluşan Çocuk A

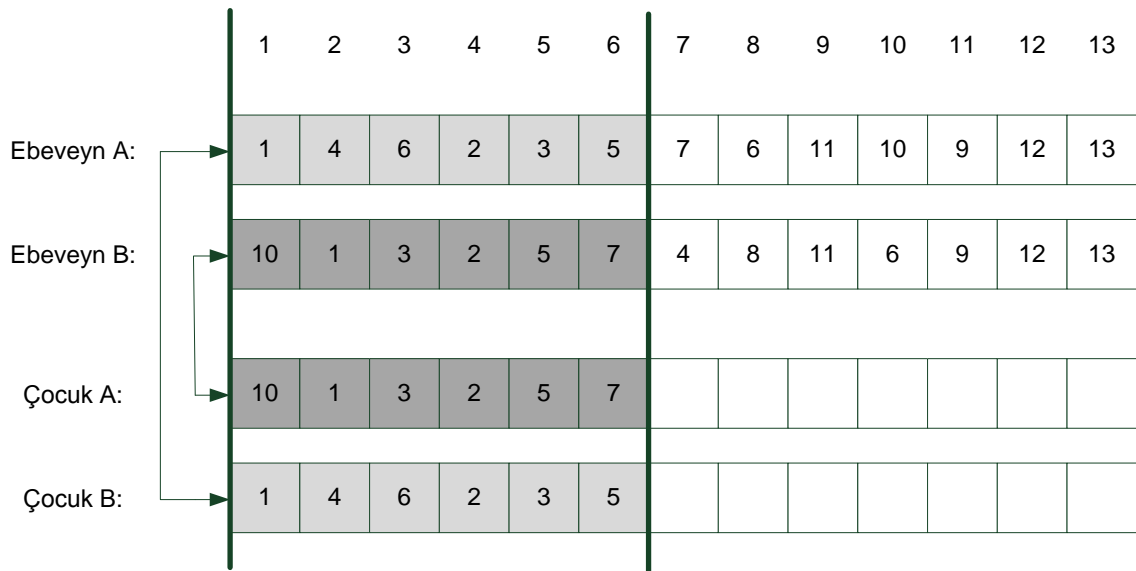
Yukarıda tanımlanan işlemlerin Çocuk B içinde uygulanması ile çiftin çaprazlama sonucu oluşan diğer çocuk da elde edilmiş olur. Oluşan A ve B çocuğu incelendiğinde her ikisinin de operasyonların örnek modele ilişkin öncelik ilişkilerine uyduğu görülmektedir.

Tek noktalı soldan çaprazlama

Kullanılan tek noktalı soldan çaprazlama operatörü, Tusujimura ve diğ (1995)'de geliştirdikleri MPMX operatörünün birinci noktasının rassal ikinci noktasının ise kromozom uzunluk sayısı olarak yeniden oluşturulmuş versiyonudur. Bu versiyon; ikinci çaprazlama noktası daha önceden belirlendiğinden dolayı ve rastgele belirlenen

birinci çaprazlama noktasının solundaki genler aynen oluşturulan çocuklardan birine aktarıldığından dolayı tek noktalı soldan çaprazlama olarak adlandırılmaktadır. Çocuklarda çaprazlama noktasından sonraki genler, başlangıç toplumu oluşturulmasında anlatılan yöntemle yeniden oluşturulur. Bu oluşturulma sırasında kullanılacak Tablo çaprazlama noktasından önce olan genlere göre ilgili bölümde anlatıldığı gibi güncellenir.

Şekil 5.9'da çalışmada kullanılan örnek bir tek noktalı soldan çaprazlama operatörünün işleyişi tanımlanmıştır. Örnekte çaprazlama operatörü için ikinci kesme noktası 6 olarak tanımlanmıştır. Bu sebeple 6.genin sol tarafında yer alan genler çaprazlama işlemine tabii tutulmuştur. Ebeveyn A'nın ikinci çaprazlama noktasının solunda yer alan genleri Çocuk B'ye, Ebeveyn B'nin ikinci çaprazlama noktasının solunda yer alan genleri Çocuk B'ye geçmiştir.



Şekil 5.9 Tek noktalı soldan çaprazlama operatörü

Çocuk A'nın çaprazlama sonrası boş kalan genleri için Tablo 5.6'nın yeniden bu çaprazlama işlemi sonrası durum için oluşturulması gerekmektedir. Çaprazlama sonrası oluşan durum Tablo 5.10'de yer almaktadır.

Atama işlemlerine en soldaki boş genden başlanarak bu noktadan itibaren Bölüm 5.2.1.3'de bahsedildiği gibi devam edilir ve Çaprazlama sonrası Çocuk A oluşturulmuş olur. Atama işlemlerinin bu noktadan itibaren devam ettirilmesi ile oluşturulabilecek bir Çocuk A kromozomu örneği Şekil 5.10'da yer almaktadır.

Tablo 5.10 Soldan Çaprazlama sonrası güncelleştirme işlemi matrisi

a) Güncelleştirme işlemi öncesi				b) Güncelleştirme işlemi sonrası			
Oper. No	Öncül1	Öncül2	Öncül3	Oper. No	Öncül1	Öncül2	Öncül3
1	0	0	0	4	0	0	0
2	1	0	0	6	4	0	0
3	1	0	0	8	4	0	0
4	1	0	0	9	6	0	0
5	2	0	0	11	8	0	0
6	4	0	0	12	9	0	0
7	3	5	0	13	11	12	0
8	4	0	0				
9	6	0	0				
10	0	0	0				
11	7	8	0				
12	9	0	0				
13	10	11	12				

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Çocuk A:	10	1	3	2	5	7	4	6	9	12	8	11	13

Şekil 5.10 Tek noktalı soldan çaprazlama ile oluşan Çocuk A

Yukarıda tanımlanan işlemlerin Çocuk B içinde uygulanması ile çiftin çaprazlama sonucu oluşan diğer çocuk da elde edilmiş olur. Oluşan A ve B çocuğu incelendiğinde her ikisinin de operasyonların örnek modele ilişkin öncelik ilişkilerine uyduğu görülmektedir.

5.2.1.8 Mutasyon

Bu çalışmada GA1 algoritmasındaki bireylerin mutasyon oranı “**umo**” ile belirtilmiştir. Seçim mekanizması ile (*üst toplum büyüklüğü – elitizmle üretilen birey sayısı*) / 2 kadar çift elde edildiğinden, algoritma içersinde mutasyon işlemine tabi tutulacak birey sayısının beklenen değeri 5.4 nolu denklemden hesaplanır. Bir genin

mutasyon işlemine tabii tutulup tutulmayacağı belirlenirken 0-1 arasında bir rassal sayı oluşturulur. Oluşturulan rassal sayı değeri “ $umo*2$ ” değerinden küçük ise çiftten bir birey belirlenen mutasyon operatörüne tabii tutulur. Çiftten hangi bireyin mutasyona uğrayacağı belirlenmesi için yine 0-1 arasında bir rassal sayı daha oluşturulur. Oluşturulan rassal sayı değerinin 0.5’den küçük çıkması durumunda birinci ebeveyn mutasyona operatörüne tabii tutulur.

$$B[Mut]=umo \times (\text{üst toplum büyüklüğü} - \text{elitizmle üretilen birey sayısı}) \quad (5.4)$$

Seçim havuzundan seçilmiş bireyler bir sonraki topluma aktarılırken sadece çaprazlama operatörüne, sadece mutasyon operatörüne, hem çaprazlama hem mutasyon operatörüne veya her iki operasyona da uğramamış olabilmektedir. Bu durumlara ilişkin beklenen değerler eşitlik 5.5-a,b,c,d’de gösterilmiştir.

- Sadece çaprazlama işlemine tabii tutulan çift sayısının beklenen değeri

$$B[Cap]=(uco \times (1-umo)) \times (\text{üst toplum büyüklüğü} - \text{elitizmle üretilen birey sayısı}) \quad (5.5-a)$$

- Sadece mutasyon işlemine tabii tutulan çift sayısının beklenen değeri

$$B[Mut]=((1-uco) \times umo) \times (\text{üst toplum büyüklüğü} - \text{elitizmle üretilen birey sayısı}) \quad (5.5-b)$$

- Çaprazlama ve Mutasyon işlemine tabii tutulan çift sayısının beklenen değeri

$$B[Cap,Mut]=(uco \times umo) \times (\text{üst toplum büyüklüğü} - \text{elitizmle üretilen birey sayısı}) \quad (5.5-c)$$

- Çaprazlama ve Mutasyon işlemine tabii tutulmayan çift sayısının beklenen değeri (Çiftlerin aynen yeni nesle aktarılması)

$$B[Cap]=((1-uco) \times (1-amo)) \times (\text{üst toplum büyüklüğü} - \text{elitizmle üretilen birey sayısı}) \quad (5.5-d)$$

Bu çalışmanın Üst Algoritma'sında “Çabalayıcı Alt Liste Mutasyonu” (*Scramble Sublist Mutation SSM*) ve “Çabalama Mutasyonu” (*Scramble Mutation SM*) adlı literatürde geliştirilen iki çaprazlama yöntemi kullanılmıştır.

SSM operatörü

SSM (Chan et al 1998) tarafından önerilen bu mutasyon operatöründe bir bireyde rastgele iki kesim noktası belirlenir. Bu kesim noktalarının arasında kalan elemanlar yeniden yaratılır. Böylece yeni yaratılmış mutant çocuk, iki uç noktada orijinal bireyin parçalarını taşımaya devam eder.

Bu yöntemde birinci kesim noktasının solunda kalan operasyonlar ve ikinci kesim noktasının sağında kalan operasyonlar atanmış kabul edilerek ilgili tablo güncellenir. Kesim noktaları arasında boş kalan genler, en soldan başlanarak daha sonra açıklanacağı gibi öncelik ilişkileri korunarak doldurulacaktır.

Şekil 5.11'de SSM operatörüne uğratılmak için kesim noktaları belirlenmiş bir birey yer almaktadır.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Birey:	10	1	3	2	5	7	4	6	9	12	8	11	13
Mutant:	10	1	3	2					9	12	8	11	13

Şekil 5.11 SSM Operatörünün uygulanması

Mutantın aktarım işlemi sonrası boş kalan genleri için Tablo 5.6'nın yeniden oluşturulması gerekmektedir. Aktarım sonrası oluşan durum Tablo 5.11'de yer almaktadır.

Atama işlemlerine en soldaki boş genden başlanarak bu noktadan itibaren Bölüm 5.2.1.3'de bahsedildiği gibi devam edilir ve SSM operatörü sonrası mutant birey oluşturulmuş olur. Atama işlemlerinin bu noktadan itibaren devam ettirilmesi ile oluşturulabilecek bir mutant kromozomu örneği Şekil 5.12'da yer almaktadır.

Tablo 5.11 SSM Aktarım sonrası güncelleştirme işlemi matrisi

a) Güncelleştirme işlemi öncesi				b) Güncelleştirme işlemi sonrası			
Oper. No	Öncül1	Öncül2	Öncül3	Oper. No	Öncül1	Öncül2	Öncül3
1	0	0	0	4	0	0	0
2	1	0	0	5	0	0	0
3	1	0	0	6	4	0	0
4	1	0	0	7	5	0	0
5	2	0	0				
6	4	0	0				
7	3	5	0				
8	4	0	0				
9	6	0	0				
10	0	0	0				
11	7	8	0				
12	9	0	0				
13	10	11	12				

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Mutant:	10	1	3	2	4	5	6	7	9	12	8	11	13

Şekil 5.12 SSM operatörünün uygulanması ile oluşan mutant

Mutant bireyin kromozomu incelendiğinde operasyonların örnek modele ilişkin öncelik ilişkilerine uyduğu görülmektedir.

SM operatörü

SM (Sabuncuoğlu et al 2000) tarafından önerilen bu mutasyon operatöründe, bireyden bir kesme noktası belirlenir ve kesme noktasının solundaki genlerin mutantta kopyalanması ile oluşturulur. Böylece mutant, bireyin kesme noktasının önündeki genlerine sahip olur. Kesme noktasının sağındaki genler ise daha sonra Bölüm 5.2.1.3'te açıklandığı gibi oluşturulur. Bu operatör, tek noktalı soldan çaprazlama operatörünün tek ebeveynler oluşturulmuş halidir.

Şekil 5.13’de SM operatörüne uğratılmak için kesim noktası belirlenmiş bir birey yer almaktadır.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Birey:	10	1	3	2	5	7	4	6	9	12	8	11	13
Mutant:	10	1	3	2	5	7	4	6					

Şekil 5.13 SM operatörünün uygulanması

Mutantın boş kalan genlerinin doldurulması için Tablo 5.6’nın yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Aktarım sonrası oluşan durum Tablo 5.12’de yer almaktadır.

Tablo 5.12 SM Aktarım sonrası güncelleştirme işlemi matrisi

a) Güncelleştirme işlemi öncesi				b) Güncelleştirme işlemi sonrası			
Oper. No	Öncül1	Öncül2	Öncül3	Oper. No	Öncül1	Öncül2	Öncül3
1	0	0	0	8	0	0	0
2	1	0	0	9	0	0	0
3	1	0	0	11	8	0	0
4	1	0	0	12	9	0	0
5	2	0	0	13	11	12	0
6	4	0	0				
7	3	5	0				
8	4	0	0				
9	6	0	0				
10	0	0	0				
11	7	8	0				
12	9	0	0				
13	10	11	12				

Atama işlemlerine en soldaki boş genden başlanarak, Bölüm 5.2.1.3’de bahsedildiği gibi devam edilir ve SM operatörü sonrası mutant birey oluşturulur. Şekil 5.14’de SM operatörü sonucunda elde edilen bir mutant örneği yer almaktadır.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Mutant:	10	1	3	2	5	7	4	6	8	11	9	12	13

Şekil 5.14 SM operatörünün uygulanması ile oluşan mutant

Oluşan mutant bireyin kromozomu incelendiğinde operasyonların öncelik ilişkilerini sağladığı görülmektedir.

5.2.1.9 Durdurma kriteri

Bölüm 3’de bahsedildiği gibi, genetik algoritmalarının sona ermesi için tanımlanan bir durdurma kriterine ulaşması gerekmektedir. Bu çalışmada durdurma kriteri olarak her bir modele özgü olarak belirlenen toplam iterasyon sayısına ulaşılması, uygunluk değerinin en iyi çözüm olan 0’değerine ulaşması ve mevcut çözümün toplam iterasyon sayısının %25’i kadar tekrar etmesi şeklinde belirlenmiştir. İterasyon sayısı literatürdeki yöntemlerden yararlanılarak bir sonraki bölümde yer alan deneysel çalışmalarla belirlenecektir.

5.2.2 GA2 Algoritması

GA2 algoritmasıyla, GA1 algoritmasında belirlenen operasyon sıralaması için işçi ataması yapılmaktadır. Modelde yer alan ikinci algoritma, S adet iş istasyonuna sahip bir tek modelli basit montaj hattı için verilen operasyon sıralamasıyla H adet işçi kaynağına sahip bir havuzdan en uygun işçi atamasını bulmaya çalışır. GA2 algoritması bu aramayı gerçekleştirirken atamanın etkinliğini, belirlenen uygunluk fonksiyonu ile belirlemektedir.

Geliştirilen bu GA2 algoritmasının daha iyi açıklanabilmesi için kullanılan yöntemler, parametreler ve operatörler Şekil 5.2’de verilen örnek problem üzerinde açıklanacaktır. Bu örnek problemde, işçi ataması gerçekleştirilecek verilen operasyon sırası Şekil 5.15’de yer almaktadır.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Birey	10	1	3	2	5	7	4	6	8	11	9	12	13

Şekil 5.15 İşçi ataması gerçekleştirilecek verilen operasyon sırası

5.2.2.1 Kromozom yapısı

GA2 algoritmasında kromozom yapısı olarak iş istasyonu temelli gösterim tercih edilmiştir. Kromozomun uzunluğu kurulacak istasyon sayısına bağlı olarak belirlenmektedir.

Şekil 5.16’de, Şekil 5.2’deki model için örnek bir işçi ataması kromozom yapısı yer almaktadır.

İş istasyonu	1	2	3
İşçi	2	4	1

Şekil 5.16 İş istasyonu temelli kromozom gösterimi

Bu kromozomda, genlerin sırası kurulması planlanan iş istasyonlarını, genlere atanan değerleri ise işçi numaralarını ifade etmektedir.

5.2.2.2 Başlangıç toplumunun belirlenmesi

MHIADP ‘nin GA2 algoritmasında kromozom yapısı, işçi sayısı olan H’in istasyon sayısı olan S’li tekrarsız permutasyonu şeklinde oluşturulmaktadır. Her iş istasyonunu oluşturan gene atanacak işçi daha önceden atanmamış işçiler arasından operasyon sırası verilen kromozomdan ve sürede değerlerinden bağımsız olarak rastgele belirlenmektedir. Bu bağımsızlık dolayısı ile oluşturulan kromozomlarda çevrim süresi açısından uygun olmayan çözümlere uygunluk fonksiyonu bölümünde açıklanacağı gibi izin verebilmektedir. Literatürde permutasyon kodlama yapısı için geliştirilmiş genetik operatörler kullanarak yeni oluşturulacak işçi atamalarındaki tekrarlı işçi atamalarının (bir model için oluşturulan birden fazla istasyona aynı işçinin atanması) önüne geçilebilir. Bu sayede işçi tekrarlılığı açısından çözümün arama uzayının, daima uygun çözüm uzayında kalması zorunlu hale getirilmektedir.

Başngıç toplumu daha önce GA1 algoritmasında olduğu gibi oluşturulur. GA2 algoritmasında genel toplum sayısı literatürdeki yöntemlerden yararlanılarak bir sonraki bölümde yer alan deneysel çalışmalarla belirlenecektir.

Örnek problem için oluşturulan bir başlangıç kromozomu oluşturulması aşağıda açıklanmıştır. Bu örnek problemde 3 adet iş istasyonu kurulması planlanan montaj hattı için, 5 adet işçi arasından atama yapılacaktır. Örnek kromozomun oluşturulması için 1/5 (%20) seçilme şansına sahip bu adaylardan “4.” işçi rastgele (monte carlo similasyon yapısı yardımıyla) seçilmiştir. Seçilen işçi oluşturulan örnek kromozomda 1.geni yani 1. iş istasyonda görev yapması önerilen işçiyi temsil etmektedir. Bu atama işleminden sonra kromozomun ikinci geni için adayları “1.”, “2.”, “3.” ve “5.” İşçi oluşturmaktadır. Örnek kromozomun oluşturulması için 1/4 (%25) seçilme şansına sahip bu adaylardan “2.” işçi rastgele (monte carlo similasyon yapısı yardımıyla) seçilmiştir. Seçilen işçi oluşturulan örnek kromozomda 2.geni yani 2. iş istasyonda görev yapması önerilen işçiyi temsil etmektedir. Bu atama işleminden sonra kromozomun son geni için adayları “1.”, “3.”, ve “5.” işçi oluşturmaktadır. Örnek kromozomun oluşturulması için 1/3 (%33) seçilme şansına sahip bu adaylardan “1.” işçi rastgele (monte carlo similasyon yapısı yardımıyla) seçilmiştir. Seçilen işçi oluşturulan örnek kromozomda 3.geni yani 3. iş istasyonda görev yapması önerilen işçiyi temsil etmektedir. Şekil 5.17’de işçi ataması için oluşturulan örnek kromozom gösterilmiştir.

İş İstasyonu	1	2	3
İşçi	4	2	1

Şekil 5.17 İşçi ataması başlangıç toplumunda örnek bir kromozom

Genel toplum sayısının iki katı büyüklüğünde belirlenen başlangıç toplumu, yukarıda bir bireyi örnek olarak gösterilen şekilde oluşturulmaktadır. Bu başlangıç toplumunun en iyi değerlere sahip olan yarısı genel toplum kabul edilerek evrim süreci başlatılır.

5.2.2.3 Uygunluk değeri

GA2 algoritmasındaki her bir kromozomun uygunluk değeri, GA2 algoritmasındaki GA1 algoritmasında kromozom için üretilmiş kromozomlar ve Alt-Sınır değeri ile

hesaplanmaktadır. GA2 algoritmasının ürettiği kromozomlardan en iyi değeri oluşturan kromozom, GA1 algoritmasındaki kromozomun uygunluk değerini belirlemektedir.

Bölüm 2.4' te bahsedildiği gibi bu fonksiyonda tanımlanmış bir montaj hattı için, işçi kaynaklarının montaj hattında oluşturulan iş istasyonlarına; çevrim süresini enküçükleyecek ve aynı zamanda, istasyonlar arasında hat dengesini sağlayacak şekilde atanmasıdır. Bu amaç aynı bölümde problemde geliştirilen amaç fonksiyonunda eşitlik 5.6'te yer aldığı gibi gösterilmiştir.

$$\text{Min } (\alpha * C + \beta * A) \quad (5.6)$$

Bu amaç fonksiyonunda C çevrim süresini, A hat dengesizliğini göstermektedir. α ve $\beta > 0$ olmak üzere çevrim süresi ve hat dengesizliği için ceza katsayılarıdır. Çevrim süresini küçükmek, hat dengesizliğinden daha önemli olduğundan $\alpha \gg \beta$ şeklinde tanımlanmıştır. Bu amaç fonksiyonundaki kısıtlar ilgili bölümde yer almaktadır.

Problemin matematiksel modeli için hazırlanan bu amaç fonksiyonunun GA2 algoritması'nın uygunluk fonksiyonuna dönüştürülmesi gerekmektedir. Çünkü, bu amaç fonksiyonunun birinci bölümü GA1 algoritması tarafından kontrol edilmektedir. Bu nedenle *GA2 algoritmasının amacı hat dengesizliği olan A değerinin enküçülenmesidir.* Bu durumda GA2 algoritması amaç fonksiyonu, eşitlik 5.7'da yer aldığı gibi oluşmaktadır.

$$\text{Min } \frac{\sum_{s=1}^S (C - \sum_{i \in N} p_{hi} * x_{shi})^2}{S}, \forall h \in H, \forall s \in S \quad (5.7)$$

Bu eşitlikte dengesizlik, her bir istasyonun toplam operasyon süresi ile çevrim süresi arasındaki farkların karelerinin toplamının, toplam istasyon sayısına bölünmesiyle elde edilmektedir.

Bu problemin sahip olduğu koşullar problemin matematiksel modelinde, tanımlanan kısıtlar ile sağlanmaktadır. Problemdaki öncelik ilişkileri kısıtları dahil tüm kısıtlar oluşturulan her iki genetik algoritmadaki kromozom yapısı, başlangıç toplumu ve genetik operatörler ile sağlanabilirken oluşturulan tüm istasyonların toplam operasyon süresinin çevrim süresinin altında kalması oluşturulan kromozom yapısı ile sağlanamayabilmektedir.

Sırası verilen operasyonların ve işçilerin; iş istasyonlarına atanması bir algoritma ile gerçekleştirilmektedir. Bu algoritma, geliştirilen bir matris yapısıyla kullanılmaktadır. Bu matrisin birinci satırını verilen operasyon sıraları oluşturmaktadır. Matrisin ikinci satırını ise bu operasyonlara yapılan işçi ataması oluşturmaktadır. Matrisin üçüncü satırını bu işçilere ait operasyon süreleri oluşturmaktadır. Matrisin son satırını ise istasyon sürelerinin birikimli olarak hesaplanması oluşturmaktadır. Tanımlanan bu matrisin oluşturulması yani operasyonlara işçi ataması algoritma ile gerçekleştirilmektedir.

Adım 0: $i=1, j=1$, toplam istasyon süresi (tis)=0 yap,

Adım 1: Çevrim süresi değerini “kalan çevrim süresi ($kçs$)” olarak belirle,

Adım 2: i . sıradaki operasyonu al

Adım 3: 1. satır ve i . sütuna operasyon numarasını yaz,

Adım 4: İşçi sırasındaki j . sıradaki işçiyi al,

Adım 5: i . operasyonu j . işçi yapması durumundaki operasyon süresi (t_{ij}), $kçs$ değerinden küçük ise Adım 6’ya, aksi halde Adım 9’a git,

Adım 6: 2. satır i . sütununa, j . işçi numarasını, 3. satırının i . sütununa t_{ij} değerini ve 4. satırının i . sütununa t_{ij} değerinin tsd değeri ile toplamını yaz,

Adım 7: $kçs$ değerinden t_{ij} değerini çıkar ve oluşan yeni değeri $kçs$ olarak belirle ve t_{ij} değerini tsd değeri ile topla ve oluşan yeni değeri tsd olarak belirle,

Adım 8: i değeri toplam operasyon sayısına eşit ise Adım 10’a, değilse i değerini 1 artır ve Adım 2’ye git

Adım 9: j değeri toplam istasyon sayısına eşit ise j değerini koru ve Adım 2’ye git, değilse j değerini 1 artır, tsd değerini sıfırla, çevrim süresini değerini “kalan çevrim süresi ($kçs$)” değeri olarak belirle ve Adım 4’e git,

Adım 10: Algoritmayı sonlandır.

Algoritmada, son iş istasyonu hariç operasyonların toplam sürelerinin çevrim süresinin altında kalması zorunlu tutulmaktadır. Ancak son iş istasyonunu için çevrim süresi kısıdı; tüm operasyonların bir iş istasyonuna atanması gerektiğinden

aşılabilir. Bu durumu engellemek için uygunluk fonksiyonuna ceza değeri eklenmiş ve kontrol kısıtı konulmuştur.

Şekil 5.18’de örnek problemde, verilen operasyon sırası (Şekil 5.15) ve işçi ataması (Şekil 5.17) için istasyon süreleri verilmektedir. Burada çevrim süresi 19 birim olarak alınmıştır.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Operasyon Sırası	10	1	3	2	5	7	4	6	8	11	9	12	13
İşçi Ataması	4	4	4	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1
İşlem Süresi	4	5	7	3	6	4	7	8	5	4	3	7	10
İstasyon Süresi	4	9	16	19	6	10	17	8	13	17	20	27	37

Şekil 5.18 Uygunsuz bir istasyona sahip atama matrisi

Şekil 5.18’de 4. işçi birinci iş istasyonunununa ve 2. işçi ikinci iş istasyonunununa ve 1. işçi üçüncü iş istasyonuna atanmıştır. Birinci iş istasyonun süresi 19, ikinci iş istasyonun süresi 17 ve üçüncü istasyonun ise 37 olarak bulunmuştur. Üçüncü istasyonun toplam süresi çevrim süresini aşmaktadır.

Yukarıda bahsedilen tarzdeki uygunsuz çözümlerin yeni nesillere taşınma olasılığını azaltmak için amaç fonksiyonuna bir ceza maliyeti eklenmesi gerekmektedir.

Uygunluk fonksiyonundaki ceza maliyeti, son istasyonda toplam operasyon süresinin çevrim süresini aşma sürenin (FS), çevrim süresin karesi ile çarpılması ile elde edilmektedir. Bu durumda 5.7 nolu denkleme ceza maliyetinin eklenmesi ile 5.8 nolu denklemdaki uygunluk fonksiyonu elde edilir.

$$UygunlukFonk = C^2 * FS + \frac{\sum_{s=1}^S (C - \sum_{i \in N} p_{hi} * x_{shi})^2}{S} \quad (5.8)$$

Yukarıda da bahsedildiği gibi, bu bölümdeki uygunluk fonksiyonu, çevrim süresi enküçüklemesi ile ilgilenmemekte ve hat dengesizliğini en küçüklemeye çalışmaktadır.

5.2.2.4 Ölçeklendirme ve Seçim havuzu

GA2 algoritmasında, GA1 algoritmasında kullanılan ölçeklendirme yöntemi ve seçim havuzu oluşturulması kullanılmıştır. Bu nedenle, bu bölümde kullanılan yöntemlerin yeniden açıklanmasına gereksinim duyulmamıştır.

5.2.2.5 Seçim ve Elitizm

Çalışmanın GA2 algoritması'sında da GA1 algoritması'da kullanılan aynı seçim mekanizması ve elitizm kullanılmıştır. Bu nedenle bu bölümde kullanılan yöntemlerin yeniden açıklanmasına gereksinim duyulmamıştır.

5.2.2.6 Çaprazlama

GA2 algoritmasında kullanılan her bir kromozom, havuzdaki işçi sayısı olan H 'ın istasyon sayısı olan S 'li permutasyonu şeklinde oluşturulmaktadır. Literatürde permutasyon kodlama yapısı için geliştirilmiş genetik operatörler kullanarak yeni oluşturulacak işçi atamalarındaki tekrarlı işçi atamalarının (bir model için oluşturulan birden fazla istasyona aynı işçinin atanması) önüne geçilebilir. Bu sayede işçi tekrarlılığı açısından çözümün arama uzayının, daima uygun çözüm uzayında kalması zorunlu hale getirilmektedir.

Seçim mekanizmasıyla elde edilen (*alt toplum büyüklüğü – elitizmle üretilen birey sayısı*) / 2 kadar çift çaprazlama ve mutasyon görme şansına sahip olmaktadır.

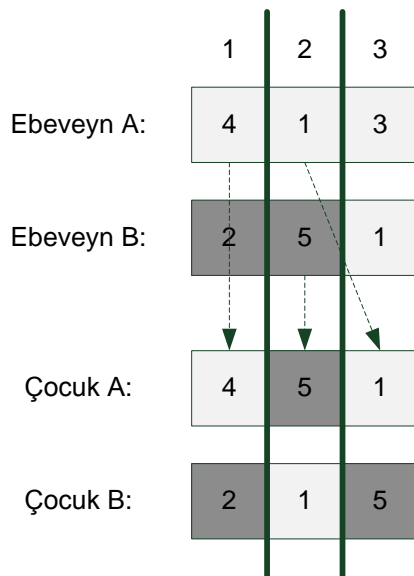
Bu çalışmada, GA2 algoritmasındaki bireylerin çaprazlama oranı “**aco**” ile belirtilmiştir. Seçim mekanizması ile (*alt toplum büyüklüğü – elitizmle üretilen birey sayısı*) / 2 kadar çift elde edildiğinden dolayı algoritma içerisinde çaprazlama görebilecek bireylerin beklenen değeri eşitlik 5.9'de ifade edilmiştir. Oluşturulan çiftlerin çaprazlama işlemine tabii tutulup tutulmayacağına belirlenmesi için her çift için 0-1 arasında bir rassal sayı oluşturulur. Oluşturulan rassal sayı değeri “**uco**” değerinden düşük çıkması durumunda çift belirlenen çaprazlama operatörüne tabii tutulur.

$$B[Cap] = aco \times (\text{alt toplum büyüklüğü} - \text{elitizmle üretilen birey sayısı}) \quad (5.9)$$

Bu çalışmanın GA2 algoritması'sında *PMX* çaprazlama ve *OX* çaprazlama adlı geliştirilen iki çaprazlama yöntemi kullanılmıştır. Bu algoritma'daki bireylerin çaprazlama oranı ise “**aco**” ile belirtilmiştir.

PMX çaprazlama operatörü

Bölüm 3.6.7'de tanımlanan bu operatörün, işçi ataması toplumunda yer alan iki ebeveyn kromozomun bu yöntemle çaprazlanması Şekil 5.19'de gösterilmiştir. Bu örnekte çaprazlama noktası rastgele olarak 1. ve 2. gen sonrası olarak belirlenmiştir. Bu problemdeki iş ataması bir havuzdan yapıldığından dolayı yani tam permutasyon uygulanmadığından dolayı Şekil 5.19 Ebeveyn A'da olduğu gibi atama bazı genler Çocuk A'ya aktarılamayabilmektedir. Bu olayın sebebi Ebeveyn B'nin çaprazlama noktaları arasında kalan bireyinin Ebeveyn A'da yer almamasıdır.

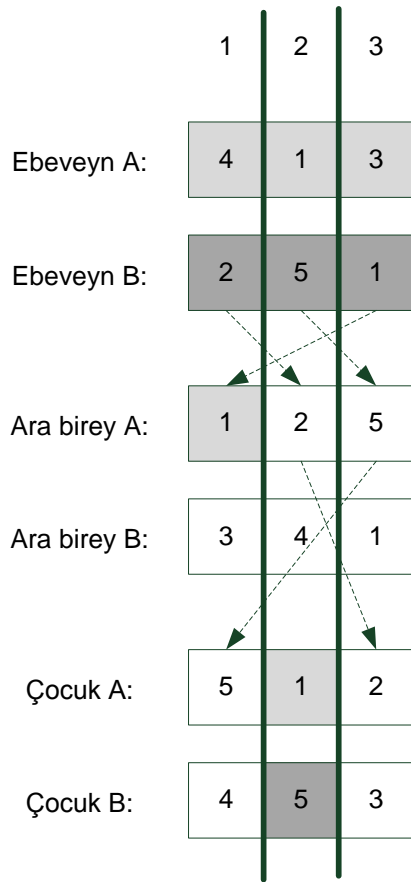


Şekil 5.19 İşçi ataması PMX çaprazlama işlemi

OX çaprazlama operatörü

Bölüm 3.6.7'de tanımlanan bu operatörün, işçi ataması toplumunda yer alan iki ebeveyn kromozomun bu yöntemle çaprazlanması örneği Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Bu örnekte çaprazlama noktası rastgele olarak 1. ve 2. gen sonrası olarak belirlenmiştir. Bu problemdeki iş ataması bir havuzdan yapıldığından dolayı yani tam permutasyon uygulanmadığından dolayı Şekil 5.20 Arabirey B'de olduğu gibi atama soldan başlamakta ancak tüm atanmamış elemanlar atanamayabilmektedir. Şekil 5.20 Arabirey B'deki son gende yer alan 1. işçi çaprazlama sonrası oluşan Çocuk B'de yeterli boş gen

kalmadığından atanamamıştır. Bu olayın sebebi Ebeveyn B'nin çaprazlama noktaları arasında kalan bireyinin Arabirey B'de yer almamasıdır.



Şekil 5.20 İşçi ataması OX çaprazlama işlemi

5.2.2.7 Mutasyon

Bu çalışmada GA2 algoritmasındaki bireylerin mutasyon oranı “**amo**” ile belirtilmiştir.

Seçim mekanizması ile (*toplum büyüklüğü – elitizmle üretilen birey sayısı*) / 2 kadar çift elde edildiğinden dolayı algoritma içersinde mutasyon görebilecek bireylerin beklenen değeri eşitlik 5.10 de ifade edilmiştir. Oluşturulan çiftlerden bir genin mutasyon işlemine tabii tutulup tutulmayacağı belirlenmesi için her çift için 0-1 arasında bir rassal sayı oluşturulur. Oluşturulan rassal sayı değeri “*uco*2*” değerinden düşük çıkması durumunda çiftten bir birey belirlenen mutasyon operatörüne tabii tutulur. Çiftten hangi bireyin mutasyona uğrayacağı belirlenmesi için 0-1 arasında bir rassal sayı daha oluşturulur. Oluşturulan rassal sayının 0,5'ten küçük çıkması

durumunda birinci ebeveyn, aksi durumda ikinci ebeveyn mutasyon operatörüne tabii tutulur.

$$B[Mut]=amo \times (\text{alt toplum büyüklüğü} - \text{elitizmle üretilen birey sayısı}) \quad (5.10)$$

Seçim havuzundan seçilmiş bireyler bir sonraki topluma aktarılırken sadece çaprazlama operatörüne uğramış olabilir, sadece mutasyon operatörüne uğramış olabilir, hem çaprazlama hem mutasyon operatörüne uğramış olabilir veya her iki operasyona da uğramamış olabilmektedir. Bu durumlara ilişkin beklenen değerler eşitlik 5.11’da gösterilmiştir.

- Sadece çaprazlama işlemine tabii tutulan çift sayısının beklenen değeri

$$B[Cap]=(aco \times (1-amo)) \times (\text{alt toplum büyüklüğü} - \text{elitizmle üretilen birey sayısı}) \quad (5.11-a)$$

- Sadece mutasyon işlemine tabii tutulan çift sayısının beklenen değeri

$$B[Mut]=((1-aco) \times amo) \times (\text{alt toplum büyüklüğü} - \text{elitizmle üretilen birey sayısı}) \quad (5.11-b)$$

- Çaprazlama ve Mutasyon işlemine tabii tutulan çift sayısının beklenen değeri

$$B[Cap,Mut]=(aco \times amo) \times (\text{alt toplum büyüklüğü} - \text{elitizmle üretilen birey sayısı}) \quad (5.11-c)$$

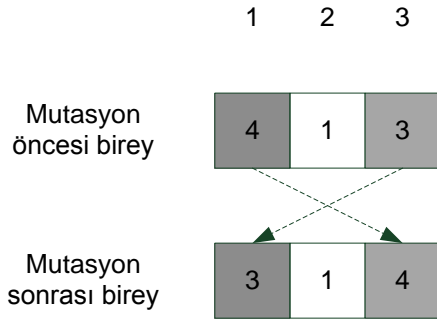
- Çaprazlama ve Mutasyon işlemine tabii tutulmayan çift sayısının beklenen değeri (Çiftlerin aynen yeni nesle aktarılması)

$$B[Cap]=((1-aco) \times (1-amo)) \times (\text{alt toplum büyüklüğü} - \text{elitizmle üretilen birey sayısı}) \quad (5.11-d)$$

Bu çalışmanın Alt Algoritma’sında “İkili yer değiştime” (SWAP) ve “Yerine Koyma” (Replacement) adlı literatürde geliştirilen iki mutasyon yöntemi araştırılmıştır.

İkili yer değiştirme operatörü (SWAP)

şekil 5.21’de örnek bir ikili yer değiştirme operatörü uygulaması yer almaktadır. Rastgele olarak 1. ve 3. gen seçilmiştir.



şekil 5.21 İşçi ataması ikili yer değiştirme operatörü işlemi

Yerine Koyma (Replacement)

Bilindiği gibi bu bölümde incelenen örnek problemde işçi havuzunda 5 adet işçi yer almaktadır. Mutasyon için seçilen gendeki işçinin yerine mevcut gende yer almayan bir işçi rastgele olarak seçilmektedir. şekil 5.22’de örnek bir ikili yer değiştirme operatörü uygulaması yer almaktadır. Rastgele olarak 2. gen mutasyon için seçilmiştir.



şekil 5.22 İşçi ataması yerine koyma operatörü işlemi

Örnek mutasyon işleminde mutasyon için seçilen 2. gende yer alan 1 numaralı işçi yerine şekil 5.22’te gösterildiği gibi 2. veya 5. işçi atabilir. Örnek kromozomun oluşturulması için 1/2 (%50) seçilme şansına sahip bu adaylardan “2.” işçi rastgele (monte carlo similasyon yapısı yardımıyla) seçilmiştir.

5.2.2.8 Durdurma kriteri

Bölüm 3’de bahsedildiği üzere genetik algoritmalarının hesaplama işlemlerinin sona ermesi için tanımlanan bir durdurma kriterine ulaşması gerekmektedir. Bu çalışmada durdurma kriteri olarak her bir modele özgü olarak belirlenen toplam iterasyon sayısına ulaşılması, uygunluk değerinin en iyi çözüm olan 0’a ulaşması, bulunan en iyi çözümün toplam iterasyon sayısının %25’i kadar tekrar etmesi şeklinde belirlenmiştir. İterasyon sayısı literatürdeki yöntemlerden yararlanılarak bir sonraki bölümde yer alan deneysel çalışmalarla belirlenmektedir.

Genetik algoritmalar etkili arama araçları olmakla beraber fazla sayıda parametreye karşı oldukça duyarlıdır. Parametrelerin etkisini küçümsemek uzun süreli denemelere rağmen çözümlerde iyileşme gerçekleşmemesine neden olabilir. Bazen programlama hatalarına veya yanlış seçilen parametrelere rağmen genetik algoritmalar etkili çözümler üretebilse de, bazı durumlarda da durum tam tersine dönüşebilmektedir. Bu noktada, GA geliştiricisinin evrimsel işlemleri yöneten parametre tasarımlarına gereken özeni göstermesi fazlasıyla önemli olmaktadır.

5.3 Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde, Montaj Hattı İşçi Atama ve Dengeleme problemlerinin Genetik Algoritmalarla çözülmesi için geliştirilen yöntemde kullanılan operatörlerin en uygun kombinasyonunu ve bu operatörlerin parametrelerini belirlemek için yapılan deney tasarımı ve sonuçları incelenmektedir.

Bir GA’nın performansı kullanılan seçim mekanizması ve genetik operatörler ile birlikte toplum büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve durdurma kriteri gibi kontrol parametrelerine çok bağlıdır. Bu nedenle, bir problemin çözümü için GA kullanılmadan önce bu parametrelerin en iyi kombinasyonunun belirlenmesi gerekir. Bu kombinasyonların belirlenmesi için parametre testleri uygulanmaktadır.

Parametre testleri iki alternatif test yaklaşımı ile yapılabilmektedir. Birinci yaklaşımda, bir parametre sürekli değiştirilirken, diğer parametreler sabit tutulmaktadır. Her parametre diğer parametrelerin sabitliğinde değiştirilerek denenmektedir. Bu yöntemle, her parametrenin en iyi değerine ulaşılması amaçlanmaktadır. İkinci yaklaşım

ise, parametrelerin farklı değerlerinin birbirleriyle farklı kombinasyonlarda birleşmesiyle ortaya çıkan sonuçların karşılaştırılmasına dayalıdır. Genetik algoritmalarda bir parametredeki değişikliğin diğer parametrelerin performansı üzerinde de değişiklik yapma ihtimali yüksek olduğu için, birinci yaklaşımın daha az gerçekçi sonuçlar ortaya çıkaracağı düşünülmüştür. Bu sebeple bu çalışmada ikinci yaklaşımın kullanması tercih edilmiştir.

Geliştirilen iki aşamalı genetik algoritma modelinin GA1 ve GA2 algoritmalarında olmak üzere toplam 18 farklı parametre kullanılmıştır. Tablo 5.13’de görüldüğü gibi her parametre için farklı 2 seviye belirlenmiştir. Belirlenen performans kriteri nedeniyle deneysel tasarım özelinde GA1 iterasyon sayısı eş olarak alınmıştır.

Tablo 5.13 MHIADP-GA Kullanılan faktörler ve seviyeleri

			Seviyeler	
Parametreler	Kod	İsim	1. Seviye	2. Seviye
	A	GA1Toplum Büyüklüğü	2 katı	5 katı
	B	GA1 İterasyon Sayısı	1000	1000
	C	GA1 Algoritma Seçimi	Rulet	Turnuva
	D	GA1 Elit Oranı	0.01	0.02
	E	GA1 Çaprazlama Oranı	0.5	0.7
	F	GA1 Çaprazlama Taktiği	Tek sol	Tek Sağ
	G	GA1 Mutasyon Oranı	0.05	0.1
	H	GA1 Mutasyon Taktiği	SM	SSM
	I	GA1 S. Sapma Katsayısı	2	3
	J	GA2Toplum Büyüklüğü	2 katı	5 katı
	K	GA2 İterasyon Sayısı	20	50
	L	GA2 Algoritma Seçimi	Rulet	Turnuva
	M	GA2 Elit Oranı	0.01	0.02
	N	GA2 Çaprazlama Oranı	0.5	0.7
	O	GA2 Çaprazlama Taktiği	OX	PMX
	P	GA2 Mutasyon Oranı	0.05	0.1
	R	GA2 Mutasyon Taktiği	Swap	Replacement
S	GA2 Standart Sapma Katsayısı	2	3	

Tablo 5.13’de görülen parametrelerin alt seviyeleriyle birlikte tüm kombinasyonları birer kere yapabilmek için $2^{18}=262144$ adet deneye gerek vardır. Her parametre setinin rassallık içeren deneylerde farklı performans sergileyebilmesi nedeniyle, parametre setleri birden fazla sayıda denenmeli ve ortaya çıkan sonuçların ortalaması dikkate alınmalıdır. Her parametre setinin beşer kere deneneceği düşünülürse, toplam $5*262144=1310720$ adet deney yapılması gerekmektedir. Altıncı bölümde anlatılan iki aşamalı genetik algoritma yöntemi Intel Core2Duo 2.0 Ghz hızındaki bir işlemcide uygulandığında; bu bölümde verilen 45 operasyona, 5 iş istasyonuna ve 10 işçiye sahip bir montaj hattına uygulandığında, bir parametre setinin sonuç üretme zamanı ortalama yaklaşık 20 dakika olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle 1310720 adet deneme $1310720*20= 26214400$ dakika = 436906,5 saat = 18204 gün \approx 49.87 yıl sürecektir. Bu süre değerleri bu problem seti için tam faktörlü parametre testi yapılmasını olanaksız hale getirmektedir. Bu nedenle bu çalışmada geliştirilen yöntem için uygun operatörleri ve bunların parametre setleri Taguchi deney tasarımı ile belirlenmiştir.

MHİADP-GA, Matlab R2007a programlama dili ile kodlanmış ve etkinlik ölçüsü olarak çözüm zamanına ulaşma süresi dikkate alınmıştır. Bu çalışmada gerçekleştirilen deneylerde; montaj hattı etkinliğinin kıyaslama ölçütü olarak ele alınmasının uygun bir yöntem olmadığı görülmüştür. Farklı deney setlerinin hemen hemen aynı etkinliğe ulaşabilmesi nedeniyle etkinlik ölçütü, en iyi çözüme ulaşma süresi olarak ele alınmıştır. Yani parametre setleriyle en uygun çözüme en kısa sürede götüren kombinasyonun tespit edilmesi amaçlanmaktadır.

Bu amaçla; BMHDP’inde en iyi çözümü tam denge olarak bilinen bir test problemi (Kilbridge 45) MHİADP’ine uyarlanmıştır. Bu test probleminin sahip olduğu operasyon süreleri MHİADP’nin en düşük operasyon süreleri olarak ele alınmıştır. Test probleminin en iyi (tam denge) çözümünde istasyonlara atanan operasyonlar test edilmiş ve bu operasyonlara ilişkin süreler belli işçilerde en küçüklenmiştir. Bu sayede test probleminin kesin çözümü ortaya konulmuş ve sonuçların karşılaştırılabilmesi garanti altına alınmıştır. Ayrıca bu yolla çözüm sürelerine göre deney testlerin değerlendirilmesi konusundaki en iyi çözüm şüpheleri ortadan kaldırılmış olmaktadır.

EK 2’de 45 operasyona sahip Kilbridge-45 BMHD test probleminin orijinal hali verilmiştir. Tablo 5.14’de bu test probleminin 5 iş istasyonu ile en düşük çevrim süresi

olan 104 (bu değer problemin olası en düşük çevrim süresi olan Alt-Sınır değerine eşittir) dakikaya tam dengeyle ulaştığı operasyon ataması verilmiştir.

Tablo 5.14 Kilbridge-45 tam denge durumu

İstasyon	Tam Denge operasyonlar						İstasyon Zamanları
1	39 13	12 43	11 15	1 24	7	37	104
2	2 29	4	3	8	14	25	104
3	16 23	17 31	6 30	18 27	32	19	104
4	33 28	26 9	20	5	34	21	104
5	41 35	36 10	22 45	38 40	42	44	104

Problemin uyarlanmış versiyonunda montaj hattının çevrim süresinin Alt Sınır değeri olan 104 dakikada tam dengeye ulaştığı bilindiğinden modelin üst algoritmasındaki iterasyon yükseltilerek farklı testlerde de daha etkin bir kıyaslama için tam çözüm garanti altına alınmıştır. Bu sebeple modelin GA1 lgoritmasında etkin olan durdurma kriteri iterasyon sayısından ziyade (iterasyon sayısının 1000 alınmasından dolayı) uygunluk fonksiyonunun tam denge durumu olan “0” değerine ulaşmasıdır. Belirlenen iterasyonun sayısında tam dengeye ulaşamayan parametre setleri Alt Sınır değerinin artırılması ile elde edilen çevrim sürelerinde mutlaka tam dengeye ulaşacaktır. Ancak bu durumlarda deney setlerinde ki kıyaslama ölçütü olan süre değerleri katlanarak artacaktır. Bu durumda bu deney setlerinin etkinliğini oldukça düşüreceklerdir.

Yukarıdaki bölümde bahsedildiği gibi MHİADP-GA’ında aynı çözümü üretmesi hedeflenmektedir. BMHD test probleminin, MHİADP’ine dönüştürülmesi amacıyla 10 kaynağa sahip bir işçi havuzu probleme entegre edilmiştir. Daha anlaşılır bir karşılaştırma amaçlı olarak; en iyi çözümdeki 1. iş istasyonuna 2. işçinin, 2. iş istasyonuna 3. işçinin, 3. iş istasyonuna 5. işçinin, 4. iş istasyonuna 1. İşçinin ve 5. iş istasyonuna 10. işçinin atanması planlanmıştır. Bu amaçla BMHD’nin en iyi çözümünde bu istasyonlara atanan operasyonlara ilişkin süreler belirlenen işçilerde MHİADP’de BMHD’nin sahip olduğu sürelerle aynı alınmıştır. Operasyonların atandığı işçiler dışındaki işçilere bu operasyonlar için daha yüksek süreler rassal olarak

verilmiştir. Bu sayede bu problemin en iyi çözümündeki işçi atamasının bilinirliği sağlanmıştır.

EK 3’de Kilbridge 45 test probleminin 10 işçi havuzuna sahip MHİADP için düzenlenmiş hali yer almaktadır. EK3’de verilen Tablo’da operasyonların orijinal süre değerleri yani MHİADP’deki operasyonların en küçük süreleri koyu ile gösterilmiştir. Tablo 5.15’de ise MHİADP için uyarlanmış bu test probleminin 5 iş istasyonu 10 kaynaklı işçi havuzunda beklenen en düşük çevrim süresi olan 104 dakikaya tam dengeyle ulaşması durumunda beklenen operasyon ve işçi ataması verilmiştir.

Tablo 5.15 Beklenen işçi ataması durumu

İstasyon	İşçi	Tam Denge operasyonlar						İstasyon Zamanları
1	4	39	12	11	1	7	37	104
		13	43	15	24			
2	2	2	4	3	8	14	25	104
		29						
3	3	16	17	6	18	32	19	104
		23	31	30	27			
4	1	33	26	20	5	34	21	104
		28	9					
5	9	41	36	22	38	42	44	104
		35	10	45	40			

Taguchi deney tasarımında ortogonal diziler kullanılarak tam faktörlü parametre testi tasarımına göre çok daha az deneme ile faktörlerin (parametrelerin) en uygun kombinasyonunun belirlenmesi mümkündür. Bu çalışmada çok faktörlü testlere uygunluğu nedeniyle Taguchi’ nin L32 tablosu kullanılmıştır. EK 4’de 18 parametre ve 2 seviye için hazırlanmış Taguchi L32 tablosu yer almaktadır. Bu tabloda yer alan otuz iki adet parametre seti beşer kez deneme gerçekleştirildiğinde; toplam $32 \times 5 = 160$ deneme ile parametrelerin en uygun kombinasyonunun belirlenmesi mümkündür. EK 4’de verilen tablodaki parametrelere numaralarının yerine Tablo 5.13’de verilen modeldeki parametre ve seviyelerinin konulması gerekmektedir.

EK 5’de hazırlanan deney setlerin geliştirilen bilgisayar yazılımında 5’er kez denenmesiyle elde edilen sonuçlar yer almaktadır. EK5’de yer alan “No” sütunu Taguchi L32 tablosundaki deney setlerini, “Seviyeler (A, B ,... S)” sütunu testte kullanılan parametre seviyelerini, “D1” sütunu birinci deney çözüm süresini, “D2”

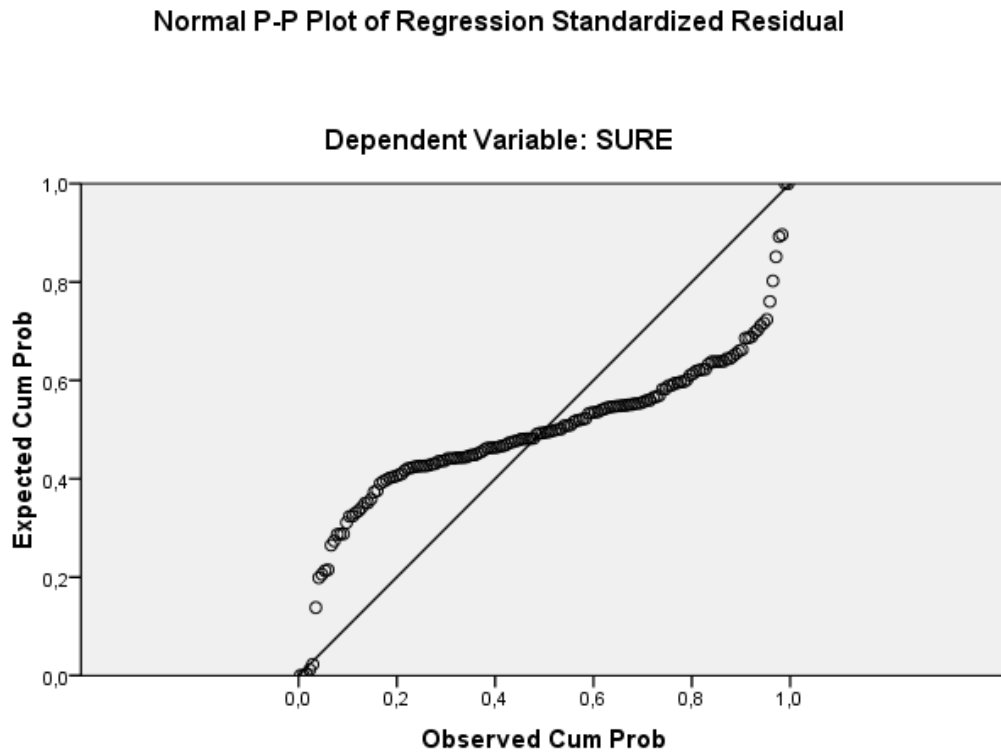
sütunu ikinci deney çözüm süresini, “D3” sütunu üçüncü deney çözüm süresini, “D4” sütunu dördüncü deney çözüm süresini, “D5” sütunu beşinci deney çözüm süresini, “Ort Süre” sütunu gerçekleştirilen 5 deneyin ortalamasını, “SS” sütunu gerçekleştirilen 5 deneyin standart sapmasını ve “Ort F” sütunu gerçekleşen 5 deneyin uygunluk değerleri ortalamasını vermektedir.

EK 6’ da parametre seti sonuçları çözüme (tam dengeye) ulaşma süresi ortalamalarına göre küçükten büyüğe doğru sıralanarak gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre; gerçekleştirilen denemelerde en iyi çözüme en kısa sürede 30. parametre seti götürmüştür. Bu nedenle, yapılan denemelerde en iyi sonucu model için GA1Toplum Büyüklüğü: operasyon sayısının 5 katı, GA1 İterasyon Sayısı: 1000 iterasyon, GA1 Algoritma Seçimi: Rulet tekeri seçimi, GA1 Elit Oranı: 0.01, GA1 Çaprazlama Oranı: 0.5, GA1 Çaprazlama Taktiği: Tek noktalı soldan çaprazlama, GA1 Mutasyon Oranı: 0.1, GA1 Mutasyon Taktiği: SSM, GA1 S. Sapma Katsayısı: 2, GA2 Toplum Büyüklüğü: havuzdaki işçi sayısının 2 katı, GA2 İterasyon Sayısı: 50 iterasyon, GA2 Algoritma Seçimi: Rulet tekeri seçimi, GA2 Elit Oranı: 0.02, GA2 Çaprazlama Oranı: 0.7, GA2 Çaprazlama Taktiği: OX, GA2 Mutasyon Oranı: 0.1, GA2 Mutasyon Taktiği: Swap, GA2 Standart Sapma Katsayısı: 2 olduğu, 30. parametre seti vermiştir.

Taguchi deney tasarımı ile elde edilen sonuçlarına göre parametre seviyelerinin etkilerini belirlemek amacıyla parametre seviyeleri ortalaması kullanılmıştır. EK 7’de parametre seviyelerine göre sonuç süresi ortalaması ve parametrelerin algoritmanın performansına etkisine göre bir sıralaması verilmektedir. Bu tabloya göre GA1 Toplum büyüklüğü seviyesinin değiştirilmesi sonuç süresi üzerinde en büyük etkiyi yaratmaktadır. EK 8’de parametre seviyeleri için ortalama grafikleri yer almaktadır.

İlgilenilen performans ölçütüne ilişkin veriler SPSS 16.0 programlama diline girilerek parametre ve parametre etkileşimleri için gerekli grafikler elde edilmiştir. Şekil 5.23’de tam dengeye ulaşma süresi için normal olasılık grafiği yer almaktadır. Normal olasılık grafiğinde ortalama etkileri temsil edecek şekilde bir doğru çizilerek, doğrudan uzaklaşan noktaların tam dengeye ulaşma süresinin ortalamadan uzaklaşmasına neden olan muhtemel parametre veya etkileşimlerin olduğu görülebilmektedir. Bir normal olasılık dağılımından beklenen ise doğrudan en az sapmanın olduğu simetrik bir dağılımın sergilenmesidir. Bu durum, tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkili olan

parametre veya etkileşimleri göstermekle birlikte hangi parametrenin hangi seviyede tutulması gerektiğini göstermemektedir.



Şekil 23 5.23 Tam dengeye ulaşma süresi için normal olasılık grafiği

Ayrıca söz konusu olan performans ölçütü için kritik olan parametre ve etkileşimlerinin belirlenmesi amacıyla varyans analizi (ANOVA) de gerçekleştirilmiştir. EK 9'da %95 güven seviyesinde parametrelere etkileri ANOVA testi üzerinde gösterilmiştir. %5 anlam düzeyinde gerçekleştirilen ANOVA testi sonucuna göre geliştirilen modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde parametrelerin etkisi olduğu söylenebilmektedir. Test sonucuna göre parametrelerin performans ölçütü üzerindeki etkisi aşağıda incelenmiştir.

A. GA1Toplum Büyüklüğü

Geliştirilen modelde GA1 toplum büyüklüğünün modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,000 < 0,05$ olduğundan dolayı GA1 toplum büyüklüğünün performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olduğu söylenebilmektedir. GA1

toplum büyüklüğü çözüm uzayında gerçekleştirilen anlık arama boyutunu doğrudan etkilediğinden bu etkililik beklenen bir sonuçtur.

B. GA1 İterasyon Sayısı

Geliştirilen modelde GA1 iterasyon sayısının modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,384 > 0,05$ olduğundan dolayı GA1 iterasyon sayısının performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olmadığı söylenebilmektedir. Durdurma kriteri bu test probleminde uygunluk fonksiyonu değerinin 0 olması olarak ele alındığından, 1000 iterasyona ulaşmadan algoritma sonlanmıştır. Denemelerde gözlemlenen en yüksek iterasyon sayısı 105 iken en erken çözümler 1. itearasyonda karşılaşılmıştır.

C. GA1 Algoritma Seçimi

Geliştirilen modelde GA1 algoritma seçiminin modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,339 > 0,05$ olduğundan dolayı GA1 algoritma seçiminin performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olmadığı söylenebilmektedir.

D. GA1 Elit Oranı

Geliştirilen modelde GA1 elit oranının modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,071 > 0,05$ olduğundan dolayı GA1 elit oranının performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olmadığı söylenebilmektedir.

E. GA1 Çaprazlama Oranı

Geliştirilen modelde GA1 çaprazlama oranının modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,059 > 0,05$ olduğundan dolayı GA1 çaprazlama oranının performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olmadığı söylenebilmektedir.

F. GA1 Çaprazlama Taktiği

Geliştirilen modelde GA1 çaprazlama taktiğinin modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi

yapılmıştır. $0,256 > 0,05$ olduğundan dolayı GA1 çaprazlama taktiğinin performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olmadığı söylenebilmektedir.

G. GA1 Mutasyon Oranı

Geliştirilen modelde GA1 mutasyon oranının modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,044 < 0,05$ olduğundan dolayı GA1 mutasyon oranının performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olduğu söylenebilmektedir. Ancak bu etki oldukça düşük bir düzeyde gerçekleşmektedir.

H. GA1 Mutasyon Taktiği

Geliştirilen modelde GA1 mutasyon taktiğinin modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,178 > 0,05$ olduğundan dolayı GA1 mutasyon taktiğinin performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olmadığı söylenebilmektedir. Mutasyon oranı etkili bir parametre iken mutasyon taktiğinin etkili bir parametre olmamasının sebebi test edilen mutasyon taktiklerinin benzer geliştirilen taktikler olması söylenebilir.

I. GA1 S. Sapma Katsayısı

Geliştirilen modelde GA1 standart sapma katsayısının modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,07 > 0,05$ olduğundan dolayı GA1 standart sapma katsayısının performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olmadığı söylenebilmektedir. GA1 için seçim yöntemi etken bir faktör olmadığından dolayı ss katsayısında etkili bir parametre olmadığı söylenebilir.

J. GA2Toplum Büyüklüğü

Geliştirilen modelde GA2 toplum büyüklüğünün modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,004 < 0,05$ olduğundan dolayı GA2 toplum büyüklüğünün performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olduğu söylenebilmektedir. GA2 toplum büyüklüğü çözüm uzayında gerçekleştirilen anlık arama boyutunu doğrudan etkilediğinden bu etkililik beklenen bir sonuçtur.

K. GA2 İterasyon Sayısı

Geliştirilen modelde GA2 iterasyon sayısının modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,005 < 0,05$ olduğundan dolayı GA2 toplum büyüklüğünün performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olduğu söylenebilmektedir. GA2 toplum büyüklüğü GA2’de etkin olan durdurma kriterini oluşturduğundan bu etkililik beklenen bir sonuçtur.

L. GA2 Algoritma Seçimi

Geliştirilen modelde GA2 algoritma seçiminin modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,02 < 0,05$ olduğundan dolayı GA2 algoritma seçiminin performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olduğu söylenebilmektedir.

M. GA2 Elit Oranı

Geliştirilen modelde GA2 elit oranını büyüklüğünün modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,07 > 0,05$ olduğundan dolayı GA2 elit oranı büyüklüğünün performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olmadığı söylenebilmektedir.

N. GA2 Çaprazlama Oranı

Geliştirilen modelde GA2 çaprazlama oranının tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,021 < 0,05$ olduğundan dolayı GA2 çaprazlama oranının performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olduğu söylenebilmektedir.

O. GA2 Çaprazlama Taktiği

Geliştirilen modelde GA2 çaprazlama taktiğinin modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,016 < 0,05$ olduğundan dolayı GA2 çaprazlama taktiğinin performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olduğu söylenebilmektedir.

P. GA2 Mutasyon Oranı

Geliştirilen modelde GA2 mutasyon oranının modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,07 > 0,05$ olduğundan dolayı GA2 mutasyon oranının performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olmadığı söylenebilmektedir.

R. GA2 Mutasyon Taktiği

Geliştirilen modelde GA2 mutasyon taktiğinin modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,055 > 0,05$ olduğundan dolayı GA2 mutasyon taktiğinin performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olmadığı söylenebilmektedir.

S. GA2 Standart Sapma Katsayısı

Geliştirilen modelde GA1 standart sapma katsayısının modelin tam dengeye ulaşma süresi üzerinde etkisi olmadığı üzerine %5 anlam seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. $0,908 > 0,05$ olduğundan dolayı GA1 standart sapma katsayısının performans ölçütü üzerinde etkili bir parametre olmadığı söylenebilmektedir.

Yapılan analizler sonucunda deney problemi için etkili parametrelerin ve bunların seviyeleri şu şekilde belirlenmiştir: GA1Toplum Büyüklüğü: operasyon sayısının 10 katı, GA1 Mutasyon Oranı: 0.1, GA2 Toplum Büyüklüğü: havuzdaki işçi sayısının 5 katı, GA2 İterasyon Sayısı: 50 iterasyon, GA2 Algoritma Seçimi: Turnuva seçimi, GA2 Çaprazlama Oranı: 0.7, GA2 Çaprazlama Taktiği: PMX. İlgili parametrelerin verilen seviyelerinin parametreler arasında etkileşim olmadığı varsayımı altında performans ölçütü olumlu olarak etkilediği söylenebilmektedir.

Böylece Montaj Hattı İşçi Atama ve Dengeleme Problemi (MHİADP) olarak adlandırılan yeni bir problemin çözümü için geliştirilen algorithmada yer alan genetik algoritmalar için parametrelerin ve seviyelerinin çözüm üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Geliştirilen algoritmanın, problemin çözümü için etkin sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde yeni bir montaj hattı dengeleme problemi tipi olan montaj hattı işçi atama ve dengeleme problemi için (MHİADP) için genetik algoritmalara dayalı bir algoritma geliştirilmiştir. MHİAD probleminde amaç tanımlanmış bir montaj hattı için, farklı yetilere sahip işçi kaynaklarının montaj hattında oluşturulan iş istasyonlarına; çevrim süresini en düşükleyecek ve bununla birlikte istasyonların hat dengesini en iyi kuracak şekilde atanmasıdır.

Bu tezde montaj hattı dengeleme problemlerinin ve bu montaj hatlarındaki işçi atama problemlerinin eş zamanlı olarak çözülmesine yönelik olarak iç içe iki aşamalı bir GA modeli (MHİADP-GA) hazırlanmıştır. Modelde birinci aşamada yer alan GA en iyi operasyon sırasını belirlemeye çalışırken, ikinci aşamada yer alan GA istasyonlara en uygun işçi atamasını belirlemeye çalışmıştır.

Bu tezde geliştirilen MHİADP-GA'nın birinci aşamasında yer alan GA'da çözümü gösteren kromozom öncelik ilişkileri daima korunan operasyonların sırasını gösteren bir permutasyon yapısıyla oluşturulmuştur. MHİADP-GA'nın ikinci aşamasında yer alan GA'da çözümü gösteren kromozom, işçi havuzundan istasyonlara atanan işçilerin numarasını gösteren bir permutasyon yapısıyla oluşturulmuştur. Bir GA'nın performansı kullanılan seçim mekanizması ve genetik operatörler ile birlikte toplum büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve durdurma kriteri gibi kontrol parametrelerinden etkilenmektedir. Bu nedenle bu çalışmada parametrelerin en iyi kombinasyonunun belirlenmesi amacıyla, süresel kısıtlarlar nedeniyle bu çalışmada kullanılmayan tam faktörlü deney yerine Taguchi deney tasarımından faydalanılmıştır.

MHİADP-GA'da var olan kontrol parametrelerinin test edilebilmesi amacıyla; BMHDP'inde en iyi çözümü tam denge olarak bilinen bir test problemi (Kilbridge 45) MHİADP'ine uyarlanmıştır. Bu test probleminin sahip olduğu operasyon süreleri MHİADP'nin en düşük operasyon süreleri olarak ele alınmıştır. Test probleminin en iyi (tam denge) çözümünde istasyonlara atanan operasyonlar test edilmiş ve bu operasyonlara ilişkin süreler belli işçilerde en küçüklenmiştir. Bu sayede test

probleminin kesin çözümü ortaya konulmuş ve sonuçların karşılaştırılabilmesi garanti altına alınmıştır.

MHIADP-GA, Matlab R2007a programlama dili ile kodlanmış ve etkinlik ölçüsü olarak çözüm zamanına ulaşma süresi dikkate alınmıştır. Bu çalışmada gerçekleştirilen deneylerde; montaj hattı etkinliğinin kıyaslama ölçütü olarak ele alınmasının uygun bir yöntem olmadığı görülmüştür. Farklı deney setlerinin hemen hemen aynı etkinliğe ulaşabilmesi nedeniyle etkinlik ölçütü, en iyi çözüme ulaşma süresi olarak ele alınmıştır. Yani parametre setleriyle en uygun çözüme en kısa sürede götüren kombinasyonun tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda farklı çözüm sürelerinde tüm kombinasyonlar, olası en düşük çevrim süresinde tam dengeye ulaşmışlardır. Bu deneyler sonucunda GA1 Toplum Büyüklüğü: operasyon sayısının 5 katı, GA1 İterasyon Sayısı: 1000 iterasyon, GA1 Algoritma Seçimi: Rulet tekeri seçimi, GA1 Elit Oranı: 0.01, GA1 Çaprazlama Oranı: 0.5, GA1 Çaprazlama Taktiği: Tek noktalı soldan çaprazlama, GA1 Mutasyon Oranı: 0.1, GA1 Mutasyon Taktiği: SSM, GA1 S. Sapma Katsayısı: 2, GA2 Toplum Büyüklüğü: havuzdaki işçi sayısının 2 katı, GA2 İterasyon Sayısı: 50 iterasyon, GA2 Algoritma Seçimi: Rulet tekeri seçimi, GA2 Elit Oranı: 0.02, GA2 Çaprazlama Oranı: 0.7, GA2 Çaprazlama Taktiği: OX, GA2 Mutasyon Oranı: 0.1, GA2 Mutasyon Taktiği: Swap, GA2 Standart Sapma Katsayısı: 2 olarak alındığında MHIADP-GA'nın performansının en iyi olduğu görülmüştür. Parametrelerin performans ölçütü üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla ANOVA yapılmıştır. Bu analiz sonucunda performans ölçütü üzerinde etkili olan parametrelerin GA1 Toplum Büyüklüğü, GA1 Mutasyon Oranı, GA2 Toplum Büyüklüğü, GA2 İterasyon Sayısı, GA2 Algoritma Seçimi, GA2 Çaprazlama Oranı, GA2 Çaprazlama Taktiği olduğu belirlenmiştir.

Bu tezde bulunan sonuçlar doğrultusunda ileride yapılabilecek çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. MHIADP-GA'nın performansının değerlendirilmesi için literatürde var olan diğer test problemleri de yeni oluşturulan bu probleme dönüştürülmelidir. Bu sayede MHIADP-GA'nın sahip olduğu parametrelerin daha etkin bir şekilde çözüme etkisi değerlendirilebilir.
2. İşçi havuzundaki var olan işçilere ilişkin operasyon süreleri deterministik olarak alınmıştır. Ancak pratikte operasyon süreleri stokastik olarak değişkenlik

göstermektedir. Operasyon sürelerinin stokastik hale getirilmesi ile işçi atamalarının etkinliği artırılabilir.

3. MHİADP-GA'nın etkinliği bu tezde farklı sezgisel yöntemlerle kıyaslanamamıştır. Greedy, Savings, Tabu arama, Tavlama benzetimi gibi farklı sezgisel algoritmaların modelin her iki aşamasında kullanılması ile diğer arama yöntemleri ile MHİADP-GA'nın performansı karşılaştırılabilir.
4. Literatürde MHİADP konusunda gerçek uygulama verileri bulunmadığından dolayı problemin çözümünde kullanılan işçilere ait süre değerleri rassal olarak türetilmiştir. Gerçekleştirilebilecek uygulama çalışması ile bu problemin gerçek süre değerleri ile de problemin çözümüne ulaşılabilir.
5. Modelde birinci aşamasında yer alan GA'nın en iyi operasyon sırasını belirlemeye çalışan kromozom yapısı ile ikinci aşamada yer alan GA'nın istasyonlara en uygun işçi atamasını belirlemeye çalışan kromozom yapısı geliştirilecek yeni bir kromozom yapısı ile aynı kromozom yapısı üzerinde gösterilebilir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Malek, L., Boucher, T.O. (1985) A Framework For The Economic Evaluation Of Production System And Product Design Alternatives For Robot Assembly, **International Journal Of Production Research**, 23: 197-208
- Ağpak, K., Gökçen, H. (2002) Basit U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Programlama Yaklaşımı, **Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi**, 4:29-40
- Anderson, E.J. And Ferris, M.C. (1994) Genetic Algorithms For Combinatorial Optimization: The Assembly Line Balancing Problem, **ORSA Journal On Computing**, 6: 161-173
- Ajenblit, D. A., Wainwright, R. L. (1998). Applying Genetic Algorithms To The U-Shaped Assembly Line Balancing Problem. **In The Proceeding Of The 1998 IEEE International Conference On Evolutionary Computation** (96–101). Anchorage, Alaska, USA.
- Bowman E.H. (1960) Assembly Line Balancing By Linear Programming, **Operations Research**, 8:385-389
- Boysen N., Fliedner M., Scholl A. (2008) Assembly Line Balancing:Which Model To Use When, **European Journal Of Operational Research**,2:509-528
- Bautista, J., Suarez, R., Mateo, M., Companys, R. (2000) Local Search Heuristics For The Assembly Line Balancing Problem With Incompatibilities Between Tasks. **In The Proceedings Of The 2000 IEEE International Conference On Robotics And Automation** (2404–2409). San Francisco, CA.
- Baybars, I. (1986a) A Survey Of Exact Algorithms For The Simple Assembly Line Balancing Problem, **Management Science**, 32, 909–932.
- Baybars, I. (1986b) An Efficient Heuristic Method For The Simple Assembly Line Balancing Problem, **International Journal Of Production Research**, 24(1), 149–166.
- Becker, C., Scholl, A. (2006) A Survey On Problems And Methods In Generalized Assembly Line Balancing, **European Journal Of Operational Research**, 168, 694–715.

- Brown, E. C., Sumichrast, R. T. (2005) Evaluating Performance Advantages Of Grouping Genetic Algorithms, **Engineering Applications Of Artificial Intelligence**, 18, 1–12.
- Brudaru, O., Valmar, B. (2004) Genetic Algorithm With Embryonic Chromosomes For Assembly Line Balancing With Fuzzy Processing Times. The 8th International Research/Expert Conference Trends In The Development Of Machinery And Associated Technology, **TMT 2004**, Neum, Bosnia And Herzegovina.
- Bartholdi, J.J., Eisenstein, D. (1996) A Production Line That Balances Itself, **Operation Research**, 44: 21–33.
- Bukchin, J., Tzur, M. (2000) Design Of flexible Assembly Line To Minimize Equipment Cost, **IJET**, 32: 585–598.
- Baker, J. E. (1985) Adaptive Selection Methods For Genetic Algorithms, **Proceedings Of The International Conference On Genetic Algorithms And Their Applications**, 101–111.
- Brindle, A. (1981) Genetic Algorithms For Function Optimization, Ph.D. Thesis, **University Of Alberta**, Edmonton, USA.
- Booker, L. (1987) Improving Search In Genetic Algorithms, **Morgan Kaufmann Publishers**, San Mateo, California, USA:
- Ccarnahan, B. J., Norman, B. A., Redfern, M. S. (2001) Incorporating Physical Demand Criteria Into Assembly Line Balancing. **IIE Transactions**, 33:875–887.
- Chan, C. C. K., Hui, P. C. L., Yeung, K.W., Ng, F. S. F. (1998) Handling The Assembly Line Balancing Problem In The Clothing Industry Using A Genetic Algorithm. **International Journal Of Clothing Science And Technology**, 10(1), 21–37.
- Chen, R. S., Lu, K. Y., Yu, S. C. (2002) A Hybrid Genetic Algorithm Approach On Multi-Objective Of Assembly Planning Problem. **Engineering Applications Of Artificial Intelligence**, 15: 447–457.
- Corominas, A., Pastor, R., Plans J., (2003) Línea De Montaje Con Tiempos Dependientes Del Tipo De Operario, **Actas 27 Congreso Nacional De Estadísticae Investigación Operativa**, 2789–2795.
- Çakır, B. (2006) Stokastik İşlem Zamanlı Montaj Hattı Dengeme İçin Tavlama Benzetimi Algoritması, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 105s

- Çılkın, S. (2003) Genetik Algoritma İle Montaj Hattı Dengeleme, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara,98s
- Dar-El, E.M. (1973) MALB-A Heuristic Technique For Balancing Large Single-Model Assembly Lines. **AIIE Transactions**, 5(4), 343–356.
- Dar-El, E. M., Rubinovitch, Y. (1979) MUST-A Multiple Solutions Technique For Balancing Single Model Assembly Lines, **Management Science**, 25, 1105–1114.
- Dimopoulos, C., Zalzala, A. M. S. (2000) Recent Developments In Evolutionary Computation For Manufacturing Optimisation: Problems, Solutions And Comparisons, **IEEE Transactions On Evolutionary Computation**, 4(2), 93–113.
- Doerr, K., Klastorin, T.D., Magazine, M.J., (2000) Synchronous Unpaced flow Lines With Worker Differences And Overtime Cost, **Management Science**, 46: 421–435.
- Davis, L. (1991) Handbook Of Algorithms, **Van Nostrand Reinhold**, New York, USA
- Erkut, H., Başkarak, M. (1997) Tesis Tasarımı: Stratejiden Uygulamaya, **İrfan Yayıncılık**, İstanbul, 428s
- Erel, E. (1991) Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Problemi Üzerinde Yapılan Araştırmalar, **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, 3:13
- Erel, E., Sarin, S. C. (1998). A Survey Of The Assembly Line Balancing Procedures, **Production Planning And Control**, 9, 414–434.
- Eiben, A. E., Smith J. E. Introduction To Evolutionary Computing, **Springer**, Berlin, 328s
- Falkenauer, E. (2005) Line Balancing In The Real World, Proceedings Of The International Conference On Product Lifecycle Management PLM 05, **Lumiere University Of Lyon**, France
- Falkenauer, E. (1991) A Genetic Algorithm For Grouping, **In The Proceedings Of The Fifth International Symposium On Applied Stochastic Models And Data Analysis**. Granada, Spain.
- Falkenauer, E. (1997) A Grouping Genetic Algorithm For Line Balancing With Resource Dependent Task Times, **In The Proceedings Of The Fourth International Conference On Neural Information Processing** (464–468), New Zealand.
- Falkenauer, E. (1998) Genetic Algorithms For Grouping Problems, **Wiley**, New York, USA.

- Falkenauer, E., Delchambre, A. (1992) A Genetic Algorithm For Binpacking And Line Balancing. **In The Proceedings Of The 1992 IEEE International Conference On Robotics And Automation** (1189–1192). Nice, France.
- Fang, H L. (1994). Genetic Algorithms In Timetabling And Scheduling, Phd., **University Of Edinburg, USA.**
- Forrest, S. (1985). Documentation For PRISONERS DILEMMA And NORMS Programs That Use Genetic Algorithms. Unpublished Manuscript, **University Of Michichan, Ann Arbor.**
- Ghosh, S., Gagnon, R. J. (1989) A Comprehensive Literature Review And Analysis Of The Design, Balancing And Scheduling Of Assembly Systems. **International Journal Of Production Research**, 27:637–670.
- Goldberg, D. E. (1989) *Genetic Algorithms In Search, Optimization And Machine Learning*. Reading, : **Addison-Wesley, Massachusetts, USA**
- Goncalves, J. F., Dealmedia, J.R. (2002) A Hybrid Genetic Algorithm For Assembly Line Balancing. **Journal Of Heuristic**, 8:629–642.
- Gel, E.S., Hopp, W.J., Van Oyen, M.P. (2002) Factors Affecting Opportunity Of Worksharing As A Dynamic Line Balancing Mechanism, **IJET**, 34: 847–863.
- Graves, S.C., Lamar, B.W., (1983) An Integer Programming Procedure For Assembly System Design Problems, **Operation Research**, 31: 522–545.
- Gen, M., Cheng, R., (2000) *Genetic Algorithms And Engineering Optimization*, **John Wiley & Sons, New York, 522s.**
- Ghedjati, F. (1999). Genetic Algorithms For The Job-Shop Scheduling Problem With Unrelated Parallel Constraints: Heuristic Mixing Method Machines And Precedences, **Computers And Industrial Engineering**, 37:39-42.
- Gillies, A.M. (1985) Machine Learning Procedures For Generating Image Domain Feature Detectors, Phd, **University Of Michigan, Ann Arbor**
- Goldberg, D.E., Lingle, R.Jr., (1985) Alleles Loci and The Traveling Salesman Problem, **Proceedings Of The 1st International Conference On Genetic Algorithms**, 154-159
- Held, M., Karp, R.M., & Shreshian, R. (1963) Assembly Line Balancing-Dynamic Programming With Precedence Constraints, **Operations Research**, 11, 442–459.
- Holland, J. H. (1975) *Adaptation In Natural And Artificial Systems*. **The University Of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, USA**

- Hopp, W.J., Tekin, E., Van Oyen, M.P. (2004) Benefits Of Skill Chaining In Serial Production Lines With Cross-Trained Workers, **Management Science**, 50: 83–98.
- Ignall, E.J. (1965) A Review Of Assembly Line Balancing” **Journal Of Industrial Engineering**,16:4
- Jackson, J.R. (1956) A Computing Procedure For A Line Balancing Problem, **Management Science**, 3:261-271
- Kim, Y.K., Kim, S.J. And Kim, J.Y. (2000) Balancing And Sequencing Mixed-Model U Lines With A Co-Evolutionary Algorithm, **Production Planning And Control**, 8: 754-764
- Karp, R.M. (1972) Reducibility Among Combinatorial Problems, **Complexity Of Computer Applications** (85–104), Plenum Press, New York, USA.
- Kim, Y. K., Kim, Y. J., Kim, Y. H. (1996) Genetic Algorithms For Assembly Line Balancingwith Various Objectives, **Computers & Industrial Engineering**, 30(3), 397–409.
- Kim, Y. J., Kim, Y. K., Cho, Y. (1998a) A Heuristic-Based Genetic Algorithms For Workload Smoothing In Assembly Lines, **Computers & Operations Research**, 25(2), 99–111.
- Kim, Y. K., Kim, Y., Lee, T. O. (1998b) Two-Sided Assembly Line Balancing Models. Working Paper, Department Of Industrial Engineering, **Chonnam National University**, Korea.
- Kim, Y. K., Kim, Y., Kim, Y. J. (2000) Two-Sided Assembly Line Balancing: A Genetic Algorithm Approach, **Production Planning And Control**, 11(1), 44–53.
- Kulluk, S., (2003) Tesis Yerleşim Problemlerinde Genetik Algoritmalar Ve Bir Paralel Genetik Algoritma Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 145s.
- Kulak, O., Yilmaz, I., Günther, H.-O., (2008) A GA-Based Solution Approach For Balancing Printed Circuit Board Assembly Lines, **OR Spectrum**, 30-3: 469-491
- Leu, Y. Y., Matheson, L. A., Rees, L. P. (1994) Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms With Heuristic Generated Initial Populations And Multiple Criteria, **Decision Sciences**, 15:581–606.
- Levitin, G., Rubinovitz, J., Shnits, B. (2006) A Genetic Algorithm For Robotic Assembly Line Balancing, **European Journal Of Operational Research**, 168: 811–825.

- Liepins, G. E., Potter, W. D., Tonn, B.E., Hillard, M. R., Goeltz, R.T., Purucker, S. L. (1990) Diagnosis, Parsimony And Genetic Algorithms, **Engineering Applications Of Artificial Intelligence And Expert Systems**, 1:1-8.
- Monden, Y. (1998) **Toyota Production System – An Integrated Approach To Just-In-Time**, 3rd Ed. Kluwer, Dordrecht
- Mansoor, E.M. (1968) Assembly Line Balancing: A Heuristic Algorithm For Variable Operator Performance Levels, **Journal Of Industrial Engineering**, 19: 618.
- Martinez, U., Duff, W. S. (2004) Heuristic Approaches To Solve The U-Shaped Line Balancing Problem Augmented By Genetic Algorithms. **In The Proceedings Of The 2004 Systems And Information Engineering Design Symposium** (287–293)
- Miltenburg, J. (2002) Balancing And Sequencing Mixed-Model U-Shaped Production Lines, **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, 14:119–151.
- Miralles, C., García-Sabater, J. P., Andrés, C., Cardós, M. (2008) Branch And Bound Procedures For Solving The Assembly Line Worker Assignment And Balancing Problem: Application To Sheltered Work Centres For Disabled, **Discrete Applied Mathematics**, 156 :352 – 367
- Michalewicz, Z., Janikow, C.Z. (1992) A Genetic Algorithm For Numerical Optimization Problems With Linear Constraints, **Cominications Of The ACM**, 39-12
- Noorul Haq, A., Jayaprakash, J., Rengarajan, K. (2006) A Hybrid Genetic Algorithm Approach To Mixed-Model Assembly Line Balancing, **International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, 28, 337–341.
- Nicosia, G., Pacciarelli, D., Pacifici, A. (2002) Optimally Balancing Assembly Lines With Different Workstations, **Discrete Applied Mathematics**, 118:99–113.
- Nabiyev, V. (2005) Yapay Zeka, **Seçkin Yayıncılık**, Ankara, 764s
- Özgörmüş, E. (2007) “Ergonomik Koşullar Altında Montaj Hattı Dengeleme”, Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli
- Peterson, C. (1993) A Tabu Search Procedure For The Simple Assembly Line Balancing Problem. **In The Proceedings Of The Decision Science Institute Conference** (1502–1504). Washington, DC.
- Ponnambalam, S. G., Aravindan, P., Naidu, G., & Mogileeswar, G. (2000) Multi-Objective Genetic Algorithm For Solving Assembly Line Balancing Problem. **International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, 16(5), 341–352.

- Pinto, P.A., Dannenbring, D.G., Khumawala, B.M. (1983) Assembly Line Balancing With Processing Alternatives: An Application, **Management Science**, 29:817–830.
- Pinnoi, A., Wilhelm W.E. (1997) A Family Of Hierarchical Models For Assembly System Design, **International Journal Production Research**, 35:253–280.
- Pinnoi, A., Wilhelm, W.E. (1998) Assembly System Design: A Branch And Cut Approach, **Management Science**, 44: 103–118.
- Rekiek, B. (2000) Assembly Line Design (Multiple Objective Grouping Genetic Algorithm and The Balancing Of mixed-Model Hybrid Assembly Line). Phd Thesis, **Free University Of Brussels**, CAD/CAM Department, Brussels, Belgium.
- Rekiek, B., De Lit, P., Pellichero, F., Falkenauer, E., Delchambre, A. (1999) Applying The Equal Piles Problem To Balance Assembly Lines. **In The Proceedings Of The ISATP 1999** (399–404). Porto, Portugal.
- Rekiek, B., Dolgui, A., Delchambre, A., Bratcu, A. (2002a) State Of Art Of Optimization Methods For Assembly Line Design, **Annual Reviews In Control**, 26:163–174.
- Rekiek, B., De Lit, P., Delchambre, A. (2002b) Hybrid Assembly Line Design And User's Preferences, **International Journal Production Research**, 40:1095–1111.
- Rubinovitz, J., Levitin, G. (1995) Genetic Algorithm For Assembly Line Balancing, **International Journal Of Production Economics**, 41:343–354.
- Rubinovitz, J., Bukchin, J. (1993) RALB-A Heuristic Algorithm For Design And Balancing Of Robotic Assembly Lines, **ACIRP**, 42:497–500.
- Ballinger, G.H., Ross, P. (1993) PGA 2.4 Documentation, **University Of Edinburgh**, USA
- Salveson, M.E. (1955) The Assembly Line Balancing Problem, **The Journal Of Industrial Engineering**, 6(3): 18-25
- Sabuncuoglu, I., Erel, E., Tanyer, M. (2000). Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms, **Journal Of Intelligent Manufacturing**, 11(3), 295–310.
- Scholl, A. (1999). Balancing And Sequencing Of Assembly Lines. **Heidelberg: Physica-Verlag**.
- Scholl, A. Becker, C. (2006). State-Of-The-Art Exact And Heuristic Solution Procedures For Simple Assembly Line Balancing, **European Journal Of Operational Research**, 168: 666–693.

- Simaria, A. S., Vilarinho, P.M. (2001a) A Genetic Algorithm Approach For Balancing mixed model Assembly Lines with Parallel workstations, **In The Proceedings Of The 6th Annual International Conference On Industrial Engineering Theory, Applications And Practice**, San Francisco, USA.
- Simaria, A. S., Vilarinho, P. M. (2001b) The Simple Assembly Line Balancing Problem With Parallel Workstations-A Simulated Annealing Approach, **International Journal Of Industrial Engineering**, 8(3), 230–240.
- Simaria, A. S., Vilarinho, P. M. (2004) A Genetic Algorithm Based Approach To Mixed Model Assembly Line Balancing Problem Of Type II, **Computers And Industrial Engineering**, 47:391–407.
- Stockton, D. J., Quinn, L., Khalil, R. A. (2004a) Use Of Genetic Algorithms In Operations Management Part 1: Applications, **Proceeding Of The Institution Of Mechanical Engineers-Part B: Journal Of Engineering Manufacture**, 218(3), 315–327.
- Stockton, D. J., Quinn, L., Khalil, R. A. (2004b) Use Of Genetic Algorithms In Operations Management Part 2: Results, **Proceeding Of The Institution Of Mechanical Engineers-Part B: Journal Of Engineering Manufacture**, 218(3), 329–343.
- Suresh, G., Sahu, S. (1994) Stochastic Assembly Line Balancing Using Simulated Annealing, **International Journal Of Production Research**, 32(8), 1801–1810.
- Suresh, G., Vinod, V. V., Sahu, S. (1996) A Genetic Algorithm For Assembly Line Balancing, **Production Planning And Control**, 7(1) 38–46.
- Sysverda, G., (1989) Uniform Crossover In Genetic Algorithms, **Proceedings Of The Third International Conference On Genetic Algorithms (2-9)**, Morgan Kaufmann Publishers, Los-Altos, CA, USA.
- Tsujimura, Y., Gen, M. And Kubota, E. (1995) Solving Fuzzy Assembly-Line Balancing Problem With Genetic Algorithms, **Computers And Industrial Engineering**, 29:543-550
- Talbot, F. B., Patterson, J. H., Gehrlein, W. V. (1986) A Comparative Evaluation Of Heuristic Line Balancing Techniques, **Management Science**, 32, 430–454.
- Valente, S. A., Lopes, H. S., Arruda, L. V. R. (2002) Genetic Algorithms For The Assembly Line Balancing Problem: A Real-World Automotive Application, **Soft Computing In Industry - Recent Applications (319–328)**. Berlin: Springer-Verlag

- Varlı, A. (2007) Çok Amaçlı Ve Çok Konumlu Aktarmalı Taşıma Problemlerinin Genetik Algoritma İle Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul
- Yılmaz, M. M. (2006) “Bulanık Operasyon Zamanlı Genenekselleştirilmiş Montaj Hattı Dengeleme Problemi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara

EKLER

EK-1 MHD-GA Problem özelliklerine göre literatür incelemesi

Yıl	Arastirmacilar	Problem Tipi	Amaç Fonk.
1992	Falkenauer & Delchambre	BMHD	Tip-1
1994	Leu ve diğ	BMHD	Tip-1
1994	Anderson & Ferris	BMHD	Tip-2
1995	Rubinovitz & Levitin	BMHD	Tip-2
1995	Tsujimura ve diğ	GMHD (TMMHD)	Tip-1
1996	Kim ve diğ	BMHD	Tip-1,2,3,4,5
1996	Suresh ve diğ	GMHD (TMMHD)	Tip-1
1997	Falkenauer	GMHD (TMMHD)	Tip-1
1998	Ajenblit & Wainwright	GMHD (TMMHD)	Tip-1
1998	Chan ve diğ	GMHD (TMMHD)	Tip-1
1998a	Kim ve diğ	BMHD	Tip-2
1999	Rekiek ve diğ	BMHD	Eş
2000	Bautista ve diğ	BMHD	Tip-1,2
2000	Kim ve diğ	GMHD (TMMHD)	Tip-1
2000	Ponnambalam ve diğ	BMHD	Tip-1,3
2000	Sabuncuoglu ve diğ	BMHD	Tip-1
2001	Carnahan ve diğ	BMHD	Tip-2
2001a	Simaria & Vilarinho	GMHD (KMMHD)	Tip-2
2002	Chen ve diğ	GMHD (Hat Planlaması)	Tip-2
2002	Goncalves & De Almedia	BMHD	Tip-1
2002	Miltenburgn	GMHD (KMMHD)	Tip-1
2002	Valente ve diğ	GMHD (TMMHD)	Tip-2
2004	Brudaru & Valmar	GMHD (TMMHD)	Tip-1
2004	Martinez & Duff	GMHD (TMMHD)	Tip-1
2004	Simaria & Vilarinho	GMHD (KMMHD)	Tip-2
2004a,2004b	Stockton ve diğ	BMHD	Tip-1
2005	Brown & Sumichrast	BMHD	Tip-1
2006	Levitin ve diğ	GMHD (TMMHD)	Tip-2
2006	Noorul Haq ve diğ	GMHD (KMMHD)	Tip-1

EK-2 45 operasyona sahip Kilbridge-45 BMHD test problemi

Operasyon No	Süre (dk)	Öncül 1	Öncül 2	Öncül 3	Öncül 4	Öncül 5	Öncül 6	Öncül 7
1	9	0	0	0	0	0	0	0
2	9	0	0	0	0	0	0	0
3	10	1	0	0	0	0	0	0
4	21	2	0	0	0	0	0	0
5	17	3	0	0	0	0	0	0
6	17	4	0	0	0	0	0	0
7	13	1	0	0	0	0	0	0
8	13	2	0	0	0	0	0	0
9	20	5	7	0	0	0	0	0
10	20	6	8	0	0	0	0	0
11	10	0	0	0	0	0	0	0
12	11	0	0	0	0	0	0	0
13	6	11	12	0	0	0	0	0
14	22	7	8	13	0	0	0	0
15	11	13	0	0	0	0	0	0
16	19	15	0	0	0	0	0	0
17	12	14	0	0	0	0	0	0
18	3	15	0	0	0	0	0	0
19	7	16	18	0	0	0	0	0
20	4	19	0	0	0	0	0	0
21	15	20	0	0	0	0	0	0
22	14	21	0	0	0	0	0	0
23	27	15	0	0	0	0	0	0
24	29	15	0	0	0	0	0	0
25	25	14	0	0	0	0	0	0
26	6	17	25	0	0	0	0	0
27	3	17	0	0	0	0	0	0
28	24	27	0	0	0	0	0	0
29	4	14	0	0	0	0	0	0
30	5	14	0	0	0	0	0	0
31	7	14	0	0	0	0	0	0
32	4	14	0	0	0	0	0	0
33	15	19	23	24	0	0	0	0
34	3	33	0	0	0	0	0	0
35	7	33	0	0	0	0	0	0
36	9	33	0	0	0	0	0	0
37	4	12	0	0	0	0	0	0
38	7	28	34	36	0	0	0	0
39	5	0	0	0	0	0	0	0
40	4	35	38	0	0	0	0	0
41	21	9	25	29	30	31	32	39
42	12	41	0	0	0	0	0	0
43	6	37	0	0	0	0	0	0
44	5	42	0	0	0	0	0	0
45	5	42	0	0	0	0	0	0

EK-3 45 operasyona sahip düzenlenmiş Kilbridge-45 10 işçili MHIAD test problemi

Operasyon No	İşçi 1	İşçi 2	İşçi 3	İşçi 4	İşçi 5	İşçi 6	İşçi 7	İşçi 8	İşçi 9	İşçi 10
1	10	11	12	9	10	11	12	10	10	11
2	11	9	10	14	10	18	11	10	19	12
3	15	10	16	12	21	13	14	12	11	14
4	22	21	24	25	22	22	26	22	22	30
5	17	19	27	22	23	18	38	18	26	19
6	19	19	17	22	24	26	18	19	20	21
7	15	14	14	13	14	14	15	14	14	14
8	14	13	17	14	16	16	14	18	19	19
9	20	24	21	22	45	30	26	22	23	21
10	27	22	33	21	40	24	26	21	20	23
11	13	11	12	10	11	11	11	12	11	12
12	14	12	12	11	15	12	12	12	13	14
13	9	8	7	6	7	7	9	7	7	8
14	23	22	24	25	25	25	26	27	27	28
15	12	13	16	11	18	12	12	13	15	12
16	21	21	19	20	21	22	24	26	20	21
17	13	15	12	16	13	14	16	17	17	13
18	5	6	3	8	4	4	6	4	5	6
19	10	9	7	8	8	9	10	11	10	8
20	4	8	5	6	12	6	5	11	8	9
21	15	18	18	19	16	16	19	25	22	19
22	15	19	24	15	16	17	16	15	14	18
23	28	28	27	29	29	29	29	29	28	30
24	32	31	33	29	30	31	32	31	30	31
25	26	25	28	27	28	26	26	27	29	32
26	6	9	16	26	16	18	9	10	11	13
27	4	4	3	6	7	8	4	5	4	4
28	24	25	29	27	32	48	31	35	27	29
29	6	4	5	7	8	9	10	10	5	8
30	9	6	5	7	6	6	8	9	10	11
31	9	10	7	9	8	8	8	9	9	8
32	5	6	4	8	5	6	9	5	12	6
33	15	17	18	17	16	32	20	21	25	44
34	3	8	9	4	5	5	6	8	9	5
35	17	13	9	8	11	12	13	14	7	11
36	15	29	19	12	11	15	13	12	9	10
37	5	6	5	4	7	5	6	5	5	5
38	13	10	17	9	8	8	11	17	7	10
39	6	7	6	5	6	7	7	6	6	7
40	5	5	5	5	8	6	5	9	4	7
41	23	26	22	29	25	24	24	22	21	23
42	13	15	16	18	14	13	13	13	12	15
43	7	9	7	6	7	8	7	8	7	8
44	7	6	7	6	7	6	6	6	5	7
45	6	7	7	7	6	6	6	7	5	6

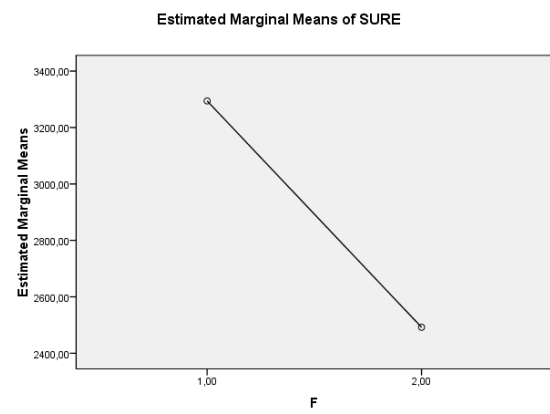
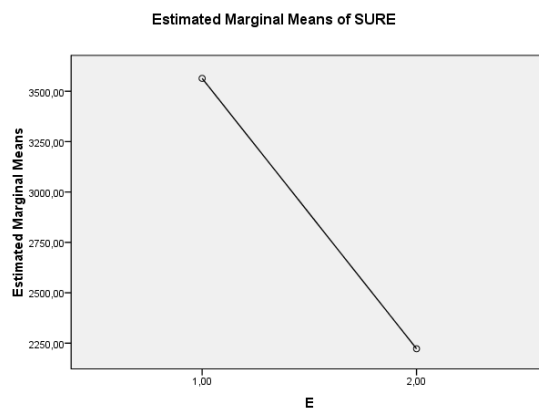
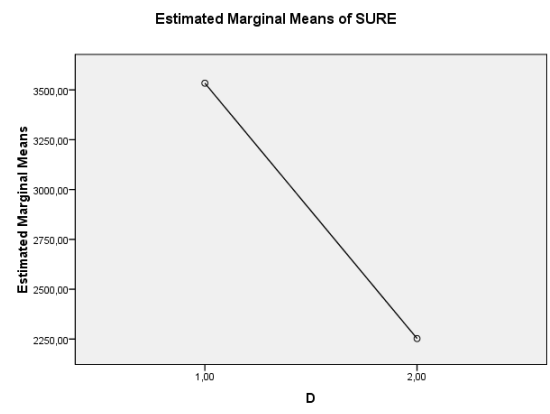
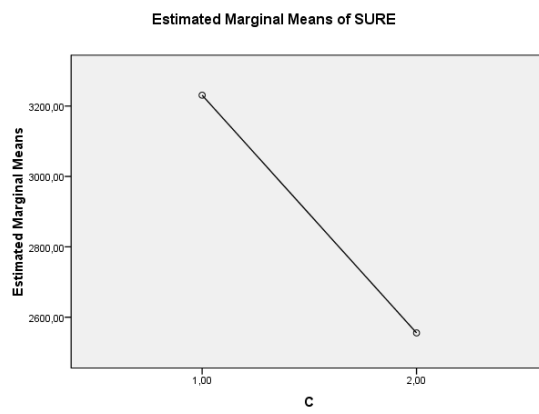
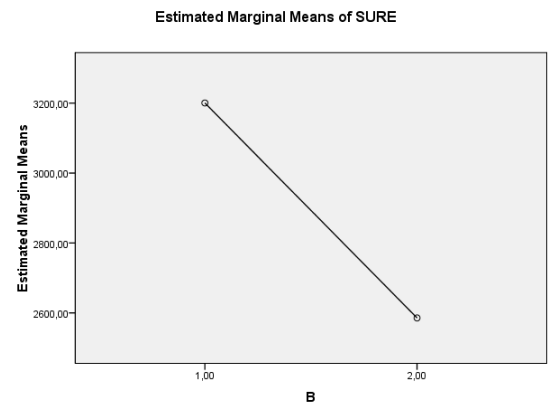
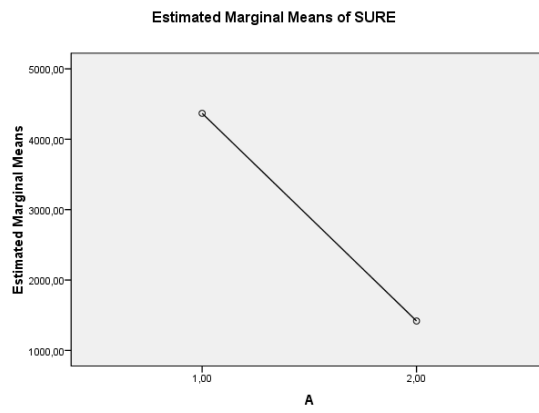
EK-4 Taguchi L32 18 Faktör 2 Seviye deney seti

Set\Parametre	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	S
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1
6	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
7	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2
9	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2
10	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1
11	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2
12	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
13	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2
14	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1
15	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2
16	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1
17	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
18	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2
19	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1
20	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
21	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1
22	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2
23	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1
24	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2
25	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
26	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1
27	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2
28	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1
29	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2
30	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1
31	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2
32	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1

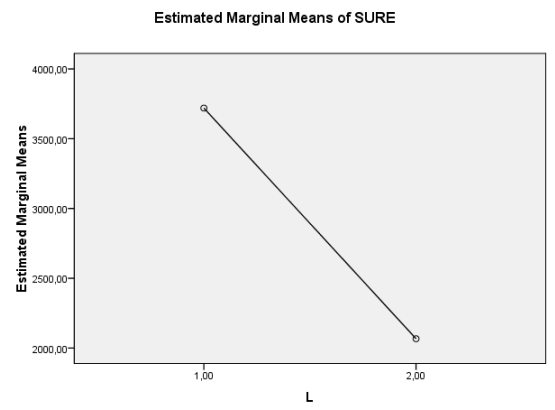
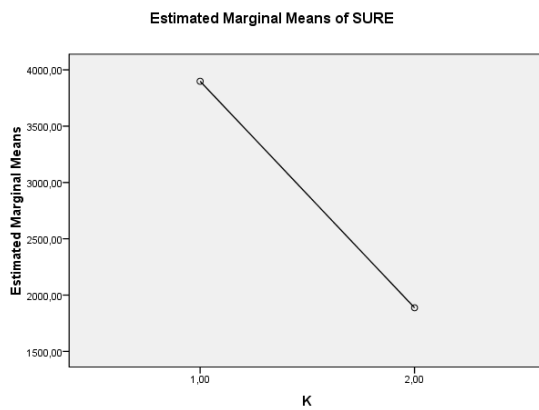
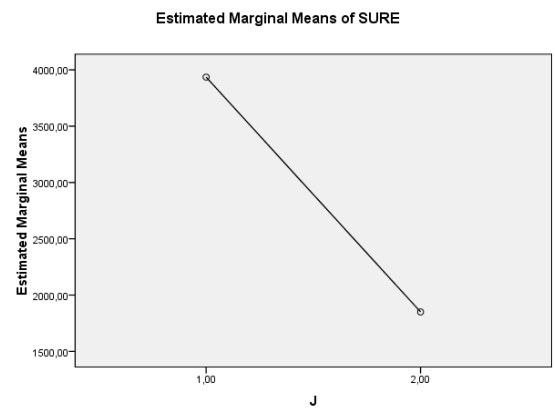
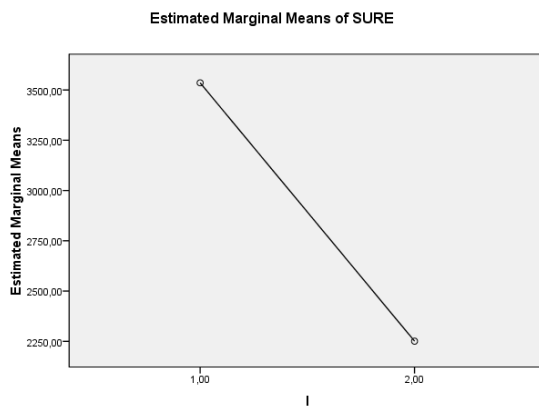
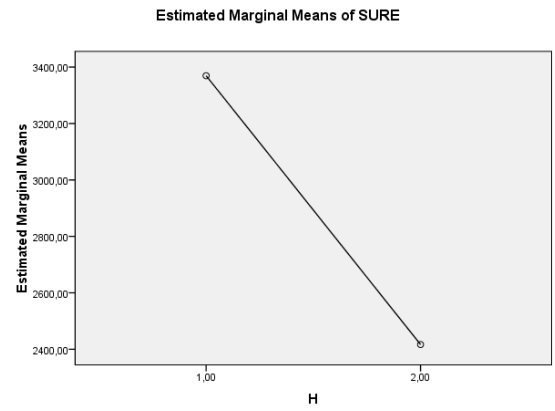
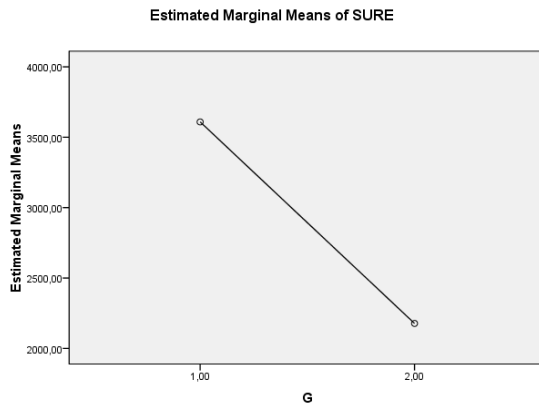
EK 6 Parametre setleri performansları sıralaması

Parametre seti	Çözüm Ulaşma Süresi Ortalaması (sn)	Çözüm Ulaşma Süresi Standart Sapması (sn)	Ortalama Uygunluk
30	483,6	541,5896	0
20	864,2	997,5173	0
17	874,2	941,7917	0
4	992,4	767,7241	0
29	994,8	702,8725	0
9	1164	889,9	0
19	1190,4	824,9938	0
18	1242,4	528,3373	0
28	1250,4	179,4305	0
31	1254,2	1101,515	0
3	1264,6	1029,298	0
22	1342,2	1020,386	0
25	1478,2	1573,392	0
7	1521,2	1167,754	0
21	1576,6	1197,805	0
13	1622,2	991,2649	0
24	1892	525,6848	0
32	1923,2	561,194	0
26	2025,2	730,0635	0
23	2119,8	1307,114	0
27	2177,8	1299,832	0
6	2525,2	2299,02	0
5	2686,2	2471,617	0
15	3133,4	1894,858	0
11	3403	2066,136	0
8	3608,6	2201,756	0
14	3990,4	1768,568	0
10	4398	2218,699	0
16	5368	3653,14	0
12	6704,4	3741,453	0
1	9561,6	7675,169	0
2	17945,8	22976,87	0

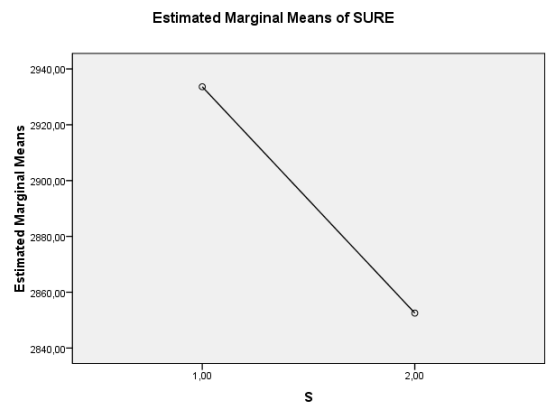
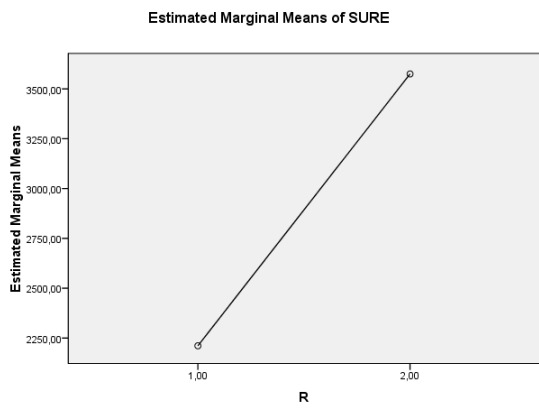
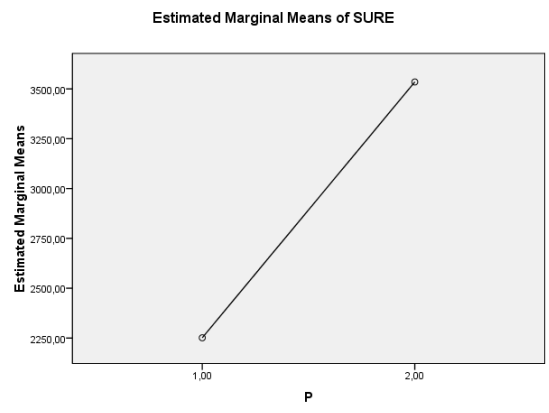
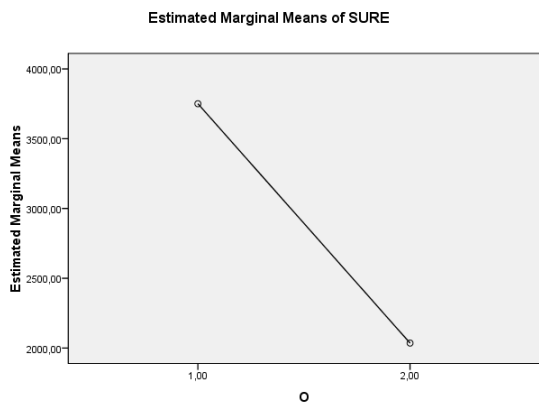
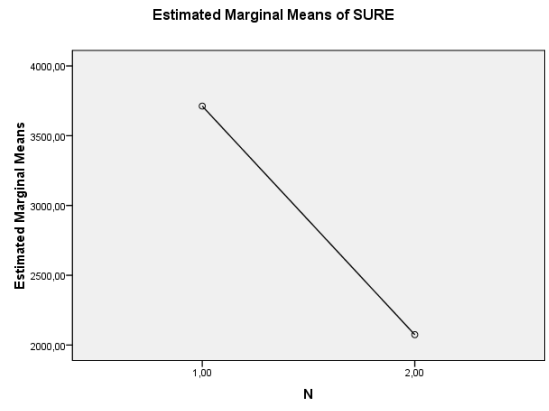
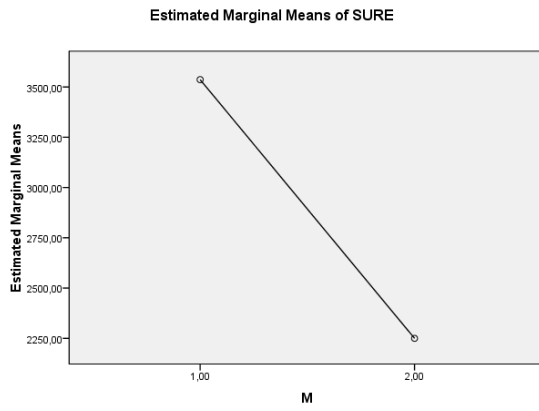
EK-7 Parametre seviye ortalamaları grafikleri



EK-7 Devam



EK-7 Devam



EK-8 Parametre düzeylerine göre düzeyleri ortalaması

Parametre	Seviye 1	Seviye 2	Fark	Sıralama
1	4368,063	1418,075	2949,988	1
2	3200,463	2585,675	614,7875	17
3	3230,813	2555,325	675,4875	16
4	3533,538	2252,6	1280,938	13
5	3563,763	2222,375	1341,388	9
6	3294,088	2492,05	802,0375	15
7	3608,788	2177,35	1431,438	7
8	3369,413	2416,725	952,6875	14
9	3535,338	2250,8	1284,538	11
10	3935,538	1850,6	2084,938	2
11	3898,488	1887,65	2010,838	3
12	3719,363	2066,775	1652,588	5
13	3536,288	2249,85	1286,438	10
14	3712,013	2074,125	1637,888	6
15	3750,713	2035,425	1715,288	4
16	2251,388	3534,75	1283,363	12
17	2211,213	3574,925	1363,713	8
18	2933,613	2852,525	81,0875	18

EK 9 ANOVA analizi sonuçları**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: SURE

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1,606E9	18	8,920E7	4,502	,000
Intercept	1,339E9	1	1,339E9	67,589	,000
A	3,481E8	1	3,481E8	17,569	,000
B	1,512E7	1	1,512E7	,763	,384
C	1,825E7	1	1,825E7	,921	,339
D	6,563E7	1	6,563E7	3,313	,071
E	7,197E7	1	7,197E7	3,633	,059
F	2,573E7	1	2,573E7	1,299	,256
G	8,196E7	1	8,196E7	4,137	,044
H	3,630E7	1	3,630E7	1,832	,178
I	6,600E7	1	6,600E7	3,331	,070
J	1,739E8	1	1,739E8	8,776	,004
K	1,617E8	1	1,617E8	8,163	,005
L	1,092E8	1	1,092E8	5,514	,020
M	6,620E7	1	6,620E7	3,341	,070
N	1,073E8	1	1,073E8	5,416	,021
O	1,177E8	1	1,177E8	5,940	,016
P	6,588E7	1	6,588E7	3,325	,070
R	7,439E7	1	7,439E7	3,754	,055
S	263007,306	1	263007,306	,013	,908
Error	2,794E9	141	1,981E7		
Total	5,739E9	160			
Corrected Total	4,399E9	159			

a. R Squared = ,365 (Adjusted R Squared = ,284)

ÖZGEÇMİŞ

Olçay POLAT, 11 Ekim 1983 tarihinde Denizli’de doğdu. Lise eğitimini Denizli Lisesi’nde tamamladıktan sonra 2000 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2005 yılında Endüstri Mühendisliği bölümünden ve aynı üniversitenin İktisadi ve idari Bilimler Fakültesi Genel İşletme Bölümünden mezun olduktan sonra Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Endüstri Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Socrates-Erasmus Programı kapsamında Eylül 2007 – Nisan 2008 tarihleri arasında Berlin Teknik Üniversitesi Üretim Yönetimi Bölümünde yüksek lisans eğitimini sürdürdü. 2005 yılından beri Pamukkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Aynı zamanda 2005 yılından beri Türkiye Mühendis ve Mimarlar Odaları Birliği Makine Mühendisleri Odası Endüstri İşletme Mühendisliği Meslek Dalı Ana Komisyonunda yedek üye olarak görev yapmaktadır.