

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SAYISAL YÖNTEMLER ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMIYLA
AMELİYATHANELERDE ÇİZELGELEME

ESRA BAYTÖREN
2502110340

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. EMRAH ÖNDER

İSTANBUL - 2020

ÖZ

GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMIYLA AMELİYATHANELERDE ÇİZELGELEME

ESRA BAYTÖREN

Bu çalışmada Genetik Algoritma yöntemi kullanılarak özel bir vakıf hastanesine ait ameliyathanenin günlük olarak çizelgelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada elde edilen çizelgelerin uygunluk değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla, dört farklı maliyet kaynağı belirlenerek genetik algoritmanın amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Genetik algoritmanın mevcut çaprazlama ve mutasyon operatörleri, incelenen problemin yapısına uygun olarak çözümü kolaylaştıracak ve çözüm sürecini hızlandıracak şekilde geliştirilmiştir. Ameliyathane çizelgeleme problemine genetik algoritmalar ile çözüm üretmek amacıyla Matlab programında kod yazılmıştır. Oluşturulan kodun girdi olarak kullanılan bilgileri gerek duyulduğunda değiştirilebilir yapıda tasarlanmıştır. Böylece farklı hasta sayıları, ameliyat süreleri, normal ve fazla mesai kullanım sürelerine bağlı olarak, her koşulda çözüm üretebilen bir model oluşturulması sağlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde algoritmanın kısa süre içerisinde, modelin uygunluk değerini (ceza fonksiyonunu) en küçükleyen ve aynı zamanda ameliyathane kullanım oranını arttıran çizelgeleri elde edebildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Genetik Algoritma, Çizelgeleme, Ameliyathane Çizelgeleme

ABSTRACT

SCHEDULING IN OPERATING ROOMS WITH GENETIC ALGORITHM APPROACH

ESRA BAYTÖREN

In this study, it was aimed to schedule the operating room of a private foundation hospital on a daily basis using the Genetic Algorithm method. In order to determine the fitness value of schedules obtained in the study, four different cost sources were determined, and the objective function of the genetic algorithm was created. Existing crossover and mutation operators of the genetic algorithm have been developed to facilitate the solution and speed up the solution process in accordance with the structure of the problem. Matlab code was written in order to solve the operating room scheduling problem with genetic algorithms. The information used as input of the generated code is designed to be changed when needed. Thus, a model that can produce solutions in all conditions was created, depending on the number of patients, operation times, normal and overtime block time usage. When the results were examined, it was seen that the algorithm was able to obtain schedules that minimizes the fitness value (penalty function) of the model and at the same time increases the rate of operating theater usage.

Keywords: Genetic Algorithm, Scheduling, Operating Room Scheduling

ÖNSÖZ

Günümüzde artan yaşlı nüfus oranına bağlı olarak sağlık hizmetlerine olan talep miktarı da artış göstermektedir. İlerleyen yıllarda daha da artması beklenen talep miktarına karşın, sunulan hizmet kalitesinin de beklentileri karşılaması büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple hastanelerde verilen tıbbi hizmetlerin daha etkili bir şekilde sağlanması giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Hastane birimlerinden biri olan ameliyathaneler oldukça dinamik yapıdadırlar. İnsan hayatı ile doğrudan ilişkili olan birimlerdir ve bu sebeple en önemli hastane birimlerinden biri olarak kabul edilmektedirler. Ameliyathanelerde, hasta ya da hastane personeli gibi insan faktörlerinin her daim söz konusu olması sebebiyle bir belirsizlik ve değişkenlik mevcuttur. Tüm bunlarının yanı sıra ameliyathaneler, hastanelerde yüksek kar elde edilmesini sağlayan birimler oldukları gibi, aynı zamanda yüksek maliyet oluşturan birimlerdir. Ameliyathanelerin belirtilen bu özellikleri sebebiyle; maliyetlerini minimum düzeyde tutarak, yüksek kalitede hizmet sunmalarının sağlanması son yıllarda büyük önem kazanan konulardan biridir. Bu amaçla, bu tez çalışmasında Genetik Algoritma yöntemi kullanılarak ameliyathanelerin çizelgelenmesi problemine çözüm önerisi sunulmuştur.

Doktora eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, kendilerinden çok şey öğrendiğim kıymetli hocalarım Prof. Dr. H. Öner Esen ve Prof. Dr. Mehpere Timor'a minnetlerimi sunarım.

Tez çalışmamın her aşamasında desteğini ve yardımını esirgmeden beni yönlendiren, önerilerini, bilgi birikimini ve tecrübelerini benimle paylaşan danışman hocam Prof. Dr. Emrah Önder'e teşekkür ederim.

En zor zamanlarında dahi bana vakit ayıran, hoşgörüsünü ve desteğini her daim hissettiğim tez izleme komitemde yer alan değerli hocam Prof. Dr. Zuhâl Tanrıku'na teşekkür ederim. Tez hazırlama sürecim boyunca bana zaman ayıran,

önerileri ile bana yol gösteren ve tez izleme komitemde yer alan kıymetli hocam Prof. Dr. Tunçhan Cura'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca manevi desteğini her zaman hissettiğim değerli hocam Prof. Dr. Yeter Demir Uslu'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmam sürecinde her zaman desteklerini hissettiğim, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim çok sevgili anneme ve babama teşekkür ederim.

İstanbul, 2020

Esra BAYTÖREN

İÇİNDEKİLER

ÖZ	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR LİSTESİ	xv
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

AMELİYATHANE YÖNETİMİ VE ÇİZELGELENMESİ

1.1. Ameliyat Süreci	7
1.1.1. Hasta Bakış Açısından Ameliyat Süreci.....	9
1.1.2. Ameliyathane Açısından Ameliyat Süreci.....	10
1.2. Hastanelerde Ameliyathane Yönetimi.....	11
1.2.1. Ameliyathanede Karar Seviyeleri.....	11
1.2.2. Ameliyathane Yönetiminde Kullanılan Performans Ölçüleri.....	14
1.2.3. Ameliyathane Kullanımını Etkileyen Faktörler.....	19
1.3. Ameliyathanelerde Çizelgeleme	26
1.3.1. Acil Ameliyathanelerin Çizelgelemesi.....	27
1.3.2. Elektif Ameliyathanelerin Çizelgelemesi.....	30

1.4.	Ameliyathane Çizelgelemesi Üzerine Yapılmış Çalışmalar	34
------	--	----

İKİNCİ BÖLÜM

ÇİZELGELEME

2.1.	Çizelgeleme Kavramı	36
2.2.	Çizelgelemenin Amacı ve Uygulama Alanları	39
2.3.	Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması.....	40
2.4.	Çizelgeleme Problemleri Çözüm Teknikleri.....	44
2.5.	Genetik Algoritma İle Çizelgeleme.....	49

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GENETİK ALGORİTMALAR

3.1.	Evrin Teorisi ve Evrimsel Algoritmalar	50
3.2.	Genetik Algoritmanın Tanımı ve Tarihsel Gelişimi	52
3.3.	Genetik Algoritma'larda Temel Kavramlar.....	54
3.4.	Genetik Algoritmanın Temel Teoremi: Şema Teoremi.....	58
3.5.	Genetik Algoritmanın Çalışma Prensipleri.....	65
3.6.	Kromozomların Kodlanması	68
3.6.1.	İkili Kodlama	69
3.6.2.	Permütasyon Kodlama	71
3.6.3.	Değer Kodlama	71

3.6.4.	Ağaç Kodlama	72
3.7.	Başlangıç Popülasyonu	73
3.8.	Uygunluk Fonksiyonunun Tanımlanması	74
3.9.	Genetik Algoritma Operatörleri.....	75
3.9.1.	Seçim	75
3.9.2.	Çaprazlama	84
3.9.3.	Mutasyon	114
3.9.4.	Tamir Operatörü	125
3.9.5.	Yer Değiştirme.....	127
3.10.	GA Kontrol Parametreleri ve Performansı	129
3.10.1.	Popülasyon Büyüklüğü	129
3.10.2.	Çaprazlama Oranı	130
3.10.3.	Mutasyon Oranı	131
3.10.4.	Kuşak Farkı.....	131
3.10.5.	Seçim Stratejisi	132
3.10.6.	Uygunluk Fonksiyonu Ölçeklemesi.....	132
3.11.	Genetik Algoritma Uygulama Alanları.....	133
3.12.	Genetik Algoritma'nın Diğer Yöntemlerden Farkı	135
3.13.	Genetik Algoritmaların Sınıflandırılması.....	137
3.13.1.	Basit Genetik Algoritma (SGA)	137
3.13.2.	Paralel Genetik Algoritma (PGA).....	138
3.13.3.	Hibrit Genetik Algoritma (HGA)	139
3.13.4.	Adaptif Genetik Algoritma (AGA).....	139
3.13.5.	Messy Genetik Algoritma (MGA).....	140
3.14.	Genetik Algoritma İle Fonksiyon Optimizasyon Örneği.....	141

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1. Araştırma Problemi	150
4.2. Ameliyathanedeki Mevcut Çizelgeleme Sürecinin İncelenmesi.....	153
4.3. Araştırma Verilerinin Toplanması ve Düzenlenmesi	155
4.4. Ameliyathane Çizelgeleme Yaklaşımı	166
4.5. Araştırmanın Kapsamı, Sınırlılıkları ve Varsayımları	168
4.6. Araştırmanın Matematiksel Formülasyonu	171
4.7. Genetik Algoritma ile Çizelgelemenin Uygulanması	175
4.7.1. Kromozomların Kodlanması.....	177
4.7.2. Uygunluk Fonksiyonunun Tanımlanması.....	178
4.7.3. Genetik Algoritma Operatörlerinin ve Kontrol Parametrelerinin Belirlenmesi.....	181
4.8. Modelin Uygulanması İle Elde Edilen Sonuçlar	191
SONUÇ	202
KAYNAKÇA.....	206
EKLER	222
ÖZGEÇMİŞ	227

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : Ameliyathanelerde steril, yarı steril ve kirli alanlara giriş ve çıkışlar	5
Şekil 1.2 : Hastanın ameliyat sürecinde takip ettiği yol.....	7
Şekil 1.3 : Cerrahi operasyon geçirecek hastaların akışı.....	8
Şekil 1.4 : Ameliyathanelerde stratejik, taktik ve operasyonel seviyelerde alınan kararlar	11
Şekil 1.5:Ameliyatların erken tamamlanma durumu	21
Şekil 1.6:Ameliyatların geç tamamlanması durumu.....	22
Şekil 1.7: Ameliyathane personeli açısından çevrim süreçleri	24
Şekil 1.8: Ameliyatlar arasındaki zamanların (BIM) gösterimi.....	29
Şekil 2.1 : Faaliyet odaklı Gantt şeması örneği	37
Şekil 2.2 :Makine odaklı Gantt şeması örneği	38
Şekil 2.3 : Çizelgeleme problemleri çözüm teknikleri sınıflandırması.....	46
Şekil 3.1: Bir kromozom gösterimi.....	54
Şekil 3.2 : Bir gen gösterimi	55
Şekil 3.3 : Popülasyon örneği.....	56
Şekil 3.4 : Genetik algoritma döngüsü.....	66
Şekil 3.5 : Genetik algoritma akış diyagramı.....	68
Şekil 3.6 : Permütasyon kodlama örneği	71
Şekil 3.7 : Değer kodlama örneği.....	72
Şekil 3.8 : Ağaç kodlama örneği	72
Şekil 3.9 : Aday çözümlerin uygunluk değerlerine göre popülasyondaki oranları....	78
Şekil 3.10 : Rulet tekeri seçimi ve sıralama seçimi karşılaştırması	81
Şekil 3.11 : Stokastik seçim örneği	83
Şekil 3.12 : Tek nokta çaprazlama örneği.....	86
Şekil 3.13 : İki nokta çaprazlama örneği.....	86
Şekil 3.14 : Çok nokta çaprazlama örneği	87
Şekil 3.15 : Tekdüze çaprazlama örneği	88
Şekil 3.16 : Karma çaprazlama örneği	89
Şekil 3.17 : Permütasyon kodlamada tek nokta çaprazlama örneği.....	90
Şekil 3.18 : Permütasyon kodlamada iki nokta çaprazlama (1. Yol).....	91

Şekil 3.19 : Permütasyon kodlamada iki nokta çaprazlama (2. Yol)	92
Şekil 3.20 : Permütasyon kodlamada üç nokta çaprazlama	93
Şekil 3.21 : Pozisyona dayalı çaprazlama (PBX) örneği	94
Şekil 3.22 :Sıraya dayalı çaprazlama (OBX) örneği.....	95
Şekil 3.23: Kısmi eşlenmiş çaprazlama (PMX) örneği	97
Şekil 3.24: Kısmi eşlenmiş çaprazlama (PMX) örneği (devamı)	98
Şekil 3.25: Doğrusal sıralı çaprazlama (LOX) örneği	99
Şekil 3.26: Dairesel çaprazlama (CX) örneği	100
Şekil 3.27: Sıralı çaprazlama (OX) örneği	101
Şekil 3.28 : Komşuluk tabanlı çaprazlama örneği	103
Şekil 3.29 : Aritmetik çaprazlama örneği	105
Şekil 3.30 : Kesikli çaprazlama örneği	106
Şekil 3.31 : Kesikli çaprazlama sonrası muhtemel yavrulara ait alanın geometrik gösterimi.....	106
Şekil 3.32 : Orta seviye çaprazlama örneği.....	108
Şekil 3.33 : Orta seviye çaprazlamada değer aralığı	108
Şekil 3.34 : Orta seviye çaprazlama sonrası muhtemel yavrulara ait alanın geometrik gösterimi.....	108
Şekil 3.35 : Çizgi çaprazlama örneği	109
Şekil 3.36 :Çizgi çaprazlama sonrası muhtemel yavrulara ait alanın gösterimi	110
Şekil 3.37 : Ağaç kodlamaya uygun çaprazlama örneği	110
Şekil 3.38 : Yapısal temelli algoritmalarda tek nokta çaprazlama.....	111
Şekil 3.39 : Yapısal temelli algoritmalarda iki nokta çaprazlama	112
Şekil 3.40 : Yapısal temelli algoritmalarda çok nokta çaprazlama.....	112
Şekil 3.41 : Yapısal temelli algoritmalarda değişkenden değişkene çaprazlama.....	113
Şekil 3.42 : Yapısal temelli algoritmalarda tekdüze çaprazlama	114
Şekil 3.43 : İkili kodlamaya uygun mutasyon örneği	116
Şekil 3.44 : Bitişik değişim mutasyon örneği	117
Şekil 3.45 : Rastsal değişim mutasyonu örneği	117
Şekil 3.46 : Kaydırma mutasyonu örneği.....	118
Şekil 3.47 : Yer değişim mutasyonu örneği	118
Şekil 3.48 : Tersine çevirme mutasyonu örneği.....	119

Şekil 3.49 : Yer değiştirerek tersine çevirme mutasyonu örneği	119
Şekil 3.50 : Ağaç kodlamaya uygun mutasyon örneği.....	120
Şekil 3.51 : Gerçel değerli kodlamaya uygun mutasyon örneği	120
Şekil 3.52 : Gerçel değerli kodlamaya uygun mutasyonun muhtemel sonuçları.....	123
Şekil 3.53 : Tamir operatörü uygulama örneği	126
Şekil 3.54 : GA ile fonksiyon optimizasyonu örneğinde fonksiyon grafiği	141
Şekil 3.55 : Seçilen ebeveyn kromozomlara tek nokta çaprazlama operatörünün uygulanması	147
Şekil 4.1: Aylara göre gerçekleştirilen ameliyat sayılarının dağılım grafiği	157
Şekil 4.2 : GA'nın kodunun akış şeması	176
Şekil 4.3 : Örnek bir kromozom yapısı	177
Şekil 4.4 : Başlangıç popülasyonunun oluşturulma aşamaları.....	182
Şekil 4.5 : Çaprazlama operatörünün uygulanma aşamaları.....	185
Şekil 4.6 : 1. Mutasyon türünün uygulama adımları.....	187
Şekil 4.7 : 2. Mutasyon türünün uygulama adımları.....	188
Şekil 4.8 : GA ile oluşturulan ameliyathane çizelgesi-1	193
Şekil 4.9 : GA ile oluşturulan ameliyathane çizelgesi-2	194
Şekil 4.10 : Fazla mesai zaman bloklarının azaltılması ile oluşturulan çizelge.....	196
Şekil 4.11 : GA iterasyonları boyunca en iyi uygunluk değerinin değişimi	197
Şekil 4.12: GA ile oluşturulan 23 Ocak 2019 tarihli ameliyathane çizelgesi	201

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1: Ameliyathanelerin çizelgelenmesine ilişkin yapılmış çalışmalar	35
Tablo 2.1 : Çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılması	44
Tablo 2.2 : Öncelik kuralları	48
Tablo 3.1 : Doğal ve GA terminolojisinin karşılaştırılması	54
Tablo 3.2 : Ondalık sistemdeki bazı tamsayıların ikili kodlama ile gösterilmesi	70
Tablo 3.3 : Aday çözümlerin uygunluk değerleri ve seçilme olasılıkları	77
Tablo 3.4 : Rulet tekeri seçim örneğinde seçilen kromozomlar	79
Tablo 3.5 : Sıralama seçimi örneği	80
Tablo 3.6 : Stokastik seçim yöntemi ile kromozomların seçimi	83
Tablo 3.7 : Komşuluk tabanlı çaprazlama yöntemi komşuluk tablosu	103
Tablo 3.8 : Başlangıç popülasyonu, değişkenlerin değerleri ve uygunluk fonksiyonu değerleri	144
Tablo 3.9 : Kromozomların seçilme olasılıkları ve kümülatif olasılık değerleri	144
Tablo 3.10 : Rulet tekeri seçim yöntemi için üretilen rastsal sayılar	145
Tablo 3.11 : Yeni popülasyonu oluşturan kromozomlar	145
Tablo 3.12 : Çaprazlama operatörü için üretilen rastsal sayılar ve çaprazlama için seçilen kromozomlar	146
Tablo 3.13 : popülasyonun son durumu	147
Tablo 3.14 : Mutasyona uğrayacak bitlerin belirlenmesi için rastsal sayıların kullanımı	148
Tablo 3.15 : Uygulanan GA operatörleri sonrası yeni popülasyonun son hali	149
Tablo 4.1: Haftanın günlerine göre ameliyat sayılarının dağılımı	156
Tablo 4.2: 2016-2019 yılları arasında gerçekleştirilen ameliyat sayılarının aylara göre ortalamaları	158
Tablo 4.3: Çalışma verisinde yer alan cerrahi bölümlerde gerçekleştirilen ameliyat sayıları ve oranları	160
Tablo 4.4: Ameliyat odalarına öncelikli olan cerrahi bölümler ve önceliksiz cerrahi bölümlerin dağılımı	162
Tablo 4.5: Her bir cerrahi bölüme ait ameliyatın yapılabileceği ameliyat odası numaraları	163

Tablo 4.6: Çizelgeleme yaklaşımlarına göre cerrahi bölümlerin sınıflandırılması..	167
Tablo 4.7 Cerrahi bölümlere ait operasyonların gerçekleştirileceği blok zaman dilimi sayıları	170
Tablo 4.8 : Çalışmanın matematiksel modeline ait indis, parametre ve karar değişkenleri	172
Tablo 4.9 : GA operatörleri ve kontrol parametre değerleri	181
Tablo 4.10 : 7 Şubat 2019 tarihli gerçekleşen çizelge ile GA analizi sonucunda elde edilen çizelgelerin karşılaştırılması.....	198
Tablo 4.11 : 23 Ocak 2019 tarihli gerçekleşen çizelge ile GA analizi sonucunda elde edilen çizelgelerin karşılaştırılması.....	199

KISALTMALAR LİSTESİ

AAÇ	: Ana Ameliyat Çizelgesi
ARP	: Araç Rotalama Problemi
BIM	: Break-in-Moment
EA	: Evrimsel Algoritma
GA	: Genetik Algoritma
GSP	: Gezgin Satıcı Problemi
HGA	: Hibrit Genetik Algoritma
PGA	: Paralel Genetik Algoritma
SGA	: Basit (Simple) Genetik Algoritma
SUT	: Sağlık Uygulama Tebliği
YA	: Yöneylem Araştırması

GİRİŞ

Günümüzde yaşlanan nüfus oranı ve artan talep miktarı sebebiyle, sağlık hizmetleri en hızlı büyüyen ve en karmaşık olan endüstriler arasında yer almaktadır. Türkiye nüfusunun 2018 yılından itibaren 2025 yılına kadar %8,5 kadar artış göstermesi beklenmektedir. Aynı zamanda 2025 yılı nüfus projeksiyonunda 65 yaş ve üzeri nüfusun yaklaşık %36 oranında artması öngörülmektedir (Türkiye İstatistik Kurumu, (Çevrimiçi) http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1027, 08.01.2020). Dolayısıyla, giderek yükselecek olan talep miktarı, hastaların artan beklentileri ve kullanılan sınırlı kaynakların gelecek yıllarda göz önüne alınması hastaneler açısından kaçınılmaz olacaktır. Hastanelerin hasta bekleme sürelerini iyileştirmek ve hastane maliyetlerini minimize etmek amacıyla, verilen tıbbi hizmetlerin daha etkili bir şekilde sağlanması giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Hizmet sektöründeki diğer alanlara nispeten, ameliyathanelerin oldukça belirsiz, dinamik ve değişken olduğu söylenebilir. Ameliyathaneler, insan hayatı ile doğrudan ilişkili olmaları sebebiyle de en önemli hastane birimlerinden biri olarak kabul edilmektedirler. Ayrıca ameliyathaneler, yüksek kar elde edilmesini sağlayan hastane birimleri oldukları gibi, aynı zamanda yüksek maliyet oluşturan birimlerdir (Rahimi, Jamshidi, Ait-Kadi, & Bartolome, 2014) (“Healthcare Financial Management Association (HFMA)”, (Çevrimiçi) <https://www.hfma.org/>, 29.07.2020). Ameliyathanelerin bu özellikleri sebebiyle; toplam maliyetlerini minimum düzeyde tutarak yüksek kalitede hizmet sunmalarının sağlanması son yıllarda büyük önem kazanan konulardan biridir. Yapılan araştırmalarda hastanelerin en önemli gelir ve maliyet merkezleri olan ameliyathanelerin, ortalama kullanım oranlarının %68 düzeyinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Rahimi et al., 2014) (Demirtas, 2019). Düşük maliyet ile sağlanan kaliteli hizmetin yanı sıra; ameliyathanelerin kullanım oranlarının arttırılarak, hastane işletmelerinin daha fazla kar elde edebilmesinin sağlanması da önem kazanan bir diğer konu olmaktadır.

Çizelgeleme problemlerinin ilk olarak üretim işletmeleri için kullanılmış olması sebebiyle; bu problemlerde sıklıkla makine ve iş terimleri ile karşılaşilmektedir. Çizelgeleme problemleri, yapılması gereken işlerin uygun makinelerle atanmasını içeren problemler olarak tanımlanabilmektedir. Ameliyathane çizelgelemesinde ise; ameliyat odaları bir fabrikadaki sabit maliyeti oldukça yüksek olan makineler olarak düşünülürken, cerrahi operasyon talebi ile hastaneye başvuran her bir hasta da bu fabrikadaki yapılması gereken işler olarak düşünülecektir. Bu süreçte, maliyeti yüksek olan ameliyat odalarının verimli bir şekilde kullanılması ve ameliyathanenin kullanım oranının yüksek tutulması gerekmektedir.

Ameliyathanelerin planlanması ve çizelgelenmesi sürecinde oldukça çeşitli ve çok sayıda faktörü değerlendirmek gerektiğinden, bu süreç karmaşık bir görev olarak tanımlanabilmektedir. Ameliyathanelerin planlanması ve çizelgelenmesinde göz önünde bulundurulması gerek faktörlerden bazıları; sahip olunan kısıtlı kaynaklar, cerrahi operasyon sürelerindeki belirsizlikler, hastaların ve doktorların birbiri ile çelişen öncelikleri, cerrahi operasyon talebi ile başvuran acil hastalar, ameliyat odalarının elektif ve acil hastalara tahsisi, elektif hasta ameliyatlarının planlanan ve gerçekleştirilen sürelerindeki sapmalar olarak sıralanabilmektedir. Bu faktörler ele alındığında; ameliyathanelerin planlanması ve çizelgelenmesi sürecinin en etkili yolu “mevcut hastane kaynaklarının ameliyathanelere en uygun şekilde dağıtılması ya da tahsis edilmesi” olarak tanımlanabilmektedir.

Bu çalışmada ameliyathanelerin etkin bir şekilde kullanılması hedefiyle hazırlanacak olan uygun ameliyathane çizelgelerinin Genetik Algoritma yöntemi kullanılarak elde edilebilmesi amaçlanmıştır. Çalışma 25 adet ameliyathaneye sahip özel bir vakıf hastanesine ait veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma, ameliyatları gerçekleştirebilmek için ihtiyaç duyulan ameliyathane personelinin yeterli sayıda olduğu ve ameliyat sonrasında hastaların transfer edildiği uyanma odasında yeterli sayıda yatak olduğu varsayımı altında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca önceden öngörülmesi mümkün olmayan acil ameliyatlar, çalışma kapsamında ele alınmamıştır.

Çalışma kapsamında ele alınan hastanedeki ameliyat odalarının tıbbi donanım farklılıkları sebebiyle, farklı cerrahi bölüm ameliyatlarının farklı ameliyat odalarında gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu yönüyle çalışma geçmişte yapılan çalışmalardan farklılık göstermektedir ve ameliyathanelerin çizelgelenmesi problemine gerçek hayatta kullanılabilir bir çözüm sunmaktadır.

Çalışmada her bir cerrahi bölüme ait ameliyat süreleri blok zaman sayısı cinsinden ele alınmış olup, sabit olarak kabul edilmiştir. Ancak oluşturulan kod yardımıyla bölümlere ait ameliyat sürelerinin sabit olmasının bir zorunluluk olmasının önüne geçilmiştir. Böylece literatürde yer alan diğer çalışmalardan farklı olarak, çizelgelenecek tüm ameliyatların sürelerinin ihtiyaç duyulduğu takdirde değiştirilmesi imkanı bu çalışma ile sağlanmıştır.

Çalışmanın bir diğer özgün yanı ise; GA uygunluk fonksiyonunun en küçüklenmesinin daha hızlı gerçekleştirilebilmesi amacıyla, rastsal mutasyonun yanı sıra, problem yapısına uygun olarak hedeflenmiş mutasyon (Targeted Mutation) türleri oluşturulmasıdır. Çalışmada ele alınan problem özelinde iki farklı hedeflenmiş mutasyon tanımlanmıştır. Ayrıca GA analizi için oluşturulan modelin kromozom uzunluğunun, çizelgelenmek istenen hasta sayısına bağlı olarak değişebilir nitelikte tasarlanmış olması da çalışmanın bir diğer özgün yanıdır.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde hasta ve ameliyathane bakış açılarından cerrahi operasyon (ameliyat) süreçleri, ameliyathanelerin yönetim seviyeleri ve ameliyathanelerin çizelgelenmesi konularına ilişkin bilgiler yer almaktadır. İkinci bölümde çizelgeleme kavramı, amacı, uygulama alanları, çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılması ve çözüm teknikleri konularına değinilmiştir. Üçüncü bölümde genetik algoritma yöntemi süreçlerine ait tanımlama ve açıklamalar yer almaktadır. Dördüncü bölümde ise genetik algoritma yaklaşımıyla ameliyathanelerde çizelgeleme uygulaması Matlab R2017b programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular sunulmuştur. Çalışma sonuçları ve gelecek çalışmalar için öneriler sonuçlar kısmında açıklanarak, çalışma sonlandırılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

AMELİYATHANE YÖNETİMİ VE ÇİZELGELENMESİ

Hastaneler, başvuran hastalara tedavi hizmetlerinin verildiği tıbbi kuruluşlardır. Bunun yanı sıra hastaneler, varlıklarını sürdürebilmeyi amaçlayan ekonomik işletmeler olarak da ele alınırlar. Diğer bir açıdan ise hastaneler, doktor ve sağlık personellerinin eğitiminde rol alan birer araştırma kurumudurlar. Genel anlamda ise hastaneler, tüm bu farklı amaçları eş zamanlı olarak başarmaya çalışan, karmaşık yapılı örgütlerdir (Şahin, 1999). Bu karmaşık yapılı örgütlerin yöneticileri hasta memnuniyetini artırmayı amaçlarken, eş zamanlı olarak maliyetleri düşürmeyi hedeflemektedirler. Kısaca, sağlık kurumları yöneticilerinin birincil amacı sağlık hizmeti kullanıcılarına mümkün olan en iyi hizmeti minimum maliyet ile sağlamak şeklinde tanımlanabilmektedir.

Hastaneler, birbirine bağlı birçok bölüm ve süreçlerden oluşmaktadırlar. Bu hastane bölümlerinden en karmaşık yapılı olanlarından biri de ameliyathanelerdir. Ameliyathaneler, hastanelerde yer alan klinik destek hizmet birimlerinden biri olup, tedavi amaçlı hizmet sunmaktadırlar (Uğurluoğlu et al., 2013). Ameliyathaneler, yüksek teknolojik donanıma sahip olan ve özel eğitilmiş personelin hizmet verdiği birimlerdir. Bu sebeple hastaneler açısından ameliyathanelerin önemi yüksektir ve iyi organize edilmeleri gerekmektedir (Uçak, 2016). Yapılan araştırmalara göre, hastane başvurularının %60-70 gibi büyük bir kısmını cerrahi operasyonlar oluşturduğundan, ameliyathanelerin en kritik hastane kaynaklarından biridir olduğu söylenebilmektedir (Guerriero & Guido, 2011) (F. Li, Gupta, & Potthoff, 2016). Ayrıca yapılan araştırmalarda ameliyathanelerin, hastanelerin toplam giderlerinin %40'lık bir kısmını oluşturduğu, bunun yanı sıra hastanelerin toplam gelirinin yaklaşık %70'ini ameliyathanelerin oluşturduğu ortaya konulmuştur (Pariente, Torres, & Cia, 2009). Bu bilgiler ışığında ameliyathanelerin, hastanelerin en büyük gelir kaynağı olarak tanımlanırken, aynı zamanda en büyük maliyet merkezi olduğunu söylemek doğru olacaktır (Abedini, Li, & Ye, 2017) (Denton, Viapiano, & Vogl, 2007).

Ameliyathalar, cerrahlar (doktorlar) tarafından gerçekleştirilen girişimsel tedavi yöntemleridir. Gündelik hayatta ameliyat olarak adlandırılan tedavi işlemi, literatürde operasyon, cerrahi operasyon, cerrahi olay ve cerrahi müdahale gibi çeşitli isimler alabilmektedir. (Narter, 2013). Ameliyathalar, ameliyathanelerde bulunan ameliyat odalarında gerçekleştirilirler. Ameliyathaneler ise bünyesinde birden fazla sayıda ameliyat odası bulunan ve içerisinde cerrahi operasyonların yapıldığı steril alanlardır.

Ameliyathaneler sterilizasyon derecelerine göre; kirli, yarı steril ve steril olmak üzere üç farklı alandan oluşurlar. Cerrahi operasyonların gerçekleştirildiği ameliyat odaları steril alanlardır. Yarı steril alanlar; hastaların ameliyata hazırlandığı bekleme üniteleri, ayılma üniteleri, ameliyathane koridoru gibi alanlardır. Kirli alanlar ise ameliyathane personelinin kıyafet değiştirdiği alanlar, duş, tuvalet, ameliyathane girişindeki alanlar ve kirli malzeme odalarıdır. Ameliyathanelerde tanımlanmış olan bu üç alanda yapılabilen geçişler her zaman yarı steril alandan steril alana, steril alandan yarı steril alana, steril ve yarı steril alanlardan kirli alana doğrudur. Kirli alandan steril alana direkt geçişe izin verilmemektedir. Ayrıca hiçbir zaman kirli malzemelerin steril alana dönüşüne izin verilmemektedir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2010). Ameliyathanede yer alan bu alanlardan yapılabilecek geçişler Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Ameliyathanelerde steril, yarı steril ve kirli alanlara giriş ve çıkışlar

Ameliyathanelerin çizelgelenmesi, ameliyathane yönetiminin en zorlu konularından biridir. Bu zorluğun sebeplerinin ilki; farklı uzmanlıklara sahip cerrahlar, hemşireler, anestezi uzmanları, diğer ameliyathane personeli (ameliyathane teknisyeni, eczacı gibi) ve ameliyat ihtiyacı ile başvuran hastalar gibi çok sayıda paydaşın farklı beklentilere sahip olmasıdır. Paydaşların farklı beklenti ve amaçlarının aynı anda gerçekleştirilmesi oldukça güç olmakla birlikte, bazı durumlarda imkansız olabilmektedir (Guerriero & Guido, 2011). Ameliyathanelerin çizelgelenmesinde karşılaşılan bir diğer zorluk ise; ameliyatların gerçekleşmesi, zamanlaması ve ameliyat süresine ilişkin belirsizliklerin neden olduğu karmaşıklıklardır (Van Ders Lans et al., 2005).

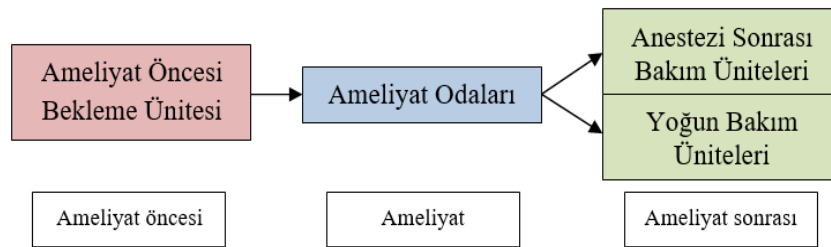
Belirtilen bu zorluklara karşı ameliyathanelerin temel hedefleri; tıbbi kaynakların en uygun biçimde kullanılmasını, ameliyatların planlanan zamanda yapılmasını, ek maliyetler yaratılmamasını, hasta bekleme süresinin minimuma indirilmesini ve elde edilecek karın maksimize edilmesini sağlamaktır.

Ameliyat odalarının yanlış ya da uygun olmayan bir şekilde planlanması ve çizelgelenmesi hem hasta hem de hastane için planlanan ameliyatlarda gecikmeler ya da ameliyatların iptalleri anlamına gelecektir. Ameliyat gecikmeleri hasta ve hasta yakınları açısından olumsuz bir psikolojik etki yaratırken, hastane açısından ilgili güne yapılan planlamalarda aksaklıklara sebep olacaktır. Ameliyat iptalleri ise hastane yönetimi açısından bir fırsat kaybı olacaktır.

1.1.Ameliyat Süreci

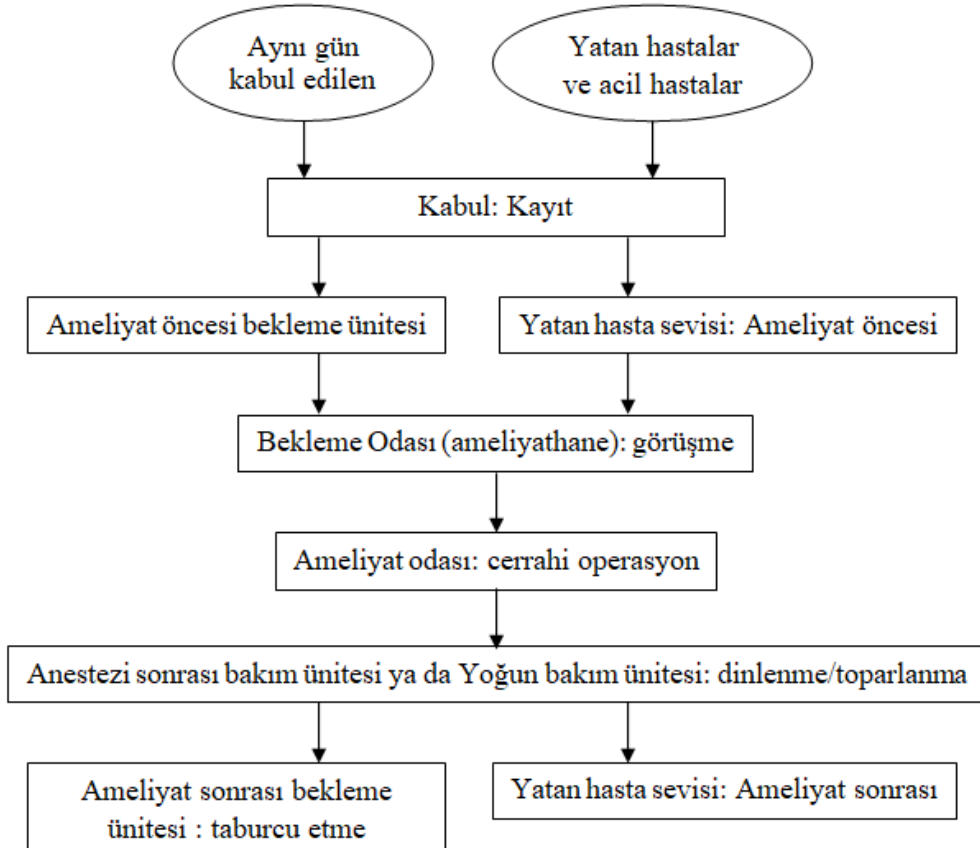
Ameliyathaneler, hastane içerisinde cerrahi operasyonların yapıldığı özel steril alanlardır. Bir hastane ameliyathanesi; ameliyata hazırlık odaları, ameliyat odaları, ayılma odaları gibi farklı alanlardan oluşmaktadır. Ameliyat odalarında; ameliyat masası, ameliyat lambası, malzeme masası, serum askıları, ısı ve nem kontrol panelleri, anestezi cihazı, çöp kovaları, aspiratör ve duvar saati gibi standart cihazların bulunması gereklidir (Uçak, 2009). Standart cihazların yanı sıra, ameliyatın gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan insan kaynakları (cerrah, cerrahi ekip, yardımcı cerrah, asistan, anestezi doktoru, anestezi asistanı, hemşireler vb.) ve ameliyata özel araç ve gereçlerin planlanan ameliyat gün ve saatinde, belirlenen ameliyat odasında hazır olarak bulundurulması gerekmektedir (Uçak, 2009).

Bir hastanın ameliyatının yapılıp yapılamayacağı hakkındaki karar hastanın cerrahi ve anestezi uzmanının tıbbi muayenesi sonucunda belirlenir (Guinet & Chaabane, 2003). Cerrahi operasyon geçirecek her bir hastanın, ameliyat sürecinde izleyeceği yol en genel şekliyle Şekil 1.2’de gösterilmiştir (Guerriero & Guido, 2011). Bu süreçte cerrahi operasyon geçirecek olan yatan hastalar, ameliyat öncesi bekleme birimine ilgili servisler ya da acil bölümünden taşınırlarken; yatan hasta olmayan yani ayakta tedavi gören hastalar ise cerrahi operasyon günü sabahında ameliyathaneye kendileri gelirler. Hastanın ameliyat öncesi bekleme ünitesine gelmesi ile, hastaya ait belgeler kontrol edilerek, hasta cerrahi operasyona hazırlanır. Hazırlık sürecinin tamamlanmasının ardından, hasta ameliyat odasına alınır.



Şekil 1.2 : Hastanın ameliyat sürecinde takip ettiği yol

Hastanın ameliyat odasına taşınmasına kadar geçen süreç ameliyat öncesi süreç olarak tanımlanmaktadır. Ameliyat sürecinde, hasta bir anestezi uzmanı tarafından anestezi altına alınır ve ardından cerrahi operasyon gerçekleştirilir. Cerrahi operasyonun tamamlanması ile, ameliyat sonrası olarak adlandırılan üçüncü ve son süreç başlar. Bu aşamada, cerrahi operasyon sonrasında hasta birkaç farklı üniteye taşınabilir. Hastaların çoğunluğu hemşire bakımı altında anestezinin etkilerinden kurtuldukları anestezi sonrası bakım ünitesine alınırlar. Operasyon sonrasında durumu kritik olarak nitelendirilen hastalar (örneğin kalp veya göğüs hastalıkları) ya da hayati riski devam eden hastalar ise özel ekipman ve eğitilmiş hemşirelerce gerekli desteğin sağlanabildiği yoğun bakım ünitelerine taşınırlar. Lokal anestezi altında gerçekleştirilen, küçük cerrahi operasyon geçiren hastalar ise anestezi sonrası bakım ünitesine alınmadan, bir süre dinlenme odasında bekletilir ve sonrasında taburcu edilirler (Pham & Klinkert, 2008). Şekil 1.3'te hastanelerdeki ameliyathane bölümüne ilişkin hasta akışı yer almaktadır (Niu et al., 2017).



Şekil 1.3 : Cerrahi operasyon geçirecek hastaların akışı

1.1.1. Hasta Bakış Açısından Ameliyat Süreci

Ameliyathanelerde en sık olarak görülen ameliyat tipi, cerrah ve hastanın birlikte aldıkları karar ile, uygun bir tarih için planlaması yapılmış türde ameliyatlardır. Ameliyatı önceden planlanmış olan hastalar geçirecekleri cerrahi operasyonun hafif ya da ağır nitelikli olmasına bağlı olarak, hastaneye ameliyat günü sabahında gelebilecekleri gibi, ameliyattan birkaç gün önce de gelerek yatış işlemlerini gerçekleştirebilmektedirler (Knoeff, 2010).

Hastanın ameliyathaneye getirilmesi ile birlikte, hasta açısından ameliyat süreci başlamış olacaktır. Hastanın ameliyathaneye gelmesi ile cerrahi operasyonun başlaması arasında yer alan zaman dilimi, hasta açısından ameliyata hazırlık süresi olarak tanımlanacaktır. Hazırlıkların tamamlanmasının ardından hasta cerrahi operasyonun gerçekleştirileceği ameliyat odasına alınır ve cerrah ile ekibi tarafından operasyon gerçekleştirilir. Cerrahi operasyonun tamamlanmasının ardından hasta ayılma odasına sevk edilir ve burada anestezinin etkisinden kurtulması beklenir. Bu aşamada eğer gerek görülürse hasta yoğun bakım ünitesine sevk edilebilir. Hastanın geçirdiği cerrahi operasyon türüne bağlı olarak, hasta bir ya da birkaç gün içerisinde taburcu edilebilir. Bu sürecin tamamlanması ile birlikte hasta açısından ameliyat süreci son bulmuş olacaktır.

1.1.2. Ameliyathane Açısından Ameliyat Süreci

Ameliyat süreci hasta açısından incelendiğinde, sadece hasta ile direkt olarak ilgili olan faaliyetler göz önünde bulundurulmaktadır. Ancak bu süreç ameliyathane açısından ele alındığında, hasta ile ilgili faaliyetlerin yanı sıra ameliyat odası hazırlığı, temizlik gibi oldukça farklı faaliyetlerin de sürece dahil olduğu görülmektedir (Knoeff, 2010).

Bir ameliyat odasının günü, odada bulunan ekipman ve makinelerin kontrol edilmesi ile başlamaktadır. Kontrol işlemi ameliyathanede bulunan ve ilgili gün kullanılması planlanan tüm ameliyat odaları için yapılmaktadır. Bu rutin kontrolün ardından her bir ameliyat öncesinde, operasyon için gerekli olan malzeme, alet, ekipman ve cihazlar ile ameliyat odası hazır duruma getirilir (Knoeff, 2010). Bu noktada belirtmek gerekir ki, ameliyat odaları farklı cerrahi operasyon türleri için farklı niteliklerde özel makine ve ekipmanlar içerebilmektedir. Bu sebeple her ameliyat odasında her tipte ameliyat yapılamamaktadır. Ameliyat odalarının ameliyata hazırlığı sürecinde, yapılacak olan cerrahi operasyon özelinde gerek duyulacak olan taşınabilir ekipmanların da ameliyatın yapılacağı odaya aktarımı sağlanmalıdır. Bu süreçte, farklı ameliyat tiplerine göre yapılması gereken ameliyat hazırlıklarını ve bu ameliyatlarda ihtiyaç duyulacak malzeme listesi ile komutları belirten ameliyathane protokollerinden faydalanılabilmektedir (Uçak, 2009).

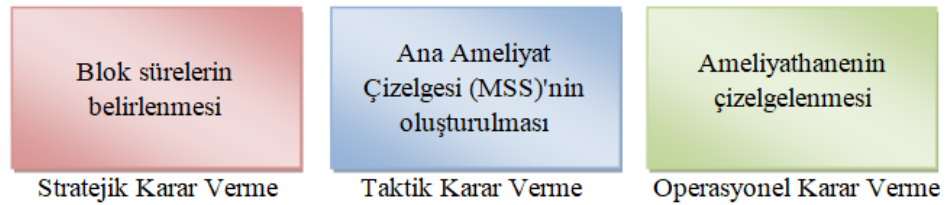
Ameliyat odasının cerrahi operasyona hazır duruma getirilmesinin ardından, cerrahi operasyona başlanır. Operasyonun bitiminde hastanın genel durumuna bağlı olarak, hasta ayılma odasına ya da yoğun bakım ünitesi gibi farklı bir birime transfer edilir. Hastanın ameliyat odasını terk etmesi ile birlikte, ameliyat odasının bir sonraki operasyon için hazırlanması çalışmalarına başlanır. Bu süreçte ameliyat odası toplanır ve temizlenir. Bir önceki operasyonda kullanılmış olan araç ve gereçler ameliyat odasından çıkarılırken, gelecek ameliyatta kullanılmak üzere temiz ve sterilize olan araçlar temin edilir. Hastanede kullanılan tüm ameliyat odalarında gerçekleştirilecek olan her bir ameliyat için aynı süreçler tekrarlanarak devam eder.

Tüm bu süreç içerisinde, ameliyathanenin ve ameliyat odalarının daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi için; bir cerrahi operasyon öncesinde ameliyat odasının hazırlanması ve hastanın ameliyata hazırlanması süreçleri eş zamanlı olarak yürütülebilmektedir. Benzer olarak, operasyonun tamamlanmasının ardından hastanın ameliyat odasından çıkartılması ile ameliyat odasının bir sonraki operasyon için temizlenmesi ve hazırlanması süreçleri eş zamanlı olarak başlatılabilmektedir. Böylece yapılması planlanan ameliyatlarda yaşanabilecek zaman kayıplarının önüne geçilmiş olacaktır.

1.2. Hastanelerde Ameliyathane Yönetimi

1.2.1. Ameliyathanede Karar Seviyeleri

Literatürde, yönetimde karar verme ortamları stratejik, taktik ve operasyonel karar verme olarak sınıflandırılmıştır (Robbins, Decenzo, & Coulter, 2013). Birer işletme olan hastanelerde de ameliyat odalarının planlanması amacıyla, yönetimde kullanılan bu üç karar verme türüne benzer olarak üç temel aşama kullanılmaktadır (Abedini et al., 2017). Bu aşamalar stratejik karar seviyesi, taktik karar seviyesi ve operasyonel karar seviyesi olarak tanımlanmaktadır (Riise, Mannino, & Burke, 2016). Ameliyathanelerde stratejik, taktik ve operasyonel seviyelerde alınan kararlar Şekil 1.4'te özetlenmiştir (Guerriero & Guido, 2011).



Şekil 1.4 : Ameliyathanelerde stratejik, taktik ve operasyonel seviyelerde alınan kararlar

1.2.1.1. Stratejik Karar Verme

Stratejik karar verme süreci geçmişe dönük tutulmuş olan dataya ve geleceğe yönelik tahminlere dayanmaktadır. Stratejik karar vermede, planlama dönemi uzun vadeli (1 yıl ve daha fazlası) olmaktadır (Hans & Vanberkel, 2012). Stratejik karar verme kapsamında hastanelere ait yapısal kararlar ele alınmakta olup, bu kararlardan bazıları hastane büyüklüğü, konum, kapasite, ekipman ve kullanılacak teknoloji şeklinde sıralanabilmektedir (L. X. Li, Benton, & Leong, 2002). Belirtilen bu kararlar dışında stratejik planlama, temel olarak zaman blokları ya da zaman periyotlarının çeşitli cerrahi uzmanlıklara tahsis edilmesi konusunu da içermektedir (Castro & Marques, 2015). Zaman bloklarının belirlenmesi amacıyla ihtiyaç duyulan ameliyathane saatleri, genellikle geçmişteki kullanımlara bağlı olarak cerrahi servisler arasında paylaştırılmaktadır (Beaulieu, Gendreau, & Soriano, 2012).

Ayrıca hastanelerde yer alacak olan ameliyathanelerin kapasitesi, boyutları, içerdikleri ameliyat odası sayısı, uyanma odası sayısı, çalışma (mesai) saatleri ve ameliyathane ile ilişkili olan diğer servislerin kapasiteleri de stratejik karar verme aşamasında ele alınan konular arasında yer almaktadır (Aringhieri, Landa, Soriano, Tànfani, & Testi, 2015). Stratejik karar seviyesinde karar vericiler söz konusu hastanenin yönetim kuruludur (Van Ders Lans et al., 2005).

1.2.1.2. Taktik Karar Verme

Taktik karar verme genellikle orta vadeli kararları kapsamaktadır ve bu kararların konusunu birkaç haftalık zaman dönemini kapsayan planlamalar oluşturmaktadır (Blake & Donald, 2002). Taktik karar verme sürecinde ameliyathanenin kullanılabilir haftalık toplam süresi, cerrahlara ya da cerrahi uzmanlık alanlarına bölünmekte ve farklı hasta tipleri ilgili uzmanlıklara atanmaktadır (Hans & Vanberkel, 2012). Taktik karar seviyesinde cerrahi operasyonların sırası ile ilgilenilmemektedir, planlanan cerrahi operasyonların ameliyathane ya da sınırlı sayıda olan ameliyat aletleri açısından kaynak karmaşıklığı yaratıp yaratmayacağı konusu ile ilgilenilmektedir (Peltokorpi, 2011). Kısacası hangi cerrahi operasyonun, hangi ameliyat odasında, hangi cerrah ve ameliyat ekibi tarafından, hangi zaman bloğunda yapılacağı bu karar aşamasında belirlenir (Testi, Tanfani, & Torre, 2007) (Hans & Vanberkel, 2012). Taktik karar verme aşaması, yabancı literatürde "Master Surgical Scheduling (MSS)" olarak bilinen "Ana Ameliyat Çizelgesi (AAC)"nin oluşturulmasını içermektedir. Bir AAC, her bir ameliyat odasının zaman bloklarının her gün için bir cerrahi uzmanlık alanına ya da cerraha tanımlandığı bir plandır. AAC genellikle 1-3 aydan 1 yıla kadar değişebilen bir zaman dilimini kapsamaktadır (Guerriero & Guido, 2011).

Taktik karar verme, ameliyathane maliyetlerini minimize ederken yapılan ameliyatlara değerinin maksimize edilmesini sağlayan programların tasarlanmasını kapsamaktadır. (Beaulieu et al., 2012) (Van Oostrum et al., 2008).

1.2.1.3. Operasyonel Karar Verme

Operasyonel karar verme, yapılması planlanan cerrahi operasyonların ele alınan gün için çizelgelenmesini ve geciken ya da iptal edilen cerrahi operasyonların eş zamanlı olarak yönetilmesini kapsayan, kısa vadeli karar verme türüdür (Beaulieu et al., 2012). Ana ameliyat çizelgesinin oluşturulmasından ardından, gerçekleştirilmesi planlanan cerrahi operasyonların ameliyat odalarına atanması ve her bir cerrahi operasyonun günlük olarak planlanan başlangıç ve planlanan bitiş zamanlarını içeren çizelgelerin yapılması operasyonel karar seviyesinde ele alınmaktadır (Abedini et al., 2017). Yapılan bu planlama sonucunda nihai amaç, ameliyathane kullanım süresini maksimize etmek iken, eş zamanlı olarak ameliyathanedeki fazla mesai süresini ve ameliyat iptallerini minimize etmek olacaktır (Van Ders Lans et al., 2005).

1.2.2. Ameliyathane Yönetiminde Kullanılan Performans Ölçüleri

Ameliyathaneler hastanelerde yer alan en karmaşık ve aynı zamanda en maliyetli bölümlerden biridir. İçerdikleri son teknoloji aletler ve çeşitli standart fiziksel imkanların sağlanması zorunlu olduğundan dolayı, ameliyathanelerin kurulum maliyetleri oldukça yüksektir. Dolayısıyla hastaneler açısından oldukça maliyetli olan ameliyathanelerin, etkili bir şekilde kullanılarak yüksek gelir elde edilmesi hastane yöneticileri açısından büyük önem taşımaktadır.

Ameliyathanelerin etkinliği en basit olarak bir iş günü içerisinde gerçekleştirilen cerrahi operasyon sayısı ile ölçülmektedir (Khambhammettu & Persson, 2016). Bunun yanı sıra; hasta, ameliyathane personeli ve ameliyathane yöneticileri bakış açılarından olmak üzere sınıflandırılabilen, ameliyathanelerin performanslarını belirleyen farklı ölçüler de kullanılabilmektedir. Ayrıca uyanma

odaları, yoğun bakım ünitesi ve anestezi sonrası bakım ünitesi gibi çeşitli kaynakların dengeli ve planlı bir şekilde kullanılması da ameliyathanelerin planlanması ve çizelgelenmesi açısından önem taşımaktadır. Tüm bu ölçüler, ameliyathanelerin çizelgelenmesi sürecinde birer amaç olarak belirlenmeli, optimum planlamanın yapılabilmesi sağlanmalıdır. Bahsedilen bu ölçülerden bazıları: ameliyathane kullanım oranı, ameliyat odalarının boş bekleme süresi, hasta devir süresi şeklinde sıralanabilmektedir (Kavuncubaşı & Yıldırım, 2013).

Ameliyathanenin kapasitesi ve etkinliği üzerindeki bir diğer önemli belirleyicinin ameliyathane yöneticileri olduğu yapılan araştırmalarda vurgulanmaktadır. Bu noktada ameliyathane yöneticilerinin kendi uzmanlık alanlarında çok iyi olarak nitelendirilebilecek doktorlardan oluşmasının, başarılı sonuçlar ortaya çıkaracağına kesin gözüyle bakmamak gerekmektedir. Diğer tüm yöneticiler için geçerli olduğu gibi; cerrah, anestezi uzmanı, hemşire vb. farklı uzmanlık alanları olan ameliyathane yöneticilerinin de liderlik ve yönetim ile ilgili becerilere sahip olmaları gerekmektedir. (Muñoz Alameda & Macario, 2017).

1.2.2.1. Gerçekleştirilen Cerrahi Operasyon Sayısı

Ameliyathanelerin performanslarını ölçmede kullanılan en basit yöntem olarak bir iş gününde gerçekleştirilen cerrahi operasyon sayısı kullanılmaktadır. Ameliyathanelerin etkili ve doğru bir şekilde çizelgelenmesi ile bir günde yapılması planlanan ameliyat sayısı ile fiili olarak gerçekleştirilen ameliyat sayıları birbiri ile tutarlı olacaktır. Hastane ve ameliyathane yönetimi açısından bir iş günü içerisinde mümkün olduğunca fazla sayıda cerrahi operasyon gerçekleştirilmesi, elde edilen daha fazla kar anlamına gelmektedir. Bu sebeple bir performans ölçüsü olarak değerlendirilen gerçekleştirilen ameliyat sayısının yüksek olması, performansın yüksek olduğunu göstermektedir.

1.2.2.2. Ameliyathanenin Toplam Kullanım ve Boş Bekleme Süreleri

Bir ameliyathanede bulunan ameliyat odalarında bir gün içerisinde gerçekleştirilen tüm ameliyatlar için harcanan süre ameliyathanenin toplam kullanım süresi olarak tanımlanmaktadır (Ozcan, 2009). Bu sürenin yüksek olması, literatürde ameliyathanelerin etkili olarak kullanıldığını gösteren ölçüler arasında yer almaktadır.

Ameliyathanenin boş bekleme süresi; mesai saatleri göz önünde bulundurularak hesaplanan ameliyathane kapasitesinden, ameliyatlar için harcanan toplam süre çıkarılarak elde edilmektedir. Bir ameliyathanede yer alan ameliyat odalarında cerrahi operasyon yapılmadan geçen zamanı gösteren bir ölçüdür. Hastane ve ameliyathane yönetiminin bu ölçünün mümkün olduğunca minimum düzeyde olması istenmektedir.

1.2.2.3. Ameliyatların Ertelenmesi ve İptal Edilmesi

Planlanmış ameliyatların farklı bir zaman dilimi veya güne ertelenmesi ya da ameliyatların iptal edilmesi, ameliyathanelerin kullanımında etkinliğin düşmesine sebep olmaktadır. Ertelenen bir ameliyat, hasta ve hasta yakınları açısından memnuniyetsizlik ve tedirginlik gibi sonuçlar ortaya çıkaracaktır. Ameliyatların ertelenmesi ve iptal edilmesi hazırlanmış olan ameliyathane çizelgesinde aksaklıklara yol açarken, doktor ve ameliyathane personeli açısından boş bekleme süresi ortaya çıkaracaktır (Garg, Bhalotra, Bhadoria, Gupta, & Anand, 2009). Bu durum ameliyat odasının da boş kalmasına yol açarken, hastane ve ameliyathane yönetimi açısından fırsat kaybı oluşturacaktır. Tüm bu olumsuz etkilerin yanı sıra; ertelenen ve iptal edilen ameliyatların yeniden planlanması ve çizelgelenmesi ekstra iş yüküne sebep olacaktır.

1.2.2.4. Ameliyathane Kullanım Oranı

Ameliyathane kullanım oranı, ameliyathanenin ne derece verimli kullanıldığını gösteren bir ölçüdür. Bir gün içerisinde gerçekleştirilen ameliyatlara için harcanan toplam sürenin, ameliyathanenin günlük toplam mesai süresine bölünmesi ile hesaplanabilen bir ölçüdür. Bir ameliyathanenin günde toplam 16 saat hizmet verdiği ve ilgili gün içerisinde toplam 14 saat süren 4 ameliyatın gerçekleştirildiği varsayılırsa; bu ameliyathanenin kullanım oranı $14 \text{ saat} / 16 \text{ saat}$ işlemi yapılarak %87,50 olarak bulunacaktır. Ameliyathane kullanım oranının yüksek değerlerde olması hastane ve ameliyathane yöneticilerince hedeflenen bir durumdur (Van Houdenhoven, Van Oostrum, Hans, Wullink, & Kazemier, 2007).

1.2.2.5. Hasta Devir Süresi

Hasta devir süresi, gerçekleştirilen iki cerrahi operasyon arasında ameliyathanenin ortalama boş bekleme süresi olarak tanımlanabilmektedir. Ameliyathanenin toplam boş bekleme süresi kullanılarak hesaplanan bir ölçüdür. Toplam boş bekleme süresinin yapılan toplam ameliyat sayısına bölünmesi ile hasta devir süresi elde edilmektedir. Bir ameliyathanenin günde toplam 16 saat hizmet verdiği, ilgili gün içerisinde toplam 14 saat süren 4 ameliyatın gerçekleştirildiği varsayılırsa; bu durumda hasta devir süresi $(16 \text{ saat} - 14 \text{ saat}) / 4 \text{ ameliyat}$ işlemi yapılarak 0,5 saat olarak bulunacaktır. Hasta devir süresinin düşük değerlerde olması ameliyathane performansının yüksek olabilmesi açısından önem taşımaktadır.

1.2.2.6. Bekleme Süreleri

Ameliyathanelerin performansları hasta bakış açısından ele alındığında; hastaların cerrahi operasyonlar için bekleme sürelerinin, verilen cerrahi hizmetten duydukları memnuniyet ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür (Dios, Molina-Pariante, Fernandez-Viagas, Andrade-Pineda, & Framinan, 2015). Memnuniyet düzeyini etkileyen önemli bir faktör olması sebebi ile, hastaların ameliyat için bekleme süreleri önemli performans ölçüleri arasında yer almaktadır (Xiang & Li, 2015).

Bekleme süreleri ameliyathane personeli açısından ele alındığında ise, ameliyathanede görev alan hemşire, anestezi uzmanları vb. personelin çalışma saatleri içerisindeki boş bekleme süreleri üzerinde durulmaktadır (Kavuncubaşı & Yıldırım, 2013). Ameliyathanelerin etkili bir şekilde planlanamaması, personelin çalışma saatleri içerisinde boş zaman geçirmesine sebep olduğu gibi, fazla mesai sürelerinde artışa neden olabilmektedir. Doğru yapılmayan planlamalardan kaynaklanan fazla mesailerin yarattığı bir sonuç olarak da hastane yönetimi ek maliyetlere katlanmak durumunda kalıyor olacaktır ki bu yöneticiler açısından istenmeyen bir durumdur (Baytören, Önder, & Özdemir, 2019). Bu durumun bir başka sonucu olarak, doğru yapılmayan planlamalar beraberinde ameliyathane personeli açısından memnuniyetsizlik durumlarını ortaya çıkarıyor olacaktır.

1.2.3. Ameliyathane Kullanımını Etkileyen Faktörler

Ameliyathanelerin günün her saatinde hizmet vermeye hazır olması gerekmektedir. Devlet hastanelerinde hafta içi 24 saat boyunca planlanmış ameliyatlarda yapılırken, hafta sonları ise oluşabilecek acil ameliyat taleplerini karşılayabilmek adına ameliyathane ekibi hazır olarak bulundurulmaktadır. Özel hastanelerde ise uygulamalar hastaneler arasında farklılaşmakla birlikte; genellikle pazartesi ve cumartesi günleri arasında sabah 8:00'dan akşam 18:00'a kadar planlanmış ameliyatlarda yapılmaktadır. Gerek duyulduğunda saat 18:00'dan sonrası için de ameliyatlarda planlanabilmekte ve çeşitli sebeplerle ameliyatlarda gecikmeler yaşandığında belirlenen saatler dışında da ameliyatlarda gerçekleştirilebilmektedir. Pazar günleri ise ortaya çıkabilecek acil ameliyatlarda için ameliyathane ekibi hazır olarak bulundurulmaktadır. Ameliyathanelerde mesai saatleri olarak tanımlanan saatler dışında kalan diğer zamanlarda ve hafta sonlarında da acil hastalar için cerrahi operasyon yapılabilmektedir. Söz konusu insan hayatı olduğu için hastanelerin 7 gün 24 saat hizmet verebilecek durumda olmaları gerekmektedir.

Ameliyathanelerin hizmet verdikleri saatlerin dışında, ameliyathane planlamasını ve çizelgelenmesini etkileyen çok sayıda faktör bulunmaktadır. Bu faktörler arasında; gerçekleştirilecek ameliyatlarda süreleri, ameliyatlarda erken ya da geç tamamlanma süreleri, acil ameliyat gereksinimlerinin oluşması, ameliyata geç başlanması gibi çeşitli faktörler sıralanabilmektedir.

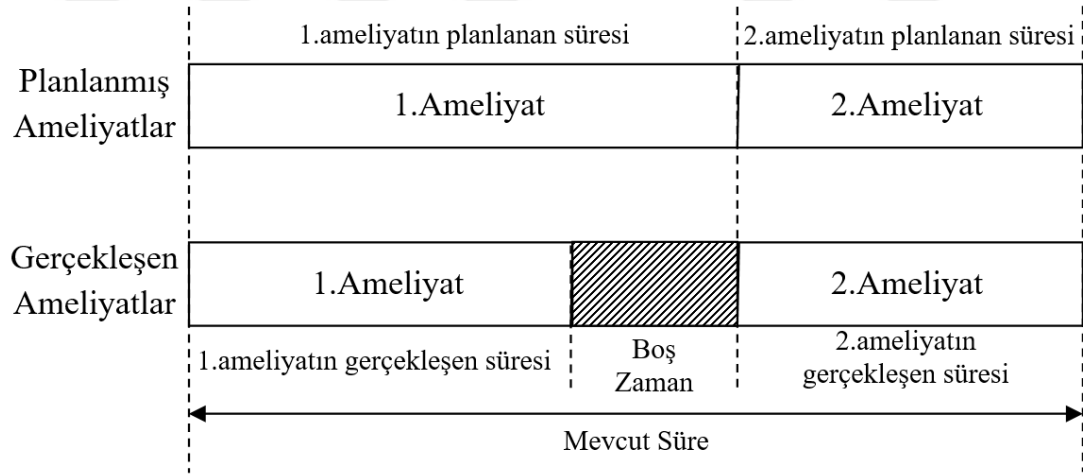
1.2.3.1. Ameliyat Süreleri

Ameliyat süresi, cerrahi operasyon geçirecek olan hastanın ameliyat odasına alınması ile, cerrahi işlemi tamamlanarak aynı hastanın ameliyat odasından çıkartılmasına kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır (Dexter & Traub, 2002). Cerrahi operasyonların çizelgelenmesi, her bir operasyon özelinde oluşan değişkenlikler (örneğin operasyonu gerçekleştiren cerrahın hızı vb.) sebebiyle karmaşık bir süreçtir. Bu karmaşıklığı minimuma indirmek amacıyla bir çok araştırma yapılmış olup, bu araştırmaların temel hedefi hangi ameliyata ne kadar zaman harcandığını ortaya çıkarmak olmuştur. Bu amaçla yapılmış olup literatürde yer alan bir çok araştırmada geçmişte yapılan cerrahi operasyonlara ait veriler analiz edilmiş ve ameliyat sürelerine ilişkin olasılık dağılımları incelenmiştir (Strum, May, & Vargas, 2000). Aynı uzmanlık alanları bünyesinde dahi, gerçekleştirilen farklı cerrahi operasyonlara ait süreler farklılık gösterebildiği için ameliyat sürelerinin kesin olarak belirlenmesi mümkün olamamaktadır. Ameliyat sürelerinin, gerçek değerinden yüksek olarak tahmin edilmesi, ameliyat odalarının boş kalmasına sebep olurken; gerçek değerlerinden düşük olarak tahmin edilmesi ise bir sonraki ameliyatın geç başlamasına, ertelenmesine ya da iptal edilmesine sebep olacaktır.

Gerçekleştirilmesi planlanan ameliyatlara ilişkin sürelerin gerçeğe yakın bir şekilde tahmin edilebilmesi; ameliyathanelerde çizelgelemelerin daha doğru yapılabilmesi ve ameliyathanelerin etkin kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır.

1.2.3.2. Ameliyatın Erken Tamamlanması

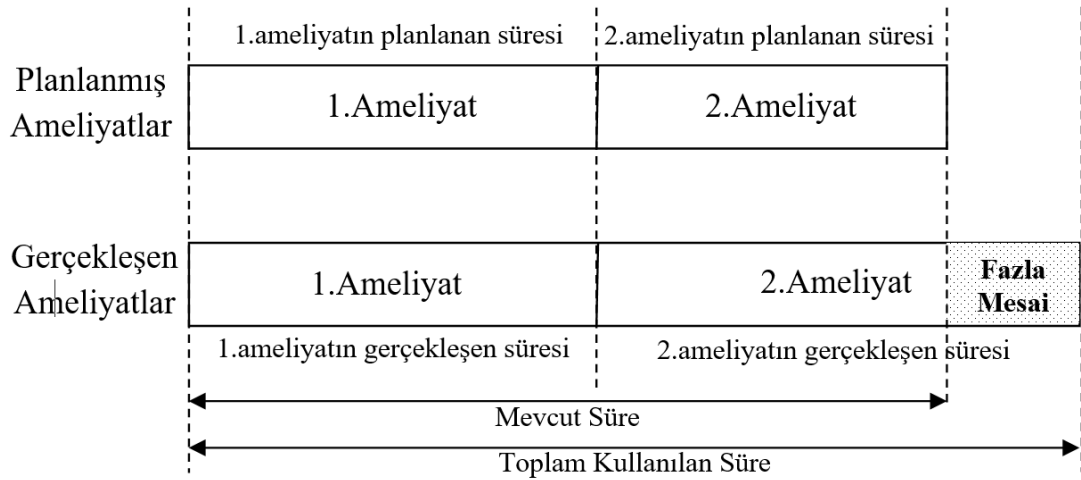
Planlanmış ve çizelgelenmiş ameliyatların, ilgili ameliyat için belirlenen zaman aralığından önce tamamlanması, ameliyatın erken tamamlanması olarak adlandırılmaktadır. Ameliyatların planlanan zamandan erken tamamlanması, bir sonraki planlanmış ameliyat başlayana kadar ameliyat odasının boş kalması ve eş zamanlı olarak ameliyathane personelinin boş beklemesi anlamına gelmektedir. Bu durum ameliyathanenin kullanım oranını düşürecek, dolayısı ile ameliyathanenin etkin kullanılmasını olumsuz olarak etkileyecektir. Ameliyatların tahmini sürelerinin daha doğru olarak öngörülebilmesi ile planlanan süreden erken tamamlanan ameliyat sayısının mümkün olduğunca minimize edilmesi, ameliyathane çizelgeleri açısından önem taşımaktadır. Bir ameliyatın erken tamamlanması Şekil 1.5'te şematik olarak ifade edilmiştir.



Şekil 1.5:Ameliyatların erken tamamlanma durumu

1.2.3.3. Ameliyatın Geç Tamamlanması

Planlanmış ve çizelgelenmiş ameliyatların, ilgili ameliyat için belirlenen zaman aralığını aşarak, daha geç bir sürede tamamlanması, ameliyatın geç tamamlanması olarak adlandırılmaktadır. Bir ameliyatın planlanmış süresinden daha geç tamamlanması, aynı ameliyat odasında gerçekleşecek olan bir sonraki ameliyatın geç başlamasına sebep olmaktadır. Ayrıca fazla mesai maliyetleri de ameliyatların geç tamamlanması sonucunda ortaya çıkabilmektedir. Tüm bunların yanı sıra, bir ameliyatın geç tamamlanması hasta yakınları açısından endişeli bir durum olarak karşılanmaktadır. Ameliyatların tahmini sürelerinin doğru olarak öngörülebilmesi ile ameliyatların geç tamamlanması probleminin önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Bir ameliyatın geç tamamlanması Şekil 1.6'da şematik olarak ifade edilmiştir.

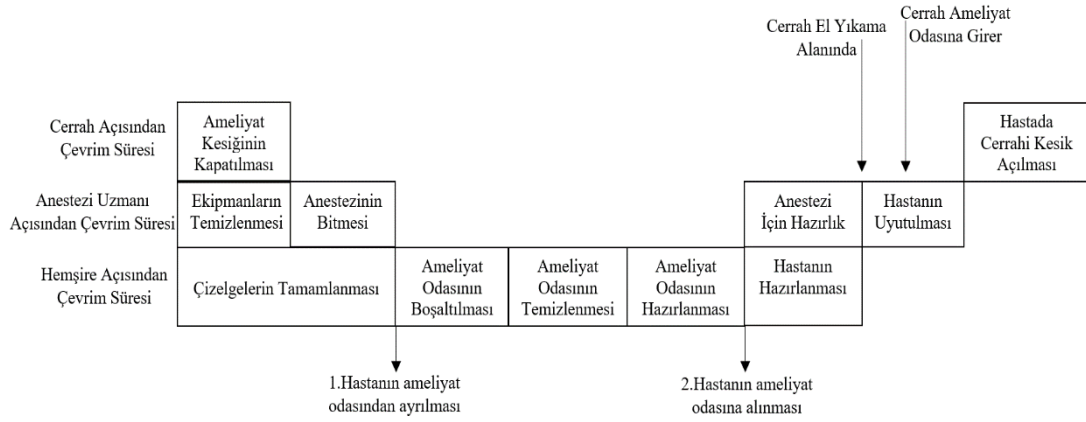


Şekil 1.6: Ameliyatların geç tamamlanması durumu

1.2.3.4. Çevrim Süresi

Ameliyathanelerde çevrim süresi, ameliyat hemşireleri, anestezi uzmanları ve cerrahlar gibi farklı bakış açılarından tanımlanabilmektedir. Örneğin bir ameliyat hemşiresi açısından çevrim süresi, bir hastanın ameliyat odasından çıkarılması ve bir sonraki hastanın ameliyat odasına alınması arasında geçen süredir. Anestezi uzamanı açısından ise; bir hastanın anestezi sonrası bakım ünitesine aktarılıp bir sonraki hastaya anestezi verilmesine kadar geçen süredir. Cerrah açısından ise; bir hastanın cerrahi yarasının kapatılmasından bir sonraki hastaya neşter vurulmasına kadar geçen süre olarak tanımlanabilmektedir (“Surgery Management Improvement Group”, (Çevrimiçi) www.surgerymanagement.com/, 22.10.2019). Farklı açılardan ele alınan tüm bu tanımlamalar doğru olmakla birlikte, çevrim süresi ameliyat odası açısından da ele alınabilmektedir.

Çevrim süresi, bir hastanın ameliyat odasından çıkması ile bir sonraki hastanın aynı gün aynı ameliyat odasına girmesi arasında geçen süre olarak tanımlanmaktadır (Macario, 2007). Çevrim süresine, herhangi bir sebeple planlanmış ameliyatlarda yaşanabilen gecikmeler ya da ertelemeler dahil olmamaktadır. Çevrim süresi, sadece ameliyat odasının bir sonraki operasyon için temizlenmesi ve hazırlanması için gerek duyulan süreleri içermektedir (Dexter & Epstein, 2005). Ameliyat odalarının çizelgeleri oluşturulurken yapılması planlanan her bir operasyon için ameliyat süresi belirlenmektedir. Ameliyatlarda ihtiyaç duyulan çevrim süreleri de planlanan ameliyat süresi içerisine dahil edilerek, ameliyathane çizelgeleri oluşturulmaktadır (Dexter, Macario, & Traub, 1999). Ameliyathane personeli açısından çevrim süreci farklılıkları Şekil 1.7’de gösterilmiştir (“Surgery Management Improvement Group”, (Çevrimiçi) www.surgerymanagement.com/, 22.10.2019).



Şekil 1.7: Ameliyathane personeli açısından çevrim süreçleri

Ameliyathane yöneticileri için çevrim süresi büyük önem taşımaktadır. Ameliyat odalarının daha fazla sayıda personel ile temizlenmesi sağlanarak çevrim süresi azaltılabilmektedir. Ancak bu sürenin azaltılması, anestezi sonrası bakım ünitesinde boş yatak kalmadığından operasyonu biten bir hastanın bu birime transfer edilememesi gibi ameliyathaneyi direkt olarak ilgilendiren farklı sorunların ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir (Macario, 2007). Bu sebeple ameliyathane yöneticileri tarafından tanımlanmış olan çevrim süreci planlamalarda dikkate alınmalıdır. Belirlenen çevrim sürecini aşan durumlar ise gecikme olarak değerlendirilmelidir.

1.2.3.5. Acil Ameliyatlar

Ani bir şekilde oluşan ve planlanmamış ameliyat talepleri acil ameliyatlar olarak adlandırılmaktadırlar. Bu operasyonlar, herhangi bir gün içerisinde ve herhangi bir zaman diliminde aniden oluşan ameliyat talepleridir. Bu ameliyat taleplerine, hastanın hayati durumuna bağlı olarak hızlı bir şekilde cevap verebilmek büyük önem taşımaktadır. Bu özellikleri sebebi ile oluşan acil ameliyatların önem

derecelerine bağlı olarak, planlanmış olan ameliyatların programında çeşitli aksamalar ortaya çıkabilmektedir.

1.2.3.6. Ameliyata Geç Başlanması

Ameliyata geç başlanması, çizelgelenmiş ameliyatların planlanan zamanlarından daha geç başlaması anlamına gelmektedir. Ameliyat odalarının kullanımında ortaya çıkan gecikmeler, ameliyathanelerin etkinlikleri üzerinde negatif etki yaratmaktadırlar. Bunun yanı sıra; herhangi bir sebeple ameliyata geç başlanması, hasta ve hasta yakınları üzerinde tedirginlik, stres ve memnuniyetsizlik gibi olumsuz etkiler de yaratmaktadır.

Yapılan araştırmalara göre, ameliyathanelerde en sık olarak karşılaşılan sorun yaklaşık %34'lük bir değer ile gecikmelerdir (Wong, Khu, Kaderali, & Bernstein, 2010). Oldukça farklı sebeplerle ameliyatların geç başlaması söz konusu olabilmektedir. Bu sebeplerden bazıları; ameliyatta kullanılacak ekipmanların eksikliği, ameliyathane personelinin gecikmesi, ameliyat olacak hastanın hastaneye geç gelmesi şeklinde sıralanabilmektedir.

Bir gün için planlanmış ilk cerrahi operasyonda yaşanacak bir gecikme, bağlantılı olarak aynı gün içerisinde aynı ameliyat odasında gerçekleştirilecek olan diğer cerrahi operasyonlarda da gecikmeye sebep olacaktır (Wong et al., 2010). Ortaya çıkan bu durum sebebi ile, ameliyatların tamamlanabilmesi için fazla mesai ihtiyacı oluşabilecek, dolayısıyla fazla mesai maliyetine katlanılması durumunda kalınabilecektir.

1.3. Ameliyathanelerde Çizelgeleme

Günümüzde hastanelerin en önemli gelir kaynaklarından biri olan ameliyathanelerde etkili ve doğru planlanma yapılması, hastanelerin karlılığını artırırken, giderlerinin azalmasına da yardımcı olacaktır (Kavuncubaşı & Yıldırım, 2013). Ameliyathanelerde etkili bir planlama yapılmaması durumunda, ameliyat odalarının boş kalma süresi artar, ameliyathane personelinin fazla mesai maliyetleri artar, ameliyatlara planlanan zamandan geç başlanır ve geç biter, planlanan ameliyat zamanına uyulmadığından cerrah, hasta ve hasta yakınlarında memnuniyetsizlik oluşur. Tüm bu istenmeyen durumları engellemek amacıyla uygun ve etkili bir planlamanın yapılması gerekmektedir (Ozcan, 2009).

Ameliyathanelerin planlanması ve çizelgelenmesi sürecinde dikkate alınması gereken bir çok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerden en önemlileri şunlardır (Hamilton & Breslawski, 1994) (Sier, Tobin, & McGurk, 1997):

- ✓ Ameliyathanede bulunan ameliyat odası sayısı
- ✓ Ameliyatlarda ihtiyaç duyulabilecek özel ekipman sayısı
- ✓ Blok zamanları bilgisi
- ✓ Hastanenin ameliyathane çizelgeleme politikası
- ✓ Tahmini ameliyat süreleri
- ✓ Ameliyathanenin kullanılabildiği zaman aralıkları
- ✓ Anestezi uzmanı sayısı
- ✓ Ekipmanlardaki taşınabilirlik kısıtlamaları (İhtiyaç duyulduğunda ekipmanlar farklı ameliyat odalarına taşınabilir mi?)

Ameliyat odalarının planlanabilmesi ve çizelgelenebilmesi amacıyla hastaların sınıflandırılmasına da ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde hasta grupları genel olarak iki ana sınıfa ayrılmışlardır. Bu sınıflar; elektif hastalar ve elektif olmayan hastalar olarak belirlenmiştir. Elektif hastalar, ameliyatları önceden planlanmış olan hastalar olarak tanımlanırken, elektif olmayan hastalar ise

ameliyatlari önceden planlanmamış, acil nitelikteki hastalardır (Cardoen, Demeulemeester, & Beliën, 2010). Elektif hastaların ameliyatlari, elektif ameliyatlari olarak adlandırılmakla birlikte, planlanmış ameliyatlari olarak da literatürde yer almaktadırlar. Elektif hastalar; yatan hastalar ve ayaktan hastalar olarak kategorize edilebilmektedir. Elektif olmayan hastaların geçirecekleri ameliyatlari ise, acil ameliyatlari olarak adlandırılmaktadır. Her iki hasta grubuna ait ameliyatlari çizelgelenmesinde farklı kriterler göz önünde bulundurulmaktadır.

Ameliyathanelerde cerrahi operasyonların planlanması amacıyla kullanılan farklı sınıflandırma teknikleri içerisinde en genel sınıflandırma, cerrahi operasyon geçirecek olan hasta türüne göre yapılan sınıflandırmadır. Hasta türüne göre yapılan bu sınıflandırmaya göre hastalar geçirecekleri ameliyatın ivedilik durumuna bağlı olarak acil ameliyatlari ve elektif ameliyatlari olarak iki gruba ayrılırlar.

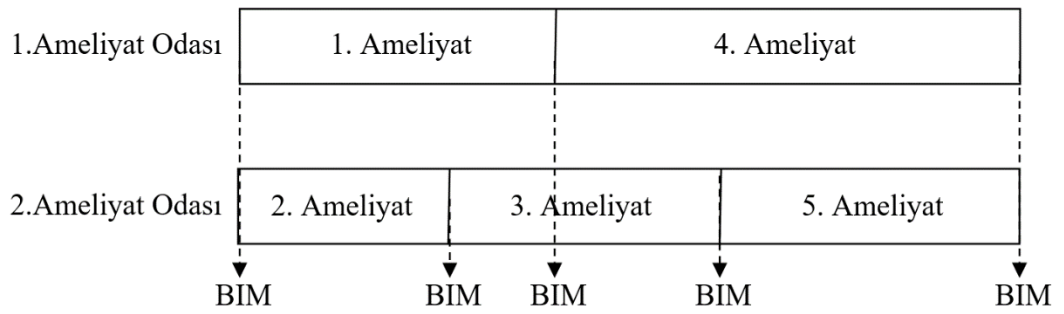
1.3.1. Acil Ameliyatlari Çizelgelemesi

Önceden planlanmış olan ameliyatlari aksine, acil ameliyatlari önceden planlanmamış ve ameliyatın gerçekleşeceği gün beklenmedik bir şekilde ortaya çıkan ameliyat talepleridirler (Fitzgerald, Lum, & Dadich, 2005). Herhangi bir günde, herhangi bir zamanda acil ameliyat talebi ortaya çıkabilmektedir. Acil ameliyat talebi, aynı hastanenin yoğun bakım ya da acil biriminden gelebileceği gibi cerrahi operasyon geçirmiş bir hastada meydana gelen komplikasyonlar sonucunda veya hastanenin bulunduğu bölgede meydana gelen herhangi bir kaza sonucunda oluşabilmektedir. Bu tür farklı sebeplerle oluşan acil ameliyat talepleri sebebiyle planlanmış ameliyatlari programında zaman zaman aksamalar ortaya çıkabilmektedir.

Ameliyat talebi ile hastanelere başvuran acil hastalara, hastanın gelişi ve cerrahi müdahalenin uygulanması arasında geçen süre göz önünde bulundurularak bir sınıflandırma yapılabilmektedir. İngilizce literatürde "emergency" ve "urgent" terimleri kullanılarak yapılan bu sınıflandırmanın Türkçe karşılığı sırasıyla "acil vaka" ve "acil durum/aciliyet" olarak tanımlanabilmektedir. Bu ayrıma göre; emergency olarak tanımlanan hastaların ihtiyaç duyduğu cerrahi operasyonların mümkün olan en kısa sürede gerçekleştirilmesi zorunludur. Urgent olarak tanımlanan hastalar ise; durumları stabil olan, gerçekleştirilecek olan cerrahi operasyonu kısa bir süre ertelenebilen acil hastalar olarak tanımlanabilmektedirler (Cardoen et al., 2010).

Ameliyathaneye acil vakaların gelmesi, hali hazırda planlanmış olan ameliyat programlarının uygulanmasında belirsizlik oluşturan durumlardan biridir. Acil ameliyatlara, ölümlerden ya da çeşitli tıbbi komplikasyonlardan kaçınmak için en kısa sürede planlanması önem taşımaktadır (Van Ders Lans et al., 2005). Acil cerrahi operasyon gerektiren durumlarda, hayati risk yaratacak herhangi bir durum ile karşılaşmamak için ameliyathanelerde farklı uygulamalar yapılabilmektedir. Acil ameliyat gereksinimi ile başvuran hasta taleplerinin karşılanabilmesi için, hastaneler acil ameliyat kapasitesi ayırmaktadırlar. Hastaneler acil ameliyat kapasitelerini çeşitli şekillerde ayırmaktadırlar. Bu uygulamalardan ilki, ameliyathanede yer alan ameliyat odalarından birini ortaya çıkması muhtemel acil ameliyatlara için hazır bulundurmaktır. Yani bu yöntemde acil hastanın başvurusuyla, acil ameliyatlara için tahsis edilmiş olan ameliyat odası kullanılmaya başlanmaktadır. Ancak bu durumda ameliyat odası kullanım oranının düşük olması sorunu ortaya çıkabilmektedir. Bir diğer yaklaşım ise, ameliyathanelerde bulunan tüm ameliyat odalarının günlük planlamasında, oluşması muhtemel acil ameliyat taleplerine cevap verebilmek için elektif ameliyatlara arasında aralıklar oluşturmaktır (Wullink et al., 2007). Bu yöntemde acil ameliyatlara için belirlenmiş bir ameliyat odası bulunmamaktadır. Acil ameliyat taleplerine cevap verebilmek için, hali hazırda devam eden bir operasyonun yarıda bırakılması söz konusu olmayacaktır. Ancak, ameliyat odalarında gerçekleştirilen farklı iki elektif ameliyatın arasında acil ameliyatlara gerçekleştirilmesi sağlanabilmektedir. Bir ameliyat odasında; bir elektif ameliyatın

tamamlanması ile sıradaki elektif ameliyatın başlaması arasında yer alan zaman yabancı literatürde "Break-In-Moment" ya da kısaca BIM olarak adlandırılmaktadır (Lans et al., 2005). Şekil 1.8’de gerçekleştirilen ameliyatlar arasındaki, BIM olarak adlandırılan zaman aralıkları gösterilmektedir. Bir ameliyat odasında, ilgili gün içerisinde yapılan ilk ameliyatın başlangıç anı da BIM olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemde; acil ameliyat taleplerinin, gerçekleştirilen elektif ameliyatlardan herhangi birinin bitimine kadar beklemesi gerekmektedir. Ameliyathanelerin çizelgelemesinde elektif ameliyatlar arasındaki boşluklar, ne kadar fazla sayıda ve eşit zaman aralıklarına yayılmış olarak planlanırsa; acil hastaların toplam bekleme süresi o denli azalmış olacaktır. Bu yöntemde ameliyat odasının kullanım oranı artarken; günlük çizelgelerde oluşabilecek aksaklıklar sebebiyle fazla mesai ve bir sonraki planlanmış ameliyatın geç başlaması gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bu gecikmelerin minimize edilebilmesi amacıyla, gerekli durumlarda ameliyathane yönetiminin var olan çizelgelemeyi güncellemesi gerekebilmektedir. Acil ameliyatların gerçekleştirilebilmesi için belirtilen yöntemlerden hangisinin tercih edileceği ise hastane ve ameliyathane yönetiminin almış olduğu yönetsel kararlara bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir.



Şekil 1.8: Ameliyatlar arasındaki zamanların (BIM) gösterimi

1.3.2. Elektif Ameliyatların Çizelgelenmesi

Elektif hastalara uygulanacak olan cerrahi operasyonlar elektif ameliyatlar olarak adlandırılmaktadırlar. Elektif ameliyatlar, hasta ve doktor tarafından birlikte alınan karar sonucu, gerçekleştirilmesi planlanan ameliyatlardır. Acil ameliyat taleplerinde karşılaşılan hastanın hayati tehlike içerisinde olması durumu elektif ameliyatlarda söz konusu olmadığından dolayı, bu ameliyatlar ilerleyen günlerde uygun olan bir zaman dilimi için çizelgelenebilirler.

Elektif ameliyatların planlanmasında farklı yöntemler kullanılmakta olup, bu yöntemlerden bazıları; ilk gelen ilk hizmet alır, en uzun süren ameliyatlar ilk önce yapılır, en kısa süren ameliyatlar ilk önce yapılır ve çoklu ameliyathane salonu sistemi olarak sıralanabilmektedir (Ozcan, 2009). Bu yöntemlerin yanı sıra, günümüz hastanelerinde ameliyatların çizelgelenmesi amacıyla üç ana planlama stratejisi kullanılmaktadır. Bu stratejiler; açık çizelgeleme, blok çizelgeleme ve modifiye blok çizelgeleme yöntemleridir (Hongying Fei, Meskens, & Chu, 2006). Uygulanacak olan ameliyathane çizelgeleme yöntemleri, hastanelerdeki karmaşık durumlara bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir.

1.3.2.1. En Uzun Süren Ameliyatlar İlk Önce Yapılır

Yabancı literatürde "Longest Case First (LCF)" olarak adlandırılan bu yöntem, ameliyathanelerin planlanmasında en uzun sürede tamamlanması öngörülen operasyonların ilk olarak yapılması temeline dayanır. Bu yöntemde uzun süren ameliyatları yapan cerrahlar, ameliyathaneyi erkenden kullanmaya başlarlar. Yapılan ilk ameliyatlara ait sürelerin uzun olması sebebi ile, günün ilk saatlerinde anestezi sonrası bakım ünitelerinin boş kalması sorununun ortaya çıkmasına sebep olan bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı bir açıdan ele alındığında ise; günün ilk

saatlerinde yapılan uzun bir ameliyatın herhangi bir sebeple biraz daha uzaması durumunda, bu ameliyat sonrasında yapılacak olan çok sayıda kısa süreli ameliyatın geç başlaması durumu ortaya çıkabilecektir. Tüm bu gecikmeler ameliyathanelerin etkinliği açısından negatif etki yaratıyor olacaktır.

1.3.2.2. En Kısa Süren Ameliyatlar İlk Önce Yapılır

Yabancı literatürde "Shortest Case First (SCF)" olarak adlandırılan bu yöntem, ameliyathanelerin planlanmasında en kısa sürede tamamlanması öngörülen operasyonların ilk olarak yapılması temeline dayanır. En uzun süren ameliyatlar ilk önce yapılır yönteminde ortaya çıkan günün ilk saatlerinde anestezi sonrası bakım ünitelerinin boş kalması sorununa çözüm olarak kullanılan bir yöntemdir. Ancak yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen sonuçlar açısından değerlendirildiğinde, diğer yöntemlere kıyasla en kötü sonuçların elde edildiği yöntemdir (Breslawski & Hamilton, 1991).

1.3.2.3. Çoklu Ameliyathane Salonu Sistemi

Çoklu ameliyathane salonu sisteminde, cerrahların birden fazla sayıda ameliyat odası kullanılması imkanı sağlanmaktadır. Böylece cerrah bir ameliyat odasındaki operasyonu tamamladıktan sonra, diğer ameliyat odasına geçerek bir başka hastanın operasyonunu gerçekleştirebilmektedir. Bu yöntem, cerrahların ameliyatlar arasında vakit kaybetmesini önlemektedir. Cerrahın gerçekleştirdiği ilk operasyonun bitimine yakın bir sürede ikinci operasyonu geçirecek hastanın ameliyat hazırlıkları başlatılacak, dolayısıyla muhtemel zaman kayıpları minimize edilmiş olacaktır (Kavuncubaşı & Yıldırım, 2013).

1.3.2.4. Açık Çizelgeleme

Açık çizelgeleme yöntemi, Patterson (1996) tarafından "First Come First Served (FCFS)" yani "İlk gelen ilk hizmet alır" yöntemi olarak adlandırılmıştır (Patterson, 1996). Yöntemde ilk olarak ameliyat talebi ile başvuruda bulunan cerraha uygun olan ameliyat odası tahsis edilmektedir (Sufahani, Razali, & Ismail, 2012). Yöntemin uygulanmasında cerrahlar operasyon için istedikleri herhangi bir iş gününü seçebildikleri için, İngilizcede herhangi bir gün anlamına gelen "Any Workday" adı ile literatürde yer almaktadır (Dexter, Traub, & Macario, 2003).

Açık çizelgeleme yöntemi, ameliyathanelerin çizelgelenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Hastane ve ameliyathane yönetimince belirlenen stratejilere bağlı olarak, bir cerrahın ameliyathaneyi ne kadar süre kullanabileceğine dair kısıtlamalar da yönteme dahil edilebilmektedir. Böylece ameliyathanenin orantısız biçimde sadece bir ya da birkaç cerrah tarafından kullanması durumunun önüne geçilebilmektedir.

1.3.2.5. Blok Çizelgeleme

Blok çizelgeleme yöntemi, ameliyathanenin mevcut süresinin bir bloğu, bir cerraha ya da cerrahi uzmanlıklara tahsis edilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Ameliyathanelerde taktik karar verme aşamasında oluşturulan "Ana Ameliyat Çizelgesi (MSS)", her ameliyat odasına her gün için atanacak olan cerrah ya da cerrahi uzmanlık alanına ait blok sürelerini tanımlamaktadır (Chaabane, Meskens, Guinet, & Laurent, 2008). Başka bir ifade ile yöntemde her bir cerrah ya da cerrahi alan önceden kendilerine rezerve edilen zaman bloğuna sahip olmaktadır ve gerçekleştirecekleri cerrahi operasyonları bu zaman bloklarında planlamaktadırlar (H. Fei, Meskens, & Chu, 2010).

Yöntemde, önceden rezerve edilmiş olan blok zamanlar kullanılmadan kalabilmektedir. Bu durum ameliyathanenin kullanım oranını olumsuz etkilemektedir (H. Fei, Chu, & Meskens, 2009). Ameliyatların blok şeklinde planlanması sebebiyle, oluşan acil vaka taleplerinin ertelenmesi durumu ise, yöntemin bir başka dezavantajı olarak görülmektedir. Bunların yanı sıra yöntem, cerrahların öngörülebilir bir planlama yapmasına imkan tanımaktadır. Ayrıca yöntemde, bloklar arasında kalan boş zamanlar, diğer cerrahlara tahsis edilebilmektedir (Patterson, 1996).

1.3.2.6. Modifiye Blok Çizelgeleme

Blok çizelgeleme yöntemi, daha esnek yapılı olabilmesi için iki farklı açıdan değiştirilmiştir ve oluşan bu yeni yöntem modifiye blok çizelgeleme olarak adlandırılmıştır. Esas olarak açık çizelgeleme ve blok çizelgeleme yöntemlerinin birleştirilmesi ile ortaya çıkan bir yöntemdir. Yöntemde ilk olarak uygulanan değişiklik, ameliyathane kullanım sürelerinin bir kısmının blok çizelgelemede olduğu gibi rezerve edilmesini sağlarken, bir kısmının ise açık çizelgeleme şeklinde kullanımını sağlamaktır. Yöntemde uygulanan bir diğer değişiklik ise; blok çizelgelemede kullanılmadan kalan zaman bloklarının ameliyattan önce belirlenmiş bir serbest bırakılmasıdır (Bouguerra, Sauvey, & Sauer, 2015). Modifiye blok çizelgeleme yöntemi, sağladığı bu avantaj ile çizelgeleme yapılmayan zaman bloklarının değerlendirilmesine olanak tanımakta ve ameliyathane kullanım oranlarının yükselmesine yardımcı olmaktadır.

1.4. Ameliyathane Çizelgelemesi Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Hastanelerin elde ettikleri gelir miktarına önemli katkıları bulunan ameliyathaneler, hastanelerin en önemli bölümlerinden biri olarak değerlendirilmektedirler (Divatia & Ranganathan, 2015). Bu sebeple ameliyathanelerde oluşan iş yükünün doğru şekilde planlanması büyük önem taşımaktadır. Ameliyat odaları mesai sürelerinin etkin olarak kullanılması; cerrahi operasyonların planlanması, ameliyathane personeli tahsisi, operasyonda kullanılacak ekipmanların tahsisi, hastanın anesteziye hazırlık süresi, cerrah performansları (hızı) ve benzeri kaynakların çizelgelenmesine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Ameliyathanelerin verimsiz kullanımı, cerrahi operasyon iptallerine ve uzun bekleme sürelerine sebep olmaktadır. Bu durum hastane yönetimi açısından fırsat kayıplarına ve ek maliyetlere yol açıyor olacaktır.

Ameliyathanelerin çizelgelenmesine ilişkin olarak yapılmış çalışmalar incelendiğinde araştırma konularının çoğunlukla elektif ameliyatlara içerdiği göze çarpmaktadır. Ayrıca çizelgeleme yöntemleri olarak farklı yaklaşımların ele alındığı görülmüştür. Tablo 1.1'de 2010 yılı ve sonrasında ameliyat türü ve kullanılan çizelgeleme yöntemlerine göre ameliyathanelerin çizelgelenmesine ilişkin yapılmış çalışmalar özetlenmiştir.

Tablo 1.1: Ameliyathanelerin çizelgelenmesine ilişkin yapılmış çalışmalar

Ameliyat Türü	Çizelgeleme Yöntemi	Yayınlar
Elektif Ameliyatlar	Açık Çizelgeleme	Roland vd. (2010), Fei vd. (2010), Gul vd. (2011), Marques vd. (2012), Dios vd. (2015), Saadouli vd. (2015), Xiang vd. (2015), Bouguerra vd. (2015), Xiao vd. (2016), Liu vd. (2018), Siqueira vd. (2018)
	Blok Çizelgeleme	Conforti vd. (2010), Aringhieri vd. (2015), Barbagallo vd. (2015), Wang vd. (2015), Xiang vd. (2015), Abedini vd. (2016), Guo vd. (2016), Landa vd. (2016), Riise vd. (2016), Guido ve Conforti (2017), Roshanaei vd. (2017)
	Modifiye Blok Çizelgeleme	Castro ve Marques (2015), Molina-Pariente vd. (2015)
	MSS (Ana Ameliyat Çizelgesi)	Tanfani ve Testi (2010)
	Kaynak Kısıtlı Çizelgeleme	Fei vd. (2016)
	Paralel Makine Çizelgeleme	Arnaout (2010)
	Akış Tipi Çizelgeleme	Huang vd. (2012)
	Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme	Xiang ve Li (2015)
Elektif ve Elektif Olmayan (Acil) Ameliyatlar	Açık Çizelgeleme	Sufahani vd. (2012), Antognini vd. (2015), Jebali ve Diabat (2017)
	Blok Çizelgeleme	Souki ve Rebai (2010), Stuart ve Kozan (2012), Yahia vd. (2016), Abedini vd. (2017)
	Hibrid Akış Tipi Çizelgeleme	Latorre-Núñez vd. (2016)

İKİNCİ BÖLÜM

ÇİZELGELEME

2.1. Çizelgeleme Kavramı

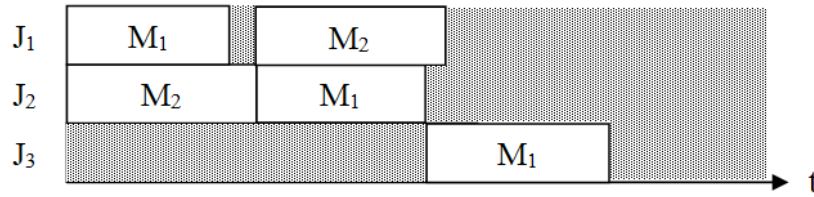
Çizelgeleme kavramı yabancı literatürde "Scheduling" olarak adlandırılmaktadır. Günlük yaşamda ise çizelgeleme yerine, program ve çizelge anlamlarına gelen ve yabancı literatürde "schedule" olarak adlandırılan terim ile sıklıkla karşılaşılmaktadır. Çizelge, belirli faaliyetlerin ne zaman yapılması gerektiğini gösteren somut bir belgedir. Bu tanımdan yola çıkarak; en basit anlamda çizelgeleme, çizelgelerin oluşturulma süreci olarak tanımlanabilmektedir (Baker & Trietsch, 2009).

Çizelgeleme, günümüzde bir çok üretim ve servis işletmelerinde bir karar verme süreci olarak kullanılmaktadır. Genel olarak çizelgeleme, verilen zaman periyotları için kaynakların görevlere tahsisi ile ilgilenmektedir. Bu tahsisi sağlarken, eş zamanlı olarak bir ya da daha fazla hedefi optimize etmek çizelgelemenin amacı olacaktır. Bu süreçte her bir görev; belirli bir öncelik derecesine, mümkün olan en erken başlangıç ve bitiş zamanına sahip olabilmektedir (Pinedo, 2012). Tüm bu bilgilerin birleştirilmesi ile çizelgeleme, bir ya da daha fazla sayıda hedefi optimize edebilmek amacıyla, kaynakların belirlenen süreler içerisinde çeşitli görevlere atanması ile ilgili karar verme süreci olarak tanımlanabilmektedir.

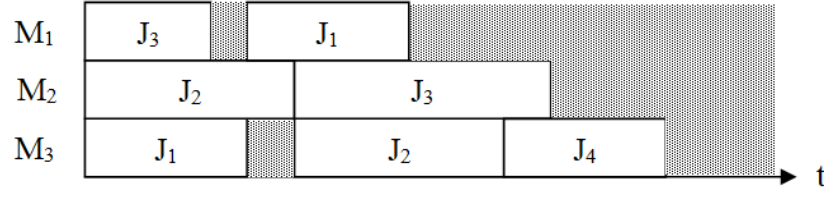
Çizelgeleme sürecinde gerçekleştirilmesi gereken faaliyetler hakkında iki farklı bilginin belirlenmesi gerekmektedir. Bunlardan ilki, belirli bir faaliyetin hangi sırada gerçekleştirileceğidir. İkincisi ise, belirlenmiş faaliyetlerin ne zaman gerçekleştirileceğidir. Yani çizelgeleme sürecinin tamamlanması için, sıralama ve çizelgeleme olmak üzere iki aşamanın tamamlanması gerekmektedir. İlk adımda faaliyetlerin sıralanması ve bir sonraki faaliyetin seçiminin nasıl yapılacağı belirlenirken; ikinci aşamada her bir faaliyetin başlangıç ve bitiş zamanları

belirlenmeye çalışılır (Baker & Trietsch, 2009). Çizelgeleme sürecinde kullanılacak her bir kaynağın türü ve miktarının bilinmesi ile faaliyetlerin ne zaman gerçekleştirileceği belirlenebilmektedir. Faaliyetler ve kaynakların belirlenmesi ile çizelgeleme probleminin ana hatları ve sınırları belirlenmiş olacaktır. Ayrıca diğer optimizasyon problemlerine benzer olarak, çizelgeleme problemlerinde de amaç fonksiyonu bulunmaktadır. Amaç fonksiyonu, yapılacak olan çizelgelemeye dair katlanılacak olan tüm maliyetleri içermelidir.

Çizelgeleme problemleri, m sayıda ($M_1, M_2, \dots, M_m$) makine ya da sürecin, n sayıda ($I_1, I_2, \dots, I_n$) iş ya da faaliyeti yerine getireceği varsayıldığında; her bir iş ya da faaliyet için bir veya daha fazla makineye, bir veya daha fazla zaman aralığı tahsis edilmesinin sağlanacağı atama ve sıralama problemleri olarak tanımlanabilir (Brucker, 2007) (French, 1982). Çizelgelerin, görsel olarak temsil edilebilmesinde sıklıkla kullanılan ve en basit model olan Gantt şemalarından yararlanılır. Gantt şemalarının en temel formunda yatay eksenle zaman ölçeği yer almaktadır. Düşey eksenle ise kaynakların dağılımı yer almaktadır. Hazırlanan Gantt şemaları faaliyet odaklı olabileceği gibi makine odaklı olarak da oluşturulabilmektedir. Şekil 2.1'de faaliyet odaklı ve Şekil 2.2'de makine odaklı Gantt şemaları örnekleri görülmektedir. Gantt şemaları her ne şekilde oluşturulursa oluşturulsun, asıl amaç belirlenmiş kısıtlamaları sağlayan bir çizelge elde edebilmektir (Brucker, 2007).



Şekil 2.1 : Faaliyet odaklı Gantt şeması örneği



Şekil 2.2 :Makine odaklı Gantt şeması örneği

Çizelgeleme konusunda literatürde yer alan ilk gelişmeler, imalat işletmelerinde ortaya çıkan problemlere çözümler geliştirmek amacıyla yapılmıştır. Günümüzde ise çizelgeleme, imalat işletmeleri dışında bir çok işletmede kullanılmaya devam etmektedir. Ancak farklı işletmelerde olsa dahi, problemlerinin yapısını tanımlarken halen iş, faaliyet, makine vb. imalat ile ilgili terimler kullanılmaya devam etmektedir (Baker & Trietsch, 2009).

Üretim ve hizmet işletmelerinde karşılaşılan çizelgeleme problemleri bazı varsayımlar altında çözülmeye çalışılmaktadır. Bu varsayımlardan bir veya bir kaç çözümü aranan problemin yapısına bağlı olarak göz ardı edilebilmektedir. Bu varsayımlardan en önemli olanları aşağıda sıralanmıştır (French, 1982):

- ✓ Aynı işe ait olan hiçbir iki işlem aynı anda gerçekleştirilemez.
- ✓ Bir makinede başlayan bir iş bitmeden, aynı makinede başka bir iş başlayamaz. (Başlayan bir iş yarım bırakılıp başka bir işe geçilemez.)
- ✓ Her iş, her biri ayrı makinelerde olacak şekilde toplam m sayıda işlemden oluşur. Bir iş aynı makinede birden fazla sayıda işlem göremez.
- ✓ İş iptalleri söz konusu değildir, başlayan her iş bitmek zorundadır.
- ✓ Her bir makine tipinden sadece bir adet bulunmaktadır.
- ✓ İşlem süreleri çizelgelerden bağımsızdır. İlk varsayıma göre; bir makinenin ayarlanması için gereken hazırlık süresi, yapılan son işten bağımsızdır. Diğer varsayıma göre ise; işlerin makineler arasındaki hareket süresi ihmal edilebilmektedir.
- ✓ İşler, bir sonraki makinede işlem görmek için bekleyebilirler.
- ✓ Makinelerin boş kalması durumu söz konusu olabilir.

- ✓ Belirli bir anda bir makinede sadece bir adet işlem gerçekleştirilebilir.
- ✓ Makineler her zaman çalışmaya hazır durumdadırlar ve bozulmaz ya da arıza yapmazlar.
- ✓ Rastsallık söz konusu değildir. İş ve makine sayıları bilinir. Ayrıca işlem süreleri de sabittir ve bilinir.

2.2. Çizelgelemenin Amacı ve Uygulama Alanları

Çizelgeleme amaçları oldukça karmaşık ve kapsamlıdır. Zaman zaman literatürde yer alan çizelgeleme amaçlarının birbirleri ile çeliştiği gözlemlenebilmekle beraber, genel olarak ele alındığında çizelgeleme amaçları üç ana başlık altında toplanabilmektedir: (1) Kaynakların etkili kullanımı (2) İşlerin zamanında tamamlanması (3) Taleplere hızlı cevap verebilmek (Dave & Choudhary, 2016) (Yıldırım, 2013).

Herhangi bir çizelgeleme sürecinin başarısının değerlendirilebilmesi için, çözüm aranan problemin amaçları doğrultusunda çeşitli performans ölçülerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yaygın olarak kullanılan ve çizelgeleme problemlerinin türüne bağlı olarak farklılık gösterebilen performans ölçüleri şunlardır: akış süresi (üretim süresi), tamamlanma süresi, erken tamamlanma süreleri, geç tamamlanma süreleri ve maliyetlerdir.

Çizelgeleme, işletmelerin sınırlı kaynaklarının ilerleyen zaman içinde gerçekleştirilecek faaliyetlere tahsis edilmesi problemi ile ilgilenmektedir (Robert & Vivien, 2010). Çizelgeleme problemlerinde, ele alınan probleme bağlı olarak faaliyetler ve kaynaklar farklı şekillerde ifade edilebilmektedir. Faaliyetler herhangi bir üretim sürecindeki işlemler, üniversitedeki dersler, havaalanında uçakların iniş/kalkışı, bir inşaat projesinin aşamaları vb. olabilirken; kaynaklar ise sırasıyla üretimde kullanılan makineler, öğretim elemanları, pist ve apron sayıları, inşaat işçileri vb. olabilmektedir (Leung, 2004). İlk örnekleri imalat işletmelerinde ortaya

çıkılmış olan çizelgeleme problemlerinin, teorik anlatımında kullanılan makine, iş vb. terimler imalat işletmeleri ile yakından ilgilidir. Ancak günümüzde çizelgeleme teknikleri imalat işletmelerinin yanı sıra; eğitim, sağlık, vardiya planlaması vb. oldukça farklı alanlarda kullanılabilmektedir.

Gerek üretim işletmeleri gerekse hizmet işletmelerinde kullanılan çizelgeleme fonksiyonu, diğer fonksiyonlarla etkileşim halinde olmalıdır. Bu etkileşim işletme kaynaklarının etkili bir şekilde kullanılmasına yardımcı olmaktadır. Diğer işletmelerde olduğu gibi birer hizmet işletmesi olan sağlık işletmeleri de hayatta kalabilmek yani varlıklarını sürdürebilmek için işletme kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmalıdırlar ve iyi bir planlama ile etkin bir çizelgeleme yapmalıdırlar. Bu noktada hastanelerin en önemli gelir kaynakları olan ameliyathanelerin doğru şekilde çizelgelenmesi ile, ameliyathane kaynaklarının doğru şekilde kullanımını sağlanmış olacaktır. Ameliyathanelerin çizelgelenmesinde en önemli konu ameliyathane personeli (cerrahlar, anestezi uzmanları, hemşireler vb.), ameliyathane kaynakları (ameliyat odaları, kullanılan ekipman vb.) ve cerrahi operasyon geçirecek hastalar olduğundan dolayı; üretim işletmelerine kıyasla çizelgeleme süreçlerinin tanımlanması daha güç olmaktadır. Bu gibi hizmet işletmelerinde ön önemli amaç, ameliyat taleplerine en kısa sürede yanıt verebilmek olacaktır.

2.3. Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Literatürde çizelgeleme problemleri; problemin yapısına, makine ya da üretim türlerine, performans ölçülerine, varsayımlarına ve farklı amaçlara sahip olmalarına göre farklı şekillerde sınıflandırılmışlardır.

Ele alınan çizelgeleme probleminin yapısına göre bir sınıflandırma yapıldığında, deterministik ve stokastik olmak üzere ikiye ayrılabilir. Deterministik çizelgeleme problemlerinde, işlem süreleri gibi sistem koşulları ve

parametreleri net olarak bilinmektedir. Stokastik çizelgeleme problemlerinde ise, parametreler kesin olarak bilinmemekle birlikte, parametrelerin çeşitli olasılık dağılımları yardımıyla belirlenmesi söz konusudur. Daha kısa bir ifade ile; deterministik çizelgelemede sistem koşulları kesin olarak bilinmekte iken, stokastik çizelgelemede sistem koşulları olasılık dağılımları kullanılarak belirlenmeye çalışılmaktadır (Baker & Trietsch, 2009).

Bunun yanı sıra çizelgeleme problemleri yapılarına göre statik ve dinamik olarak da iki sınıfa ayrılabilir. Bu sınıflandırmada çizelgelenmesi planlanan işlerin sayısı ve gelişlerinin rastsallığı göz önünde bulundurulmaktadır. Statik çizelgeleme problemlerinde, çizelgelenecek işlerin sayısı belli ve sabittir (Omara & Arafa, 2010). Ancak dinamik çizelgeleme problemlerinde, işlerin gelişleri rastsal olarak değişkenlik göstermektedir (French, 1982). Dinamik çizelgelemede işler istatistiksel olarak öngörülebilir zamanlarda gelirler (Conway, Maxwell, & Miller, 1967).

Parametrelerine göre sınıflandırıldığında ise; çizelgeleme problemleri α , β ve γ şeklinde üç parametrelili bir gösterim kullanılır. " α " parametresi makine ortamını ifade ederken, " β " parametresi sürecin özellikleri ve kısıtları ve son olarak " γ " parametresi ise problemde minimize edilecek olan performans ölçüsü yani amacı ifade etmektedir (Pinedo, 2012).

Makine ortamına yani " α " parametresine bağlı olarak yapılan sınıflandırma aşağıda açıklamaları ile yer almaktadır (İşler, Toklu, & Çelik, 2009) (Pinedo, 2012):

Tek Makineli Çizelgeleme Problemleri: Tek makineli çizelgeleme durumunda tüm işlerin yapılması için sadece bir adet makine kullanılmaktadır (Weiss, 2019). Diğer makine ortamında çizelgeleme türlerine kıyasla, en az karmaşık ve çözümü en kolay olan çizelgeleme problemleri olarak bilinmektedir.

Aynı Özellikli Paralel Makineli Çizelgeleme Problemleri: Yöntemde aynı özelliklere sahip m adet paralel makine bulunmaktadır. Yapılacak olan j işi için tek bir işlem gerekmektedir ve bu işlem m adet makinenin herhangi birinde gerçekleştirilebilmektedir (Brucker, 2007).

Farklı Hızlardaki Paralel Makineli Çizelgeleme Problemleri: Yöntemde farklı hızlarda işleri tamamlayabilen m adet paralel makine bulunmaktadır. Herhangi bir i makinesinin hızı V_i ile temsil edilir. j işinin i makinesinde işlem görme süresi olan $P_{ij} = P_i/V_i$ şeklinde hesaplanabilmektedir (Pinedo, 2012).

İlişkisiz Paralel Makineli Çizelgeleme Problemleri: Yöntemde m adet farklı paralel makine bulunmaktadır. i makinesinin, j işini V_{ij} hızında yapabildiği varsayılır. j işinin, i makinesinde harcadığı süre olan $P_{ij}=P_i/V_{ij}$ şeklinde hesaplanabilmektedir (Pinedo, 2012). Makinelerin hızlarının yapılan işlerden bağımsız olması durumunda ise $V_{ij}= V_i$ olacaktır ve bu durumda da "Farklı hızlardaki paralel makineli çizelgeleme problemleri"nde oluşan durumun benzeri gerçekleşmiş olacaktır.

Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri: Yabancı literatürde "Flow shop" olarak adlandırılmaktadır. Akış tipi çizelgeleme yönteminde tüm işler seri olarak sıralanmış m adet makineden geçmektedir. Yani tüm işler aynı rotayı takip ederek, tüm makinelerde işlem görerek aynı üretim aşamalarından geçmektedir (Weiss, 2019).

Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri: Yöntem akış tipi çizelgeleme ve paralel makine ortamlarının birleştirilmesi olarak tanımlanabilmektedir. Yöntemde seri olarak m sayıda makine yerine; toplam c adet seri halinde aşama ve her aşamada aynı özelliklere sahip olan m adet paralel makine bulunmaktadır. Yöntemde her bir iş aynı rotayı izlemektedir. Ayrıca her bir iş, c adet aşamanın her birinde bulunan m adet makinenin sadece birinde işlem görmektedir (Pinedo, 2012).

Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri: Yabancı literatürde "Job shop" olarak adlandırılmaktadır. m sayıda makinenin bulunduğu yöntemde, her bir işin takip etmesi gereken ve önceden planlanmış olan bir rotası bulunmaktadır. Yöntemde bir işin tüm makinelerde işlem görme zorunluluğu bulunmamaktadır.

Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri: Yöntem atölye tipi çizelgeleme ve paralel makine ortamlarının birleştirilmesi olarak tanımlanabilmektedir. Yöntemde toplam c adet iş merkezi ve her bir iş merkezinde aynı özelliklere sahip olan paralel makineler bulunmaktadır. Yöntemde her bir iş kendi belirli rotasını izlemektedir. Ayrıca her bir iş, c adet aşamanın her birinde bulunan m adet makinenin sadece birinde işlem görmektedir (Pinedo, 2012).

Açık Çizelgeleme Problemleri: Yabancı literatürde "Open shop" olarak adlandırılmaktadır. Yöntemde m sayıda makine bulunmaktadır ve her bir iş tüm makinelerde işlem görmektedir. Yöntemde bazı işlerin, bazı makinelerdeki işlem süreleri sıfır olabilmektedir. Başka bir ifade ile, bazı işlerin her makinede işlem görmesi zorunlu değildir. İşlerin makineler üzerindeki rotalandırılmasıyla ilişkili herhangi bir kısıtlama bulunmamaktadır. Yöntemde çizelgelemeyi yapan karar verici, her bir işin rotasını belirlemektedir ve aynı zamanda farklı işler için farklı rotalar belirlenebilmektedir (Pinedo, 2012).

Çizelgeleme sürecinin özelliklerini ve kısıtlarını ifade eden " β " parametresine göre; işin geliş zamanı, sıra bağımlı hazırlık süresi, öncelik kısıtları, işin bölünebilirliği, makinelerin arızalanması vb. ölçüler değerlendirilebilmektedir.

Problemin amacını ifade eden " γ " parametresine göre ise; maksimum tamamlanma süresi, maksimum gecikme, toplam tamamlanma süresi, toplam ağırlıklı tamamlanma süresi, toplam ağırlıklı gecikme süresi, toplam gecikmiş iş sayısı, toplam ağırlıklı gecikmiş iş sayısı vb. minimize edilmek istenilen ölçüler ifade edilmektedir. Tüm bu amaçların minimize edilmesi ile birlikte, makinelerin kullanım oranlarının arttığı söylenebilmektedir (Pinedo, 2012).

Çizelgeleme problemlerinde farklı sınıflandırmalar yapılabilmekle birlikte, en genel sınıflandırma Tablo 2.1'de yer almaktadır (İşler et al., 2009) (Yıldırım, 2013):

Tablo 2.1 : Çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılması

Problemin Yapısına Göre	Makine Ortamına Göre	Problemin Özellikleri ve Kısıtlarına Göre	Problemin Amaçlarına Göre
Deterministik	Tek Makineli	Öncelik Kısıtları	Maksimum tamamlanma süresi
Stokastik	Paralel Makineli	Rotalama Kısıtları	Maksimum Gecikme
Statik	Akış Tipi	Hazırlık Süreleri	Ağırlıklı Tamamlanma Süresi
Dinamik	Atölye Tipi	Sıralama	Toplam Gecikmiş İş Sayısı
		Geliş Zamanları	
		Bölünebilirlik	
		Arızalanma	

2.4. Çizelgeleme Problemleri Çözüm Teknikleri

Modern çizelgeleme teorisine çözüm oluşturan çeşitli modellerin ve optimizasyon tekniklerinin gelişimi, II. Dünya Savaşı öncesindeki yıllarda başlamıştır. Sıralama problemlerinin özellikleri hakkındaki makaleler 1950'li yıllarda kabul görürken, 1960'lardan itibaren konu hakkında ders kitapları basılmaya başlanmıştır (Conway et al., 1967). İlk yayınlanan makale ve kitaplarda, devlet ve bilhassa sanayide karşılaşılan çizelgeleme problemlerine yönelik çözümlere değinilmediğinden; 1970 ve 1980'li yıllarda bu konular hakkında daha fazla yayın yapılması teşvik edilmiştir. Bu teşvik ile birlikte, çizelgeleme konusunda yapılan

yayınların öncüsü olarak Baker (1974) bilinmekle birlikte, Coffman (1976) ve French (1982) iyi bilinen örneklerden bazılarıdır (Baker & Trietsch, 2009).

Yapılan çalışmalarla birlikte çizelgeleme problemlerinin büyük bir kısmının NP-hard problem sınıfında yer aldığı görülmüştür. Bu durum; optimum çözümlerin elde edilmesini garanti etmeyen, makul bir süre içerisinde optimuma yakın, iyi bir çözümü temsil eden yöntemlerinin (yaklaşık çözüm) önemini artırmıştır (Jain & Meeran, 1999) (Pinedo, 2012). Günümüzde ise deterministik çizelgeleme alanının oldukça gelişmiş olduğu söylenebilmektedir. Stokastik çizelgeleme alanında ise mevcut literatür gelişimine halen devam etmektedir (Baker & Trietsch, 2009).

Dave ve Choudhary, çizelgeleme tekniklerini geleneksel yöntemler ve geleneksel olmayan yöntemler olarak iki başlık altında incelemiştir. Yabancı literatürde " Conventional Techniques" olarak adlandırılan geleneksel yöntemler, optimizasyon yöntemleri olarak da bilinmektedir. Geleneksel yöntemler çizelgeleme problemi için optimum çözümünü arayan yöntemlerdir. Çizelgeleme problemlerinde kullanılan geleneksel yöntemler; doğrusal programlama, tamsayılı programlama, dinamik programlama, hedef programlama vb. yöntemler olarak sıralanabilmektedir. Ancak bu yöntemlerin büyük ölçekli problemleri çözme konusunda verimli olmaması sebebiyle, geleneksel yöntemlerin optimum çözüme ulaşması zorlaşmıştır ve yaklaşık çözümlerin üretilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu noktada geleneksel olmayan yöntemler, NP-hard problemlere yaklaşık çözümler arayan yöntemler olarak tanımlanabilmektedir. Sıklıkla kullanılan geleneksel olmayan yöntemler; karınca koloni optimizasyonu, genetik algoritmalar, uzman sistemler, tabu arama, parçacık sürü optimizasyonu, yapay sinir ağları vb. tekniklerdir (Dave & Choudhary, 2016).

Çizelgeleme problemleri için geliştirilen çözüm yöntemleri genel olarak; matematiksek (analitik) teknikler, sezgisel yaklaşımlar ve benzetim yaklaşımı olarak sınıflandırılabilir. Çizelgeleme problemlerine çözüm geliştirmekte kullanılan tekniklerin sınıflandırması Şekil 2.3'te görülmektedir.

Matematiksel (Analitik) Teknikler	• Doğrusal (Lineer) Programlama • Tam Sayılı Programlama • Dinamik Programlama • Hedef Programlama vb.
Sezgisel Yaklaşımlar	• Yapay Zeka • Uzman Sistemler • Yapay Sinir Ağları • Komşuluk Arama Yaklaşımları • Genetik Algoritmalar • Tabu Arama • Sıralama Kuralları
Benzetim Yaklaşımı	• Çizelgeleme sistemini temsil edebilecek bir model oluşturulur.

Şekil 2.3 : Çizelgeleme problemleri çözüm teknikleri sınıflandırması

Matematiksel Teknikler: Analitik teknikler olarak da bilinen bu teknikler optimum çözümün bulunmasını sağlayan modellerdir. Matematiksel teknikler, çizelgeleme problemi amacının tek bir ölçüt ile ifade edilebildiği modellerdir. Bir başka deyişle tek boyutlu amaç fonksiyonuna sahip oldukları söylenebilir. Doğrusal programlama, tam sayılı programlama, hedef programlama vb. Yöneylem Araştırması konuları çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan matematiksel teknikler arasında yer almaktadırlar. Ancak problemin büyük ve karmaşık yapıları problemler için çözüm hesaplama süresi, problemin büyüklüğüne bağlı olarak üstel artış göstermektedir. Bu sebeple matematiksel tekniklerin, gerçek hayat işletme problemlerine adapte edilmesinde güçlükler ortaya çıkabilmektedir (French, 1982).

Sezgisel Yaklaşımlar: Matematiksel teknikler kullanılarak, büyük ve karmaşık yapıları çizelgeleme problemlerinde verimli sonuçlar alınamaması sebebiyle bu tür problemler için sezgisel yaklaşımlar kullanılmaktadır. Sezgisel yaklaşımlar yabancı literatürde “Heuristic Approach” olarak adlandırılmaktadırlar. Sezgisel yaklaşımlar optimum çözümün bulunması konusunda garanti veremezler ancak, kısa sürede optimum çözüme yakın sonuçlar elde edilebilmesine imkan tanımaktadırlar (Błażewicz, Ecker, Pesch, Schmidt, & Węglarz, 1996). Çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan sezgisel yaklaşımları üç grupta sınıflandırabilmek mümkündür:

- I. Yapay Zeka
- II. Komşuluk Arama Yaklaşımları
- III. Sıralama Kuralları

Yapay zeka insan zekasının bilgisayarlarca taklit edilmesini amaçlamaktadır. Çizelgeleme probleminin karmaşıklıkla ve boyutunun büyümesi ile orantılı olarak, makul bir sürede çözüm elde edebilmek amacıyla yapay zeka tekniklerine olan ihtiyaç artmaktadır (Sim, Yeo, & Lee, 1994). Uzman sistemler ve yapay sinir ağları geliştirilen yapay zeka yöntemleri arasında sıralanabilmektedir.

Komşuluk arama yaklaşımlarında ilk adım bulması kolay olan ve yeterince iyi olması zorunlu olmayan bir başlangıç çözümünün bulunmasıdır. Bu yaklaşımda, başlangıç çözümünde değişiklikler ya da düzenlemeler yapılarak daha iyi çözümler elde edilmeye çalışılır. Elde edilen yeni çözümlerin daha iyi olup olmadığı amaç fonksiyonu yardımıyla kontrol edilir. Çözümlerde gelişme gözlenmiyorsa, çözüm süreci sonlandırılır. Ancak gelişme elde edilmiş ise, elde edilmiş olan en iyi çözümlerden daha iyi bir çözüm olup olmadığını incelemek için süreç devam ettirilir. Tabu arama ve genetik algoritmalar komşuluk arama yaklaşımlarına örnek olarak verilebilmektedir (Błażewicz et al., 1996) (French, 1982).

Sıralama kuralları, yaklaşık çözümler elde edilmesini sağlayan sezgisel yöntemlerden biridir. Bir makinede yapılacak olan tüm işlerin önceliklendirilmesini sağlayan kurallardır. Başka bir ifade ile; bir makinede bir iş tamamlandıktan sonra, bekleyen işler arasından en yüksek önceliğe sahip olan işin makinede işlem görmesini sağlayan kurallardır. İşlerin önceliklendirilmesi amacıyla farklı kurallar kullanılabilmektedir (Pinedo, 2005). Literatürde yer alan öncelik kurallarından bazıları Tablo 2.2'de açıklamaları ile gösterilmiştir (Błażewicz et al., 1996) (Pinedo, 2005).

Tablo 2.2 : Öncelik kuralları

	Kural Adı	Açıklaması
1	SPT (Shortest Process Time)	Toplam işlem süresi en kısa olan iş önce seçilir
2	LPT (Longest Process Time)	Toplam işlem süresi en uzun olan iş önce seçilir
3	Rastsal	Rastsal olarak herhangi bir iş seçilir
4	FCFS (First Come First Served)	Sisteme ilk gelen iş önce işlem görür
5	FCLS (First Come Last Served)	Sisteme ilk gelen iş en son işlem görür
6	EDD (Earliest Due Date)	En erken teslim tarihli iş öncelikli olarak seçilir
7	SSTF (Shortest Setup Time First)	En kısa hazırlık süreli iş öncelikli olarak seçilir
8	LSTF (Shortest Setup Time First)	En uzun hazırlık süreli iş öncelikli olarak seçilir

Benzetim Yaklaşımları: Büyük boyutlu, karmaşık ve aynı zamanda belirsizlik içeren çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemlerden biridir. Benzetim yaklaşımında, problem konusu olan bir sistemi temsil edebilecek bir model oluşturulur. Gerçek sistem üzerinde yapılma imkanı olmayan ya da yapılması oldukça maliyetli olabilen işlemlerin, oluşturulan modele uygulanması imkanı benzetim yaklaşımı ile sağlanmış olur .

2.5. Genetik Algoritma İle Çizelgeleme

Çizelgeleme problemlerine genetik algoritmalar ile çözüm arandığında; işlerin sıraları ve oluşturulan çizelgeleri bir popülasyonun bireyleri olarak gösterilirler. Her bir birey, amaç fonksiyonu kullanılarak ölçülebilen bir uygunluk değeri ile temsil edilir. Genetik algoritmaların diğer problemlere uygulanmasında olduğu gibi, çizelgeleme problemlerinde de çözüm süreci iterasyonlar halinde çalışır ve her bir iterasyon yeni bir nesli ifade eder. Her bir nesildeki popülasyon, bir önceki nesilden hayatta kalan bireylerden (çizelgelerden) ve bir önceki nesilden seçilen ebeveynlerin yavruları olan yeni çizelgelerden oluşmaktadır. Yavrular, bir önceki nesilde yer alan bireylerin (kromozomların) yani ebeveynlerin çaprazlanması ve mutasyona uğraması sonucunda üretilmektedir. Bir nesilden, diğer bir nesile geçerken genellikle popülasyon büyüklükleri sabit olarak kalmaktadır. (Pinedo, 2012). Çok makineli bir çizelgeleme ortamında, bir kromozom her biri bir makinedeki iş sırası hakkında bilgiler içeren alt kromozomlardan oluşabilmektedir. Her bir nesilde uygunluk değeri en iyi olan bireyler hayatta kalırken, uygunluk değeri en kötü olan bireyler hayatta kalamamaktadırlar. (Pinedo, 2005).

Genetik algoritmalar, diğer arama süreçlerine göre önemli bir açıdan farklılık gösterirler. Bu farklılık her bir iterasyonda bir dizi farklı çizelge oluşturulması ve bir sonraki nesile taşınabilmesidir. Benzetilmiş tavlama ve tabu arama yöntemlerinde ise, sadece bir çizelge bir iterasyondan diğerine taşınabilmektedir. Bu özelliklerinden yola çıkarak da benzetilmiş tavlama ve tabu aramanın popülasyon büyüklüğü 1'e eşit olan özel genetik algoritmalar olduğu söylenebilmektedir. Bu özellik genetik algoritmaların önemli bir özelliği olan çeşitlendirmeyi sağlamaktadır. Genetik algoritmalarda yeni bir çizelge, popülasyondaki farklı çizelgelerin parçalarının birleştirilmesi yoluyla oluşturulmaktadır (Błażewicz et al., 1996). Örneğin atölye tipi çizelgeleme problemlerinde yeni bir çizelge, bir ebeveyn çizelgedeki bir makinenin işlemlerinin sırası ile diğer ebeveyn çizelgedeki başka bir makinenin işlemlerinin sırasının birleştirilmesi yoluyla elde edilebilmektedir (Pinedo, 2005).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GENETİK ALGORİTMALAR

3.1. Evrim Teorisi ve Evrimsel Algoritmalar

Charles Darwin tarafından geliştirilen Evrim Teorisi'nin temel ilkesi, doğal çevre koşullarına en iyi şekilde uyum sağlayan bireylerin hayatta kalması olarak ifade edilebilir. Bu teorinin anahtar mekanizması "Doğal Seleksiyon (Natural Selection)" olarak bilinmektedir.

Doğal seleksiyon, günümüzde var olan bitki ve hayvanların, milyonlarca yıl boyunca çevrenin taleplerine adapte olmasının bir sonucudur. Ekosistem içerisinde farklı bireyler bir arada bulunurken, eş zamanlı olarak aynı kaynaklar için rekabet halindedirler. Bu noktada doğal çevre ile en fazla uyum yeteneğine sahip bireyler, kaynak toplama, hayatta kalma, başarıyla üreme yeteneğine sahip olacak ve gelecek nesilleri yaratıyor olacaklardır (Taşkın & Emel, 2009). Başka bir ifade ile, zorluklara karşı daha dayanıklı olan bireyler, genetik bilgilerini gelecek nesle aktarmak için hayatta kalacaktır. Ancak az yetenekli olan bireyler, kaynak toplamada başarısız olacak ve nihayetinde gelecek nesilleri yaratamayacaklardır (Sivanandam & Deepa, 2008). Yüksek uyum değerine sahip bu bireylerin genetik malzemelerinin karışımıyla oluşan yeni nesiller daha yüksek uyum değerine sahip olacaktır. Her yeni nesil ile birlikte ebeveynlerin uyum değerleri giderek artacak, dolayısıyla oluşan her yeni neslin uyum değeri de artacaktır. Böylelikle, en uygun olanlar hayatta kalarak, doğada evrim süreci gerçekleşecektir (Cura, 2008).

Bu süreci, çitaların antilop avı ile açıklamak mümkündür. Daha hızlı olan antiloplar çitalar tarafından avlanmaktan yüksek olasılıkla kurtulurken, yavaş olanları ise avlanılacak ve hayatları son bulacaktır. Dolayısıyla, gelecek nesil antiloplar, av olmaktan kurtulan, hızlı antilopların üremesiyle oluşacaklardır. Böylelikle, yeni nesiller ebeveynlerinden aldıkları genler ile giderek daha hızlı olacaklardır. Doğal

seleksiyon mekanizması ile uyum sağlamakta zorluk çeken zayıf antilopların yaşamları son bulurken, yüksek uyuma sahip antiloplar hayatta kalıp, yeni nesilleri oluşturmaya devam edecek, her yeni nesil ile birlikte çevreye daha uyumlu antiloplar dünyaya gelecektir.

Darwin'in evrim teorisi ve doğal seleksiyondan esinlenerek oluşturulmuş arama yöntemlerinin tümüne Evrimsel Algoritmalar (EA) adı verilmiştir. Başka bir ifade ile, doğal evrim içerisinde var olan süreçleri taklit eden algoritmalara EA'lar adı verilir (Sivanandam & Deepa, 2008). EA'lar; biyoloji, yapay zeka, sayısal optimizasyon ve karar destek yapıları ile ilişki içinde olan, disiplinler arası bir alandır. EA'larda popülasyonu oluşturan bireyler, potansiyel çözüm uzayındaki sadece bir noktanın temsil edilmesini sağlamakla kalmaz, doğa yasalarını oluşturan mevcut bilgilerin zaman içerisinde nesilden nesile aktarılması da sağlamaktadır (Bäck, 1996).

EA'lar sonlandırma kriteri sağlanıncaya kadar tekrarlanarak uygulanmaya devam eder ve algoritma ile oluşan her yeni iterasyon yeni oluşan bir nesili temsil eder (Engelbrecht, 2007).

Günümüzde evrim kavramından esinlenen farklı teknikler "evrimsel hesaplamalar" olarak adlandırılmaktadır. Evrimsel hesaplamaların üç ana bileşenini evrimsel stratejiler, evrimsel programlamalar ve genetik algoritmalar oluşturmaktadır (Mitchell, 1996).

3.2. Genetik Algoritmanın Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

GA'lar, genetik ve doğal seçilimi temel alan evrimsel algoritmaların başında gelmektedirler. GA'lar, doğada var olan evrim sürecinin işleyişini taklit edecek şekilde biçimlendirilmiştir (Cura, 2008). Darwin'in doğal koşullara en iyi şekilde uyum sağlayabilen bireylerin, yani en iyilerin hayatta kalması ilkesinden esinlenilerek geliştirilmişlerdir (Taşkın & Emel, 2009). EA'lara benzer olarak, GA'ların da ana operatörleri seçim, çaprazlama ve mutasyondur.

GA popülasyona dayalı bir algoritmadır. Yöntemde her bir çözüm bir kromozom ile ve her bir parametre de bir gen ile gösterilir. GA, bir uygunluk (amaç) fonksiyonu kullanarak popülasyondaki her bir bireyin uygunluğunu değerlendirir. Zayıf çözümlerin geliştirilmesi için, en iyi çözümler bir seçim mekanizması yardımıyla rastsal olarak seçilir. Seçim mekanizmasında uygunluk değerleri ile orantılı olan olasılıklar kullanıldığından, en iyi uygunluk değerine sahip bireylerin seçilme ihtimalleri yüksek olacaktır. Bu algoritmayı güvenilir kılan ve bir problem için global optimum değeri yakalamasını sağlayan özelliği; her yeni nesilde elde edilen en iyi çözümleri başka çözümler elde etmek için kullanmasıdır (Mirjalili, 2019).

GA'lar yapay sistemler üzerinde yapılan araştırmalarda kullanılmadan önce, Barricelli (1957, 1962), Feaser (1960, 1962), Martin ve Cockerham (1960) gibi birçok biyolog genetik sistemlerin simülasyonunu yapabilmek amacıyla dijital bilgisayarlardan faydalanmıştır. Yapılan bu çalışmaların nihai hedefi doğal olayların anlaşılması olsa da, özellikle Feaser'in yapmış olduğu çalışma modern GA kavramına yaklaşmıştır (Goldberg, 1989).

Yaptıkları çalışmalarda Fogel, Owens ve Walsh (1966) evrimsel programlamayı ve Rechenberg (1965, 1973) evrim stratejilerini ortaya atarak, evrimsel hesaplama alanının bel kemiğini oluşturmuşlardır (Mitchell, 1996). 1950 ve 1960'lı yıllarda çalışan Box (1957), Friedman (1959), Bledsoe (1961), Bremermann

(1962), ve Reed, Toombs, Baricelli (1967) gibi birçok araştırmacı, optimizasyon ve makine öğrenmesi konularında evrimden ilham alan algoritmalar geliştirmiştir (Mitchell, 1996).

1970'li yıllarda birbirinden bağımsız olarak iki EA Holland (1975) ve Schwefel (1981) tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmalarında Holland büyük popülasyonlarda yeniden birleşmenin önemini vurgulamış, Schwefel ise optimizasyon için kullanılan çok küçük popülasyonlarda mutasyonu incelemiştir (Aarts & Lenstra, 1997).

John Holland ve öğrencileri 1975 yılında geliştirdikleri GA'ların amaçlarını iki şekilde açıklamışlardır: (1) Doğal sistemlere ait süreçleri soyut olarak ve titizlikle açıklamak ve (2) doğal sistemlerin önemli özelliklerini koruyarak bir yapay sistemler yazılımı tasarlayabilmektir (Goldberg, 1989). Holland çalışmasında, ebeveynlerden elde edilen bilgileri farklı kombinasyonlarda birleştirerek yeni çocuklar üretmiştir. Bu çalışma ile literatüre GA terimini kazandırılmıştır ve bir yenilik olarak çalışmasında çaprazlama operatörü kullanılmıştır (Haupt & Haupt, 2004).

Günümüze kadar GA birçok araştırmacı tarafından çalışılmış, geliştirilmiş ve farklı alanlarda uygulanmıştır. GA yalnızca alternatif bir yöntem olmakla kalmamış, yapılan bir çok araştırmada diğerk sezgisel tekniklere üstün geldiğı ortaya konulmuştur (Cura, 2008).

3.3. Genetik Algoritma'larda Temel Kavramlar

Doğal evrim sürecine benzer şekilde hareket eden GA'lar, kullanılan terimler açısından da evrim süreci ile benzerlikler göstermektedir (Goldberg, 1989).

Tablo 3.1 : Doğal ve GA terminolojisinin karşılaştırılması

Doğal	Genetik Algoritma
Kromozom	Dizi
Gen	Bir özellik, nitelik, karakter
Allel	Özelliğin aldığı değer
Lokus	Dizi konumu
Genotip	Yapı
Fenotip	Parametre seti, alternatif bir çözüm, kodu çözülmüş bir yapı

Kaynak: Goldberg, D.E., Genetic Algorithms in Search, Optimization, & Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company, 1989

Kromozom: Tüm canlı organizmalar hücrelerden oluşur ve her bir hücre, organizma için planlanmış bir görevi gören aynı DNA dizisini içeren bir veya daha fazla kromozom seti içerir (Mitchell, 1996). Bu açıdan kromozomun bir bireyin tam ifadesi olduğu da söylenebilir. Bir bireyin kromozomu, ebeveynlerinden aktarılan özellikleri taşır (Cura, 2008). Kromozomlar bit dizilerinden oluşurlar. Şekil 3.1’de A kromozomu isimli 12 bitten oluşan bir kromozom örneği görülmektedir:

A Kromozomu	1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 0
-------------	-------------------------

Şekil 3.1: Bir kromozom gösterimi

Gen: İsteğe bağlı olan uzunlukta bir bit dizisine gen adı verilir (Sivanandam & Deepa, 2008). Gen, bir kromozom içerisinde yer alan tek bir özellik olarak da tanımlanabilir. Bir bireyin kromozomu, rastlantısal olarak ebeveynlerden aktarılan genlerden oluşur (Cura, 2008). Kabaca, bir gen, göz rengi gibi bir özelliğin

kodlayıcısı olarak düşünebilir (Mitchell, 1996). Şekil 3.2’de bir kromozoma ait 4’er bittten oluşan gen örnekleri görülmektedir.

1 0 0	1 1 0	1 0 1	1 1 0
1.Gen	2.Gen	3.Gen	4.Gen

Şekil 3.2 : Bir gen gösterimi

Allel: Bir genin alabileceği mümkün olan değerlerin her birine allel ya da allele adı verilir. Örneğin göz rengi bir gende temsil edildiğinde, bu genin "allel"leri mavi, yeşil, ela, kahverengi ve siyah gibi olacaktır.

Lokus: Her bir gen kromozom üzerinde belirli bir konumda yer alır ve bu konuma lokus adı verilir.

Genotip: Kromozomun genetik yapısına ya da başka bir ifade ile genetik programlarca elde edilen çözümün yapısına genotip adı verilir. Genlerin temsil edilme şekline göre genotip belirlenir. Örneğin bir gen 0 ve 1 değerlerinden oluşuyorsa, bu durumda kromozoma ait genotip "1011" şeklinde olabilecektir.

Fenotip: Genotipin fiziksel açıklamasına fenotip adı verilir. Bir başka ifade ile, genotip özelliklerin bireylerin fiziksel ya da dış yapısındaki yansımasına fenotip denilir (Mitchell, 1996). Genotipi "1011" olan bir kromozomun fenotipi, ikilik düzenden ondalık düzene çevrilerek, 11 olarak olabilmektedir. Aday çözümün uygunluk değeri fenotip kullanılarak bulunur (Önder, 2011).

Kodlama: Probleme ait potansiyel çözümlerin , parametreler kümesi şeklinde birleştirilmesidir. Problem türüne göre kullanılacak, ikili kodlama, permütasyon kodlama vb. farklı tipte kodlamalar bulunmaktadır.

Şema: Bir kromozom içerisinde yer alan bazı genlerin değerlerinin belli olması durumudur (C. R. Reeves & Rowe, 2002). Örneğin ikili düzende kodlanmış bir kromozomun ikinci ve beşinci genlerinin değerlerinin sırasıyla 0 ve 1 olduğu biliniyor ise, bu kromozomun şeması "*0**1" şeklinde gösterilir. Bu gösterimde "*" işareti ile belirtilmiş olan genler ise herhangi bir mümkün değeri (0 ya da 1) alabilecektir.

Uygunluk Değeri: Belirli bir kromozom ya da kromozomlar grubunun performansı olarak ifade edilebilir. GA’larda uygunluk değeri, yeni nesillerde hayatta kalma yeteneğiyle doğru orantılıdır. Bir aday çözümün uygunluk değerinin yüksek olması, bu çözümün yaşamının devam etmesi ve çoğalması olasılığının yüksek olması anlamına gelir, böylece bu aday çözümün gelecek nesilde temsil edilme ihtimali de yüksek olacaktır (Emel & Taşkın, 2002).

Uygunluk Fonksiyonu: Uygunluk değerinin mevcut fenotip değerine göre hesaplandığı fonksiyona uygunluk fonksiyonu adı verilir (Cura, 2008). Fenotip değerinin "x" ile temsil edildiği varsayıldığında, uygunluk fonksiyonu $f(x)$ gibi bir fonksiyon ile temsil edilecektir.

Popülasyon: GA'da, aday çözümlerden (kromozomlardan) oluşan bir diziye popülasyon ya da topluluk adı verilir. Popülasyon kromozomlardan, kromozomlar ise genlerden oluşur (Mirjalili, 2018). Algoritma çalıştırılmadan önce, belirlenmiş sayıda aday çözüm rastgele olarak üretilir.

Popülasyon	Kromozom 1	1 0 1 1 1 0 0 1 0
	Kromozom 2	0 1 0 0 0 1 1 0 1
	Kromozom 3	1 1 1 0 1 0 1 1 1
	Kromozom 4	1 0 0 0 0 0 0 1 0
	Kromozom 5	1 0 1 1 1 1 0 1 1

Şekil 3.3 : Popülasyon örneği

Popülasyon Büyüklüğü: Popülasyonda bulunan aday çözüm ya da birey sayısına popülasyon büyüklüğü adı verilir. Popülasyon büyüklüğünün algoritmanın iterasyonları botunca sabit kalabileceği gibi, değişmesi de mümkündür (Satman, 2016). Popülasyon büyüklüğünün yüksek olması, popülasyon içerisindeki çeşitliliği artıracaktır. Ancak bu durumda fazla sayıda birey için uygunluk değeri hesaplanıyor olacağından algoritmanın çözüme ulaşma süresi artacaktır.

Ebeveyn Seçimi: Ebeveynlerin seçiminde, bireylere ait uygunluk değerleri önem taşımaktadır. Kullanılacak olan seçim yönteminin çalışma prensibine bağlı olarak ebeveynler seçilecektir. Yeni nesilleri üretmek amacıyla genellikle, uygunluk değeri yüksek olan ebeveynlerin seçilme şanslarının fazla olduğu söylenebilir (Cura, 2008).

Üreme: Üreme, iki ya da daha fazla sayıda ebeveynin genetik malzemelerinin birleşmesi sonucunda bir ya da daha fazla sayıda yavru oluşturulması sürecidir (Sivanandam & Deepa, 2008). Üreme sürecinde, bireyler popülasyondan seçilerek, yeni nesilleri üretmek amacıyla tekrar yapılandırılırlar. Uygunluk değeri yüksek olan ebeveynlerin seçilme şansını artıracak olan şemalar kullanılarak bireylerin rastsal olarak seçilmesi gerçekleştirilir. Ebeveynlerin seçimi sonrasında ise çaprazlama ve mutasyon gibi operatörler kullanılarak yeni nesiller (yavrular) elde edilir.

Çaprazlama: Seçilmiş olan iki ebeveynden alınan kromozom dizilerinin rastsal olarak seçilen noktalardan kesilmesi ve sonrasında karşılıklı olarak birleştirilmesi işlemi ile çocuk bireylerin oluşturulması işlemidir. Çaprazlamanın amacı, popülasyonun gen havuzunun potansiyelini araştırmaktır (Taşkın & Emel, 2009). Çaprazlama operatörünün uygulanmaması durumunda oluşturulacak olan çocuk bireyler ebeveyn bireylerin tekrarı olacağından, GA'nın en önemli operatörlerin birisi çaprazlamadır.

Mutasyon: Belirli bir mutasyon oranı kullanılarak, kromozomun gen değerinin değiştirilmesidir. Çocuk bireylerde yer alan bazı genler rastlantısal olarak değişiklik gösterebilirler. GA'da kullanılan mutasyon operatörü, yerel optimum noktalarında çözümün sıkışmasını engellemektedir. Mutasyon ismi verilen bu değişimler, uygunluk fonksiyonu ile değerlerini ispat edebilirlerse hayatta kalmaya devam ederlerken, aksi durumda yok olurlar (Bäck, 1996).

Sonlandırma (Durdurma) Kriteri: GA pratikte sonsuza kadar çalışabilen (sonsuz sayıda yeni nesil üreten) bir yöntemdir. Bu sebeple yöntemde bir sonlandırma kriterine ihtiyaç duyulmaktadır. Problem yapısına bağlı olarak yaygın olarak kullanılan sonlandırma kriterlerinden bazıları; iterasyon sayısını sınırlandırmak, hesaplama zamanını belirlemek, popülasyondaki çeşitliliğin belirlenen bir değerin altına düşmesi ya da çözümün iyileşme hızının giderek azalması ile algoritmayı sonlandırmaktır (C. Reeves, 2003).

3.4. Genetik Algoritmanın Temel Teoremi: Şema Teoremi

Holland tarafından geliştirilen teorik GA analizinin temelinde Şema Teoremi yer almaktadır (C. Reeves, 2003). Örneğin, 0 ve 1 değerlerinden oluşan bir gen dizisi ile oluşturulan A kromozomu $A=0110101$ şeklinde gösterilebilir. Aynı zamanda A kromozomu $A=a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 a_7$ biçiminde de gösterilebilir. Bu durumda belirtilen A kromozomu için $a_1=0$, $a_2=1$, $a_3=1$, $a_4=0$, $a_5=1$, $a_6=0$ ve $a_7=1$ eşitlikleri söz konusu olacaktır. Belirli bir n uzunluğuna sahip olan bir popülasyonun üyeleri (A_j , $j=1,2, \dots, n$), t. nesilde $A(t)$ ile ifade edilebilir (Goldberg, 1989).

Şemaları tanımlayabilmek için ise daha uygun gösterimlere ihtiyaç duyulmaktadır. 0 ve 1 değerlerinden oluşan "110110" ve "011101" kromozomları "*1*1*" şeması ile temsil edilebilir. Bu şema "*" işareti ile temsil edilen bitlere karşılık olarak 0 ya da 1 değerlerinden birinin gelebileceği anlamını taşır. Söz konusu

şema, ilk pozisyonda herhangi bir değeri kabul ederken, ikinci pozisyondaki değerin mutlaka 1 olması gerektiğini göstermektedir. Örnekten yola çıkarak, şema terimi benzer kromozomların oluşturduğu alt küme olarak da tanımlanabilir. İkili düzende kodlanmış bir kromozomda yer alan bit sayısı n ile temsil edildiğinde, bu kromozomu temsil edebilecek farklı şema sayısı 2^n olacaktır. Popülasyonda yer alan toplam birey sayısı da kullanılarak, böyle bir popülasyonda bulunabilecek toplam şema sayısı, teorik olarak $N2^n$ olacaktır. Ancak pratik GA'da tüm şemalara odaklanmak yerine, uygunluk değeri daha yüksek olan şemalara odaklanılır. Böylelikle Holland tarafından "dolaylı paralellik" olarak adlandırılan daha az sayıda deneme ile daha fazla sayıda olasılığın test edilebilmesine olanak sağlayan süreç ortaya çıkmıştır (C. R. Reeves & Rowe, 2002) (Cura, 2008).

Bir şemanın, tanım uzunluğu (Defining Length) ve sırası (şemanın derecesi ya da Order of Schemata) olarak adlandırılan iki özelliği vardır (Goldberg, 1989) (Cura, 2008). Tüm şemalar birbirlerine eşit değildir ve bazı şemalar diğerlerine göre daha fazla örneğe sahiptirler. Fazla sayıda örneğe sahip şema ile, az sayıda örneğe sahip şemaları birbirlerinden ayırmak için kullanılan ölçüye şemanın derecesi ya da sırası adı verilir. Bir başka ifade ile, bir şemada yer alan tanımlanmış gen sayısı şemanın sırası olarak tanımlanır. H gibi bir şemanın sırası $o(H)$ ile gösterilir. Örneğin; $H_a=10101*0$ ve $H_b=0*****$ şemaları incelendiğinde H_a şemasının mümkün iki adet örneği $H_{a1}=1010110$ ve $H_{a2}=1010100$ olarak tanımlanabilecektir. H_b şeması için ise $26=64$ adet (6 adet tanımlanmamış gen içerdiğinden dolayı) örnek oluşması mümkündür. Örnekten de anlaşılabileceği gibi; fazla sayıda örneğe sahip şema ile, az sayıda örneğe sahip şemaları birbirlerinden ayırmak amacıyla şemada yer alan tanımlanmış gen sayısı yani şema sırası kullanılır. Bu örnekte H_a şemasının sırası $o(H_a)=6$ iken, H_b şemasının sırası $o(H_b)=1$ olur.

Bir şemanın tanım uzunluğu, şemada yer alan tanımlı (* değeri almayan) ilk ve son bitlere ait indislerin farkıdır. H gibi bir şemanın tanım uzunluğu, $\delta(H)$ ile gösterilir. H_a şemasının tanım uzunluğu, son tanımlı bit 7. indis ve ilk tanımlı bit 1. indis değerlerine sahip olduğundan dolayı $\delta(H_a)=7-1=6$ olacaktır. H_b şemasının tanım

uzunluğu ise ilk ve son tanımlı bite ait indis değeri aynı ve her ikisi de birinci indise tekabül ettiğinden dolayı, $\delta(H_b)=1-1=0$ olacaktır.

H şemasının t. nesilinde sahip olduğu örnek sayısı $m(H,t)$ olarak gösterilebilir. Klasik GA'da kullanılan Rulet Tekerı Seçim Yöntemi'ne göre kromozomların yeni nesil için seçilme olasılıkları, uygunluk değerlerinin popülasyonun uygunluk değerine oranı hesaplanarak elde edilir (Satman, 2016). Bundan yola çıkarak, H şemasının gelecek nesilde sahip olacağı örnek sayısı yani $m(H,t+1)$ denklem 3.1 kullanılarak hesaplanır:

$$m(H, t + 1) = m(H, t) n \frac{f(H)}{\sum_{j=1}^n f_j} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de kullanılan terimlerden n popülasyon büyüklüğünü temsil ederken, $f(H)$ H şemasının ortalama uygunluk değerini, f_j ise j. aday çözümün uygunluk değerini temsil etmektedir. Denklem 3.1'de yer alan $\sum_{j=1}^n f_j$ ifadesi ise popülasyondaki tüm aday çözümlerin uygunluk değerlerinin toplamını ifade etmektedir. Toplam uygunluk değeri kullanılarak, popülasyonun ortalama uygunluk değeri denklem 3.2'de görüldüğü gibi elde edilir:

$$\bar{f} = \frac{\sum_{j=1}^n f_j}{n} \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'den yola çıkarak elde edilen $\sum_{j=1}^n f_j = \bar{f} * n$ eşitliği denklem 3.1'de yerine konulduğunda ise H şemasının t+1. nesilde sahip olacağı beklenen örnek sayısını gösteren denklem 3.3 elde edilir:

$$m(H, t + 1) = m(H, t) \frac{f(H)}{\bar{f}} \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'ten yola çıkarak varılabilecek bazı sonuçlar şu şekilde sıralanabilir (Goldberg, 1989):

- Herhangi bir şemaya ait ortalama uygunluk değeri, popülasyona ait ortalama uygunluk değerinden fazla ise; bu şemanın gelecek nesilde daha fazla sayıda örneğinin olması beklenir.
- Ters olarak, herhangi bir şemaya ait ortalama uygunluk değeri, popülasyona ait ortalama uygunluk değerinden küçük ise; bu durumda bu şemanın gelecek nesilde azalan sayıda örneğinin olması beklenir. Bir başka ifade ile, bu tür şemaların yok olma eğilimi gösterdikleri söylenebilir (Satman, 2016).
- Bir popülasyonun sahip olduğu tüm şema örnekleri için, belirtilen süreçler eş zamanlı olarak ilerler. Yani GA’larda başarılı ve başarısız olarak nitelendirilen şemaların tümü eş zamanlı olarak çalışır ve başarılı olan şemalar gelecek nesillere daha yüksek olasılıklarla aktarılırlar.

GA’da seçim operatörü ile yeni aday çözümler üretilmemektedir, sadece yeni popülasyonu oluşturacak olan aday çözümlerin hangileri olduğuna karar verilmektedir. Var olan şemaların değişmeden kopyalanması ile arama uzayında yeni bir bölge keşfedilemeyecek, dolayısıyla yeni bir çözüm elde edilemeyecektir. Bu sebeple yeni aday çözümlerin oluşturulabilmesi amacıyla en önemli GA operatörü olan çaprazlama operatörü devreye girer.

Şemaların çaprazlama operatöründen nasıl etkilendiğini, hangi özellikteki şemaların çaprazlamadan etkilenip, hangilerinin etkilendiğini görmek için 7 bitten oluşan (l=7), 3.4’te görülen H_1 ve 3.5’te görülen H_2 şemalarına çaprazlama operatörü uygulanacaktır.

$$H_1 = * 1 * * * 0 * \quad (3.4)$$

$$H_2 = * * * * * 0 1 \quad (3.5)$$

Çaprazlama operatörünün hangi bitler arasında uygulanacağı rastsal olarak seçilir. 3.6 ve 3.7’de görüldüğü üzere çaprazlama operatörü “|” işareti ile gösterilen, dördüncü ve beşinci bitler arasındaki noktadan uygulanmıştır.

$$H_1 = * 1 * * | * 0 * \quad (3.6)$$

$$H_2 = * * * * | * 0 1 \quad (3.7)$$

Çaprazlama işlemi H_1 ve H_2 şemalarının “|” işareti ile gösterilen noktadan koparılarak, sağ tarafta kalan kısımlarının karşılıklı değiştirilmesi şeklinde uygulanacaktır (Pendharkar & Rodger, 2004). H_1 şemasının çaprazlama işleminin uygulanacağı noktanın her iki tarafında da tanımlanmış genlere sahip olduğu görülmektedir. Çaprazlama işleminin uygulanması sonucunda H_1 şemasının sağ ve sol uçları birbirlerinden ayrılacak, dolayısıyla H_1 şeması yok olacaktır. H_2 şeması için ise aynı durumun söz konusu olmadığı görülmektedir. Çünkü H_2 şemasında bulunan tanımlanmış genler, çaprazlama noktasının sadece sağ kısmında yer almaktadır. Dolayısıyla uygulanan çaprazlama işlemi sonucunda H_2 şemasının oluşacak olan yeni nesilde varlığını sürdüreceği görülmektedir (Goldberg, 1989). Çaprazlama işlemi sonucunda ortaya çıkan bu durumun, şemaların özelliklerinden biri olarak tanımlanan “şemaların uzunluğu” ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. H_1 ve H_2 şemalarının uzunluklarının sırasıyla $\delta(H_1) = 6 - 2 = 4$ ve $\delta(H_2) = 7 - 6 = 1$ olarak hesaplanır. H_1 ve H_2 şemalarının her ikisinin de toplam 7 bitten oluştuğu ($l=7$) göz önünde bulundurulduğunda, bu şemalar için mümkün olan toplam 6 adet ($l-1=7-1$ adet) çaprazlama noktasının var olduğu görülmektedir. H_2 şeması incelendiğinde, bu şemanın yok olmasının çaprazlama işleminin sadece altıncı ve yedinci genler arasındaki noktadan yapılması ile mümkün olduğu görülmektedir. Yani, H_2 şemasının gelecek nesilde yok olma olasılığının $P_d(H_2)=1/6$ olduğu söylenebilir. Benzer olarak, H_1 şemasının yok olma olasılığının ise $P_d(H_1)=4/6$ olduğu görülmektedir. Elde edilen bu bilgilerden yola çıkarak, bir şemaya uygulanan çaprazlama operatörü sonucunda, şemanın gelecek nesilde yok olma olasılığı 3.8’de görüldüğü gibi ifade edilebilecektir:

$$P_d(H) = \frac{\delta(H)}{l-1} \quad (3.8)$$

Benzer olarak, bir şemaya uygulanan çaprazlama operatörü sonucunda, şemanın gelecek nesilde hayatta kalma olasılığı ise 3.9’da görüldüğü gibi ifade edilebilecektir:

$$P_s(H) \geq 1 - \frac{\delta(H)}{l-1} \quad (3.9)$$

Çaprazlama işleminin belirli bir p_c olasılığı ile uygulandığı varsayıldığında 3.9’da yer alan eşitsizlik 3.10’da gösterilen eşitsizliğe dönüşecektir. Çaprazlama olasılığının $p_c=1$ olması durumunda yani %100 olasılıkla çaprazlamanın gerçekleşmesi durumunda ise, 3.9 ve 3.10’da görülen eşitsizlikler aynı olacaktır (Goldberg, 1989).

$$P_s(H) \geq 1 - p_c \frac{\delta(H)}{l-1} \quad (3.10)$$

Çaprazlama operatörünün şemalar üzerinde oluşturduğu etkiyi denklem 3.10’da gördükten sonra, denklem 3.3’te elde edilen bir şemanın $t+1$. nesilde sahip olacağı beklenen örnek sayısını gösteren eşitliğin birleştirilmesi sonucunda, çaprazlamanın beklenen örnek sayısı üzerindeki etkisini gösteren eşitsizlik 3.11 elde edilir. Çaprazlama işlemi sonucunda şemanın yaşama olasılığının bir alt sınır olarak tanımlanması sebebiyle 3.11 bir eşitlik olarak oluşturulmuştur (Satman, 2016).

$$m(H, t+1) \geq m(H, t) \frac{f(H)}{\bar{f}} \left(1 - p_c \frac{\delta(H)}{l-1} \right) \quad (3.11)$$

Tüm bu bilgilerin ışığında; bir şemanın ortalama uygunluk değeri, popülasyonun ortalama uygunluk değerinden yüksekse ve aynı şema kısa bir tanım uzunluğuna (defining length) sahip ise, bir sonraki nesilde bu şemaya ait örneklerin sayısının artmasının beklendiği sonucuna varılır (Goldberg & Holland, 1988).

Bir şemada değişiklik yaratabilecek son GA operatörü mutasyondur (Goldberg, 1989). Mutasyon, p_m olasılığı ile bir şemadaki her bir bitin rastgele değişmesi işlemidir. H gibi bir şemanın bir nesil sonrasında hayatta kalabilmesi için,

mutasyon operatörünün H şemasındaki tanımlanmış genleri etkilememesi gerekir (Goldberg & Holland, 1988). Dolayısıyla mutasyon işlemi sonucunda ortaya çıkan bu durumun, şemaların özelliklerinden biri olarak tanımlanan “şemaların derecesi (sırası)” ile doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılmaktadır. Bir şema için mutasyon oranı p_m olarak tanımlandığında, şema içerisindeki bir değerin değişmeden kalması olasılığı $1-p_m$ olacaktır. Bu durumda, bir şemanın derecesi $o(H)$ olduğunda şemanın gelecek nesilde hayatta kalma olasılığı $(1-p_m)^{o(H)}$ şeklinde ifade edilebilir. Küçük p_m değerleri için şemanın hayatta kalma olasılığı yaklaşık olarak $1-p_m o(H)$ ifadesine yaklaşacaktır (Holland, 1992). Bu durumda, bir H şemasının bir nesil sonrasındaki beklenen örnek sayısı; üreme, çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonucunda 3.12’de gösterilen eşitsizlik olarak elde edilecektir:

$$m(H, t + 1) \geq m(H, t) \frac{f(H)}{\bar{f}} \left(1 - p_c \frac{\delta(H)}{l-1} - o(H)p_m \right) \quad (3.12)$$

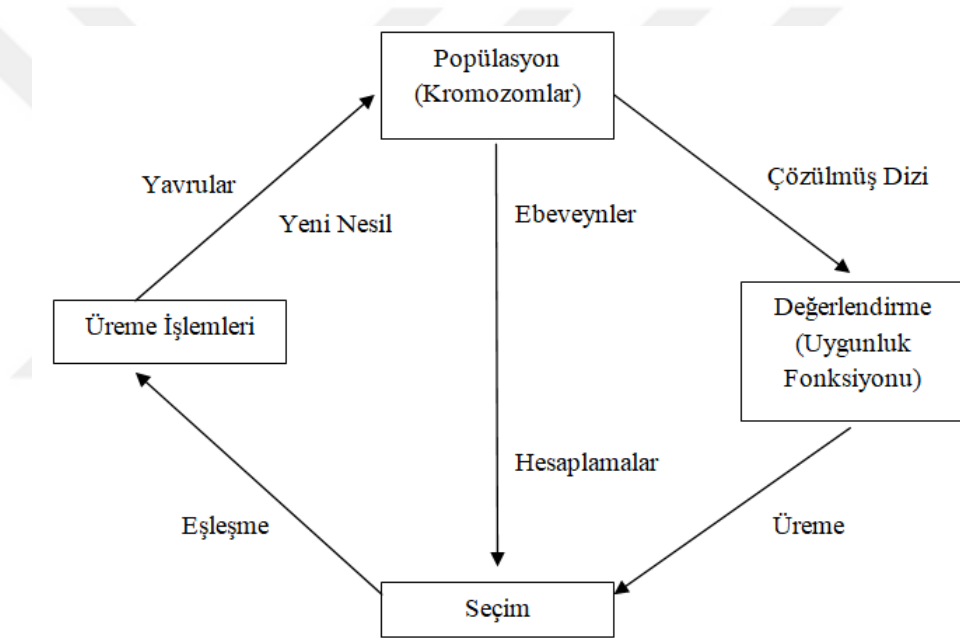
Eşitsizlik 3.12’de, bir şemanın ortalama uygunluk değerinin popülasyonun ortalama uygunluk değerine oranının, şemanın tanım uzunluğunun ve şemanın derecesinin, bir sonraki nesilde beklenen örnek sayısı üzerinde yarattığı etki açıkça görülmektedir. Ayrıca 3.12’de yer alan eşitsizliğin “ $\geq$ ” şeklinde oluşması, GA’ların başarıyla çalışma sebebini de net olarak ortaya koymaktadır. Eşitsizlikten; başarılı aday çözümlere sahip olan şemanın, gelecek nesilde en az bir önceki nesilde olduğu kadar örneğe sahip olacağı sonucuna ulaşılır (Satman, 2016). Bu önemli özellikler “Şema Teoremi” ya da “Genetik Algoritmaların Temel Teoremi” olarak adlandırılmaktadır (Goldberg, 1989).

3.5. Genetik Algoritmanın Çalışma Prensipleri

GA, problem çözme yöntemi olarak genetiği kullanan, optimizasyon ve arama problemlerine yaklaşık çözümler üreten bir yöntemdir (Sivanandam & Deepa, 2008). GA'da her bir aday çözüm, temsili bir kromozom ile gösterilir. İlk aşama olarak tüm aday çözümler kodlanır. GA'larda başlangıç popülasyonunu oluşturan aday çözümler, araştırma konusu olan fonksiyonun farklı bölgelerindeki yerel optimumların aranmasını sağlamaktadır. Bu bilgiden yola çıkarak, GA'ların arama sürecini paralel biçimde sürdürdükleri söylenebilir (Satman, 2016). Bir sonraki aşama olarak belirlenen üreme operatörleri kromozomlara uygulanır ve problemin çözümleri üzerinde çaprazlama ve mutasyon operatörlerini çalıştırılır. GA'lar çaprazlama operatörünü kullanarak, aday çözümlerdeki bilgilerin popülasyon içerisinde yeni nesillere aktarılmasını sağlarlar. Mutasyon operatörü ise GA'larda popülasyon içerisindeki değişkenliği sağlayabilmek amacıyla kullanılır. Kullanılan bu operatörler yardımı ile aday çözümlerin uygunluk fonksiyonu açısından iyi yönde gelişme göstermeleri sağlanmaktadır. GA'nın çalışmasını direkt olarak etkilediği için, en uygun gösterimin (kodlama) seçilmesi ve üreme operatörlerinin belirlenmesi önemli faktörlerdir. Seçim aşamasında, popülasyonda yer alan tüm aday çözümlerin uygunluk fonksiyonu kullanılarak karşılaştırmaları yapılır. Uygunluk fonksiyonu kullanılarak elde edilen uygunluk değeri aday çözümlerin başarısını sergileyen bir ölçüttür. Bir çok problemde uygunluk fonksiyonu maksimize edilse de ARP gibi uygulamalar için minimize edilmektedir.

GA'larda rastgele olarak oluşturulan ilk popülasyonun sunduğu gen havuzunun büyük olması önem taşımaktadır. Böylece arama uzayı genişletilmiş olacaktır. GA'lar popülasyonun evrimleşmesini sağlamak amacıyla iterasyon olarak tanımlanan süreci defalarca tekrarlar. Her bir iterasyon süreci şekil 3.4'de görülen seçim (selection), üreme (reproduction), değerlendirme (evaluation) ve değiştirme (replacement) aşamalarını içermektedir (Sivanandam & Deepa, 2008).

- **Seçim** : Üreme işlemini gerçekleştirmek için bireylerin seçilmesi işlemidir. Bireylerin uygunluk değerlerine göre olasılıksal bir seçim gerçekleştirilir.
- **Üreme** : Seçilen ebeveyn bireylerin yavruları oluşturulur. Yavruları yani yeni nesili üretirken çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılır.
- **Değerlendirme** : Yeni oluşturulan kromozomların uygunluk değerleri hesaplanır.
- **Yer Değiştirme** : Eski popülasyondaki bireylerin yerine yeni oluşan bireyler yerleştirilerek yeni popülasyon elde edilir.



Şekil 3.4 : Genetik algoritma döngüsü

GA'ya ait akış diyagramı Şekil 3.5'de (Taniguchi & Shimamoto, 2004) görülmektedir. Bir GA aşağıda sıralanmış adımlar ile aşamalandırılır:

Adım 1: Veri yapısının ve parametrelerin oluşturulması,

Adım 2: Aday çözümleri içeren başlangıç popülasyonunun oluşturulması,

Adım 3: Değerleme: Uygunluk fonksiyonu kullanılarak aday çözümlere (bireylere) ait uygunluk değerlerinin hesaplanması,

Adım 4: Seçim: Belirlenen seçim stratejisine göre, hesaplanan uygunluk değerleri dikkate alınarak başarılı bireylerin seçilmesi,

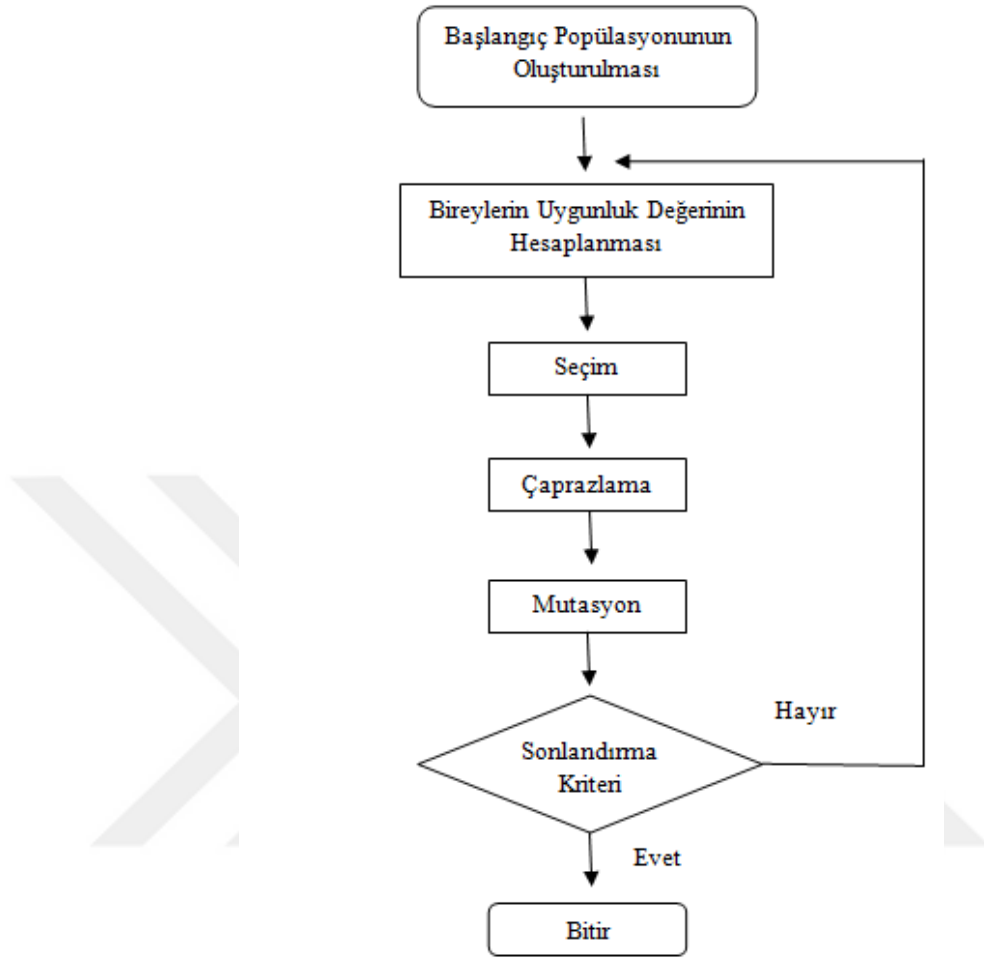
Adım 5: Çaprazlama: Seçilen bireylerin belirlenen bir olasılıkla çaprazlanması sonucu yeni nesil aday çözümlerin oluşturulması,

Adım 6: Mutasyon: Yeni aday çözümlere belirlenen mutasyon oranına bağlı olarak mutasyon operatörünün uygulanması,

Adım 7: Yeniden Değerleme: Yeni oluşturulan bireyler için uygunluk değerlerinin hesaplanması,

Adım 8: Yer Değiştirme: Belirlenen yer değiştirme stratejisinin uygulanması,

Adım 9: Sonlandırma Kriteri: Belirlenmiş durdurma kriteri sağlandığında algoritmanın çalışması sonlandırılmasıdır.



Şekil 3.5 : Genetik algoritma akış diyagramı

3.6. Kromozomların Kodlanması

GA'larda aday çözümlere GA operatörleri uygulanarak işlemler yapılmaktadır. Ancak operatörler direkt olarak aday çözümlerin üzerinde uygulanmaz, aday çözümlere ait temsili görüntülerin üzerine uygulanırlar (Satman, 2016). Bu noktada, aday çözümlerin bu temsili görüntülerinin oluşturulabilmesi amacıyla "kodlama" operatörü kullanılmaktadır. Kodlama operatörü GA'ların

başlangıç noktası olarak kabul edilir ve aday çözümler ile popülasyonu oluşturan bireylerin ne şekilde temsil edileceğinin belirlendiği süreçtir.

Çözüm üretilecek problemin yapısına bağlı olarak farklı kodlama türleri tercih edilmektedir. GA'nın yapısına en uygun olan ve en sık kullanılan kodlama türü ikili kodlamadır ancak permütasyon kodlama, ağaç kodlama ve değer kodlama gibi farklı kodlama türleri de kullanılmaktadır.

3.6.1. İkili Kodlama

GA'lar ile yapılan ilk çalışmalarda kullanılan ve genel olarak en sık olarak kullanılan kodlama türüdür. İkili kodlama aday çözümlerin 0 ve 1 değerlerinden oluşacak şekilde kodlanmasıdır. Bazı kaynaklarda Binary kodlama olarak da tanımlanmaktadır.

İkili kodlamanın kullanılabileceği problemlere örnek olarak sırt çantası problemi (Knapsack problem) verilebilir. Bu problemde; farklı boyut ve değerlerdeki malzemeler sırt çantasına, çantanın kapasitesi göz önünde bulundurularak yerleştirilmek istenmektedir. Bu problemin kodlanmasında her bir bit malzemenin çantaya konup konmayacağını temsil edecektir. 0 değerini alan bite ait malzeme çantaya konulmazken, 1 değerini alan bite ait malzeme çantaya konulacaktır.

Gezgin Satıcı Problemi (GSP) (Travelling Salesman) için değerlendirildiğinde ise ikili kodlamanın uygun bir yöntem olmadığı görülmüştür. Çünkü GSP'nde her bir bit ziyaret edilen farklı bölgeyi temsil ediyor olduğundan, problemin ilerleyen aşamalarında uygulanacak olan çaprazlama ve mutasyon operatörleri sonrasında bazı düzeltmeler yapılmasına gerek olmaktadır.

İkili kodlama matematik derslerinden hatırlanan taban aritmetiği kurallarına dayanmaktadır. Bir başka deyişle; ondalık sistemde (decimal) kullanılan sayıların, ikili tabanda yazılması esasına dayanan bir kodlamadır. Tablo 3-2'de yer alan örnekte görüldüğü üzere, farklı x değerleri ikili düzende yazıldığında farklı sayıda bitten oluşmaktadır. Ancak GA operatörlerinin uygulanmasını kolaylaştırmak amacıyla tablo 3.2'de görülen sabit uzunluklu kodlama sıklıkla kullanılmaktadır.

Tablo 3.2 : Ondalık sistemdeki bazı tamsayıların ikili kodlama ile gösterilmesi

X	İkili Kodlama	Sabit Uzunluk
1	1	00000001
2	10	00000010
3	11	00000011
15	1111	00001111
16	10000	00010000
34	100010	00100010
67	1000011	01000011
129	10000001	10000001
241	11110001	11110001

İkili kodlamada ihtiyaç duyulan bit sayısının doğru olarak belirlenmesi önem taşımaktadır. Tablo 3.2'de görüldüğü üzere ondalık sistemdeki 15 değerinin ikili kodlaması için 4 bite, 16 sayısının kodlanması için ise 5 bite ihtiyaç duyulmuştur. Burada 4 bit kullanarak, $2^4=16$ farklı değer ikili düzende kodlanabilir. Elde edilen 16 farklı değer 0'dan başlayarak 16 sayısına kadar olan tamsayı değerlerini içermektedir ancak 16 değeri dahil değildir. Bit sayısı 5'e çıkarıldığında ise $2^5=32$ olacaktır yani, 16'dan başlayarak 32'ye kadar (32 dahil değil) olan değerleri ikili düzende kodlayabilmek için toplam 5 bite ihtiyaç olacaktır.

3.6.2. Permütasyon Kodlama

Sıralı kodlama olarak da bilinen permütasyon kodlama, GSP, Araç Rotalama Problemi (ARP) ve iş-akış problemleri için uygun bir yöntemdir. GSP'nde her bir tamsayı değeri farklı bir şehri ifade edecektir. Bu tür bir problem için kullanılan permütasyon kodlamada, uygulanacak çaprazlama ve mutasyon operatörleri sonrasında düzenlemeler yapılarak, sıra tekrarlarının oluşması önlenmelidir. Yani, aynı şehre birden fazla kez uğranmasının önüne geçilmelidir. Şekil 3.6'da permütasyon kodlama örneği yer almaktadır. A kromozomu dikkate alındığında, öncelikle 3 numaralı şehrin ziyaret edileceği, sonrasında ise sırasıyla 5, 8, 7, 2, 6, 4 ve son olarak 1 numaralı şehrin ziyaret edileceği ifade edilmektedir. Benzer olarak B kromozomuna göre, ilk olarak 1 numaralı şehrin, son olarak ise 2 numaralı şehrin ziyaret edileceği görülmektedir.

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

Şekil 3.6 : Permütasyon kodlama örneği

3.6.3. Değer Kodlama

Karmaşık değerler ve gerçek sayıların kullanıldığı problemlerde sık olarak kullanılan kodlama türüdür. Negatif sayılar, harfler ya da ondalık sayılar içeren problemlerin kodlanması için ikili kodlamanın kullanımı oldukça güçtür, bu sebeple bu tip problemler için değer kodlama kullanılır. Değer kodlamanın kullanıldığı durumlarda, ilgilenilen probleme özgü olarak çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin geliştirilmesi gereği sıklıkla ortaya çıkmaktadır (Sivanandam & Deepa, 2008). Bu kodlamada her bir kromozom; sayı, gerçek sayılar ya da karakterler gibi bazı dizilerden oluşur. Şekil 3.7'de değer kodlama örnekleri görülmektedir.

A Kromozomu	GHRDHNKADFDD
B Kromozomu	(sağ) , (sağ) , (geri) , (sol) , (ileri) , (sol)
C Kromozomu	0.347 2.876 5.358 2.705 1.129

Şekil 3.7 : Değer kodlama örneği

3.6.4. Ağaç Kodlama

Genellikle genetik programlamada kullanılan bir kodlama türüdür. Ağaç kodlamada her bir kromozom, programlama dilinin işlev ya da komutlarını temsil edecek şekilde bir ağaç yapısı oluşturur. Ağaç kodlamada + (toplama), x (çarpma), - (çıkarma), ÷ (bölme) gibi matematiksel ifadeler sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak bu kodlama bilgisayar programlarını da kapsadığından dolayı cos, sin, log, tan, exp gibi matematiksel fonksiyonları ve "while", "for", "if" gibi şartlı işlemleri de içerebilir (Satman, 2016). Şekil 3.8'de ağaç kodlama örnekleri görülmektedir.

A Kromozomu	B Kromozomu
<pre> graph TD A["+"] --- B["x"] A --- C["÷"] B --- D["3"] B --- E["a"] C --- F["a"] C --- G["-"] G --- H["7"] G --- I["a"] </pre> (+ (x 3a) (÷ (a (- 7a))))	<pre> graph TD A["x"] --- B["x"] A --- C["a"] B --- D["5"] B --- E["a"] </pre> (x (x 5a) a)

Şekil 3.8 : Ağaç kodlama örneği

Ağaç şeklinde kodlanmış olan kromozomlara çaprazlama operatörünün uygulaması oldukça kolaydır. Ebeveyn kromozomlar belirlenen kesim noktalarından ayrılıp, her bir ayrılan parçanın bir diğer kromozomun kesim noktasına yapıştırılması ile çaprazlama operatörü uygulanabilir. Ayrıca ağaç kodlamada mutasyon operatörü de kolaylıkla uygulanabilir. Mutasyon operatörünün uygulanması, rastgele seçilmiş bir dal üzerinde bir operatörün başka bir operatörle değiştirilmesi ya da bir sayının rastgele başka bir sayı ile değiştirilmesi şeklinde uygulanabilir.

3.7. Başlangıç Popülasyonu

Başlangıç popülasyonunun oluşturulması GA'nın ilk adımı olarak tanımlanmaktadır. Başlangıç popülasyonunu oluşturan bireylerin sahip oldukları uygunluk değerlerine göre GA'nın performansı direkt olarak etkileneceğinden dolayı, başlangıç popülasyonunun belirlenmesi aşaması önem taşımaktadır. Bir en büyükleme probleminde başlangıç popülasyonunda yer alan bireylerin uygunluk değerleri düşük olduğunda GA'nın çözüm elde etme süresi uzayacaktır. Tam tersi olarak, uygunluk değerleri yüksek olduğunda ise çözüm daha kısa bir sürede elde edilecektir. Başlangıç popülasyonunda yer alan tüm kromozomların yüksek kalitede olacak şekilde seçilmesi durumunda, çözümün lokal optimum noktada sıkışması riskinin ortaya çıkabileceği de unutulmamalıdır.

Diğer yandan başlangıç popülasyonunun büyüklüğü de GA'nın çözüme ulaşmasına etki eden bir diğer faktördür. Popülasyon büyüklüğünün az olduğu durumlarda, çözümün lokal optimuma takılma riski artıyor olacaktır. Ters olarak popülasyon büyüklüğünün yüksek olması durumunda ise global optimuma ulaşma olasılığı artacaktır, ancak bu durumda da popülasyon büyüklüğü arttıkça yapılacak işlemleri arttırdığından çözüm süreci uzayacaktır (Hromkovič, 2004).

Başlangıç popülasyonu, bireylerin yani kromozomların rastsal olarak seçilmesi ile oluşturulabileceği gibi, “Grow”, “Full” ve “Ramped half and half” teknikleri gibi farklı yöntemler kullanılarak da oluşturulabilir. Zaman sınırlılığı ve kaliteli bir çözüme ulaşma olasılığı arasında bir denge sağlayarak başlangıç popülasyonunun oluşturulması gerekmektedir. Popülasyon büyüklüğü seçiminde net bir öneri veren herhangi bir yöntem olmamakla birlikte, bazı uygulayıcılar 30 bireyden oluşan popülasyonların çeşitli problemlerin çözümü için yeterli olduğunu savunmaktadırlar (Hromkovič, 2004). Nihai popülasyonun seçiminde ise, her bir aday çözümün popülasyona girme şansının eşit olmasını sağlayarak, rastgele bir seçim yapılmasına sıklıkla başvurulur.

3.8. Uygunluk Fonksiyonunun Tanımlanması

GA’larda, popülasyonda yer alan her bir kromozomu (bireyi) temsil eden bir değere ihtiyaç duyulur. Her bir iterasyonda popülasyonu oluşturan kromozomların uygunluk değerleri hesaplanır ve iterasyonun ilerleyen aşamalarında hesaplanan uygunluk değerleri referans olarak kullanılarak işlemler devam eder. Bu referans değerlere uygunluk değeri adı verilirken, uygunluk değerini hesaplamak için kullanılan matematiksel fonksiyona uygunluk fonksiyonu adı verilir. GA’larda çözüm aranan her bir problem için oluşturulmuş bir uygunluk fonksiyonu mevcuttur (Emel & Taşkın, 2002).

Uygunluk fonksiyonları; Yöneylem Araştırması (YA) problemlerinde sıklıkla kullanılan, incelenen problemin türüne göre en büyükleme ya da en küçükleme olarak tasarlanabilen “amaç fonksiyonu” ile aynı işlevi yerine getirmektedir. GA’larda da yüksek uygunluk değerine sahip olan aday çözümlerin bir sonraki nesle aktarılma olasılığı fazla olacağı için, uygunluk fonksiyonunun problemin amacına bağlı olarak iyi tanımlanması gerekir.

3.9. Genetik Algoritma Operatörleri

GA’larda incelenen probleme ait kodlamaların tamamlanması, başlangıç popülasyonunun oluşturulması ve uyum değerlerinin hesaplanmasının ardından temel genetik operatörler uygulanır. Bu temel genetik operatörler; seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörleri olarak sıralanabilir (Taşkın & Emel, 2009). Ayrıca farklı kaynaklarda tamir ve yer değiştirme operatörleri, de GA operatörleri olarak belirtilmiştir (Sivanandam & Deepa, 2008).

3.9.1. Seçim

Mevcut durumda popülasyonu oluşturan bireyler, bir sonraki neslin ebeveynleri olacaklardır. Çaprazlama operatörünün uygulanıp, yeni neslin oluşturulabilmesi için mevcut popülasyondan iki ebeveyn kromozomun seçilmesi süreci, GA’larda “seçim operatörü” olarak adlandırılmaktadır (Mitchell, 1996). Darwin’in evrim teorisine göre; en iyi olan (doğaya uyum sağlayan) birey, yeni yavruları oluşturmak için hayatta kalır (Sivanandam & Deepa, 2008). Bu bağlamda, gelecek nesildeki yavruları oluşturacak olan ebeveynlerin seçiminde uygunluk değerleri belirleyici olacaktır.

GA’larda rulet tekeri seçimi, sıralama seçimi, sabit durum seçimi, turnuva seçimi, stokastik seçim ve seçkinliğe dayalı seçim gibi farklı seçim yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak seçim yöntemlerinin birbirlerine karşı belirgin bir üstünlükleri saptanmamıştır (Goldberg & Deb, 1991).

3.9.1.1. Rulet Tekeri Seçimi

Rulet Tekeri Seçimi (Roulette Wheel Selection), Klasik GA’larda kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde bir kromozomun ebeveyn olarak seçilme olasılığı, aynı kromozoma ait uygunluk değerinin popülasyonun toplam uygunluk değerine oranı ile ifade edilir (Sivanandam & Deepa, 2008) (Cura, 2008). Bu olasılık bir denklem ile ifade edildiğinde, i. kromozomun seçilme olasılığı olan $P_s(c_i)$ denklem 3.13’de görüldüğü gibi ifade edilir. Denklemden; f_i , i. kromozomun seçilme olasılığını temsil ederken, N popülasyon büyüklüğünü temsil etmektedir.

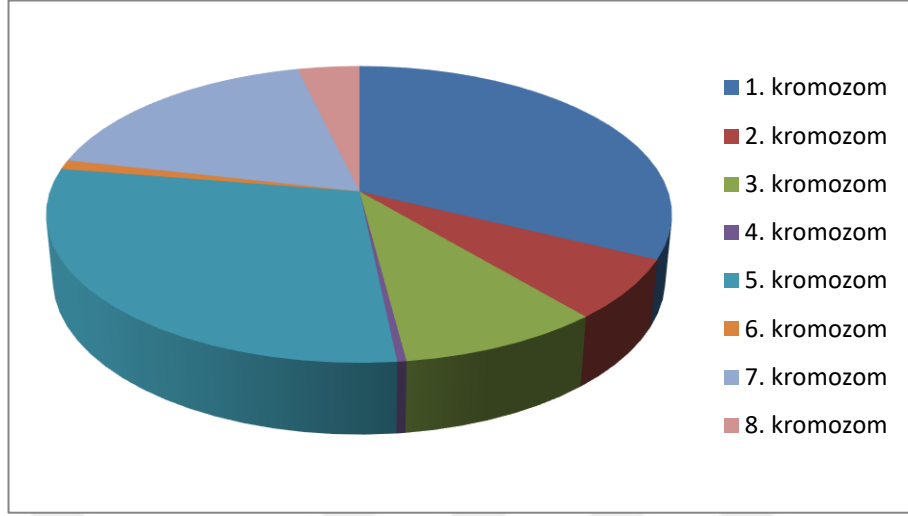
$$P_s(c_i) = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^N f_i} \quad (3.13)$$

Örneğin, $y = f(x) = 3x^2$ fonksiyonunu maksimize edecek olan x değerini bulmak amacıyla 6 bit uzunluğunda ikili kodlanmış kromozomlar kullanılacağı varsayıldığında ve seçim yöntemi olarak rulet tekeri yöntemi tercih edildiğinde Tablo 3.3’te yer alan değerler elde edilecektir. Tablo 3.3’te yer alan 62, 28, 33, 7, 59, 11, 46 ve 21 olarak belirlenmiş 8 adet aday çözüm rastsal olarak belirlenmiştir. Her bir aday çözümün ikili düzende kodlanmış gösterimleri ve uygunluk değerleri de tabloda yer almaktadır. Her bir aday çözümün uygunluk değerinin, popülasyonun toplam uygunluk değerlerine oranı Tablo 3.3’ün son sütununda hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplama sonucunda elde edilen seçilme olasılığı değerlerinden yararlanılarak Şekil 3.9’da görülen pasta grafik elde edilmiştir.

Tablo 3.3 : Aday çözümlerin uygunluk değerleri ve seçilme olasılıkları

Kromozom Sayısı	Kromozom Değeri	Kodlanmış Kromozomlar	Kromozomların Uygunluk Değerleri (f_i)	Seçilme Olasılıkları $P_s(c_i) = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^N f_i}$
1	62	1 1 1 1 1 0	11.532	0,3224
2	28	0 1 1 1 0 0	2.352	0,0657
3	33	1 0 0 0 0 1	3.267	0,0913
4	7	0 0 0 1 1 1	147	0,0041
5	59	1 1 1 0 1 1	10.443	0,2919
6	11	0 0 1 0 1 1	363	0,0102
7	46	1 0 1 1 1 0	6.348	0,1774
8	21	0 1 0 1 0 1	1.323	0,0370
-	-	Toplam	35.775	1,000

Tablo 3.3'de görüldüğü üzere aday çözümler arasında en düşük uygunluk değerine f₄=147 değeri ile dördüncü kromozom sahiptir. Aynı kromozomun ebeveyn olarak seçilme olasılığı olan 0,0041 değerinin, diğer kromozomların değerleri ile karşılaştırıldığında oldukça düşük olduğu göze çarpmaktadır. Bu değerlendirme ile, Şekil 3.9'da görülen pasta grafikte dördüncü kromozoma ait dilimin oldukça küçük olmasının sebebi açıklanmaktadır. Pasta grafik üzerinde rastgele olarak seçilen bir noktanın, değeri 7 olan aday çözüme ait olma olasılığı, ilgili aday çözümün pasta grafik üzerinde kapladığı alan ile temsil edilmektedir. Tüm bunlardan yola çıkarak düşük uygunluk değerine sahip aday çözümlerin oluşturulan pasta grafikte küçük bir dilime sahip olacağı ve dolayısıyla rastgele olarak seçilme olasılığının düşük olacağı; yüksek uygunluk değerine sahip aday çözümlerin ise grafikte büyük bir dilime sahip olacağı ve rastgele olarak seçilme olasılığının fazla olacağı sonucuna varılmaktadır. Bu bilgiden yola çıkarak Tablo 3.3'te verilen örnek için yapılacak olan rulet tekeri seçiminde birinci ve beşinci kromozomların seçilme ihtimallerinin yüksek olacağı söylenebilir.



Şekil 3.9 : Aday çözümlerin uygunluk değerlerine göre popülasyondaki oranları

Tablo 3.4'te her bir kromozom için birikimli olasılık değerleri hesaplanmıştır. Üretilen rastgele sayıların yardımıyla, her bir rastgele sayının ait olduğu birikimli olasılık değerinden yararlanılarak seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Seçilen kromozomlarda, yüksek uygunluk değerine sahip olan 1. ve 5. aday çözümlerin ağırlıklı olduğu görülmektedir.

Yöntemin uygulanmasında kullanılan pasta grafiğin rulet tekerleğine benzetilmesi sebebiyle, uygulanan bu seçim yönteminin adı literatürde Rulet Tekeri Seçimi olarak yer almaktadır.

Tablo 3.4 : Rulet tekeri seçim örneğinde seçilen kromozomlar

Kromozom Sayısı	Kromozom Değeri	Seçilme Olasılıkları	Birikimli Olasılık	Rastasal Sayı	Seçilen Kromozom
1	62	0,3224	0,3224	0,7680	5
2	28	0,0657	0,3881	0,9771	8
3	33	0,0913	0,4794	0,5005	5
4	7	0,0041	0,4835	0,9357	7
5	59	0,2919	0,7754	0,2395	1
6	11	0,0102	0,7856	0,9108	7
7	46	0,1774	0,9630	0,3251	2
8	21	0,0370	1,000	0,6383	5
-	Toplam	1,000	-	-	-

3.9.1.2. Sıralama Seçimi

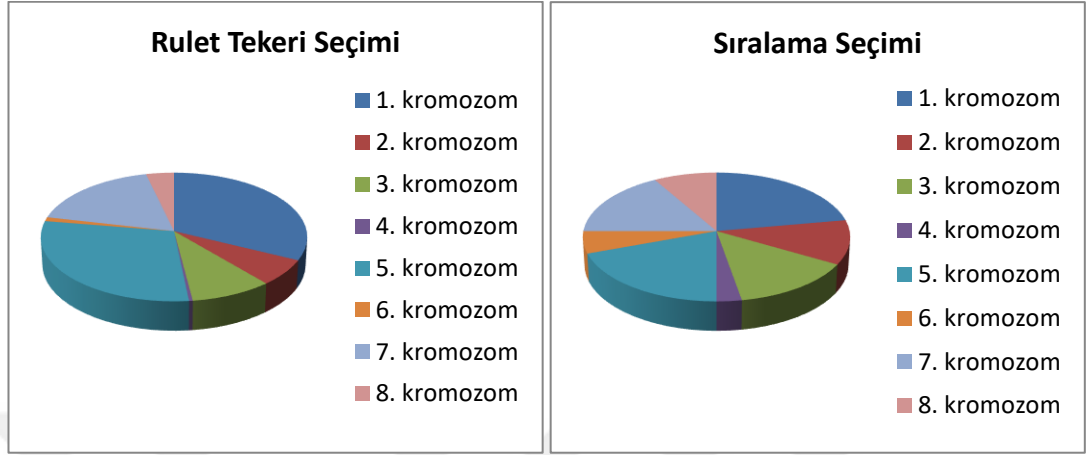
Sıralama seçim yöntemi Baker tarafından geliştirilmiştir (Bäck, 1996). Bu yöntemde popülasyondaki bireylerin ebeveyn olarak seçilme olasılıkları, sadece bireylerin popülasyondaki uygunluk değerlerine göre yapılan sıralamaya bağlıdır. Yani Rulet Tekerı yönteminde olduğu gibi uygunluk değerleri kullanılarak elde edilen birikimli olasılık değerleri hesaplanmaz, bunun yerine bireylerin sıralamalarına göre elde edilen olasılık değerleri kullanılır.

Yöntem, popülasyonda yer alan bireylerin uygunluk değerlerine göre en iyiden en kötüye doğru sıralanması ve yapılan bu sıralamaya göre bu bireylere 1 ile N arasında numara verilmesiyle uygulanır. Burada N ile popülasyonda yer alan toplam birey sayısı temsil edilmektedir. En iyi uygunluk değerine sahip bireye N sayısı atanırken, en kötü uygunluk değerine sahip olan bireye 1 sayısı atanmış olacaktır. Tablo 3.5'te popülasyondaki aday çözümlerin uygunluk değerlerine göre sıralamaları yer almaktadır. Sıralamalardan yararlanılarak elde edilen seçilme olasılıkları ile birikimli olasılık değerleri kullanılarak ve üretilen rastasal sayılardan faydalanılarak hangi kromozomların ebeveyn olarak seçildikleri hesaplanmıştır.

Tablo 3.5 : Sıralama seçimi örneği

Kromozom Sayısı	Kromozom Değeri	Sıralama	Seçilme Olasılıkları	Birikimli Olasılık	Rastsal Sayı	Seçilen Kromozom
1	62	8	0,2222	0,2222	0,9226	8
2	28	4	0,1111	0,3333	0,0136	1
3	33	5	0,1389	0,4722	0,1840	1
4	7	1	0,0278	0,5000	0,4955	4
5	59	7	0,1944	0,6944	0,7718	7
6	11	2	0,0556	0,7500	0,3438	3
7	46	6	0,1667	0,9167	0,5930	5
8	21	3	0,0833	1,000	0,8305	7
-	Toplam	36	1,000	-	-	-

Tablo 3.5'in son sütununda görüldüğü gibi yapılan sıralamada 1 puan olarak son sırada yer alan 4. kromozom da ebeveyn olarak seçilmiştir. Bu kromozomun uygunluk değeri diğer kromozomlara nazaran düşük olduğundan dolayı, rulet tekeri yönteminde seçilme olasılığı oldukça düşük bir olasılık değeri olarak hesaplanmıştır. Ancak sıralama seçiminde, kromozomların uygunluk değerleri arasındaki büyük farkların sebep olduğu dezavantaj ortadan kaldırılarak, düşük uygunluk değerine sahip olan kromozomların da seçilebilmelerine imkan sağlanmaktadır. Böylece elde edilen çözümlerin yerel optimumda takılmaları engellenmiş olacaktır. Ayrıca, Şekil 3.10'da görülebileceği gibi sıralama yönteminde, uygunluk değeri yüksek olan kromozomların seçilme olasılıkları rulet tekeri seçimine nazaran azalacaktır, bu sebeple de algoritmanın global optimuma ulaşma hızının düşeceği sonucuna varılabilir.



Şekil 3.10 : Rulet tekeri seçimi ve sıralama seçimi karşılaştırması

3.9.1.3. Sabit Durum Seçimi

Sabit durum seçim yönteminde, uygunluk değeri yüksek olan aday çözümlerin bir kısmı seçilerek yeni nesil oluşturulur. Düşük uygunluk değerine sahip bireylerin bir kısmı popülasyondan çıkarılıp, yerlerine oluşturulan bu yavrular yerleştirilir. Başlangıç popülasyonunda bulunan diğer bireyler ise değişmeden bir sonraki neslin popülasyonuna geçerler. Böylece bir sonraki nesil oluşturulmuş olur. Bu seçim yöntemi sonucunda popülasyon büyüklüğü sabit olarak kalacaktır (Taşkın & Emel, 2009).

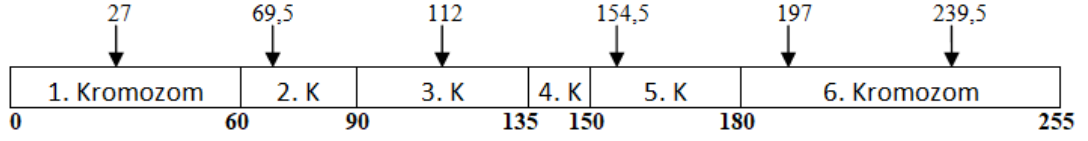
3.9.1.4. Turnuva Seçimi

Popülasyondan rastsal olarak seçilen iki bireyin bir turnuvaya katılması ve uygunluk değeri daha iyi olan bireyin seçilmesi esasına dayanan bir seçim yöntemidir. Yapılan bu seçim sonucunda başlangıç popülasyonunun yarısı yok olacaktır. Yok olan bu kromozomların yerinin farklı yöntemler ile doldurulması gerekmektedir. Bu yöntem ile oluşturulan yeni popülasyon, bir önceki popülasyonda yer alan kötü bireylerden arındırılmış olacaktır. Bu yöntemde her birey iki defa turnuvaya girer ve popülasyondaki en iyi birey her iki turnuvayı da kazanır (Taşkın & Emel, 2009). Turnuva seçim yönteminin uygulanması ile popülasyonun ortalama uygunluk değerinin giderek artması sağlanmaktadır (Chambers, 1995).

3.9.1.5. Stokastis Seçim

Bu yöntemde her bir kromozoma, uygunluk değeri ile orantılı bir uzunluk değeri atanır. Her bir kromozomun uzunlukları yan yana eklenerek bir şerit oluşturulur. Toplam uzunluk değerinin, kromozom sayısına bölünmesi ile "seçim aralığı" elde edilir, böylece kromozom sayısı kadar seçim yapılabilmesi imkanı sağlanmış olur.

Stokastik seçim, Şekil 3.11'de görüldüğü gibi uygulanmaktadır. Tablo 3.6'da da görüldüğü üzere, kromozomların uygunluk değerleri toplamı 255'tir. Bu değer, kromozom sayısı olan 6'ya bölündüğünde, aralık uzunlukları 42,5 olarak elde edilir. Bulunan aralık uzunluğundan rastgele bir sayı seçilir. Verilen örnekte, seçilen bu rastgele sayının 27 olduğu varsayılmıştır. Seçilen 27 değeri, stokastik seçim sonucunda seçilecek olan ilk bireyi belirleyen rastgele değerdir. Diğer kromozomları belirlemek için 27 değerine, aralık uzunluğu değeri eklenerek işlemler yapılmaya devam edilir ($27+42,5=69,5 \dots 197+42,5=239,5$). Şekil 3.11'de, elde edilen bu değerler diziye yerleştirilmiş olarak görülmektedir. Ayrıca stokastik seçim yöntemi sonucunda seçilen kromozomlar da açıkça görülmektedir.



Şekil 3.11 : Stokastik seçim örneği

Tablo 3.6 : Stokastik seçim yöntemi ile kromozomların seçimi

	Kromozomların Uygunluk Değerleri	Seçilecek Kromozomları Belirlerken Kullanılacak Değerler	Seçilen Kromozomlar
1. Kromozom	60	27	1. Kromozom
2. Kromozom	30	69,5	2. Kromozom
3. Kromozom	45	112	3. Kromozom
4. Kromozom	15	154,5	5. Kromozom
5. Kromozom	30	197	6. Kromozom
6. Kromozom	75	239,5	6. Kromozom
Toplam	255	-	-

Yöntemde, fazla uzunluğa sahip olan kromozomun seçilme olasılığı daha fazla olacaktır. Kromozomlar uygunluk değerleri ile orantılı olacak şekilde uzunluğa sahip olduklarından dolayı, uygunluk değeri yüksek olan kromozomların seçilme şansı fazla olacaktır. Verilen örnekte görüldüğü gibi, uzunluğu fazla olan altıncı kromozom stokastik seçim yöntemi ile iki defa seçilirken, daha kısa uzunluğa sahip kromozomlar birer kere seçilmiş, en kısa olan dördüncü kromozom ise hiç seçilememiştir.

3.9.1.6. Seçkinliğe Dayalı Seçim (Elitizm)

1975 yılında Kenneth De Jong tarafından geliştirilen elitizm, diğer seçim yöntemlerine ek olarak GA'nın popülasyondaki en iyi (elit) bireyleri ilerleyen nesiller boyunca korumasını sağlar (Mitchell, 1996). Bu yöntemde en iyi uygunluk değerine sahip olan kromozomlardan bazıları, çaprazlama ve mutasyon gibi operatörler uygulanmadan gelecek nesile aktarılırlarken, diğer kromozomlar ise normal GA işlemlerine tabi olurlar. Bazı kromozomların üreme için seçilmemesi ya da çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanması sonucunda yok olması ihtimallerine karşın, bir çok araştırmacı elitizmi önemli ve GA'nın performansını artırıcı nitelikte bulmaktadır (Mitchell, 1996).

3.9.2. Çaprazlama

Çaprazlama, hem gerçek organizmalar hem de GA'lar için genetik yeniden düzenlemenin temel mekanizmasıdır (Holland, 1992). Çaprazlama, iki ebeveyn çözümden yavru çözümler üretme süreci olarak tanımlanabilir (Sivanandam & Deepa, 2008). Bu tanımlamadan yola çıkarak, çaprazlama operatörünün yavru bireylerin kromozomlarının oluşturulması amacıyla kullanıldığı sonucuna varılır (Siriwardene & Perera, 2006). Ancak bu süreçte, ebeveynlerin bir kopyası olan yavru bireylerin üretilmesinin engellenmesi önem taşır, aksi takdirde bir önceki çözümden farklı bir çözüm elde edilemez. Ebeveynlerin genetik materyallerinin karıştırılması ile, yavru bireylerin ebeveynlerinden farklı olmaları ve yeni nesilde çeşitliliğin artması sağlanmış olur (Kramer, 2017). Böylelikle daha geniş bir çözüm uzayında sonuçlar aranabilir.

Çaprazlama operatörü kullanılarak, ebeveyn kromozomların iyi özelliklerinin birleştirilmesi ve daha iyi yavru kromozomlar oluşturulması hedeflenir. Ancak çaprazlama işlemi sonucunda kötü yavru kromozomlar da elde etmek mümkündür. Kötü olarak tabir edilen bu kromozomlara ait uygunluk değeri düşük olacağından, bu bireyler GA'nın ilerleyen aşamalarında eleniyor olacaklardır.

GA'nın başlangıç aşamasında yapılan kodlama türlerine bağlı olarak farklı çaprazlama yöntemleri kullanılabilir. Hangi yöntemin kullanılacağı, çözüm öncesinde yapılacak bir değerlendirme ile belirlenmelidir.

3.9.2.1. İkili Kodlamaya Uygun Yöntemler

En sık olarak kullanılan kodlama türü olan ikili kodlama için uygulanabilen çaprazlama türleri; tek nokta çaprazlama, iki nokta çaprazlama, çok nokta çaprazlama, tekdüze çaprazlama, aritmetik çaprazlama ve karma çaprazlama yöntemleridir.

3.9.2.1.1. Tek Nokta Çaprazlama

Tek nokta çaprazlama uygulanması en kolay olan çaprazlama yöntemidir. Kromozomda çaprazlama yapılacak olan tek nokta, rastgele olarak seçilir. 7 bit uzunluğundaki bir kromozom için tek noktalı çaprazlama yapılabilecek 6 farklı çaprazlama noktası vardır ve her bir çaprazlama noktasının seçilmesi olasılığı $1/6$ 'dır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için, ebeveyn kromozomların bit sayılarının aynı olması gerekir. Yöntem, ebeveyn kromozomlar üzerinde belirlenen çaprazlama noktasının sağ tarafında kalan parçaların karşılıklı olarak yer değiştirmesi ile yavru kromozomların üretilmesi şeklinde uygulanır (Pendharkar & Rodger, 2004). Bu işlem sonucunda iki adet yavru kromozom üretilmiş olur.

1. Ebeveyn	1 0 0 1 1 1 0	1. Yavru	1 0 0 1 1 1 1
2. Ebeveyn	0 0 1 0 1 1 1	2. Yavru	0 0 1 0 1 1 0

Şekil 3.12 : Tek nokta çaprazlama örneği

Çaprazlama noktası Şekil 3.12'de görüldüğü üzere tamamen rastgele bir seçimle dördüncü ve beşinci bitler arasındaki nokta olarak belirlenmiş ve "|" simgesi ile temsil edilmiştir. Ebeveyn kromozomlarda "|" işaretinin sağ tarafında kalan kısımlar yer değiştirilerek yavru kromozomlar elde edilmiştir. Yavru kromozomlardan birincisi; ilk dört bitini birinci ebeveynden alırken, son üç bitini ikinci ebeveynden almıştır. Tam tersi olarak, ikinci yavru kromozom ilk dört bitini ikinci ebeveynden alırken, son üç bitini ise birinci ebeveynden alarak oluşmuştur.

3.9.2.1.2. İki Nokta Çaprazlama

Bu yöntemde ebeveyn kromozomlar üzerinde rastsal olarak iki çaprazlama nokta seçilir ve bu iki, çaprazlama noktası arasında kalan kromozom parçaları karşılıklı olarak yer değiştirir. Tek nokta çaprazlama yöntemine benzer olarak, bu yöntemin uygulanabilmesi için ebeveyn kromozomların bit sayılarının birbirine eşit olması gerekir. Şekil 3.13'de görülen örnekte ebeveyn kromozomlarda "|" simgeleri ile temsil edilen çaprazlama noktaları arasında kalan kısımlar karşılıklı olarak değiştirilmiş ve iki adet yavru kromozom elde edilmiştir.

1. Ebeveyn	1 0 0 1 1 1 0	1. Yavru	1 0 1 0 1 1 0
2. Ebeveyn	0 0 1 0 1 1 1	2. Yavru	0 0 0 1 1 1 1

Şekil 3.13 : İki nokta çaprazlama örneği

3.9.2.1.3. Çok Nokta Çaprazlama

Bu yöntem, iki nokta çaprazlama yönteminin gelişmiş hali olarak tanımlanabilir. Yöntemde ikiden fazla sayıda çaprazlama noktası rastgele olarak seçilir. Birinci yavru kromozom; birinci ebeveynin ilk parçasını, ikinci ebeveynin ikinci parçasını, birinci ebeveynin üçüncü parçasını, ikinci ebeveynin dördüncü parçasını ve son olarak birinci ebeveynin beşinci parçasını alarak oluşturulur. İkinci yavru kromozom ise tam tersi şekilde oluşturulur.

Yöntemi uygularken belirlenen çaprazlama noktası sayısına bağlı olarak, yavruların ebeveynlerden alacağı parça sayısı artış ya da azalma gösterebilecektir. Çok nokta çaprazlama örneği Şekil 3.14'de görülmektedir.

1. Ebeveyn	10 011 10 000 10	1. Yavru	10 101 10 011 10
2. Ebeveyn	00 101 11 011 00	2. Yavru	00 011 11 000 00

Şekil 3.14 : Çok nokta çaprazlama örneği

3.9.2.1.4. Tekdüze Çaprazlama

Bu yöntem, uniform çaprazlama olarak da adlandırılmaktadır. Bu yöntemde çaprazlama noktaları kullanılmaz ve yöntemin uygulanabilmesi için ebeveyn kromozomların bit sayılarının birbirine eşit olması gerekir. Oluşacak yavru kromozomlardaki her bir bit değerinin hangi ebeveynden alınacağına eşit olasılık değerleri verilerek karar verilir. Yöntemde ebeveyn kromozomdaki her bir bit için rastgele sayı üretilir. Üretilen bu rastgele sayı 0,5 değerinden büyük ise, ilgili bit için değişim yapılırken, 0,5'ten küçük ve eşitse ilgili bit değiştirilmez (Pendharkar & Rodger, 2004).

Örneğin sekiz bit uzunluğundaki ebeveynler için tekdüze çaprazlama yöntemini uygulamak amacıyla, sekiz adet rastgele sayı 0.7 , 0.1 , 0.6 , 0.4 , 0.9 , 0.2, 0.3 , 0.8 şeklinde üretilsin.

Öncelikle birinci yavru kromozom üretilecektir. Üretilen sayılar 0,5'ten büyük ise ikinci ebeveyn kromozomun ilgili bite ait değeri çocuğa aktarılırken, 0,5'ten küçük olduğunda ise birinci ebeveyn kromozomun ilgili bite ait değeri çocuğa aktarılacaktır. Bu açıklamalara göre, oluşacak birinci yavrunun hangi bitini hangi ebeveynden alacağı aşağıda gösterilmiştir.

(0.7 , 0.1 , 0.6 , 0.4 , 0.9 , 0.2 , 0.3 , 0.8)
 ↙ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↘
 (2.E , 1.E , 2.E , 1.E , 2.E , 1.E , 1.E , 2.E)

Oluşturulacak ikinci yavru kromozom için de aynı işlemler, hali hazırda üretilmiş olan rastgele sayılar ile tekrarlanır. Bu defa, üretilen sayılar 0,5'ten büyük ise birinci ebeveyn kromozomun ilgili bite ait değeri çocuğa aktarılırken, 0,5'ten küçük olduğunda ise ikinci ebeveyn kromozomun ilgili bite ait değeri çocuğa aktarılacaktır. Şekil 3.15'te tekdüze çaprazlama örneği görülmektedir.

1. Ebeveyn	1 0 0 1 1 1 0 0	1. Yavru	0 0 1 1 1 1 0 0
2. Ebeveyn	0 0 1 0 1 1 1 0	2. Yavru	1 0 0 0 1 1 1 0

Şekil 3.15 : Tekdüze çaprazlama örneği

3.9.2.1.5. Karma Çaprazlama

Bu çaprazlama yöntemi yabancı literatürde "shuffle crossover" olarak adlandırılmaktadır. Yöntemin uygulanmasında tek nokta çaprazlamada olduğu gibi, sadece bir adet çaprazlama noktası seçilir. Bu yöntemde, çaprazlama noktasının iki parçaya ayırdığı ebeveyn kromozomun her bir parçası, kendi içerisinde rastsal olarak bitlerinin yerini değiştirir ve sonrasında tek noktalı çaprazlama yönteminde olduğu gibi çaprazlama işlemi gerçekleştirilir. Kromozomlardaki bitlerin konumlarının her çaprazlamada değişmesi sebebiyle, çözüm uzayının farklı bölgelerinde arama yapabilme imkanı sağlayan bir yöntemdir. Karma çaprazlama yöntemi örneği Şekil 3.16'da görülmektedir.

Başlangıç Ebeveynleri	Karma İşlem Uygulaması	Yeni Nesil
1.Ebeveyn 110 10100	1.Ebeveyn 101 01001	1.Yavru 101 10011
2.Ebeveyn 001 01110	2.Ebeveyn 010 10011	2.Yavru 010 01001

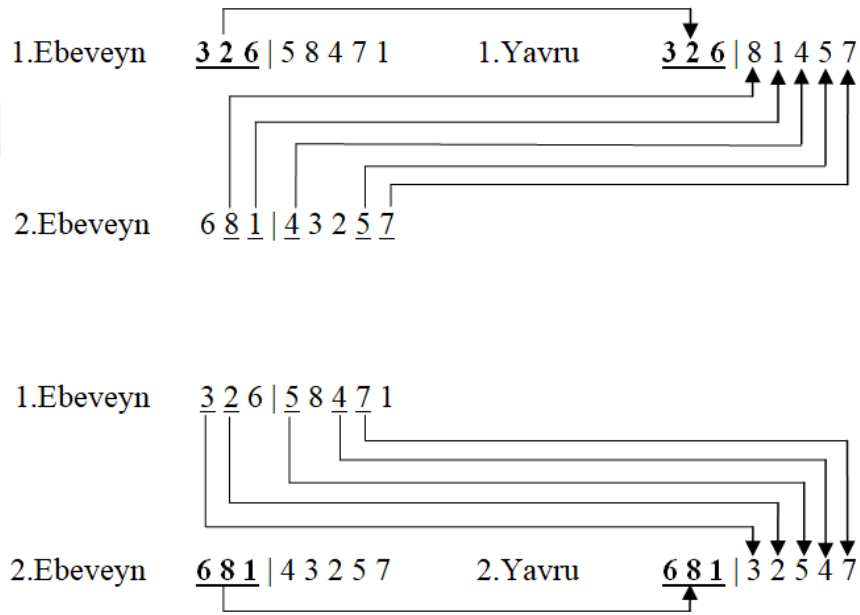
Şekil 3.16 : Karma çaprazlama örneği

3.9.2.2. Permütasyon Kodlamaya Uygun Yöntemler

GSP ve akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde permütasyon kodlamaya uygun olan çaprazlama yöntemlerinin kullanılması gerekir, aksi halde kromozomlarda yinelenen genlerin ortaya çıkması durumu ile karşılaşılır. Genlerin yinelenmesi, bir GSP'de ziyaret edilmesi gereken bölgelerden bazılarının birden fazla sayıda ziyaret edilmesine sebep olacaktır. Permütasyon kodlama için uygulanabilen çaprazlama türleri; tek nokta, iki nokta, üç nokta, pozisyona dayalı, sıraya dayalı, kısmi planlı, doğrusal sıralı, dairesel, sıralı ve komşuluk tabanlı çaprazlama yöntemleridir.

3.9.2.2.1. Tek Nokta Çaprazlama

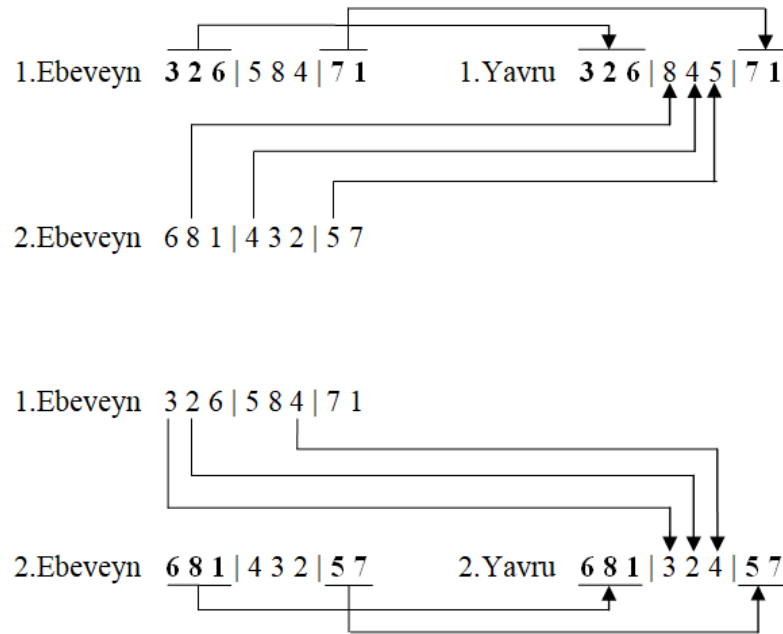
Yöntemin uygulanabilmesi için, aynı uzunluktaki iki kromozom rastsal olarak seçilir. Seçilen bu ebeveyn kromozomlar için rastgele olarak bir çaprazlama noktası belirlenir. Çaprazlama noktası, Şekil 3.17'de görüldüğü üzere tamamen rastgele bir seçimle üçüncü ve dördüncü bitler arasındaki nokta olarak belirlenmiştir. Birinci ebeveyne ait kromozomda "|" işaretinin sol tarafında kalan parça, birinci yavrunun ilk parçasını oluşturur. İlk yavru kromozomun diğer parçası, ikinci ebeveynin ilk bitinden başlayarak, yavruda henüz bulunmayan bitlerden sırayla alınarak tamamlanır. İkinci yavru için de aynı işlemler tekrarlanarak iki adet yavru kromozom elde edilir.



Şekil 3.17 : Permütasyon kodlamada tek nokta çaprazlama örneği

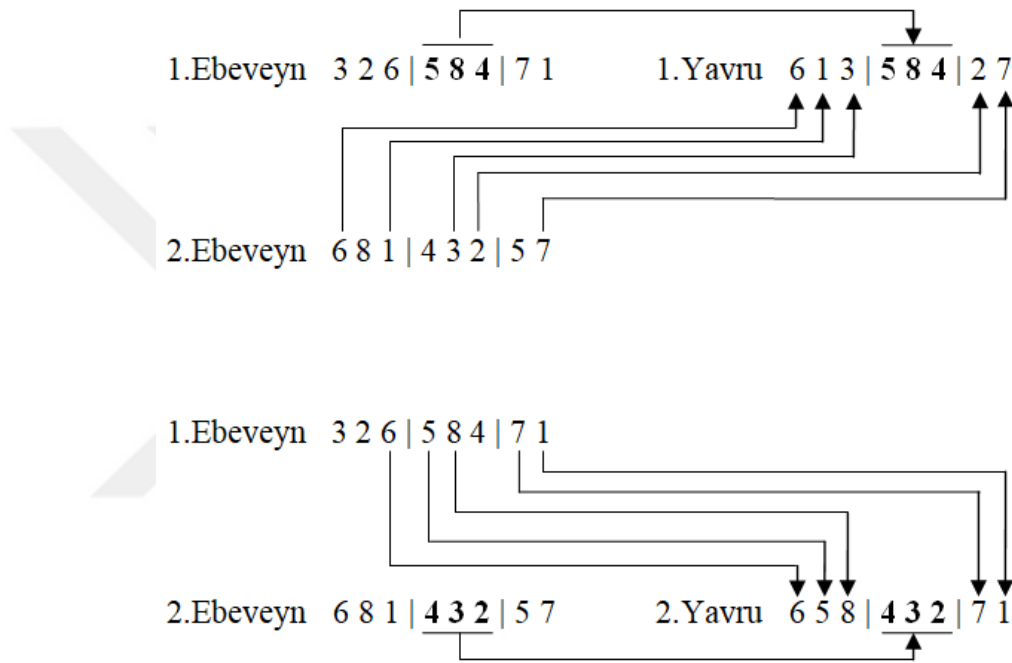
3.9.2.2.2. İki Nokta Çaprazlama

Murata ve Ishibuchi tarafından geliştirilen iki nokta çaprazlama iki farklı şekilde uygulanabilir (Kellegöz, Toklu, & Wilson, 2008). İki nokta çaprazlama yöntemi iki farklı şekilde uygulanabilmektedir. Her iki yöntemin uygulanabilmesi için öncelikle ebeveyn kromozomlardan rastsal olarak iki adet çaprazlama noktası seçilir. İlk yöntemde; öncelikle birinci ebeveynde seçilen iki çaprazlama noktası dışında kalan parçalar birinci yavruya aktarılır. Yavru kromozomunun orasında kalan parçaya ait değerler ise ikinci ebeveynden sırayla alınır, ancak tekrarlanan değerlerin yavruya aktarılmaması önem taşır. Şekil 3.18'de iki nokta çaprazlama örneğinin ilk uygulama örneği yer almaktadır. Birinci yavrunun oluşturulmasının ardından, ebeveynlerin rolleri değiştirilerek aynı işlemlerin uygulanması ile ikinci yavru kromozom oluşturulur.



Şekil 3.18 : Permütasyon kodlamada iki nokta çaprazlama (1. Yol)

İkinci yöntemde ise, birinci ebeveynde seçilen iki çaprazlama noktası arasında kalan parça birinci yavruya aktarılır. Yavru kromozomun iki ucunda kalan parçaya ait değerler ise ikinci ebeveynden sırayla alınır, ancak tekrarlanan değerlerin yavruya aktarılmaması önem taşır (Kellegöz et al., 2008). Şekil 3.19'da iki nokta çaprazlama örneğinin ikinci yöntemi kullanılarak elde edilen uygulama örneği yer almaktadır.

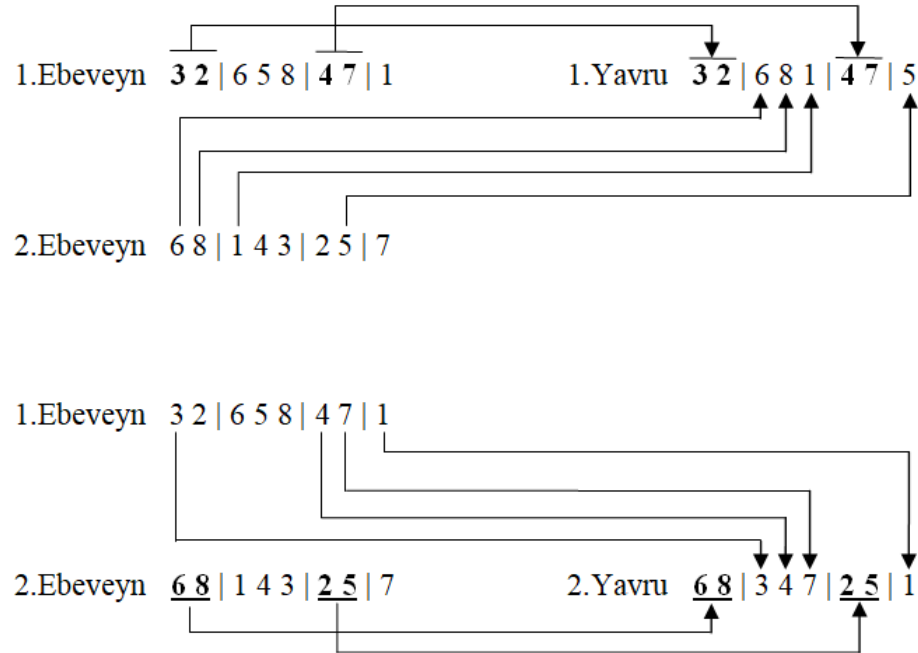


Şekil 3.19 : Permütasyon kodlamada iki nokta çaprazlama (2. Yol)

3.9.2.2.3. Üç Nokta Çaprazlama

Bu yöntemde rastsal olarak seçilen ebeveynler için yine rastsal olarak üç adet çaprazlama noktası seçilir. Üç adet çaprazlama noktası ebeveynleri dört parçaya ayırır. Birinci ebeveynin tek sayı değerine sahip (birinci ve üçüncü) parçaları, birinci yavru kromozoma aynı parçada yer alacak şekilde aktarılır. Sonrasında ise yavru kromozomun diğer bitleri ikinci ebeveyninden sırasıyla alınır. Permütasyon kodlamada kullanılan diğer yöntemlerde olduğu gibi yavrularda tekrar eden değerlerin yer almaması önem taşır. Permütasyon kodlama kullanılarak oluşturulmuş ebeveynlerden, üç nokta çaprazlama ile iki adet yavru kromozom üretilmesine ait örnek Şekil 3.20’de görülmektedir.

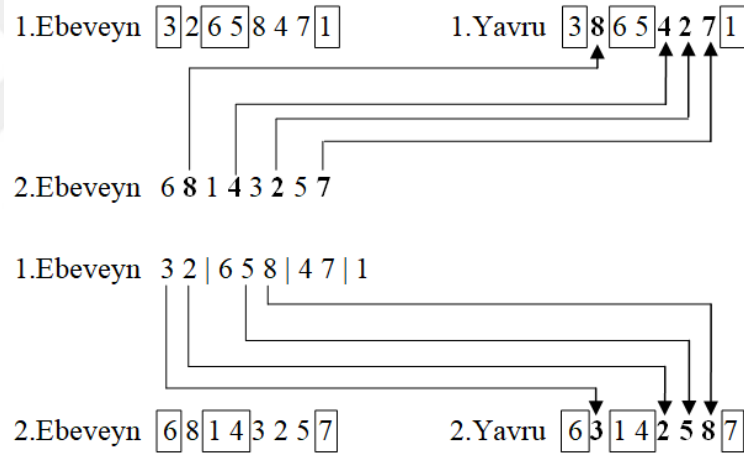
Ebeveynlerin rollerinin değiştirilerek aynı işlemlerin uygulanması ile ikinci yavru kromozom Şekil 3.20’de görüldüğü gibi oluşturulabilir.



Şekil 3.20 : Permütasyon kodlamada üç nokta çaprazlama

3.9.2.2.4. Pozisyona Dayalı Çaprazlama (PBX)

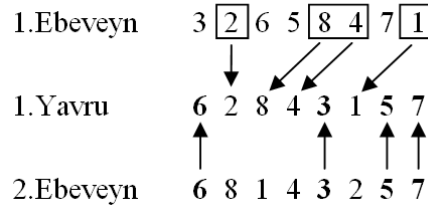
Bu yöntemde ebeveyn kromozomlarda yer alan tüm bitlere 0,5 seçilme şansı verilerek, yavru bireylere aktarılacak genlerin pozisyonları belirlenir (Kellegöz et al., 2008). Şekil 3.21’de yer alan örnekte yavru kromozomlara aktarılmak üzere rastgele seçilmiş genler kare içerisinde gösterilmiştir. Birinci ebeveynde seçilen genler, aynı pozisyonlarını koruyarak birinci yavru kromozoma aktarılırlar. Yavru kromozomun diğer değerleri ise ikinci ebeveynin bitlerinin sırayla alınması ile oluşturulur. Yavru kromozoma aynı değerleri içeren bitlerin aktarılmaması önem taşır. Ebeveynlerin rollerinin değiştirilmesi ve aynı işlemlerin uygulanması ile ikinci yavru kromozom oluşturulur. Yavru kromozomların yer aldığı örnek Şekil 3.21’de görülmektedir.



Şekil 3.21 : Pozisyona dayalı çaprazlama (PBX) örneği

3.9.2.2.5. Sıraya Dayalı Çaprazlama (OBX)

Syswerda tarafından geliştirilen sıraya dayalı çaprazlama yöntemi, pozisyona dayalı çaprazlama yönteminin değiştirilmiş bir versiyonu olarak tanımlanabilir (Cheng, Gen, & Tsujimura, 1999) (Kellegöz et al., 2008). Yöntemde birinci yavru kromozomu oluşturmak için, öncelikle birinci ebeveynde rastgele olarak seçilen genlerin pozisyonları belirlenir. Seçilen bu genler Şekil 3.22’de kare içerisinde gösterilmiştir. Seçilemeyen (birinci ebeveynde kare içine alınmamış) her bir bite ait değer, ikinci ebeveynde bulunur ve bu bit ikinci ebeveynde bulunduğu konuma bağlı kalarak birinci yavruya aktarılır. Ardından yavru kromozomda boş kalan pozisyonlar, birinci ebeveynde rastgele seçilmiş (kare içerisinde gösterilen) değerlerin sırayla atanması ile doldurulur (Werner, 1997). Bu işlem dizisinin uygulanması sonucunda birinci yavru kromozom Şekil 3.22’de görüldüğü gibi oluşturulur. İkinci yavrunun oluşturulması için, ebeveynlerin rolleri değiştirilerek aynı işlemler tekrarlanır.



Şekil 3.22 :Sıraya dayalı çaprazlama (OBX) örneği

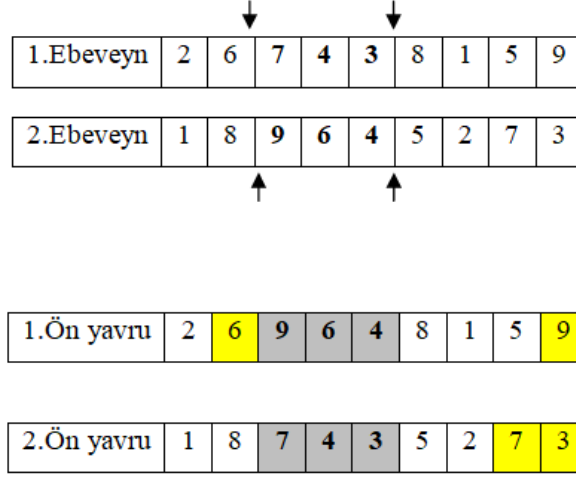
3.9.2.2.6. Kısmi Eşlenmiş Çaprazlama (PMX)

Yabancı literatürde “partially matched crossover” ya da “partially mapped crosever” olarak adlandırılan bu yöntem Goldberg tarafından geliştirmiştir (Sivanandam & Deepa, 2008) (Werner, 1997). Türkçe literatürde yer alan bazı kaynaklarda da “kısmi planlı çaprazlama” olarak isimlendirildiği görülmektedir (Önder, 2011). Sıra temelli çaprazlama yöntemlerinden olan kısmi eşlenmiş çaprazlama GSP ve ARP gibi problemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Taşkın & Emel, 2009).

Yöntemde ebeveyn kromozomlar üzerinde rastgele olarak iki kesme noktası belirlenir. Belirlenen iki kesim noktası arasında kalan bölge "eşleme bölgesi" olarak adlandırılır. Eşleme bölgesinde yer alan değerlerin karşılıklı olarak yer değiştirmesi ile ön-yavrular (proto-offspring) oluşturulur. Ön-yavrular, kromozom içerisinde aynı değerlerin tekrarlanıyor olması sebebiyle genellikle uygun yapıda olmazlar (Werner, 1997). Ön-yavru kromozomları uygun yapıya dönüştürebilmek amacıyla, eşleme bölgesi dışında kalan pozisyonlarda tekrar eden değerler için tersine yer değiştirme işlemi uygulanır. Yöntemde ön-yavrunun farklı pozisyonlarında tekrarlanan değer sayısı en fazla eşleme bölgesinde kalan değer sayısına eşit olacaktır.

Kısmi eşlenmiş çaprazlama yöntemi örneği Şekil 3.23'te görülmektedir. Rastgele olarak belirlenen kesme noktalarının ilki, ikinci ve üçüncü bitler arasında olacak şekilde belirlenirken; ikinci kesme noktası ise, beşinci ve altıncı bitler arasında belirlenmiştir. Her iki ebeveynin eşleme bölgesi, karşılıklı olarak yer değiştirildiğinde Şekil 3.23'te görülen ön-yavrular elde edilir. Yapılan yer değişim işlemi sebebiyle elde edilen ön-yavruların birinci ve üçüncü parçalarında tekrar eden değerler gözlemlenmiştir. Birinci ön-yavrunun ikinci bitinde yer alan 6 değeri ve dokuzuncu bitinde yer alan 9 değeri, sırasıyla dördüncü ve üçüncü bitlerde de yer alarak tekrarlanmıştır. Benzer olarak ikinci ön-yavrunun sekizinci ve dokuzuncu bitlerinde yer alan 7 ve 3 değerleri ise, sırasıyla üçüncü ve beşinci bitlerde de yer

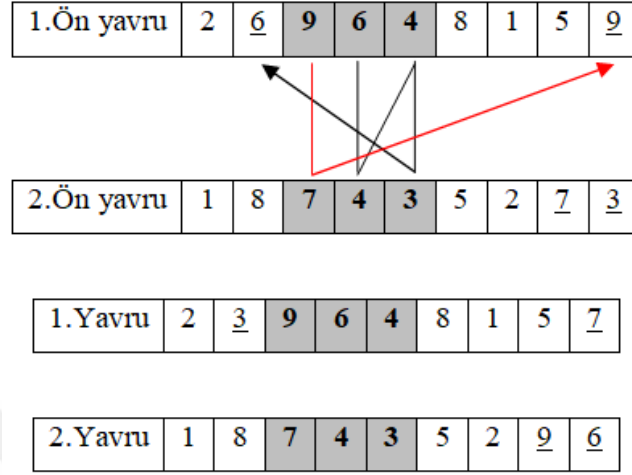
olarak tekrarlanmaktadır. Bir sonraki işlem olarak tekrar eden bu değerlerin uygun bir yapıya dönüştürülmesi gerekmektedir.



Şekil 3.23: Kısmi eşlenmiş çaprazlama (PMX) örneği

Şekil 3.23'te yer alan örneğe ait eşleme bölgesi; $9 \leftrightarrow 7$, $6 \leftrightarrow 4$ ve $4 \leftrightarrow 3$ eşlemelerini tanımlamaktadır. Ön-yavrualarda tekrarlanmayan değerler için herhangi bir değişiklik yapılmayacaktır. Birinci ön-yavruada birinci, altıncı, yedinci ve sekizinci bitlerdeki değerler tekrarlanmadığından, birinci yavruada aynı pozisyonlarını koruyarak yer alacaktır. Ancak eşleme bölgesi dışında kalan ve tekrarlanan değerler için daha önce tanımlanmış olan eşlemeler kullanılacaktır, böylelikle tekrarlanmış değerler kromozomdan kaldırılmış olacaktır. Örneğin birinci ön yavrunun ikinci bitinde yer alan 6 değeri, aynı kromozomun dördüncü bitinde zaten yer almaktadır. Bu durumda tanımlanan eşlemelere başvurularak, $6 \leftrightarrow 4$ eşlemesi kullanılır ve birinci ön-yavrunun ikinci bitine 4 değerinin atanmasına karar verilir. Ancak 4 değeri birinci ön-yavrunun beşinci bitinde de yer aldığından, tanımlanan eşlemelerden $4 \leftrightarrow 3$ eşlemesine başvurulur ve birinci ön-yavrunun ikinci bitine 3 değeri atanır. Uygulanan bu işlemler Şekil 3.24'te görsel olarak temsil edilmiştir. Benzer bir işlemler; birinci ön yavrunun dokuzuncu bitinde yer alan 9 değeri, aynı kromozomun üçüncü bitinde de yer aldığından, tanımlanan eşlemelere başvurularak, $9 \leftrightarrow 7$ eşlemesi kullanılır ve birinci ön-yavrunun dokuzuncu bitine 7 değerinin atanmasına karar verilir. Böylece Şekil 3.24'te gösterilen birinci yavru kromozom elde edilmiş

olur. Benzer işlemlerin ikinci ön-yavruya uygulanması sonucunda elde edilen ikinci yavru kromozom da Şekil 3.24'te gösterilmektedir.



Şekil 3.24: Kısmi eşlenmiş çaprazlama (PMX) örneği (devamı)

3.9.2.2.7. Doğrusal Sıralı Çaprazlama (LOX)

Sıralı çaprazlamanın değiştirilmiş bir versiyonu olarak tanımlanan doğrusal sıralı çaprazlama yöntemi, Falkenauer ve Bouffoix tarafından geliştirilmiştir (Falkenauer & Bouffoix, 1991). Yöntem, yabancı literatürde “linear order crossover” olarak adlandırılmaktadır. GSP için tasarlanmış olması sebebiyle, sıralı çaprazlamada kromozomların dairesel olduğu düşünülür. Fakat iş akış problemleri için kromozomlar dairesel olarak ele alınamaz. Bu sebeple, doğrusal sıralı çaprazlama geliştirilmiştir (Cheng et al., 1999). Yöntemin uygulanmasında aşağıda sıralanmış olan dört adım izlenir (Pinedo, 2012) (Cheng et al., 1999):

1.Adım: Mevcut popülasyon içinden rastsal olarak iki adet ebeveyn seçilir.

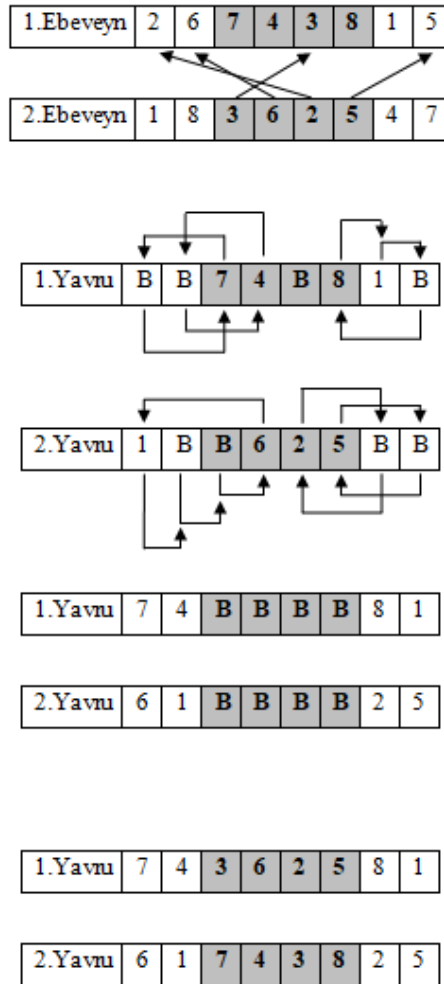
2.Adım: Ebeveyn kromozomlardan rastsal olarak bir alt dizi seçilir.

3.Adım: İkinci ebeveyne ait alt dizi elemanları, birinci ebeveynden çıkartılır ve elemanların yerlerine “boşluk”u temsil etmeleri için “B” terimi yerleştirilir.

Sonrasında ise “B” terimini içeren değerler, alt dizi olarak belirlenen alana doğru dairesel kaydırılır. Benzer olarak, aynı işlemler ebeveynlerin rolleri değiştirilerek tekrarlanır.

4.Adım: Birinci ebeveyne ait alt dizi, ikinci yavru kromozomdaki “B” terimlerinin yerine sırasıyla yerleştirilerek ikinci yavru kromozom elde edilir. Ebeveynlerin rolleri değiştirilerek aynı işlem uygulandığında ise birinci yavru kromozom oluşturulur.

Yöntemin uygulanmasında kullanılan adımlar Şekil 3.25’te yer alan örnek üzerinde gösterilmiştir.

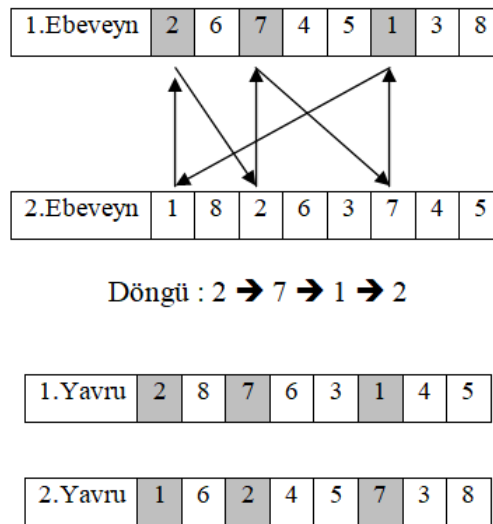


Şekil 3.25: Doğrusal sıralı çaprazlama (LOX) örneği

3.9.2.2.8. Dairesel Çaprazlama (CX)

Dairesel çaprazlama yöntemi Davis, Goldberg ve Lingle tarafından geliştirilmiştir (Engin & Fırlalı, 2002). Pozisyona dayalı çaprazlamaya benzer olarak; kromozomu oluşturan bazı genlerin bir ebeveynden, geriye kalan boş pozisyonların ise diğer ebeveynden gelen değerler ile elde edildiği bir yöntemdir. İki yöntemin farkı ise, birinci ebeveynden gelen değerlerin rastsal olarak seçilmemesidir. Dairesel çaprazlama yönteminde; ebeveynler arasında karşılık gelen pozisyonlara göre bir döngü tanımlayan değerler seçilir (Cheng et al., 1999).

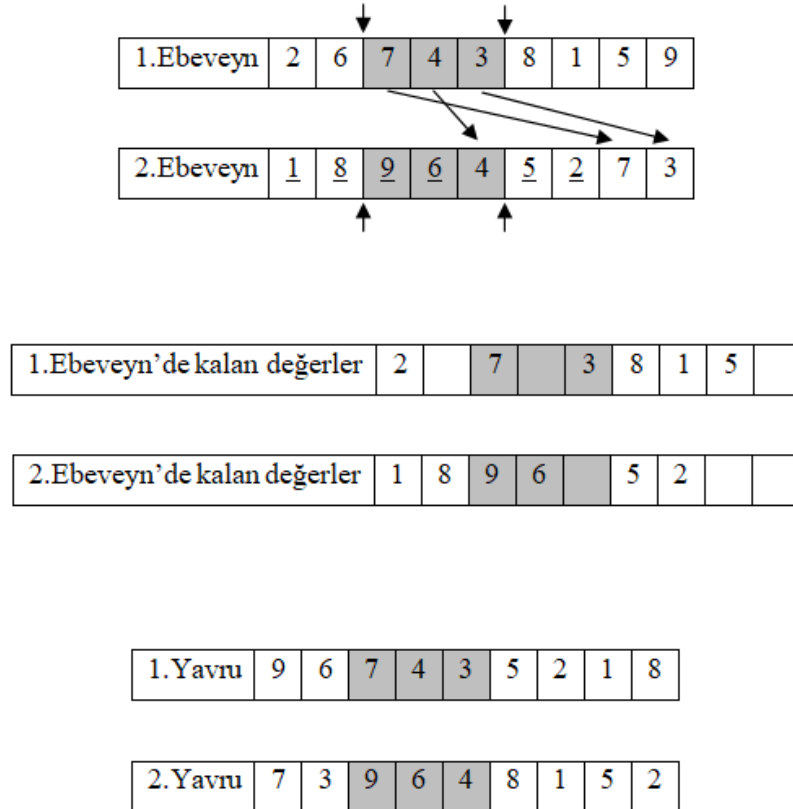
Bu yöntemde birinci ebeveynin ilk biti, pozisyon ve değerlerini koruyarak birinci yavru kromozoma aktarılır. Birinci ebeveyndeki bu ilk bitin değeri ikinci ebeveynde bulunur ve bu değere karşılık gelen birinci ebeveyndeki değer belirlenir. Belirlenen bu değer birinci yavru kromozoma aynı pozisyonunu koruyarak yerleştirilir. Bu işlem dairesel bir hareket tamamlanana kadar, yani birinci ebeveynin birinci bitine geri dönene kadar devam eder (Goldberg, 1989). Boşta kalan pozisyonlara ise ikinci ebeveynden gelen değerler sıralarını koruyarak yerleştirilir. Ebeveynlerin rollerinin değiştirilmesi ve aynı işlemlerin tekrar edilmesi ile ikinci yavru kromozom elde edilir. Şekil 3.26'da dairesel çaprazlama yöntemi ile oluşturulan yavru kromozomlar görülmektedir.



Şekil 3.26: Dairesel çaprazlama (CX) örneği

3.9.2.2.9. Sıralı Çaprazlama (OX)

Sıralı çaprazlama yöntemi Davis tarafından geliştirilmiştir (Kellegöz et al., 2008). Yöntem; farklı bir onarma işlemi kullanan, kısmi eşlenmiş çaprazlamanın bir çeşidi olarak tanımlanabilir (Cheng et al., 1999). GSP için geliştirilmiş bir yöntemdir (Werner, 1997). Yöntemin uygulanmasında rastsal olarak seçilmiş iki kesme noktasına ihtiyaç duyulur. Birinci ebeveynin kesme noktaları arasında kalan parça, birinci yavrunun aynı pozisyonuna yerleştirilir. Birinci ebeveynin kesme noktaları arasında kalan parçasında bulunan değerler, ikinci ebeveynden silinir ve kalan değerler ilk kesme noktasından başlayarak birinci yavru kromozomun eksik kalan parçalarına yerleştirilir. Böylece birinci yavru kromozom elde edilmiş olur. Aynı işlemlerin ebeveynlerin rollerini değiştirerek uygulanması ile ikinci yavru kromozom oluşturulabilir. Şekil 3.27’de sıralı çaprazlama yöntemi kullanılarak üretilen yavruklara ait bir örnek yer almaktadır.



Şekil 3.27: Sıralı çaprazlama (OX) örneği

3.9.2.2.10. Komşuluk Tabanlı Çaprazlama

Yabancı literatürde "edge recombination crossover operator (ER)" olarak adlandırılan komşuluk tabanlı çaprazlama Whitley tarafından geliştirilmiştir (Kellegöz et al., 2008). GSP'nin çözümünde kullanılmak üzere geliştirilmiş bir çaprazlama yöntemidir. Yöntemin temelini, ebeveyn kromozomlarda bulunan komşulukların korunması oluşturur (Bäck, Fogel, & Michalewicz, 2000). Bu amaçla yöntemin uygulanabilmesi için öncelikle "komşuluk tablosu" oluşturulur. Bir GSP için komşuluk tablosu; ebeveyn kromozomlarda yer alan her bir şehrin bağlantılı (komşu) olduğu diğer tüm şehirlerin belirlenmesi ile elde edilir. GSP'nin doğası gereği başlangıç noktasına geri döneleceği bilgisini göz önünde bulundurarak; her bir şehrin en az iki, en fazla dört komşusu olacağı unutulmamalıdır. Komşuluk tablosunun oluşturulması sonrasında, rastgele olarak bir başlangıç değeri seçilir ve yavru kromozom değerlerinin tümü tamamlanana kadar, bir önceki değere komşu olan kromozomlar arasından rastgele seçim yapılır. Eğer bir önceki değer ile komşu olan hiçbir değer yoksa, yavru kromozoma henüz eklenmemiş değerlerden herhangi biri rastgele olarak seçilir ve yavru kromozom değerleri tamamlanana kadar aynı işlemler tekrarlanır. Tüm bu işlem dizisi tekrarlanarak, istenilen sayıda yavru birey oluşturulabilir (Kellegöz et al., 2008).

Tablo 3.7'de 1.Ebeveyn = 3 2 6 5 8 4 7 1 ve 2.Ebeveyn = 6 2 1 3 4 8 7 5 için hazırlanan komşuluk tablosu yer almaktadır. Ebeveyn kromozomlarda yer alan 1 değerine; birinci ebeveynde 7 ve 3 değerleri komşu iken, ikinci ebeveynde 2 ve 3 değerleri komşudur. Bu durumda 1 değerinin komşuları; 7, 3 ve 2 değerleri olacaktır. Benzer olarak 7 değerine; birinci ebeveynde 4 ve 1 değerleri, ikinci ebeveynde 8 ve 5 değerleri komşudur. Böylece 7 değerinin komşuları; 4, 1, 8 ve 5 değerleri olacaktır.

Tablo 3.7 : Komşuluk tabanlı çaprazlama yöntemi komşuluk tablosu

Komşuluk Tablosu			
1	7, 3, 2	5	6, 8, 7
2	3, 6, 1	6	2, 5
3	1, 2, 4	7	4, 1, 8, 5
4	8, 7, 3	8	5, 4, 7

Rastgele bir başlangıç değeri seçilerek yavru kromozoma ait ilk değer belirlenir. Şekil 3.28'de yer alan örnek için başlangıç değeri 5 olarak belirlenmiştir.

1.Ebeveyn	3	2	6	5	8	4	7	1
2.Ebeveyn	6	2	1	3	4	8	7	5
Yavru	5	6	2	1	3	4	7	8

Şekil 3.28 : Komşuluk tabanlı çaprazlama örneği

Tablo 3.7'de görüldüğü üzere 5 değerine komşu olan değerler 6, 8 ve 7 olmakla birlikte bu değerlerin her birine ait komşu sayıları da sırasıyla iki, üç ve dördür. En az komşuya sahip olan 6 değeri Şekil 3.28'de yer alan yavru kromozomun ikinci bitine yerleştirilir. Tablodan 6 değerinin komşuları 2 ve 5 olarak okunmaktadır. 5 değeri yavru kromozoma zaten birinci bitte olacak şekilde yerleştirildiğinden dolayı, 6 değerinin komşusu olarak sadece 2 değeri kalmıştır. Bu durumda yavru kromozomun üçüncü biti 2 değerine sahip olacaktır. Tablodan 2 değerinin komşuları 3, 6 ve 1 değerleri olarak okunmaktadır. 6 değeri yavru kromozoma yerleştirilmiş olduğundan, geriye kalan 3 ve 1 değerleri dikkate alınarak değerlendirme yapılacaktır. Verilen örnekte 3 ve 1 değerlerinin komşu sayılarının aynı olması sebebiyle, yavru kromozomun dördüncü biti rastgele bir seçim ile 1 olarak belirlenmiştir. 1 değerinin komşuları 7, 3 ve 2 olarak tablodan okunmaktadır, 2 değeri yavruya eklenmiş olduğundan dolayı 7 ve 3 değerlerinin sahip oldukları komşu sayıları karşılaştırılır. Üç adet ile daha az sayıda komşuya sahip olan 3 değeri yavru kromozomun beşinci biti olarak atanır. 3 değerinin komşuları 1, 2 ve 4 olarak

görülmektedir. İlk iki değer (1 ve 2) yavru kromozoma eklenmiş olduğundan dolayı, geriye kalan 4 değeri yavrunun altıncı biti olarak atanır. 4 değerinin komşuları tablodan 8, 7 ve 3 olarak okunmaktadır. 3 değeri yavruya eklenmiş olduğunda 8 ve 7 değerlerinin komşu sayıları karşılaştırılarak yavru kromozomun son iki biti belirlenir. Daha az sayıda komşuya sahip olan 8 değeri yedinci bit olarak yavru kromozoma eklenirken, 7 değeri ise sekizinci ve son bit olarak eklenerek Şekil 3.28'de görülen yavru kromozom değerleri belirlenmiş olur.

3.9.2.3. Gerçel Değerli Çaprazlama Yöntemleri

Yabancı literatürde “real valued recombination” olarak adlandırılan, gerçel değerli çaprazlama türleri; aritmetik çaprazlama, kesikli çaprazlama, orta seviye çaprazlama, çizgi çaprazlama ve genişletilmiş çizgi çaprazlama olarak sıralanabilir.

3.9.2.3.1. Aritmetik Çaprazlama

Aritmetik çaprazlama ile, iki ebeveyn kromozomun doğrusal bileşimi olan bir yavru kromozom elde edilir (Sivanandam & Deepa, 2008). Aritmetik çaprazlamada yavru kromozomun her bir geni, ebeveyn kromozomlarda karşılık gelen ilgili genler tarafından sınırlandırılır. Bir başka ifade ile, aritmetik çaprazlama; yavru kromozom değerlerinin, ebeveyn kromozom değerlerinin konveks kombinasyonu olduğu çaprazlama yöntemidir (Pendharkar & Rodger, 2004). Aritmetik çaprazlama ile yapılan işlem, en basit olarak “ağırlıklı ortalama” işlemi olarak da tanımlanabilir (Taşkın & Emel, 2009).

Yöntemin uygulanmasında, kullanılacak ağırlık değerini ifade eden bir λ değeri belirlenir. Rastsal olarak seçilen λ değeri $[0,1]$ aralığında yer almalıdır. Denklem 3.13'te görüldüğü gibi oluşacak olan birinci yavru kromozom üzerinde, birinci ebeveynin etki derecesini λ temsil ederken, ikinci ebeveynin etki derecesini $(1-\lambda)$ değeri temsil edecektir. Denklem 3.14'te görüldüğü gibi ikinci yavru kromozomda ise, birinci ve ikinci ebeveynin etki dereceleri sırasıyla $(1-\lambda)$ ve λ değerleri ile temsil edilerek hesaplamalar yapılır.

$$1.Yavru = \lambda * 1.Ebeveyn + (1- \lambda) * 2.Ebeveyn \quad (3.13)$$

$$2.Yavru = (1-\lambda) * 1.Ebeveyn + \lambda * 2.Ebeveyn \quad (3.14)$$

Belirlenen λ değerinin 0,5 olması her iki ebeveynin yavru kromozom üzerindeki etkisinin eşit olacağı anlamını taşır. Şekil 3.29'da gerçel değerli kodlanmış ebeveynlere aritmetik çaprazlama uygulama örneği yer almaktadır. Örnekte $\lambda = 0,4$ değeri rastsal olarak seçilerek hesaplamalar yapılmıştır.

1. Ebeveyn	16	50	68	20
2. Ebeveyn	42	60	8	12
$\lambda = 0,40$				
1. Yavru	$16*0,40+42*(1-0,40)=31,6$	56	32	15,2
2. Yavru	$16*(1-0,40)+42*0,40=26,4$	54	44	16,8

Şekil 3.29 : Aritmetik çaprazlama örneği

3.9.2.3.2. Kesikli Çaprazlama

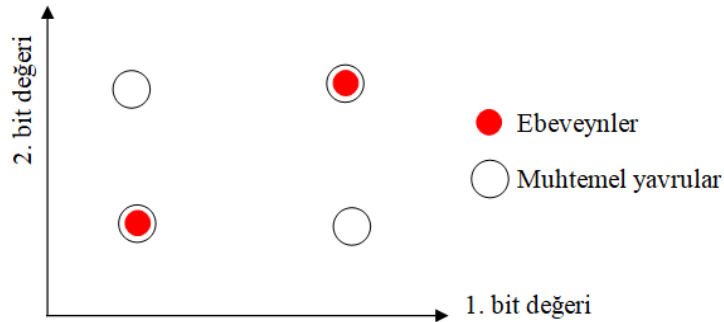
Ebeveyn kromozomlarda yer alan değerlerin karşılıklı olarak yer değiştirilmesi şeklinde uygulanan bir çaprazlama yöntemidir. Yöntemde, yavru kromozomdaki her bit değerinin, hangi ebeveynden alınacağına karar vermek amacıyla önceden rastsal olarak belirlenen bir örnek oluşturulur ve bu örneğe bağlı olarak yavru kromozom elde edilir. Şekil 3.30'da kesikli çaprazlamada rastsal olarak oluşturulan örneğe göre; yavru kromozomun birinci biti ikinci ebeveynden, ikinci biti birinci ebeveynden, üçüncü biti birinci ebeveynden, ... ve sekizinci biti birinci ebeveynden alınacaktır.

Yöntem gerçel değerli kodlamanın yanı sıra, ikili kodlama ve yapısal temelli problemlerde de kullanılabilir (‘‘Evolutionary Algorithms 4 Recombination,’’ (Çevrimiçi) <http://www.geatbx.com/docu/alginde-03.html>, 06.08.2019).

1. Ebeveyn	16	13	28	49	2	50	68	20
2. Ebeveyn	42	27	3	41	53	60	8	12
Örnek	2	1	1	2	1	2	2	1
Yavru	42	13	28	41	2	60	8	20

Şekil 3.30 : Kesikli çaprazlama örneği

Şekil 3.31'de görüldüğü gibi kesikli çaprazlama yönteminin uygulanması ile oluşabilecek muhtemel yavrular, ebeveyn kromozomlar tarafından tanımlanan hiper küpün köşelerini oluştururlar.



Şekil 3.31 : Kesikli çaprazlama sonrası muhtemel yavrulara ait alanın geometrik gösterimi

3.9.2.3.3. Orta Seviye Çaprazlama

Yabancı literatürde “intermediate recombination” olarak adlandırılan bu yöntem, yalnızca gerçel sayı içeren kromozomlara uygulanabilen bir çaprazlama yöntemidir. Yöntemin uygulanması ile elde edilen yavru kromozomların değerleri ebeveyn kromozomların değerleri arasında veya civarında olacağından orta seviye çaprazlama olarak adlandırılmıştır. Yöntemde yavru kromozomları oluşturmak amacıyla denklem 3.15 kullanılır.

$$\text{Yavru} = 1.\text{Ebeveyn} + \alpha (2.\text{Ebeveyn} - 1.\text{Ebeveyn}) \quad (3.15)$$

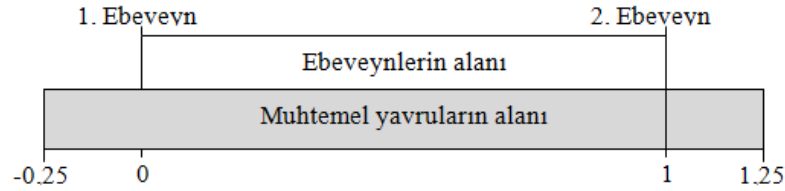
Denklemde görülen α (alfa) değeri, $[-d, 1+d]$ aralığından rastsal olarak her bir değişken için ayrı ayrı seçilmiş derecelendirme faktörüdür. "d" parametresi ise muhtemel yavruya ait alanın büyüklüğünü tanımlayan bir değerdir (“Evolutionary Algorithms 4 Recombination,” (Çevrimiçi) <http://www.geatbx.com/docu/algindex-03.html>, 06.08.2019). “d” değerinin sıfır olarak seçilmesi durumunda; yavru kromozom değerleri, ebeveynlerin değerleri ile sınırlandırılan alan içerisinde kalır ve bu yöntem "standart orta seviye çaprazlama" olarak adlandırılır. Standart orta seviye çaprazlaması kullanıldığında, yavru kromozomların çoğu sınır değerler etrafında olmaz ve her yeni nesil ile birlikte değişkenlerin değerleri giderek küçülür. Bu durumu engellemek için daha büyük bir d değeri seçilmesi gerekir.

Yöntemin uygulanmasında ideal d değeri 0,25 olarak kabul görmektedir. $d=0,25$ olarak kabul edildiğinde; her bir değişken için belirlenecek olan α değerinin aralığı $[-0.25, 1.25]$ olacaktır. Şekil 3.32’de yer alan örneğe ait α değerleri rastsal olarak, belirlenen aralıkta olacak şekilde seçilmiştir. Denklem 3.15’de belirtilen formül kullanılarak yavru kromozom değerleri elde edilmiş ve ilgili hesaplamalar yapılmış Şekil 3.32’de gösterilmiştir.

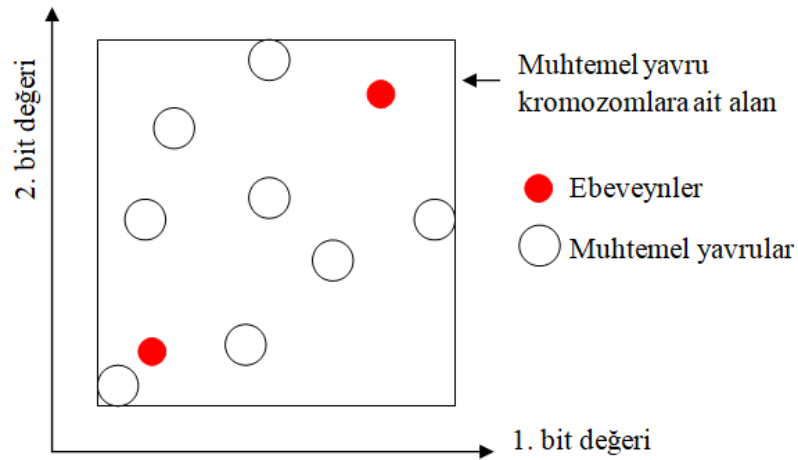
1. Ebeveyn	16	50	68	20
2. Ebeveyn	42	60	8	12
Alfa değerleri (α)	0,7	1,1	-0,1	0,5
	1,2	-0,2	0,6	-0,1
1.Yavru	$16 + 0,7 * (42 - 16) = 34,2$	61	74	16
2.Yavru	$16 + 1,2 * (42 - 16) = 47,2$	48	32	20,8

Şekil 3.32 : Orta seviye çaprazlama rneği

Şekil 3.33'te görüldüğü üzere orta seviye çaprazlama yöntemi, ebeveyn kromozomlardan sınırlı bir fark ile daha küçük ya da daha büyük değerlere sahip yavru kromozomların oluşturulmasına imkan tanımaktadır. Şekil 3.34'de orta seviye çaprazlamanın uygulanmasıyla oluşabilecek muhtemel yavrular ile ebeveynlerinin geometrik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3.33 : Orta seviye çaprazlamada değer aralığı



Şekil 3.34 : Orta seviye çaprazlama sonrası muhtemel yavrulara ait alanın geometrik gösterimi

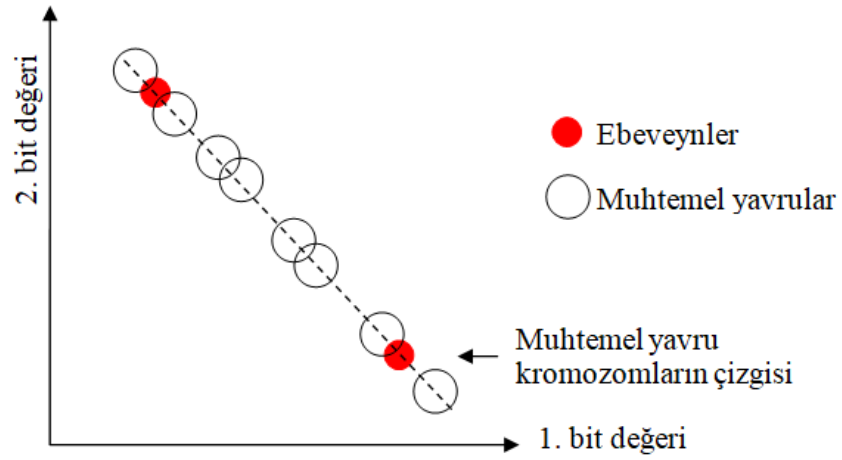
3.9.2.3.4. Çizgi Çaprazlama

Çizgi çaprazlama, orta seviye çaprazlamaya oldukça benzer bir yöntemdir. İki yöntem arasındaki tek fark orta seviye çaprazlamada yavru kromozomun her bir değişkeni için farklı α değeri kullanılırken, çizgi çaprazlamada yavru kromozomun her bir değişkeni için aynı α değeri kullanılmasıdır. α değeri, d parametresine bağlı olarak $[-d, 1+d]$ aralığından rastsal olarak seçilir (“Evolutionary Algorithms 4 Recombination,” 06.08.2019). Orta seviye çaprazlama yöntemine benzer olarak d parametresinin değeri 0,25 olarak kabul görülmektedir, böylece α değeri $[-0,25, 1,25]$ aralığından rastsal olarak seçilir. Şekil 3.35'te gösterilen örnekte 1. yavru kromozomu oluşturmak için $\alpha=0,6$ değeri, 2. yavru kromozomu oluşturmak için ise $\alpha=0,1$ değeri kullanılmıştır.

1. Ebeveyn	16	50	68	20
2. Ebeveyn	42	60	8	12
α (1.yavru)	0,6			
α (2.yavru)	0,1			
1.Yavru	$16 + 0,6 * (42 - 16) = 31,6$	56	32	15,2
2.Yavru	$16 + 0,1 * (42 - 16) = 18,6$	51	62	19,2

Şekil 3.35 : Çizgi çaprazlama örneği

Çizgi çaprazlama yöntemi ile, ebeveyn kromozomlarca oluşturulan çizgi üzerinde bulunan herhangi bir noktanın üretilmesi sağlanmaktadır. Şekil 3.36'da çizgi çaprazlama uygulanmasıyla oluşabilecek muhtemel yavrular ile ebeveynlerinin geometrik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3.36 :Çizgi çaprazlama sonrası muhtemel yavrulara ait alanın gösterimi

3.9.2.4. Ağaç Kodlamaya Uygun Yöntemler

Ağaç kodlama ile tanımlanmış ebeveyn kromozomların çaprazlanması için öncelikle çaprazlama noktası belirlenir. Ebeveyn kromozomların bu çaprazlama noktasından kesilmesi ve karşılıklı olarak değiştirilmesi ile yavru kromozomlar oluşturulur (Taşkın & Emel, 2009). Şekil 3.37'de ağaç kodlanmış kromozomların çaprazlanmasını gösteren örnek yer almaktadır. Her iki ebeveyn için belirlenmiş çaprazlama noktası koyu renkli çizgi ile gösterilmiştir.

1. Ebeveyn	2. Ebeveyn	Yavru Kromozom
$ \begin{array}{c} + \\ \swarrow \quad \searrow \\ x \quad \div \\ \swarrow \quad \searrow \quad \swarrow \quad \searrow \\ 3 \quad a \quad a \quad 7 \\ (+ (x \ 3a) (\div a \ 7)) \end{array} $	$ \begin{array}{c} x \\ \swarrow \quad \searrow \\ x \quad a \\ \swarrow \quad \searrow \\ 5 \quad a \\ (x (x \ 5a) a) \end{array} $	$ \begin{array}{c} + \\ \swarrow \quad \searrow \\ x \quad a \\ \swarrow \quad \searrow \\ 3 \quad a \\ (+ (x \ 3a) a) \end{array} $

Şekil 3.37 : Ağaç kodlamaya uygun çaprazlama örneği

3.9.2.5. Yapısal Temelli Algoritmelerde Çaprazlama

GA'da çözüm aranan problemin yapısına bağlı olarak, kromozomlar dizi oluşturacak şekilde birden çok sayıda değişkenden oluşabilir. Bu şekilde oluşturulan problemlerde uygulanabilen çaprazlama yöntemleri; tek nokta çaprazlama, iki nokta çaprazlama, çok nokta çaprazlama, değişkenden değişkene çaprazlama ve tekdüze çaprazlama olarak sıralanabilir (Hasançebi & Erbatur, 2000).

3.9.2.5.1. Tek Nokta Çaprazlama

Yapısal temelli algoritmelerde kullanılan en basit çaprazlama yöntemidir. Yöntem, ikili kodlanmış kromozomların tek nokta çaprazlanmasına benzer olarak uygulanır. Ebeveyn kromozomlar için rastgele olarak seçilmiş bir çaprazlama noktasından, çaprazlama noktasının sağ tarafında kalan parçaların karşılıklı olarak yer değiştirmesi ile yavru kromozomlar elde edilir. Şekil 3.38'de yapısal temelli algoritmelerde tek nokta çaprazlama örneği görülmektedir.

	1. Değişken	2. Değişken	3. Değişken	4. Değişken
1. Ebeveyn	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
2. Ebeveyn	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0
1. Yavru	1 1 1 1	1 1 1 0	0 0 0 0	0 0 0 0
2. Yavru	0 0 0 0	0 0 0 1	1 1 1 1	1 1 1 1

Şekil 3.38 : Yapısal temelli algoritmelerde tek nokta çaprazlama

3.9.2.5.2. İki Nokta Çaprazlama

Ebeveyn kromozomlar için rastgele olarak seçilmiş iki adet çaprazlama noktası belirlenir. Her iki ebeveyn kromozomda çaprazlama noktaları arasında kalan parçaların karşılıklı olarak yer değiştirilmesi ile yavru kromozomlar oluşturulur. Şekil 3.39'da yapısal temelli algoritmalarda iki nokta çaprazlama örneği görülmektedir.

	1. Değişken	2. Değişken	3. Değişken	4. Değişken
1. Ebeveyn	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
2. Ebeveyn	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0
1. Yavru	1 1 1 1	0 0 0 0	0 0 0 0	1 1 1 1
2. Yavru	0 0 0 0	1 1 1 1	1 1 1 1	0 0 0 0

Şekil 3.39 : Yapısal temelli algoritmalarda iki nokta çaprazlama

3.9.2.5.3. Çok Nokta Çaprazlama

Ebeveyn kromozomlar üzerinde üç ya da daha fazla sayıda çaprazlama noktasının rastgele olarak belirlenmesi ile uygulanan bir yöntemdir. İkili kodlamaya uygun çok nokta çaprazlamaya benzer olarak, çaprazlama noktaları arasında kalan parçaların karşılıklı yer değiştirilmesi ile yavru kromozomlar edilir. Şekil 3.40'ta yapısal temelli algoritmalarda çok nokta çaprazlama örneği görülmektedir.

	1. Değişken	2. Değişken	3. Değişken	4. Değişken
1. Ebeveyn	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
2. Ebeveyn	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0
1. Yavru	1 1 0 0	0 1 1 1	1 1 1 0	0 0 1 1
2. Yavru	0 0 1 1	1 0 0 0	0 0 0 1	1 1 0 0

Şekil 3.40 : Yapısal temelli algoritmalarda çok nokta çaprazlama

3.9.2.5.4. Değişkenden Değişkene Çaprazlama

Değişkenden değişkene çaprazlama yönteminde öncelikle ebeveyn kromozomlar alt dizilere (değişkenlere) ayrılırlar. Sonrasında ise her bir alt diziye ayrı ayrı tek noktalı çaprazlama uygulanması ile yavru kromozomlar elde edilir (Kaya, 2011). Şekil 3.41'de yapısal temelli algoritmalarda değişkenden değişkene çaprazlama örneği görülmektedir.

	1. Değişken				2. Değişken				3. Değişken				4. Değişken			
1. Ebeveyn	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2. Ebeveyn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1. Yavru	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0
2. Yavru	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1

Şekil 3.41 : Yapısal temelli algoritmalarda değişkenden değişkene çaprazlama

3.9.2.5.5. Tekdüze Çaprazlama

Yapısal temelli algoritmalarda tekdüze çaprazlama uygulanırken, diğer yöntemlerde olduğu gibi çaprazlama noktaları kullanılmaz. Tekdüze çaprazlama yönteminde yavru kromozomda yer alacak her bir bitin hangi ebeveynden alınacağına karar vermek amacıyla bir maske oluşturulur. Maske, ebeveyn kromozomlarla aynı uzunlukta olur ve sadece 1 ile 0 değerlerinden oluşur. Maskede yer alan değer 1 olması ilgili genin birinci ebeveynden alınacağını ifade ederken, 0 olması ise ilgili genin ikinci ebeveynden alınacağını ifade eder (Hasançebi & Erbatur, 2000). İkinci yavru kromozomu oluşturmak için, birinci yavruda kullanılan maskenin tersi kullanılabileceği gibi, yeni bir maske de oluşturulabilir. Şekil 3.42'de yapısal temelli algoritmalarda tekdüze çaprazlama örneği görülmektedir.

	1. Değişken	2. Değişken	3. Değişken	4. Değişken
1. Ebeveyn	3 8 1 5	6 5 8 9	2 4 6 7	5 2 7 1
2. Ebeveyn	6 9 2 4	5 7 3 1	1 5 8 6	4 3 8 7
1. Maske	1 0 0 1	1 1 0 0	0 0 1 0	0 1 1 0
2. Maske	0 1 1 0	0 0 1 1	1 1 0 1	1 0 0 1
1. Yavru	3 9 2 5	6 5 3 1	1 5 6 6	4 2 7 7
2. Yavru	6 8 1 4	5 7 8 9	2 4 8 7	5 3 8 1

Şekil 3.42 : Yapısal temelli algoritmalarda tekdüze çaprazlama

3.9.3. Mutasyon

Çaprazlama operatörü popülasyonda bulunan gen potansiyelini araştırmak amacıyla kullanılır. Ancak popülasyonun gerekli tüm bilgiyi içermediği durumlarda algoritma çözüm uzayının tümünü arayamaz. Bu noktada, popülasyonda var olan kromozomlardan yeni kromozomlar üretilmesine yardımcı olarak, genetik çeşitliliği sağlayacak farklı bir operatöre ihtiyaç duyulur (Goldberg, 1989) (Emel & Taşkın, 2002). Bu operatör, Türk Dil Kurumu’nca “değişim” olarak adlandırılan mutasyon operatörüdür. (“Türk Dil Kurumu Sözlükleri”, (Çevrimiçi) <http://sozluk.gov.tr/>, 08.08.2019).

Mutasyon ve çaprazlama operatörleri taşıdıkları önem bakımından karşılaştırıldıklarında, çözüm uzayını daha hızlı arayabilme yeteneği sebebiyle çaprazlamanın daha önemli bir operatör olduğu söylenebilir. Mutasyon operatörü ise arama uzayında az sayıda rastsal arama yaparak, hiçbir noktanın incelenme olasılığının sıfır olmamasını sağlar (Beasley, Bull, & Martin, 1993).

Mutasyon operatörü, yavru bireye çaprazlama operatörü sonrasında uygulanır (Beasley et al., 1993). GA’nın, çözüm uzayında yerel optimum noktalara takılmasını

engelleyen mutasyon operatörünün uygulanması ile daha iyi çözümlerin elde edilmesi sağlanabilmektedir (Sivanandam & Deepa, 2008) (Önder, 2011). Ayrıca mutasyon operatörü, çaprazlama ve kromozomlar arasındaki rekabet sebebiyle bir daha elde edilemeyecek sonuçların kaybedilmesine karşı bir koruma sağlamaktadır (Goldberg, 1989) (Mirjalili, 2018).

Mutasyon sonucunda istenmeyen bir özelliğin üretilmesi durumunda ise, doğal seçim yardımı ile bu negatif özellik ya da genden kurtulmak mümkün olacaktır. Başka bir ifade ile, istenmeyen bu özellikler gelecek nesillere aktarılma şansını yakalayamayacak ya da çok düşük bir olasılıkla aktarılabilecektir (Mirjalili, 2018).

Mutasyon rastgele yapılan değişikliklere dayanır ve bu değişikliklerin gücüne mutasyon olasılığı adı verilir (Kramer, 2017). Mutasyon olasılığı kullanıcı tarafından belirlenir. Mutasyon oranı, GA'nın performansını etkileyen bir faktördür. Mutasyon olasılığının artması ile yapılan aramanın rastsal bir aramaya dönüşmesi sebebiyle, bu olasılık değeri genellikle küçük olarak (0,001) seçilir (Emel & Taşkın, 2002). Holland'a göre küçük mutasyon oranları kullanılarak, mutasyon ile oluşan kromozomun genetik açıdan ebeveynlerinden çok farklı olmaması garanti edilir (Bäck, 1996).

GA'da kullanılan farklı kodlama yöntemlerine bağlı olarak farklı mutasyon teknikleri uygulanabilmektedir.

3.9.3.1. İkili Kodlamaya Uygun Mutasyon

İkili kodlanmış kromozomların mutasyonu, rastgele olarak seçilen bir genin değerinin değiştirilmesi şeklinde uygulanır. Değiştirme işlemi, mevcut gen 0 değerine sahip ise 1'e dönüştürülmesi ya da tam tersi olarak mevcut gen 1 değerine sahip ise 0'a dönüştürülmesi şeklinde uygulanır. Bu şekilde bir mutasyon sadece ikili düzende kodlanmış kromozomlara uygulanabilmektedir. Şekil 3.43'te ikili kodlamaya uygun mutasyon örneği görülmektedir. Örnekte rastsal olarak seçilen 6. gen mutasyona uğramıştır.



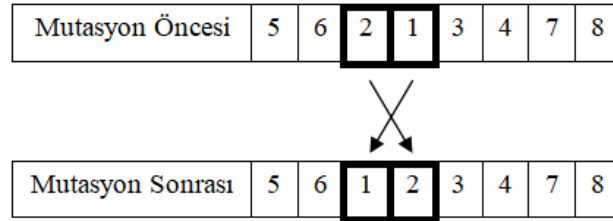
Şekil 3.43 : İkili kodlamaya uygun mutasyon örneği

3.9.3.2. Permütasyon Kodlamaya Uygun Mutasyon

Permütasyon kodlanmış kromozomlara, mutasyon operatörü farklı yöntemler kullanılarak uygulanabilir. Bu yöntemler; bitişik değişim mutasyonu, rastsal değişim mutasyonu, kaydırma mutasyonu, yer değişim mutasyonu, tersine çevirme mutasyonu ve yer değiştirerek tersine çevirme mutasyonu olarak sıralanabilir (Nearchou, 2004).

3.9.3.2.1. Bitişik Değişim Mutasyonu

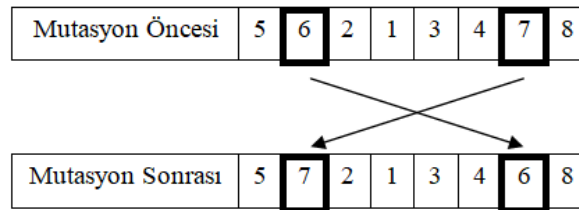
Yabancı literatürde "adjacent exchange mutation" olarak adlandırılan bu yöntem, rastsal olarak seçilen iki komşu genin birbirleri ile yer değiştirmesi şeklinde uygulanır. Şekil 3.44'te görülen bitişik değişim mutasyonu örneğinde, mutasyona uğramak üzere rastsal olarak 3. ve 4. genler seçilmiştir.



Şekil 3.44 : Bitişik değişim mutasyon örneği

3.9.3.2.2. Rastsal Değişim Mutasyonu

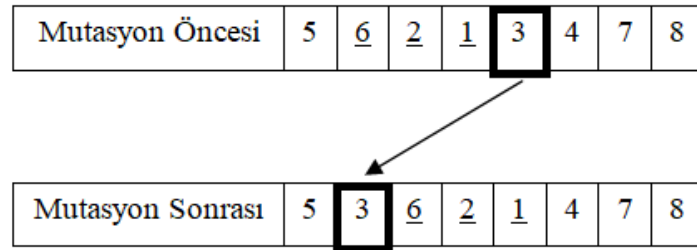
Yabancı literatürde "random exchange mutation" olarak adlandırılan bu yöntem, rastsal olarak seçilen iki genin birbirleri ile yer değiştirmesi şeklinde uygulanır. Şekil 3.45'te görülen rastsal değişim mutasyonu örneğinde, mutasyona uğramak üzere rastsal olarak 2. ve 7. genler seçilmiştir.



Şekil 3.45 : Rastsal değişim mutasyonu örneği

3.9.3.2.3. Kaydırma Mutasyonu

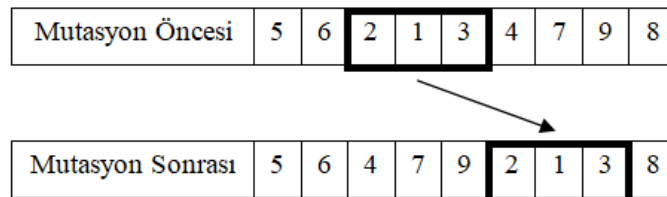
Yabancı literatürde "shift mutation" olarak adlandırılan bu yöntem, rastsal olarak seçilen bir genin, yine rastsal olarak seçilen bir pozisyona (bite) yerleştirilmesi şeklinde uygulanır. Kromozomda yer alan diğer genler ise mevcut sıralamalarını koruyarak sağ tarafa doğru kaydırılırlar. Şekil 3.46'da görülen kaydırma mutasyonu örneğinde, 5. gen rastsal olarak seçilerek, yine rastsal olarak seçilen 2. pozisyona yerleştirilmiştir.



Şekil 3.46 : Kaydırma mutasyonu örneği

3.9.3.2.4. Yer Değişim Mutasyonu

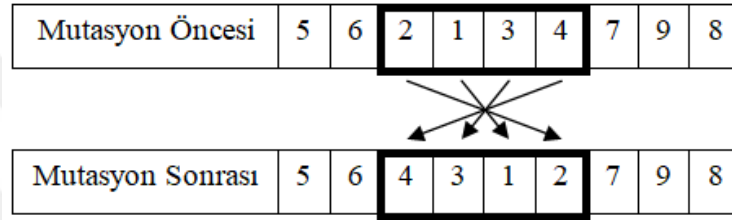
Yabancı literatürde "displacement mutation" olarak adlandırılan bu yöntem, kromozomdan rastsal olarak seçilen bir alt dizinin, yine rastsal olarak seçilen bir pozisyona yerleştirilmesi şeklinde uygulanır. Yer değiştirme işlemi seçilen pozisyona bağlı olarak sağ ya da sol tarafa doğru gerçekleştirilir. Şekil 3.47'de görülen yer değiştirme mutasyonu örneğinde; rastgele seçilen 3, 4 ve 5. genlerden oluşan alt dizi, rastsal olarak seçilen 6. genden itibaren yerleştirilerek mutasyon işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3.47 : Yer değişim mutasyonu örneği

3.9.3.2.5. Tersine Çevirme Mutasyonu

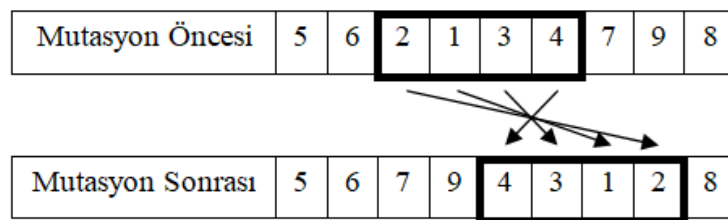
Yabancı literatürde "inversion mutation" olarak adlandırılan bu yöntem, bir kromozomun rastsal olarak seçilen iki gen arasında yer alan alt dizinin, ters çevrilerek yine aynı pozisyonlara yazılması şeklinde uygulanır. Şekil 3.48'de görülen tersine çevirme mutasyonu örneğinde; rastsal olarak seçilen 3. ve 5. genler arasında kalan alt dizi ters çevrilerek mutasyon uygulanmıştır.



Şekil 3.48 : Tersine çevirme mutasyonu örneği

3.9.3.2.6. Yer Değiştirerek Tersine Çevirme Mutasyonu

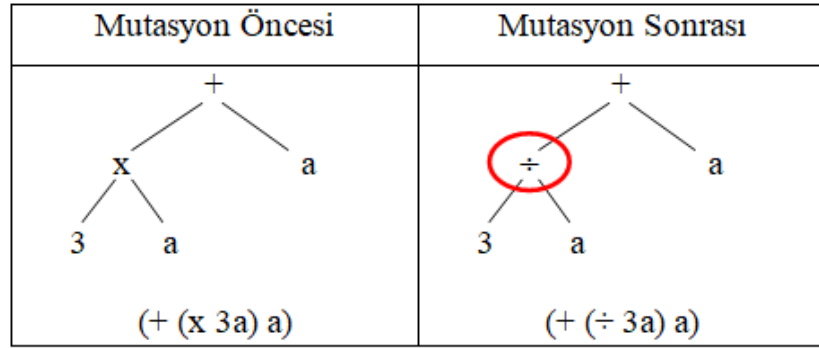
Yabancı literatürde "inversion/displacement mutation" olarak adlandırılan bu yöntem, yer değişim ve ters çevirme mutasyonlarının bileşimi olarak tanımlanabilir. Yöntemde öncelikle rastsal olarak iki gen belirlenir ve bu genler arasında kalan alt dizi tersine çevrilerek, tesadüfi olarak belirlenen bir pozisyona yerleştirilir. Yer değişim mutasyonunda olduğu gibi, seçilen pozisyona bağlı olarak sağ ya da sol tarafa doğru yer değiştirme işlemi uygulanabilir. Şekil 3.49'da yer değiştirerek tersine çevirme mutasyonu örneği görülmektedir.



Şekil 3.49 : Yer değiştirerek tersine çevirme mutasyonu örneği

3.9.3.3. Ağaç Kodlamaya Uygun Mutasyon

Ağaç kodlama ile oluşturulan kromozomların mutasyonu, rastsal olarak seçilen düğümlerde yer alan işlem ya da numaraların değiştirilmesi işlemi ile uygulanır. Şekil 3.50'de ağaç kodlamaya uygun mutasyon örneğinde çarpma işlemi rastsal olarak seçilen bölme işlemi ile değiştirilerek mutasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.50 : Ağaç kodlamaya uygun mutasyon örneği

3.9.3.4. Gerçel Değerli Kodlamaya Uygun Mutasyon

Gerçel değerli değişkenlerin mutasyonu, rastsal olarak üretilen değerlerin kromozom üzerinde yine rastsal olarak seçilen değişkene eklenmesi ya da çıkarılması şeklinde açıklanabilir. Şekil 3.51'de, kromozom üzerinde rastsal olarak seçilen 2. bitten, yine rastsal olarak belirlenen 0,15 değeri çıkarılmış ve mutasyon sonrası oluşan yeni kromozom gösterilmiştir.

Mutasyon Öncesi	5,53	6,70	2,17	1,96	3,14
Mutasyon Sonrası	5,53	6,55	2,17	1,96	3,14

Şekil 3.51 : Gerçel değerli kodlamaya uygun mutasyon örneği

Gerçel değerli kodlanmış kromozomların mutasyonu için kullanılan bir başka yol ise; kromozomda bulunan onluk sisteme ait değerlerin ikili kodlanmış sisteme dönüştürülmesi ve ikili kodlamaya uygun mutasyon uygulanarak sonrasında tekrar onluk sisteme dönüşümlerinin sağlanmasıdır. Denklem 3.16'da, gerçel değerli bir kromozom, ikili kodlanmış kromozoma dönüştürülmüştür. İkili kodlanmış kromozomdan rastsal olarak seçilen 9. bite mutasyon operatörü uygulanarak denklem 3.17'de görülen ikili kodlanmış kromozom elde edilmiş ve bu kromozom onluk sisteme dönüştürülerek mutasyon işlemi tamamlanmıştır.

$$(15, 23, 8, 31)_{10} = (01111, 101\mathbf{1}1, 01000, 11111)_2 \quad (3.16)$$

$$(01111, 101\mathbf{0}1, 01000, 11111)_2 = (15, 21, 8, 31)_{10} \quad (3.17)$$

3.9.3.4.1. Rastsal Mutasyon

Yabancı literatürde "random mutation" olarak adlandırılan bu yöntem, tekdüze mutasyon olarak da isimlendirilmektedir. $C=(c_1, c_2, \dots, c_n)$ olarak gösterilen herhangi bir aday çözümde, c_i değeri r gibi bir değer ile değiştirilirse mutasyon işlemi uygulanmış olur. Burada r , alt sınırı c_i^L ve üst sınırı c_i^U olan tekdüze bir dağılımdan rastsal olarak seçilmiş bir değerdir.

Yöntemde tanım aralığı içerisinde rastsal olarak seçilen bir değer için aday çözümde belirlenen bir değer ile yer değiştirmesini içerdiğinden dolayı, aday çözümün çözüm uzayında herhangi bir noktaya sıçramasına olanak tanır. Arama uzayı içerisindeki bu tarz büyük sıçramaların engellenmesi amacıyla Δ_i ile gösterilen bir sıçrama aralığı kullanılarak bir sınırlandırma yapmak mümkündür. Bu yaklaşımla herhangi bir c_i değerinin mutasyon işlemi sonrası alacağı değer (c_i^{yeni}) denklem 3.18 ile elde edilecektir (Satman, 2016).

$$c_i^{yeni} = c_i + (r - 0,5) \Delta_i \quad (3.18)$$

Örneğin her bir değişkenin $[0, 60]$ aralığında değerlere sahip olduğu bir kromozom $A(12,5, 49,5, 38,4)$ şeklinde tanımlanmış olsun. Bu kromozomun rastsal olarak belirlenen 2. bitinde yer alan değer, belirtilen aralıktan rastsal olarak seçilen 21,3 değeri ile değiştirilmesi ile uygulanan mutasyon işleminin sonunda kromozom $A^*=(12,5, 21,3, 38,4)$ olur. Bu mutasyon işlemi $\Delta_i=10$ değeri ile sınırlandırılmak istendiğinde ise, rastsal olarak seçilen r değeri, diğer değerler ile denklem 3.18'de yerine konularak mutasyona uğrayan bite ait yeni değer elde edilir. Bu örnekte r değerini 0,75 olarak kabul edersek, denklem 3.19'daki hesaplama yapılır ve mutasyon sonrası kromozom $A^*=(12,5, 52, 38,4)$ şeklinde elde edilir.

$$c_2^{\text{yeni}} = 49,5 + (0,75 - 0,5) 10 = 52 \quad (3.19)$$

3.9.3.4.2. Tekdüze Olmayan Mutasyon

Tekdüze (rastsal) mutasyona benzer bir mutasyon yöntemidir. Tekdüze olmayan mutasyonun farkı, algoritmanın ilk nesillerinde arama uzayının farklı bölgelerine eş olasılıklı sıçrama imkanı verilirken, ilerleyen nesillerde sıçrama miktarı dinamik olarak daraltılır (Satman, 2016).

3.9.3.4.3. Normal Dağılan Mutasyon

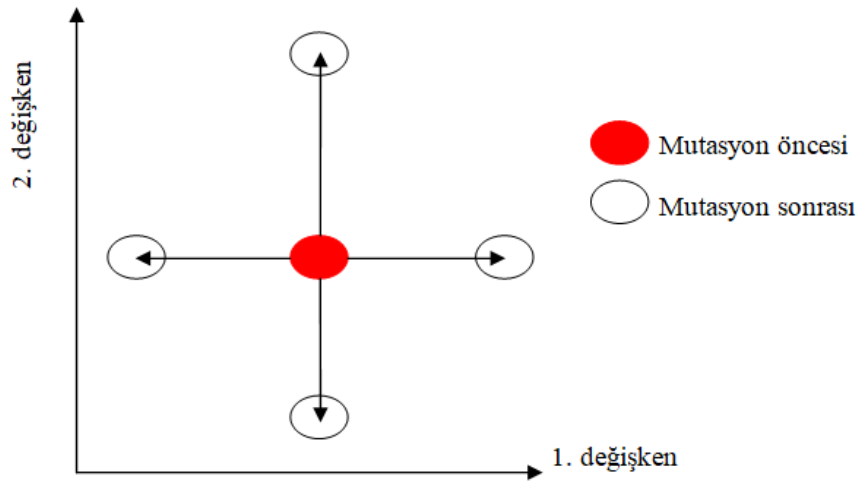
Bu yöntemde; kromozomdan rastsal olarak seçilen bir değişkene, ortalaması 0 standart sapması σ_i olan bir normal dağılımdan rastsal olarak seçilen değerlerin eklenmesi ile mutasyon gerçekleştirilir (Satman, 2016). Bu yöntemde herhangi bir c_i değerinin mutasyon işlemi sonrası alacağı değer (c_i^{yeni}) denklem 3.20'de gösterilmektedir.

$$c_i^{\text{yeni}} = c_i + N(0, \sigma_i) \quad (3.20)$$

Normal dağılım aritmetik ortalamaya göre simetrik olduğundan, üretilen rastsal sayılar 0,5 olasılıkla negatif ya da pozitif olur. Normal dağılımın tanım aralığı $-\infty$ ve $+\infty$ arasında olduğundan, seçilen rastsal sayı her değeri alabilmektedir. Ancak normal dağılımın özelliği gereği değerlerin %99'u ortalamanın 3 standart sapma sağında ve solunda yer alacağından dolayı, ortalamadan çok uzak değerlerin seçilme olasılığının oldukça düşük olduğu söylenebilir.

3.9.3.4.4. BGA Mutasyonu

Yöntemin uygulanabilmesi için bir değişkenin mutasyona uğrama olasılığı olan "mutasyon oranı" ve mutasyona uğramış her bir değişkendeki değişiklik miktarını gösteren "mutasyon adımı" değerlerinin belirlenmesi gerekir (http://www.geatbx.com/docu/algindex-04.html#P666_44497, 10.08.2019). Şekil 3.52'de mutasyon sonrasında bir bireyin alabileceği muhtemel değerlerin gösterildiği grafik yer almaktadır.



Şekil 3.52 : Gerçek değerli kodlamaya uygun mutasyonun muhtemel sonuçları

Yöntemde optimum mutasyon adımının belirlenmesi zor olmakla birlikte; ele alınan problemin yapısına ve optimizasyon sürecine bağlı olarak değişmektedir. Küçük mutasyon adımlarının sıklıkla başarılı olduğu, büyük mutasyon adımlarının ise sonuca daha hızlı ulaştığı bilinmektedir. Bundan yola çıkarak iyi bir mutasyon operatörünün, yüksek olasılıkla küçük adımlar ve düşük olasılıkla büyük adımlar üretmesi gerektiği söylenebilir.

Mutasyon işlemi sonucunda oluşan yeni kromozom denklem 3.21 ile ifade edilebilir:

$$\text{Mutasyon geçirmiş değişken} = \text{Değişken değeri} \pm \text{Mutasyon adımı} \quad (3.21)$$

Mutasyon adımı, BGA mutasyon (Breeder Genetic Algorithm Mutation) olarak adlandırılan yöntem ile hesaplanmaktadır (Mühlenbein & Schlierkamp-Voosen, 2008).

Mutasyon operatörünün uygulanması için p_m olasılığı ile bir değişken (bit) seçilir. En az bir değişkenin mutasyona uğrayabilmesi amacıyla p_m değeri en az $1/n$ (n = toplam bit sayısı) kadar seçilir. Aralık dışındaki değer $[-range_i ; range_i]$, mutasyon için seçilen değişkene eklenir. Burada $range_i$, mutasyon alanı olarak ifade edilir ve değişkenin tanımlanan aralığının 0,1 ile çarpılması ile elde edilir (Mühlenbein & Schlierkamp-Voosen, 2008). Böylece mutasyona uğramış birey denklem 3.22'de görüldüğü gibi ifade edilebilir.

$$\text{Mutasyon geçirmiş değişken} = \text{Değişken değeri} \pm range * \delta \text{ (delta)} \quad (3.22)$$

Denklem 3.22'de görülen $\pm$ ifadesinin, + ya da - olarak seçilme olasılığı birbirine eşit, yani 0,5 olarak belirlenmiştir. δ ise küçük değerleri tercih eden bir dağılım ile denklem 3.23 kullanılarak hesaplanır.

$$\delta = \sum_{i=0}^n \alpha_i 2^{-i} \quad \alpha_i \in 0,1 \quad (3.23)$$

Mutasyon öncesinde α_i , 0 olarak belirlenirken, sonrasında ise her bir α_i değeri rastsal olarak $1/n$ olasılıkla belirlenir. Burada sadece $\alpha_i=1$ olan değerler toplanır. Ortalama olarak, sadece bir adet α_i , 1 olarak belirlenmektedir. Bu α değerine α_j denildiğinde; delta değeri denklem 3.24'te görüldüğü gibi elde edilir.

$$\delta = 2^{-j} \quad (3.24)$$

Standart bir BGA mutasyon operatörü, bir hiperküpte $x_i \pm \text{range}_i$ ile tanımlanan ve merkezi x ile ifade edilen herhangi bir nokta üretebilir.

3.9.4. Tamir Operatörü

Tamir operatörü, çaprazlama ve mutasyon operatörleri sonrasında oluşan yeni kromozomlarda ortaya çıkan gen dizilimlerinin farklılığını ya da tekrar eden genleri ortadan kaldırmak amacıyla uygulanan bir işlemdir. Yeni nesil kromozomları tamir eden ya da düzelten bu operatör, bazı kaynaklarda düzeltme operatörü olarak da adlandırılmaktadır. Özellikle çizelgeleme ve GSP gibi permütasyon kodlama kullanılan kromozomlardan üretilen yavru kromozomlarda ortaya çıkan gen tekrarı gibi uygunsuz durumlar tamir operatörü ile düzeltilmektedir. Tamir operatörü, kromozom içerisinde eksik olan genlerin tespit edilerek, tekrar eden genlerin yerine bu genlerin yerleştirilmesi şeklinde uygulanır. Şekil 3.53'te tamir operatörünün uygulanmasına ait bir örnek yer almaktadır.

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

Tamir Operatörü Öncesi 1.Yavru	3	2	6	4	3	2	5	7
Tamir Operatörü Öncesi 2.Yavru	6	8	1	5	8	4	7	1

1. yavru eksik genleri : 1 ve 8

2. yavru eksik genleri : 2 ve 3

Tamir Operatörü Sonrası 1.Yavru	<u>1</u>	<u>8</u>	6	4	3	2	5	7
Tamir Operatörü Sonrası 2.Yavru	6	<u>2</u>	<u>3</u>	5	8	4	7	1

Şekil 3.53 : Tamir operatörü uygulama örneği

Belirtmek gerekir ki, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinin uygulanması sırasında, uygun olmayan kromozomların ortaya çıkmasını engelleyecek önlemlerin alınması durumunda, tamir operatörüne ayrıca ihtiyaç duyulmayacaktır.

3.9.5. Yer Değiştirme

GA'larda yeni neslin üretilmesi döngüsünün son aşaması yer değiştirme operatörüdür. Popülasyondan seçilen iki ebeveynin çaprazlanması sonucu, iki yavru kromozom oluşur. Ancak toplamda bu dört kromozomun hepsi (iki ebeveyn ve 2 yavru) popülasyona geri dönemez. Bu sebeple bir yer değiştirme operatörüne ihtiyaç duyulur. Yavru kromozomların oluşturulması sonrasında, mevcut popülasyonun hangi kromozomlarının yeni kromozomlar ile yer değiştirmesi gerektiği belirlenmelidir ve bu yer değiştirme işleminin yöntemi seçilmelidir. Bu amaçla nesilsel yer değiştirme ve sabit durum yer değiştirmesi olmak üzere temel olarak iki farklı yöntem kullanılmaktadır.

Nesilsel yer değiştirmede; N büyüklüğünde bir popülasyondan, N adet yavru kromozom oluşturulur ve bir sonraki nesil, yavru kromozomların ebeveynleri ile tamamen yer değiştirmesi ile oluşturulur. Bu yöntemle göre bir kromozom sadece kendi neslinden olan başka bir kromozom ile çaprazlanarak bir yavru kromozom oluşturabilir.

Sabit durum yer değiştirmesinde ise, yavru kromozomlar oluşturulup hemen popülasyona dahil edilirler. Yeni kromozomların popülasyona eklenmesi ile, popülasyondaki en kötü ya da en eski birey popülasyondan çıkarılır (Sivanandam & Deepa, 2008).

3.9.5.1. Rastsal Yer Değiştirme

Bu yöntemde yavru kromozom, ebeveynlerinin de dahil olduğu popülasyondan rastsal olarak seçilen bir kromozom ile yer değiştirir. Bu yöntem ile popülasyona daha kötü bireylerin girmesi de söz konusu olabilir.

3.9.5.2. Zayıf Ebeveyn Yer Değiştirmesi

Bu yöntemde zayıf olan ebeveyn, güçlü olan yavru kromozom ile yer değiştirir. Üreme işlemi sonrasında oluşan dört kromozomdan (iki ebeveyn ve iki yavru olmak üzere toplam dört kromozom), ebeveyn ya da yavru olması fark yaratmaksızın sadece en iyi olan ikisinin popülasyona eklendiği bir yöntemdir. Bu yöntem güçlü ve zayıf kromozomun çaprazlanmak üzere seçilmesine imkan tanıyan bir seçim tekniği ile kullanıldığında, popülasyonun toplam uygunluk değerinin artmasına imkan tanır (Sivanandam & Deepa, 2008).

3.9.5.3. Her İki Ebeveynin Yer Değiştirmesi

Bu yöntemde oluşan yavru kromozomlar, ebeveyn kromozomlar ile yer değiştirirler. Yöntemde her bir birey sadece bir kere yavru üretebilir. Bu yöntem, en güçlü kromozomların çaprazlanmasına imkan tanıyan bir seçim yöntemi ile birlikte çalıştırıldığında, en güçlü kromozomun yok olmasına sebep olmaktadır (Sivanandam & Deepa, 2008).

3.10. GA Kontrol Parametreleri ve Performansı

GA'nın performansının büyük kısmı GA kontrol parametrelerine bağlıdır (Iyer & Saxena, 2004). Kontrol parametrelerinin optimal değerini bulmak için bir çok çalışma yapılmış olmakla beraber, tüm problemler için geçerli parametreler elde edilememiştir (Emel & Taşkın, 2002). Bir GA problemi için uygun olan parametreler, bir başka problem için aynı performansı sergileyemeyebilir. Dolayısıyla parametreler, her bir problem özelinde ayrı değerlendirilmelidirler. Kontrol parametreleri olarak; popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı, kuşak farkı, seçim stratejisi, uygunluk fonksiyonu ölçeklemesi sıralanabilir (Iyer & Saxena, 2004) (Emel & Taşkın, 2002).

3.10.1. Popülasyon Büyüklüğü

Popülasyon büyüklüğü, popülasyon içerisinde yer alan kromozom sayısı olarak tanımlanabilir (Siriwardene & Perera, 2006). Başlangıç popülasyonunun oluşturulması ise GA'nın ilk adımıdır ve başlangıç popülasyonunda yer alan kromozomların uygunluk değerleri GA'nın performansını etkileyen bir unsurdur. Popülasyon büyüklüğünün fazla olması, popülasyondaki çeşitliliği artırırken, fazla sayıda işlem gerektireceği için çözüme ulaşma süresini artıracaktır. Popülasyon büyüklüğünün küçük olması ise, GA'nın yerel optimumlara takılmasına yol açabilmektedir. Goldberg 1985 yılında popülasyon büyüklüğünü, sadece kromozom uzunluğuna bağlı olarak hesaplamak amacıyla bir yöntem önermiştir. Buna göre uzun kromozomlar ve zorlu optimizasyon problemleri için yüksek popülasyon büyüklükleri gerekli olacaktır. 1989 yılında Schaffer ve arkadaşlarının yaptıkları araştırmalar sonucunda, 20 ile 30 arasında bir popülasyon büyüklüğünün iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir (Emel & Taşkın, 2002). Bir başka yöntem gere; n kromozom uzunluğu olmak üzere, popülasyon büyüklüğü $[n, 2n]$ aralığında seçilebilmektedir. GA'ların çözüm süresi bakımından diğer yöntemler ile rekabetçi

olması sebebiyle, popülasyon büyüklüğünün küçük değerler alması önem taşımaktadır (Hromkovič, 2004).

3.10.2. Çaprazlama Oranı

Çaprazlama, mevcut popülasyonda bulunan genetik bilgileri kullanarak, çözüm uzayının farklı bölgelerinde arama yapılmasına imkan tanıyan bir GA operatörüdür. Ebeveyn kromozomlar, Pc olasılığı ile çaprazlama operatörü için seçilirler. Çaprazlama oranı, GA kullanıcısı tarafından belirlenmektedir. Çaprazlama oranının 0 olması; mevcut neslin hiçbir değişikliğe uğramadan yeni nesli oluşturma durumuna yol açar. Kullanıcı tarafından 0,8 olarak belirlenen bir çaprazlama oranı, popülasyonda yer alan bireylerin %80'ine çaprazlama operatörünün uygulanacağını ifade etmektedir. Yüksek çaprazlama oranı, popülasyondaki kromozomların iyi bir şekilde karışmasına imkan tanımaktadır (Siriwardene & Perera, 2006). Bunun yanı sıra yüksek çaprazlama oranı, bir önceki nesile ait kromozomların bozulmasına da sebep olmaktadır. Bu bozulma ile, yüksek uygunluk değerine sahip kromozomlar yok olabilmektedir (Emel & Taşkın, 2002).

3.10.3. Mutasyon Oranı

Mutasyon, GA'da çözümün yerel optimumda takılmasını önler. Çaprazlama oranına benzer olarak, mutasyon oranı da GA kullanıcısı tarafından belirlenmektedir. Mutasyon, Pm olasılığı ile gerçekleşir ve bir kromozomda yer alan her bir bitte meydana gelebilir. Popülasyon büyüklüğünün 100, kromozom uzunluğunun 10 ve mutasyon oranının 0,001 olması durumunda; tüm popülasyonda ortalama sadece 1 bit ($100 \times 10 \times 0,001 = 1$) mutasyona uğrayarak değişecektir (Siriwardene & Perera, 2006). Yüksek mutasyon oranları, popülasyondaki iyi kromozomların yok edilme olasılığını artırır ve genetik aramayı rastsal bir aramaya dönüştürebilir (Taşkın & Emel, 2009). Mutasyon oranının çok düşük seçilmesi ise, çözüm uzayının farklı bölgelerine ulaşılmasını engeller. Mutasyon oranı genellikle %1 ya da daha düşük seçilmektedir. Bazı araştırmacılar ise Pm değerini $\frac{1}{n}$ veya $\frac{1}{k^{0,93}\sqrt{n}}$ formülleri yardımıyla hesaplamaktadırlar (n:gen sayısı ve k:popülasyon büyüklüğü) (Hromkovič, 2004).

3.10.4. Kuşak Farkı

Her kuşakta yer alana yeni kromozom oranı kuşak farkı olarak adlandırılır. Başka bir ifade ile, çaprazlama ve mutasyon işlemleri uygulanacak kromozom sayısını ifade eden bir değerdir. Bu değer yüksek olması, fazla sayıda kromozom değişikliğe uğradığını, gelecek nesilde fazla sayıda yeni kromozomun yer alacağını göstermektedir (Emel & Taşkın, 2002).

3.10.5. Seçim Stratejisi

GA'larda mevcut popülasyon neslini yenilemenin farklı yolları bulunmaktadır. Bu farklı yollar seçim stratejisi olarak adlandırılır. Seçim stratejisi popülasyonu oluşturan kromozomların uygunluk değerlerine bağlı olarak belirlenir (Önder, 2011). Nesilsel stratejinin uygulanması, mevcut nesilde yer alan tüm kromozomların yavru kromozomlar ile yer değiştirmesidir. Bu yöntemde mevcut popülasyonda yer alan en iyi kromozomlar yeni nesile aktarılamaz ve yok olurlar. Bu sebeple elitizm'in bu yöntemle birlikte kullanılarak en iyi kromozomların yok olması engellenmelidir. Farklı bir strateji olarak sabit durum stratejisinde ise genellikle yeni kromozomlar popülasyona katılarak, en kötü ya da en eski kromozom popülasyondan çıkarılır (Emel & Taşkın, 2002).

3.10.6. Uygunluk Fonksiyonu Ölçeklemesi

Uygunluk fonksiyonunu ölçeklemek için oransal, rank, doğrusal ve üstsel ölçekleme gibi farklı yöntemler kullanılabilir. çözüm aranan problemin türüne göre uygun bir yöntem tercih edilmelidir (Yeniay, 2001).

3.11. Genetik Algoritma Uygulama Alanları

GA, uygun bir kodlama beraberinde uygulanan çaprazlama ve mutasyon işlemleri ile çözüm uzayı içerisinde çeşitlenmenin iyi bir şekilde dengelendiği problemlerde kullanılabilir. Bu özelliği sebebiyle geleneksel yöntemlerle çözümü mümkün olmayan karmaşık problemlerin optimuma yakın çözümüne imkan tanıyan GA'lar, yöntemin geliştirilmesinden bu yana farklı alanlardan çeşitli problem tiplerine uygulanabilmektedirler (Holland, 1992) (Özçakar, 1998).

GA'lar temel olarak iki farklı amaçla kullanılırlar (Chambers, 2001). Bu amaçların birincisi bir sistemin performansını optimize etmek amacıyla parametrelerin seçimidir. Uygun ya da uygun olmayan parametrelerin seçimi, sistemin daha iyi ya da daha kötü performansa sahip olmasına sebep olur. Parametre seçiminin yarattığı etki ise uygunluk fonksiyonu değeri ile ölçülebilir. GA'lar sıklıkla farklı alanlardaki optimizasyon problemlerine çözüm üretmek amacıyla kullanılırlar. GA'nın uygulandığı optimizasyon problemleri arasında GSP, ARP, iş atölyesi çizelgeleme problemi sırt çantası problemi sayılabilir.

GA'ların ikinci potansiyel kullanım alanı sayısal modelleri test etmek ve uygunluğunu sağlamaktır. Daha az araştırılmış olan bu kullanım alanında, açıklayıcı ya da tanımlayıcı model kurulur, veri toplanır ve model test edilir. Burada model ile veriler arasında oluşan uyumsuzluk minimuma indirgenmeye çalışılır.

GA'lar mühendislik problemlerinde de optimizasyon amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Makine tasarımı, öğrenme kabiliyetli makineler, ekonomi, üretim hattı yerleşimi, dijital resim işleme gibi oldukça farklı alanlarda başarılı uygulamaları yapılmıştır (Emel & Taşkın, 2002).

GA'ların uygulama alanlarından bazıları aşağıda sıralanmıştır (Sivanandam & Deepa, 2008) (Taşkın & Emel, 2009):

- Doğrusal olmayan dinamik sistemlerin tahmini ve veri analizleri
- Robot yörüngesi planlaması
- Protein molekülleri şeklinin bulunması
- Genetik programlama
- Strateji planlama
- Görüntü, resim yaratma işlevleri
- Gaz boru hattı, kutup dengeleme problemi uygulamaları
- İmalat planlaması, kaynak tahsisi
- Makine öğrenmesi, sinir ağları tasarımı
- Sinyal işleme, filtre tasarımı
- GSP problemleri
- ARP problemleri
- Montaj hattı dengeleme problemleri
- Çizelgeleme problemleri
- Tesis yerleşim problemleri
- Atama problemleri
- Hücresel üretim problemi
- Taşıma problemleri
- Minimum yayılan ağaç problemi
- Sistem güvenilirliği problemi
- Hücresel üretim problemi
- İşletmelerde finans ve pazarlama alanlarında portföy yönetim sistemlerinin kurulması, müşteri kredi değerliliği ölçümü ve tüketici profilinin çıkarılması

ve benzeri konularda GA'lardan yararlanılmaktadır.

3.12. Genetik Algoritma'nın Diğer Yöntemlerden Farkı

GA'lar, gerçek hayatının bir parçası olan genetik ve doğal seçilimin işleyişini bilgisayar yazılımları kullanarak taklit eden sistemlerdir. Klasik optimizasyon teknikleri ile karşılaştırıldığında, GA'ların önemli farklılıkları göze çarpmaktadır. Bu farklılıklar aşağıda sıralanmıştır (Sivanandam & Deepa, 2008):

1. GA'lar problemlere ait parametreler ile değil, bu parametrelerin kodlanmış biçimlerini kullanarak çalışırlar.
2. Klasik optimizasyon teknikleri tek bir noktadan hareketle araştırma yaparken, GA'lar aday çözüm noktalarından oluşan bir popülasyonla çalışır. Böylece GA'ların yerel optimum noktalara takılması engellenir ve global optimum noktaya ulaşma olasılığı artar.
3. GA'lar değerlendirme yapabilmek için türev fonksiyonları değil, sadece uygunluk fonksiyonu değerini kullanır.
4. GA'lar olasılığa dayalı kuralları kullanarak çözüm uzayında arama yaparlar.

GA'nın performansının yüksek olmasını sağlayan avantajlar aşağıdaki şekilde sıralanabilirler (M. Chen & Zalzal, 1997) (Haupt & Haupt, 2004) (Sivanandam & Deepa, 2008):

- Sürekli ve kesikli değişkenleri optimize edebilir.
- Türev alınmasına ihtiyaç duymayan bir yöntemdir.
- Probleme ait geniş çözüm uzayını eşzamanlı olarak arayabilir.
- Yerel optimum noktalara takılmaya karşı dirençli bir yöntem olmakla birlikte, global optimum noktasını kolaylıkla keşfedebilir.
- Fazla sayıda değişken ile başa çıkabilen bir yöntemdir.
- Sonuç olarak tek bir optimum çözüm yerine, optimum değişkenlerin listesini verebilir.
- Problemin çok amaçlı fonksiyona sahip olmasına imkan tanır.
- Hesaplamalarda sadece fonksiyon değerlendirmelerini kullanır.

- Farklı türde problemlere kolaylıkla uygulanabilir bir yöntemdir.
- Büyük ölçekli optimizasyon problemleri için çok iyi performans gösterir.

GA'lar için belirtilen tüm avantajların yanı sıra, optimizasyon problemlerinde GA'nın tercih edilmesi üç önemli sebebe bağlanabilir. Bu sebepler (T.-Y. Chen & Chen, 1997):

1. GA ile optimum çözümün bulunmasından sonra, hesaplaması zor ve zaman alan duyarlılık analizlerine gerek kalmamaktadır.
2. GA'da kodlama kullanıldığı için, karma değişkenli problemlerin çözümünde kolaylık sağlamaktadır.
3. GA'nın kullandığı operatörler yardımıyla, problemlere ait global optimum noktalarını bulma olasılığının yüksek olmasıdır.

GA'ların literatürde yer alan birçok başarılı uygulamalarının yanı sıra, bir çok uygulamada da yetersiz sonuçlar verdiği görülmüştür (Mitchell, 1996). Bu sebeple herhangi bir probleme, belirlenen koşullarda uygulanan bir GA'nın kesin olarak iyi bir sonuç vereceğini iddia etmek doğru olmayacaktır. Daha önce de belirtildiği gibi GA'nın performansına etki eden uygunluk fonksiyonu, kodlama ve diğer genetik operatörler gibi birçok parametre vardır (Bolat, Erol, & İmrak, 2004). Bir GA'nın performansını sınırlayan faktörler aşağıda sıralanmıştır (Sivanandam & Deepa, 2008):

- Uygunluk fonksiyonunun tanımlanması gerekliliği,
- Erken yakınsama meydana gelmesi durumu,
- GA parametrelerinin (popülasyon büyüklüğü, mutasyon oranı, çaprazlama oranı, seçim yöntemi ve gücü gibi çeşitli parametrelerin) seçilmesi problemi,
- GA'nın yerel optimumları tanımlamada iyi olmaması,
- Etkili bir sonlandırıcı olmaması, sonlandırma için dışarıdan bir etken olması gerekliliği,
- Kesin global optimumu bulmada sorun yaşaması,
- Çok fazla sayıda uygunluk fonksiyonu değerlendirmesi gerektirir.

3.13. Genetik Algoritmaların Sınıflandırılması

İşletme, bilim ve mühendislik gibi çeşitli uygulama alanlarında yer edinen GA'lar, adım adım uygulanan işlemleri ile karmaşık problemler için etkili aramalar sağlamaktadırlar. GA'lar az karmaşık olarak nitelendirilebilecek hesaplamalar içermekle birlikte, araştırmacıların algoritma içerisinde iyileştirmeler yapmasına imkan tanımaktadır. GA'nın bu özelliği kullanılarak, araştırmacılar tarafından farklı GA yaklaşımları ortaya çıkarılmıştır. (Sivanandam & Deepa, 2008). Bu yaklaşımları, Basit GA, Paralel GA, Hibrit GA, Adaptif GA ve Messy GA şeklinde sınıflandırmak mümkündür.

3.13.1. Basit Genetik Algoritma (SGA)

Yabancı literatürde “Simple Genetic Algorithm” olarak adlandırılan bu yaklaşımın, bir çok problem için iyi sonuçlar verdiği bilinmekle birlikte uygulaması oldukça basittir. Yöntem temel olarak üç aşamadan oluşur: Bu aşamalar GA operatörleri olarak tanımlanan “Seçim”, “Çaprazlama” ve “Mutasyon”dur. Yöntem, uygunluk değerlerine göre ebeveynlerin üreme işlemi için seçilmesi, sonrasında çaprazlanması ve mutasyona uğraması sonucu, daha iyi uygunluk değerine sahip yeni nesil bireylerin elde edilmesini amaçlamaktadır. Arama uzayı geniş ve karmaşık olarak tanımlanabilen problemlerin çözümünde faydalı olan bir yöntemdir (Sivanandam & Deepa, 2008).

3.13.2. Paralel Genetik Algoritma (PGA)

Çeşitli SGA'ların paralel olarak uygulanmasına Paralel Genetik Algoritma adı verilmektedir (Sivanandam & Deepa, 2008). Yöntemde yapılması gereken fazla sayıda iş, küçük iş kümelerine ayrılarak eş zamanlı olarak çözümleri sağlanır (Cantu-Paz, 2000). GA'lar diğer arama yöntemlerine kıyasla, yerel optimuma takılmaya karşı dirençlidirler, ancak bu durum yerel optimuma hiç takılmayacakları anlamına gelmemektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak amacıyla, alt popülasyonlarda paralel olarak arama yapılması yaklaşımı ortaya atılmıştır. PGA olarak adlandırılan bu yaklaşımda kullanılan paralel işlemcilerin yardımıyla problemlerin optimuma yakın çözümlerinin elde edilmesi için gereken süreler de azalmaktadır (Park, Choi, & Kim, 2003). İş atölyesi çizelgeleme problemlerinin çözümünde, çeşitli öncelik kısıtlarından yararlanarak yüksek optimizasyona ulaşmak amacıyla PGA'lar kullanılır. GA'ların paralelleştirilmesi aşağıda sıralanan faktörlere bağlıdır (Sivanandam & Deepa, 2008):

- Uygunluğun nasıl değerlendirildiğine ve mutasyonun nasıl uygulandığına,
- Seçimin yerel olarak ya da global olarak nasıl uygulandığına,
- Tek ya da çoklu alt-popülasyonların kullanılıp kullanılmadığına,
- Eğer çoklu popülasyonlar kullanıldıysa, bireylerin nasıl değiştirildiğine.

Paralel Genetik Algoritmalar için uygulanan farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır (Cantu-Paz, 2000) (Sivanandam & Deepa, 2008):

1. Yönetici-Köle PGA (Master-Slave PGA)
2. İnce Taneli PGA (Fine Grained PGA / Cellular PGA)
3. Çok Popülasyonlu / İri Taneli PGA (Multiple-Population PGA / Coarse Grained PGA)
4. Hiyerarşik PGA (Hierarchical PGA)

3.13.3. Hibrit Genetik Algoritma (HGA)

GA'larda hibritleştirme kavramı, bir GA'nın bir başka optimizasyon algoritması ya da hesaplama yöntemi ile birlikte çalıştırılması şeklinde açıklanabilir (Satman, 2016) (Emel & Taşkın, 2002). Yöntemde çözüm aranan problem yapısına bağlı olarak GA beraberinde farklı teknikler kullanılmaktadır (Chan, Chung, & Wadhwa, 2005). HGA'ların, özellikle finans problemlerinin çözümünde daha makul bir sürede, yerel optimuma takılmadan standart GA yaklaşımına göre daha iyi yakınsama gösterdiği ortaya konmuştur (Schlottmann & Seese, 2001).

3.13.4. Adaptif Genetik Algoritma (AGA)

Adaptif GA yaklaşımında; GA çalışmasını sürdürürken, popülasyon sayısı, çaprazlama ve mutasyon olasılıkları gibi parametreler değişmektedir. Yöntem adından da anlaşılacağı üzere, GA parametrelerinin üretilen yeni nesillere adapte edilmesini sağlamaktadır. Örneğin yöntemin uygulanmasında mutasyon olasılığı popülasyondaki değişikliklere göre farklılaşabilir: Popülasyonda iyileşme görülmedikçe, mutasyon olasılığı artırılırken; bunun tersine popülasyonda iyileşme görüldüğünde, mutasyon olasılığı azaltılabilir (Sivanandam & Deepa, 2008). Adaptif GA'larda, problemin yerel optimuma takılması gibi bir durum söz konusu olduğunda; çaprazlama ve mutasyon olasılıkları artırılarak probleme ait çözüm uzayının genişletilmesi ve dolayısıyla yerel optimumdan kaçınma sağlanmış olacaktır.

3.13.5. Messy Genetik Algoritma (MGA)

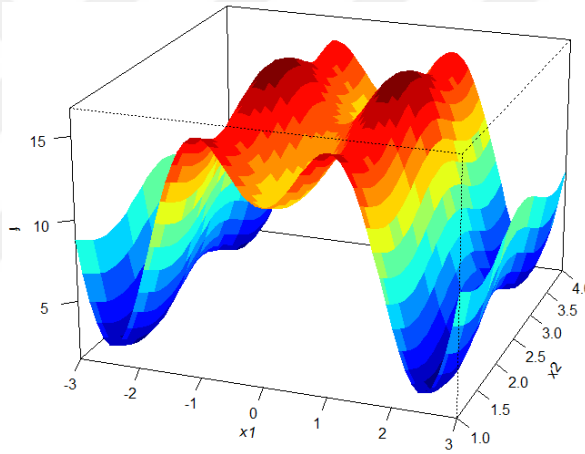
Türkçe literatürde Dağınık ya da Hızlı Dağınık GA olarak yer alan MGA, klasik GA'nın yakınsamasını hızlandırmak amacıyla Goldberg, Korb ve Deb tarafından geliştirilmiştir. MGA'lar, çözüm aranan probleme ait tüm özellikleri giderek daha fazla kapsayan, daha uzun ve karmaşık dizileri oluşturmak amacıyla, daha kısa ve iyi test edilmiş yapı bloklarını (building blocks) birleştirir. Messy GA, kromozom dizilerinin problemi kapsayacak uzunlukta olduğu ilk nesilde global optimum çözümleri elde edebilmektedir. Yöntem öncelikle başlangıç seçim aşaması olarak isimlendirilen alanda optimum ya da optimuma yakın çözümlerin iyi yapı bloklarını bulur. Ardından, yan yana seçim aşamasında kesme ve dilimleme operatörleri yüksek olasılıkla optimal noktaları oluşturma amacıyla iyi yapı bloklarını birleştirilir (Goldberg, Korb, & Deb, 1989).

3.14. Genetik Algoritma İle Fonksiyon Optimizasyon Örneği

Aşağıda yer alan örnekte iki değişkenli bir fonksiyonunun GA ile çözümünün birinci iterasyonu gösterilmektedir (Michalewicz, 1996).

$$f(x_1, x_2) = 4 x_1 \sin(2 x_1) + \sin(3 x_2) + 12 \quad (3.25)$$

Örnekte x_1 değişkeni $[-3,3]$ aralığında yer alırken, x_2 değişkeni ise $[1,4]$ aralığında yer alacaktır. Örneğin amacı, fonksiyon değerini maksimize eden x_1 ve x_2 değerini bulmaktır. Fonksiyona ait grafik Şekil 3.54'te görülmektedir.



Şekil 3.54 : GA ile fonksiyon optimizasyonu örneğinde fonksiyon grafiği

Örneği GA ile çözebilmek için, ilk olarak değişkenlerin kromozomlara dönüştürülüp, kodlanması gerekmektedir. Bu amaçla ikili kodlama kullanılacaktır. Örneğin çözümünde yapılacak olan aramanın daha hassas olabilmesi için, x_1 ve x_2 değişken değerlerinin virgülden sonraki hane sayısının fazla tutulması gerekmektedir. Örnekte değişkenlere ait tanım aralıkları incelendiğinde; x_1 değişkeni için belirlenen aralık uzunluğunun 6, x_2 değişkeni için belirlenen aralığın uzunluğunun ise 3 olduğu görülecektir. Ondalık sistemdeki her bir birim için, ikili kodlamada 1.000 değer alınması istendiğinde, toplam değer sayısı x_1 ve x_2 değişkenleri için sırasıyla $6 \times 1.000 = 6.000$ ve $3 \times 1.000 = 3.000$ olarak elde edilir.

x_1 ve x_2 değişkenlerini ikili kodlama ile temsil etmek için gerek duyulacak kromozom uzunlukları Denklem 3.26 ve 3.27'de görüldüğü gibi x_1 için 13 ve x_2 için 12 olarak belirlenecektir.

$$2^{12} < 6.000 < 2^{13} \quad (3.26)$$

$$2^{11} < 3.000 < 2^{12} \quad (3.27)$$

Bu durumda verilen fonksiyonun çözümünde kullanılacak her bir kromozomun toplam uzunluğu $13 + 12 = 25$ olacaktır. 25 bitten oluşan bir kromozomun; ilk 13 biti x_1 değişkenini temsil ederken, 14. ve 25. bitler arasındaki kalan 12 bitten oluşan kısım ise x_2 değişkenini temsil edecektir.

Denklem 3.28'de örnek bir kromozom görülmektedir. Bu kromozom ile tanımlanmış olan x_1 ve x_2 değerlerini bulmak için Denklem 3.29'da yer alan skala her bir değişken için ayrı ayrı kullanılır. Böylece kromozom ile tanımlanmış olan x_1 ve x_2 değerleri kolaylıkla elde edilebilecektir (Yeniay, 2001).

$$K = 1001011010000111110010100 \quad (3.28)$$

$$\text{Tanım aralığı alt değeri} + \text{onlu(ikili kodlama}_2) \frac{\text{Tanım aralığı uzunluğu}}{2^{\text{bit uzunluğu}} - 1} \quad (3.29)$$

Kromozomun x_1 değişkenini temsil eden ilk 13 biti (1001011010000) değerlerinden oluşmaktadır. x_1 değişkeninin değeri Denklem 3.30 ile bulunmuştur.

$$x_1 = -3 + \text{onlu}(1001011010000_2) \frac{3 - (-3)}{2^{13} - 1} = 0,527774 \quad (3.30)$$

Kromozomda x_2 değişkenini temsil eden son 12 bit ise (111110010100) değerlerinden oluşmaktadır. x_2 değişkeninin değeri Denklem 3.31 ile bulunmuştur.

$$x_2 = 1 + onlu(111110010100_2) \frac{4 - 1}{2^{12} - 1} = 0,921612 \quad (3.31)$$

Böylece Denklem 3.28'de gösterilen kromozomunun $x_1=0,527774$ ve $x_2=0,921612$ değerlerini temsil ettiği sonucuna varılır. Elde edilen değişken değerleri örnek konusu olan fonksiyona yerleştirildiğinde, kromozoma ait uygunluk değeri $f(0,527774, 0,921612) = 13,118590$ olarak elde edilir.

Fonksiyonun optimize edilmesi amacıyla uygulanacak olan GA'nın ilk aşaması başlangıç popülasyonunu oluşturmak olacaktır. Her biri 25 bitten oluşan ve tesadüfi olarak seçilen 10 adet kromozomdan oluşan başlangıç popülasyonu Tablo 3.8'de yer almaktadır. Görüldüğü gibi 3. kromozom en yüksek uygunluk değerine sahipken, 6. kromozom en düşük uygunluk değerine sahiptir. Başlangıç popülasyonunun toplam uygunluk değeri 111,598660 iken, ortalama uygunluk değeri 11,159866 olarak hesaplanmıştır.

Örnekte seçim operatörünün uygulanması için, rulet tekeri seçim yönteminin tercih edildiği varsayılarak işlemlere devam edilecektir. Her bir bireyin uygunluk değerinin toplam uygunluk değerine bölünmesi işlemi ile, başlangıç popülasyonunu oluşturan bireylerin seçilme olasılıkları elde edilecektir. Sonrasında ise seçilme olasılıklarının kümülatif toplamaları hesaplanacaktır. Tüm bu olasılık değerleri Tablo 3.9'da gösterilmiştir.

Tablo 3.8 : Başlangıç popülasyonu, değişkenlerin değerleri ve uygunluk fonksiyonu değerleri

Kromozomlar	X ₁ değeri	X ₂ değeri	Fonksiyonun Uygunluk Değeri
K ₁ = 0101001010011110001100010	-1,063973	3,322344	15,096187
K ₂ = 0111100101001011111011110	-0,157124	2,475458	13,104228
K ₃ = 0101100000010010101101111	-0,935783	2,019048	15,350976
K ₄ = 0110001010100001100011100	-0,688194	1,583150	13,701608
K ₅ = 0101110110011101101101000	-0,806129	3,139194	15,228939
K ₆ = 1110100010110110111111101	2,454279	3,623443	1,379004
K ₇ = 1101010000101011100100000	1,973019	2,336264	6,977771
K ₈ = 1011011110001001011110100	1,302039	1,553846	13,667884
K ₉ = 1111101011101100111001000	2,881333	2,834432	7,064599
K ₁₀ = 0011100010010111111011101	-1,674155	3,975092	10,027463
Toplam Uygunluk Değeri			111,598660
Ortalama Uygunluk Değeri			11,159866
Maksimum Uygunluk Değeri			15,350976

Tablo 3.9 : Kromozomların seçilme olasılıkları ve kümülatif olasılık değerleri

Kromozomlar	Kromozomların Seçilme Olasılıkları	Kümülatif Olasılıklar
K ₁	15,096187 / 111,598660 = 0,135272	0,135272
K ₂	0,117423	0,252695
K ₃	0,137555	0,390250
K ₄	0,122776	0,513026
K ₅	0,136462	0,649488
K ₆	0,012357	0,661845
K ₇	0,062525	0,724370
K ₈	0,122473	0,846843
K ₉	0,063304	0,910147
K ₁₀	0,089853	1,000000

Tablo 3.9'da görülen olasılık değerlerinden yararlanarak rulet tekeri 10 defa çevrilerek yeni popülasyon oluşturulmalıdır. Rulet tekerinin her bir çevriminde bir kromozom yeni popülasyona eklenecektir, böylece 10 adet kromozomdan oluşan yeni popülasyon elde dilecektir. Rulet tekeri seçim operatörünün uygulanabilmesi için ihtiyaç duyulan [0,1] aralığındaki rastsal sayılar Tablo 3.10'da yer almaktadır. Üretilen bu rastsal sayılar Tablo 3.9'un son sütununda hesaplanan kümülatif olasılıklar ile karşılaştırılarak, hangi kromozomların yeni popülasyonda yer alacağı belirlenecektir. Örneğin, ilk tesadüfi sayı olan 0,427463, 4. kromozoma ait kümülatif olasılığa denk geleceğinden yeni popülasyonun ilk bireyi 4. kromozom olacaktır. Benzer olarak diğer tesadüfi sayılar da değerlendirildiğinde, yeni popülasyon Tablo 3.11'de görüldüğü gibi oluşacaktır.

Tablo 3.10 : Rulet tekeri seçim yöntemi için üretilen rastsal sayılar

Sayı No.	Rastsal Sayı	Sayı No.	Rastsal Sayı	Sayı No.	Rastsal Sayı
1	0,427463	5	0,398887	9	0,641704
2	0,925724	6	0,312586	10	0,384576
3	0,453704	7	0,440391		
4	0,051997	8	0,292243		

Tablo 3.11 : Yeni popülasyonu oluşturan kromozomlar

Yeni Popülasyon Kromozomları		Başlangıç Popülasyonundaki Kromozom Karşılığı
K ₁	0110001010100001100011100	K ₄
K ₂	001110001001011111011101	K ₁₀
K ₃	0110001010100001100011100	K ₄
K ₄	0101001010011110001100010	K ₁
K ₅	0110001010100001100011100	K ₄
K ₆	0101100000010010101101111	K ₃
K ₇	0110001010100001100011100	K ₄
K ₈	0101100000010010101101111	K ₃
K ₉	0101110110011101101101000	K ₅
K ₁₀	0101100000010010101101111	K ₃

Yeni popülasyonun oluşturulmasının ardından çaprazlama operatörü uygulanacaktır. Ele alınan örnek için çaprazlama olasılığının (p_c) %25 olduğu varsayılmıştır, böylece yeni popülasyondaki kromozomlardan yaklaşık olarak %25'ine çaprazlama uygulanacağı söylenebilir. Hangi kromozomlara çaprazlama uygulanacağına karar vermek amacıyla [0,1] aralığında rastsal sayılar üretilir. Üretilen rastsal sayıların değerleri %25'ten küçük ise ilgili kromozomun çaprazlama için seçildiği sonucuna varılacaktır. Tablo 3.12'de çaprazlama operatörü uygulanacak kromozomları belirlemek amacıyla üretilen rastsal sayılar yer almaktadır.

Tablo 3.12 : Çaprazlama operatörü için üretilen rastsal sayılar ve çaprazlama için seçilen kromozomlar

Sayı No.	Rastsal Sayı	Karar	Sayı No.	Rastsal Sayı	Karar
1	0,761577	K ₁ 'e çaprazlama uygulanmayacak	6	0,154688	K ₆ 'ya çaprazlama uygulanacak
2	0,844414	K ₂ 'ye çaprazlama uygulanmayacak	7	0,281673	K ₇ 'ye çaprazlama uygulanmayacak
3	0,532368	K ₃ 'e çaprazlama uygulanmayacak	8	0,320747	K ₈ 'e çaprazlama uygulanmayacak
4	0,773599	K ₄ 'e çaprazlama uygulanmayacak	9	0,016904	K ₉ 'a çaprazlama uygulanacak
5	0,403718	K ₅ 'e çaprazlama uygulanmayacak	10	0,968559	K ₁₀ 'a çaprazlama uygulanmayacak

Tablo 3.12'de belirlenen rastsal sayılara göre K₆ ve K₉ kromozomları çaprazlama işlemi için seçilen bireylerdir. Çaprazlama yöntemi olarak tek noktalı çaprazlama uygulanacaktır. Çaprazlama noktası ise kromozom uzunluğuna bağlı olarak seçilecektir. Kromozom uzunluğu 25 bit olduğu için, çaprazlama noktası 1 ile 24 arasından rastsal olarak seçilmelidir. Verilen örnek için çaprazlama noktası rastsal bir seçim ile 17 olarak belirlenmiştir. Bu durumda çaprazlama operatörü Şekil 3.55'te görüldüğü gibi uygulanacaktır.

1. Ebeveyn (K' ₆)	<u>01011000000100101</u> 01101111
2. Ebeveyn (K' ₉)	01011101100111011 <u>01101000</u>
1. Yavru (K'' ₆)	01011000000100101 01101000
2. Yavru (K'' ₉)	01011101100111011 01101111

Şekil 3.55 : Seçilen ebeveyn kromozomlara tek nokta çaprazlama operatörünün uygulanması

Popülasyondaki ebeveyn kromozomların yerine, çaprazlama işlemi sonucunda üretilen yavru kromozomlar eklenerek popülasyonun son hali Tablo 3.13'te görüldüğü gibi oluşturulur.

Tablo 3.13 : popülasyonun son durumu

K' ₁	01100010101000011000111100
K' ₂	001110001001011111011101
K' ₃	01100010101000011000111100
K' ₄	0101001010011110001100010
K' ₅	01100010101000011000111100
K''₆	0101100000010010101101000
K' ₇	01100010101000011000111100
K' ₈	0101100000010010101101111
K''₉	0101110110011101101101111
K' ₁₀	0101100000010010101101111

Çaprazlama operatörü sonrasında mutasyon operatörü uygulanacaktır. Şema teoreminde de belirtildiği gibi mutasyon bit temelli olarak uygulanan bir operatördür. Mutasyonu uygulamadan önce popülasyonu oluşturan kromozomların toplam bit sayısının belirlenmesi gerekir. Ele alınan örnek için toplam bit sayısı, bir kromozomda bulunan bit sayısı (25) ile popülasyondaki toplam kromozom sayısının (10) çarpımı ile 250 olarak bulunacaktır. Örnek için mutasyon olasılığının (p_m) 0,01 olduğu varsayılmıştır. Bunun anlamı verilen örnekte oluşturulan her bir nesildeki yaklaşık 2,5 adet bitin mutasyona uğrayacağı şeklinde ifade edilebilir. Mutasyon operatörünün hangi bitlere uygulanacağını belirlemek amacıyla, her bir bit için toplam 250 adet rastsal sayı üretilir ve üretilen bu sayılardan 0,01'den küçük olanlar için mutasyon uygulanır. Üretilen rastsal sayılara göre mutasyona uğrayacak kromozomlar ve bitler Tablo 3.14'te gösterilmiştir.

Tablo 3.14 : Mutasyona uğrayacak bitlerin belirlenmesi için rastsal sayıların kullanımı

Rastsal Sayı	Bit Konumu	Kromozom Numarası	Kromozomdaki Bit Numarası
0,007112	26	2 (K'_2)	1
0,009899	28	2 (K'_2)	3
0,000768	106	5 (K'_5)	6
0,006326	165	7 (K'_7)	15
0,007925	220	9 (K''_9)	20

Popülasyonu oluşturan toplam 250 bit içerisinde üretilen rastsal sayılar yardımıyla 26, 28, 106, 165 ve 220 numaralı bitlerin mutasyona uğramaları kararı verilmiştir. Popülasyonda toplam 10 adet kromozom yer aldığından ve her bir kromozom 25 bit uzunluğunda olduğundan, mutasyona uğraması için seçilen değerlerin hangi kromozomda kaçınca bite ait oldukları bulunmalıdır. Bu işlemler Tablo 3.14'te yer almaktadır. Kromozomların ilgili bitlerine mutasyon operatörünün uygulanmış hali ise Tablo 3.15'te altı çizili bitler olarak görülmektedir.

Mutasyon operatörünün uygulanması sonucunda elde edilen nihai popülasyonu oluşturan kromozomlar, kromozomların temsil ettiği değişken değerleri ve her bir kromozomun uygunluk değeri Tablo 3.15'te gösterilmektedir.

Tablo 3.15 : Uygulanan GA operatörleri sonrası yeni popülasyonun son hali

Kromozomlar		X ₁ değeri	X ₂ değeri	Fonksiyonun Uygunluk Değeri
K ₁	0110001010100001100011100	-0,688194	1,583150	13,701608
K ₂	1001100010010111111011101	0,576120	3,975092	13,507476
K ₃	0110001010100001100011100	-0,688194	1,583150	13,701608
K ₄	0101001010011110001100010	-1,063973	3,322344	15,096187
K ₅	0110011010100001100011100	-0,594433	1,583150	13,207095
K ₆	0101100000010010101101000	-0,935783	2,013919	15,336010
K ₇	0110001010100011100011100	-0,688194	2,333333	15,357908
K ₈	0101100000010010101101111	-0,935783	2,019048	15,350976
K ₉	0101110110011101101001111	-0,806129	3,120879	15,283844
K ₁₀	0101100000010010101101111	-0,935783	2,019048	15,350976
Toplam Uygunluk Değeri				145,893688
Ortalama Uygunluk Değeri				14,589369
Maksimum Uygunluk Değeri				15,357908

Yapılan işlemler sonucunda tamamlanan bir iterasyon sonucunda Tablo 3.15'te görülen yeni popülasyon elde edilmiştir. Yeni popülasyonda 7. kromozom en yüksek uygunluk değerine sahipken, 5. kromozom en düşük uygunluk değerine sahiptir. Yeni popülasyonunun toplam uygunluk değeri 145,893688 iken, ortalama uygunluk değeri 14,589369 olarak hesaplanmıştır. Başlangıç popülasyonu değerleri ile karşılaştırıldığında toplam uygunluk değerinin 111,598660'tan 145,893688'e yükseldiği gözlenmiştir. Birinci iterasyonda uygulanan adımlar, belirlenen sayıda tekrarlandığında optimizasyon süreci tamamlanmış ve bir en büyükleme problemi için o zamana kadar elde edilen en yüksek uygunluk değeri sonuç olarak kabul edilmiş olacaktır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1. Araştırma Problemi

Bu çalışmada GA yöntemi kullanılarak ameliyathanelerde gerçekleştirilecek elektif ameliyatların çizelgelemesi yapılmıştır. Çalışmada, İstanbul'da faaliyet gösteren 500 yatak kapasiteli özel bir vakıf üniversitesi hastanesinin ameliyathanesi ele alınmıştır. Günümüzde diğer tüm hastanelerde olduğu gibi, çalışma konusu olan hastane için de ameliyathane en önemli birimlerden biridir. Ameliyathanelerde temel amaç hastaların tedavilerinin yapılmasını, ameliyat sürecinin güvenli bir şekilde tamamlanmasını ve tüm bu sürecin hasta açısından memnun edici bir şekilde algılanabilmesini sağlamaktır.

Cerrahi operasyonların gerçekleştirilmesi sürecinde ameliyathanelerde çeşitli problemler ile karşılaşılabilir. Ameliyathane planlama ve çizelgelenmesinde görev alan farklı birimlerden personel ile yapılan görüşmelere istinaden, çizelgeleme sürecinde yaşanan problemler aşağıda sıralanmıştır:

- Bir gün içinde gerçekleştirilmesi planlanan ameliyatların çizelgelenmesi amacıyla kullanılacak olan ameliyat odası sayısının, gerçekte ihtiyaç duyulandan fazla olması ameliyathanelerin çizelgelenmesinde karşılaşılan problemlerden biridir. Örneğin bir günde gerçekleştirilecek ameliyatların tümünün, mesai saatlerinin tam kapasiteli olarak kullanılması halinde toplam beş adet ameliyat odasında çizelgelenmesi mümkünken; aynı ameliyatların toplam yedi adet ameliyat odası kullanılarak çizelgelenmesi, ameliyathane yönetimi açısından kaynak israfına sebep olmaktadır.

- Çizelgelenecek toplam hasta sayısına ve bu hastaların operasyonlarının gerçekleştirildiği toplam ameliyat odası sayısına bağlı olarak; çizelgelerde fazla mesai blok zamanlarının kullanılması ihtiyacı oluşabilmektedir. Ameliyathane yöneticileri için, fazla mesai ekstra maliyet anlamına geldiğinden dolayı istenmeyen bir durum olarak değerlendirilmektedir.
- Bir hastanın çizelgeye atanabilmesi için, ameliyatı gerçekleştirecek doktorun uygun olması (başka bir ameliyatta görevlendirilmiş olmaması), hastanın cerrahi bölümüne bağlı olarak uygun bir ameliyat odasının ve zaman diliminin belirlenebilmesi gibi çeşitli koşulların sağlanması gerekmektedir. Ameliyathane planlama ve çizelgeleme ekibi için, tüm bu koşulları sağlayacak şekilde tüm hastaların çizelgeye atanabilmesini, günlük olarak yapılan toplantılarda el yordamıyla hazırlamak uzun zaman almaktadır. Ayrıca bu toplantılar zaman zaman bazı hastaların ameliyatlarının farklı bir güne ertelenmesi (sadece kısa süreli bir adet ameliyatın gerçekleştirilebilmesi için ayrı bir ameliyat odasının kullanıma açılmasını gerektirecek durumlarda) ile de sonuçlanabilmektedir.
- Oluşan acil ameliyat taleplerinin karşılanabilmesi için, mevcut çizelgelemede uygun bir boşluk bulunamaması durumunda (başlamış ameliyatların yarıda kesilmesi söz konusu olamayacağından dolayı), yeni bir ameliyat odasının kullanıma açılması sebebiyle ekstra maliyetler oluşabilmektedir.
- Kullanılan ameliyat odalarında operasyonların normal mesai saati bitiminden erken olarak tamamlanması durumunda ise, ameliyat odalarında boş bekleme zamanlarının oluşması söz konusu olmaktadır. Bu durumun sıklıkla tekrarlanması sebebiyle, ameliyathanenin kullanım oranının düşmesi sorunu ile karşılaşilmektedir.

Ameliyathanelerin çizelgelenmesinde karşılaşılan problemlere çözüm üretmek amacıyla,

- Ameliyatların yapılabilmesi için gerekli olan ameliyat odası sayısının mümkün olduğunca az sayıda olmasını sağlayarak, gereksiz olarak bir ameliyat odasının kullanıma açılmasını engellemek,
- Fazla mesai ihtiyacı yaratmadan ya da minimum düzeyde fazla mesai ihtiyacı ile, yapılması gereken ameliyatların çizelgelenmesini sağlamak,
- Günlük ameliyathane çizelgelerinin minimum düzeyde fazla mesai ihtiyacı ile ve minimum sayıda ameliyat odası kullanımı ile hazırlanmasını sağlarken, herhangi bir hastanın çizelgeye yerleştirilememesi durumunun (çizelgeye atanamayan hata sayısının) da minimum düzeyde olmasını sağlamak veya mümkün ise tamamen engellemek,
- Oluşabilecek acil ameliyat taleplerine hızlıca cevap verebilmek amacıyla çizelgelenecek ameliyatların bitiş zamanlarının mümkün olduğunca farklı zamanlarda olmasını sağlamak,
- Ayrıca, ameliyathane kullanım oranının artmasının sağlanması hedeflenmektedir.

Ameliyathane kullanım oranının artışı, kullanılan ameliyat odası sayısının minimum düzeyde olması ve fazla mesai kullanımının azaltılması ile sağlanabilmektedir. Bir başka ifade ile; kullanılan ameliyat odalarının, normal mesai zamanı içerisinde mümkün olduğunca boş kalmayacak şekilde çizelgelenmesi ile sağlanabilmektedir. Bu sebeple; çalışma kapsamında oluşturulan modelde bahsedilen ilk dört amaç için birer amaç fonksiyonu tanımlanırken, ameliyathane kullanım oranının artırılması amacına yönelik bir amaç fonksiyonu tanımlanmamıştır (Ozkarahan, 2000).

Sayılan tüm bu hedeflerden dolayı ameliyathane çizelgelemesi yapılırken bilimsel yöntemlerden faydalanılması gerekmektedir. Bu çalışmanın problem cümlesi; "Ameliyathanenin etkin bir şekilde kullanılması amacıyla yapılacak çizelgelemelerde, GA yöntemi ile uygun bir çizelge elde edilebilir mi?" şeklinde oluşturulmuştur. Çalışmada, ele alınan hastane için ideal ameliyathane çizelgelemesinin GA yöntemi ile mümkün olan en kısa sürede nasıl oluşturulacağı sorusunun cevabı aranmıştır.

4.2. Ameliyathanedeki Mevcut Çizelgeleme Sürecinin İncelenmesi

Çalışma kapsamında özel bir vakıf üniversitesi hastanesi bünyesindeki ameliyathane ele alınmıştır. Hastanede mevcut ameliyathane çizelgelemesinde kullanılmak üzere bir Ana Ameliyat Çizelgesi (MSS) oluşturulmamış olup, ameliyathanenin çizelgelenmesi süreci operasyonel karar verme seviyesinde gerçekleştirilmektedir. Elektif ameliyatlara çizelgelenmesi açık çizelgeleme yöntemi kullanılarak planlanmaktadır. Oluşan acil ameliyat talepleri ise, mümkün olan durumlarda elektif ameliyatlara arasında gerçekleştirilmekte ya da yeni kullanıma açılan bir ameliyat odasında gerçekleştirilmektedir. Acil bir ameliyatın elektif ameliyatlara arasına alınması durumunda, planlanmış ameliyatlara programında aksamalara sebep olabilmektedir.

Hastanenin iş akış düzenine göre; bir hastanın mevcut ameliyathane çizelgeleme sürecine dahil edilebilmesi için öncelikle ilgili cerrah tarafından ameliyat talebinin oluşturulması gerekmektedir. Oluşturulan ameliyat talebinin ardından, hasta ameliyat masrafları hakkında bilgilendirilmek üzere medikal muhasebe bölümüne yönlendirilir. Öngörülen ameliyat masraflarını kabul eden hastalar ameliyathanenin çizelgelenme sürecine dahil edilir.

Cerrahi operasyon için planlanan tarih; ameliyat talebinin oluşturulması anında hasta ve cerrahın ortak kararı ile belirlenebileceği gibi; hastanın medikal muhasebe bölümünden fiyat bilgisi aldığı anda medikal muhasebe personelinin ilgili cerrah ile iletişime geçmesi yoluyla da belirlenebilmektedir. Medikal muhasebe bölümündeki bu süreçte, cerrahi operasyon tarihinin belirlenmesi dışında operasyonun gerçekleştirileceği zaman dilimi de taslak olarak belirlenmektedir. Bu şekilde, oluşan masrafları kabul eden ve ameliyat kararı veren tüm hastaların yer aldığı bir taslak ameliyathane çizelgesi oluşturulmaktadır.

Ameliyatların planlanması sürecinde açık çizelgeleme tekniğinin kullanılması sebebiyle, ilk gelen hasta ilk olarak hizmet almaktadır. Bir başka ifade ile; ameliyat olma kararı alan ilk hasta belirlenen gün ve saate göre ameliyathane programına yerleştirilmekte, ardından gelen hasta ise programda kalan boşluklara yerleştirilmektedir. Bu şekilde medikal muhasebe personeline yapılan çizelgeleme ameliyathanenin etkin kullanılamamasına yol açmaktadır. Bu sebeple oluşturulan taslak ameliyathane çizelgesinin, ideal ameliyathane çizelgesi olmadığı söylenebilmektedir.

Taslak ameliyathane çizelgelerinin iyileştirilmesi amacıyla, her günün sonunda, bir sonraki günün ameliyathane çizelgelemesini değerlendirmek üzere bir toplantı yapılmaktadır. Bu toplantı ameliyathane koordinatör hekimi başkanlığında yürütülmekte olup; ameliyathanede görev alan hemşirelerin planlanması ile ilgilenen sorumlu hemşirenin ve medikal muhasebe bölümünden uzman bir personelin katılımı ile gerçekleştirilmektedir. Bu süreçte, taslak çizelge üzerinde çeşitli değişiklikler yapılmakta, ilgili cerrah ve hastaya bilgi verilerek ameliyatların saatlerinde değişiklikler yapılmaktadır. Yapılan bu değişiklikler ile taslak ameliyathane çizelgesinin iyileştirilmesi sağlanarak, ameliyathane kullanım oranının artması ve eş zamanlı olarak ameliyathanenin boş bekleme süresinin ise azaltılması amaçlanmaktadır. Aynı zamanda toplantıda hangi ameliyatın, hangi ameliyat odasında gerçekleştirileceğine de karar verilmektedir.

Ameliyatlara ilişkin ücretler medikal muhasebe bölümünce, hastaların ameliyata alınacağı gün tahsil edilmektedir. Bu süreçte hastalardan bir gün öncesinde ameliyat gün ve saati konusunda teyit alınmasına rağmen, zaman zaman ameliyattan son anda vazgeçen hastalar ile karşılaşılabilir. Son anda ortaya çıkan bu ameliyat iptalleri sebebiyle, ameliyathane çizelgelemesinde boşluklar oluşmakta ve ameliyathane kullanım oranı düşebilmektedir.

Ameliyathanelerin ortalama kullanım oranlarına dair yapılan araştırmalar, bu oranın ortalama %68 düzeyinde olduğunu göstermektedir (Rahimi et al., 2014). Çalışma konusu olan hastanede son altı ayda gerçekleştirilen operasyonlar için ameliyathane kullanım oranı incelendiğinde %24,54 seviyesinde olduğu gözlenmektedir. Bu oran dünya standartları ile karşılaştırıldığında, çalışmaya konu olan ameliyathanenin çizelgelenmesi ve kullanımında iyileştirilmeye ihtiyaç olduğu gözlemlenmiştir.

4.3. Araştırma Verilerinin Toplanması ve Düzenlenmesi

Araştırma verilerinin ilgili hastaneden alınabilmesi amacıyla, İstanbul Medipol Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 10.10.2019 tarih ve 10840098-604.01.01-E.55989 sayılı, Ek-1'de yer alan Etik Kurul Kararı alınmıştır. Araştırmanın modeli hastanede Nisan 2013 - Temmuz 2019 tarihleri arasında gerçekleştirilmiş olan, yaklaşık 76 aylık veriler doğrultusunda oluşturulmuştur. Belirtilen zaman periyodunda gerçekleştirilen toplam 68.071 adet cerrahi operasyona ait bilgiler araştırma verisinde yer almaktadır. Veri, cerrahi operasyonların başlangıç ve bitiş zamanlarını içermekle birlikte, operasyon öncesi (hastanın servisten istenmesi, hastanın ameliyathaneye varışı vb.) ve sonrasındaki (hastanın ameliyat odasından çıkarılması, hastanın servise gönderilmesi vb.) süreçlere ait zamanları içermektedir. Gerçekleşen ameliyatlara ilişkin tüm bilgiler,

ameliyathanede görevli bir personel tarafından şablonu hazırlanmış bir listeye el ile veri girişi yapılarak kayıt altına alınmıştır.

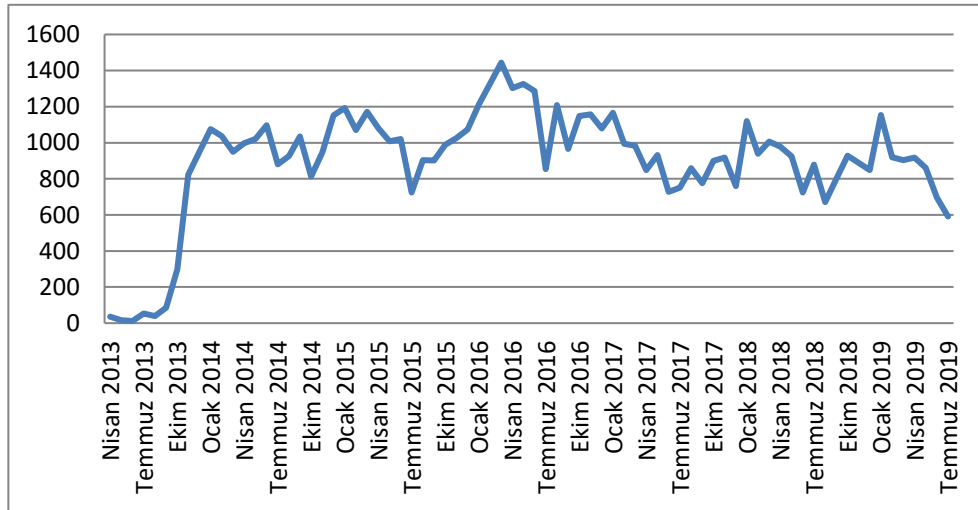
Çalışmada ele alınan hastanenin ameliyathanesinde gerçekleştirilecek cerrahi operasyonlar, pazartesi gününden cumartesi gününe kadar (cumartesi günü de dahil), altı gün için planlanabilmektedir. Pazar günü için ameliyat planlaması yapılmamakla birlikte, oluşabilecek acil cerrahi operasyon ihtiyacı için ameliyathanede nöbetçi personel bulundurulmaktadır. Ameliyatlar pazar günü dışındaki diğer günler için, mesai saatleri olan sabah saat 08:00'den akşam 18:00'a kadar planlanmaktadır. Çalışma verisinden elde edilen, haftanın günlerine göre gerçekleştirilen ameliyat sayıları dağılımı Tablo 4.1'de yer almaktadır. Ameliyat sayılarının dağılımı incelendiğinde, hafta içi günlerde gerçekleştirilen operasyon sayılarının birbirlerine yakın ve hafta sonuna kıyasla oldukça yüksek sayılarda olduğu gözlemlenmektedir. Sadece acil ameliyatların gerçekleştirildiği pazar gününde ise yapılan ameliyat sayısının oldukça düşük olduğu görülmüştür.

Tablo 4.1: Haftanın günlerine göre ameliyat sayılarının dağılımı

Günler	Ameliyat Sayıları
Pazartesi	12.591
Salı	12.264
Çarşamba	12.519
Perşembe	12.127
Cuma	11.815
Cumartesi	6.684
Pazar	71
Toplam	68.071

Çalışma verisi incelendiğinde ameliyathanede günde ortalama 36 adet ameliyatın gerçekleştirildiği görülmüştür. Hafta içi günlere kıyasla, daha az sayıda ameliyatın gerçekleştirildiği cumartesi ve pazar günleri değerlendirme dışında bırakıldığında ise; günlük gerçekleştirilen ortalama ameliyat sayısının 39 adet olduğu görülmektedir.

Gerçekleştirilen ameliyat sayılarının aylara göre dağılımını gösteren Şekil 4.1 incelendiğinde, çalışmada ele alınan tüm yıllar için Haziran – Eylül aylarına tekabül eden yaz dönemlerinde gerçekleştirilen ameliyat sayılarında azalmaların yaşandığı gözlemlenmektedir. Ocak 2016 ve Temmuz 2019 zaman aralığında gerçekleştirilen ameliyatlara aylara göre, günlük ortalama sayıları ise Tablo 4.2’de yer almaktadır. 2016 yılı şubat ayında 49 adet ameliyat ile gerçekleştirilen ameliyatlara ortalamasının en yüksek olduğu görülmektedir. 2017 yılı temmuz ayında ise yaklaşık 28 adet ameliyat ile en az günlük ortalama ameliyat sayısının elde edildiği göze çarpmaktadır.



Şekil 4.1: Aylara göre gerçekleştirilen ameliyat sayılarının dağılım grafiği

Tablo 4.2: 2016-2019 yılları arasında gerçekleştirilen ameliyat sayılarının aylara göre ortalamaları

Yıl – Ay	İş Günü Sayısı	Toplam Ameliyat Sayısı	Günlük Ortalama Ameliyat Sayısı
2016 Ocak	26	1212	46,6
Şubat	27	1327	49,1
Mart	30	1444	48,1
Nisan	29	1303	44,9
Mayıs	29	1325	45,7
Haziran	27	1287	47,7
Temmuz	24	853	35,5
Ağustos	27	1209	44,8
Eylül	22	966	43,9
Ekim	27	1149	42,6
Kasım	26	1157	44,5
Aralık	28	1079	38,5
2017 Ocak	27	1165	43,1
Şubat	26	993	38,2
Mart	28	983	35,1
Nisan	26	849	32,7
Mayıs	28	932	33,3
Haziran	23	727	31,6
Temmuz	27	751	27,8
Ağustos	28	859	30,7
Eylül	24	775	32,3
Ekim	26	900	34,6
Kasım	26	917	35,3
Aralık	26	759	29,2
2018 Ocak	27	1120	41,5
Şubat	24	938	39,1
Mart	27	1006	37,3
Nisan	25	978	39,1
Mayıs	27	925	34,3
Haziran	24	725	30,2
Temmuz	26	879	33,8
Ağustos	23	671	29,2
Eylül	25	800	32,0
Ekim	27	929	34,4
Kasım	26	889	34,2
Aralık	26	849	32,7
2019 Ocak	27	1153	42,7
Şubat	24	919	38,3
Mart	26	903	34,7
Nisan	26	917	35,3
Mayıs	27	860	31,9
Haziran	22	696	31,6
Temmuz	18	591	32,8

Çalışmanın verisinde yer alan bilgiler aşağıda sıranmış olup, her birine ait açıklamalar ilerleyen paragraflarda sırasıyla yer almaktadır:

- ✓ Hasta numarası
- ✓ Cerrahi bölümler
- ✓ Hastaların cinsiyet ve yaş bilgileri
- ✓ Ameliyatı gerçekleştiren cerrah veya cerrahlar
- ✓ Ameliyat kodu
- ✓ Ameliyatın gerçekleştiği ameliyat oda numarası
- ✓ Hastanın servise kabul edilme zamanı
- ✓ Hastanın ameliyathaneden istenme zamanı
- ✓ Hastanın ameliyathaneye geliş zamanı
- ✓ Hastanın ameliyat odasına giriş zamanı
- ✓ Hastaya anestezi verilmeye başlangıç zamanı
- ✓ Planlanan ameliyat başlangıç zamanı
- ✓ Planlanan ameliyat bitiş zamanı
- ✓ Gerçekleşen ameliyat başlangıç zamanı
- ✓ Gerçekleşen ameliyat bitiş zamanı
- ✓ Hastanın ameliyat odasından çıkış zamanı
- ✓ Hastanın servise gönderilme zamanı

Hasta Numarası: Hasta numarası, hastaneye poliklinik, ameliyat ya da herhangi başka bir hizmet için başvuran tüm hastalar için oluşturulan bir numaradır. Bir başka ifade ile hasta numarası, hastanın hastanedeki kimlik numarası olarak da tanımlanabilmektedir. Bir hastanın hastaneye farklı zamanlarda birden fazla sayıda başvurması durumunda, hastanın ilk başvurusunda tanımlanmış olan hasta numarası kullanılarak işlemleri gerçekleştirilmektedir. Hasta numarası yardımıyla takip edilen hastalara, ele alınan hastanede uygulanan cerrahi operasyonların tamamının cerrah tarafından görülebilmesi sağlanmaktadır.

Hasta numaraları incelendiğinde araştırma verisinde yer alan toplam 58.439 farklı hastanın cerrahi operasyonunun gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu hastaların %86,60'ı sadece bir adet cerrahi operasyon geçirirken, %13,40'ının ise birden fazla sayıda operasyon geçirdiği görülmüştür.

Cerrahi Bölümler: Çalışma verisinde 15 farklı grupta toplanan cerrahi bölümler yer almaktadır. Cerrahi bölüm isimleri, her bir bölüm kapsamında gerçekleştirilen cerrahi operasyon sayıları ve oranları Tablo 4.3'te yer almaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan hastanede en çok Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ile Kadın Hastalıkları ve Doğum bölümlerine ait ameliyatlar gerçekleştirilmiştir. Bu bölümlerin ardından en çok ameliyat gerçekleştirilen bölüm Göz Hastalıklarına aittir.

Tablo 4.3: Çalışma verisinde yer alan cerrahi bölümlerde gerçekleştirilen ameliyat sayıları ve oranları

Cerrahi Bölüm	Ameliyat Sayısı	% Oranı
Ağız Diş ve Çene Cerrahisi	469	% 0,69
Beyin ve Sinir Cerrahisi	2.148	% 3,16
Çocuk Cerrahisi	2.836	% 4,17
Genel Cerrahi	7.563	% 11,11
Göğüs Cerrahisi	628	% 0,92
Göz Hastalıkları	10.608	% 15,58
Kadın Hastalıkları ve Doğum	12.654	% 18,59
Kalp Damar Cerrahisi	2.432	% 3,57
Kulak Burun Boğaz Hastalıkları	12.462	% 18,31
Organ Nakli	805	% 1,18
Ortopedi ve Travmatoloji	6.725	% 9,88
Parkinson Cerrahisi	333	% 0,49
Plastik ve Rekonstrüktif Cerrahi	2.528	% 3,71
Tüp Bebek	1.638	% 2,41
Üroloji	4.242	% 6,23
Toplam	68.071	%100,00

Hastaların Cinsiyet ve Yaş Bilgileri: Ameliyat talebi ile başvuran her bir hastanın kişisel bilgileri kayıt altına alınmaktadır. Araştırma verisinde yer alan cerrahi operasyonların %56,34'ünün kadın hastalara ait olduğu, %43,66'sının ise erkek hastalara ait olduğu görülmüştür.

Ayrıca verinin içerdiği zaman aralığında cerrahi operasyon geçiren en genç hastanın 17 günlük olduğu, en yaşlı hastanın ise 104 yaşında olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, ameliyat olan hastaların yaklaşık olarak %52'sinin 21 ile 50 yaş aralığında olduğu görülmüştür.

Ameliyatı Gerçekleştiren Cerrah veya Cerrahlar: Hastane kayıtlarında her bir ameliyatı gerçekleştiren cerrah ya da cerrahlara ait bilgiler düzenli olarak tutulmaktadır. Çalışma verisinin kapsadığı zaman aralığı içerisinde gerçekleştiren ameliyatlarda 306 farklı cerrahın görev aldığı görülmüştür. Gerçekleştirilen cerrahi operasyonlarda, ihtiyaç duyulan cerrahi müdahalenin türü ve içeriğine bağlı olarak operasyonu gerçekleştirecek cerrahların sayısı değişiklik gösterebilmektedir. Gerçekleştirilen operasyonların %91'i sadece bir adet cerrah tarafından gerçekleştirilirken, %9'u iki ya da daha fazla sayıda cerrah tarafından gerçekleştirilmiştir.

Ameliyat Kodu: Sosyal Güvenlik Kurumu tarafından hazırlanan Sağlık Uygulama Tebliği'nde (SUT), sağlık ile ilgili her bir işlemi tanımlayan kodlar kullanılmaktadır (Sosyal Güvenlik Kurumu Sağlık Uygulama Tebliği, 2013). Çalışma verisinde her bir ameliyat özelinde yapılan işlemlere ilişkin ameliyat kodları kullanılarak, operasyonlarda yapılan işlemler belirtilmiştir.

Ameliyatın Gerçekleştiği Ameliyat Oda Numarası: Çalışmanın yapıldığı hastanenin ameliyathanesinde toplam 25 ameliyat odası bulunmaktadır. Ameliyat odalarının içerdikleri teknolojik ekipmanların farklılıkları sebebiyle, her ameliyat odasında, her cerrahi operasyon gerçekleştirilememektedir. Bazı ameliyat odaları bir cerrahi bölüm için özel olarak ayrılmakla birlikte, ilgili bölüme ait bir hasta

olmaması durumunda başka cerrahi bölüm ya da bölümlerce kullanılabilir. Bu doğrultuda; ameliyathane planlama ve çizelgeleme ekibi tarafından 14 farklı cerrahi bölümün, 25 adet ameliyat odasını nasıl kullanabileceği belirlenmiştir. Her bir ameliyat odası için öncelikli olan bölümlerin ve öncelikli bölümlere ait hasta olmaması durumunda her bir ameliyat odasını kullanabilecek olan diğer bölüm ya da bölümlerin gösterimi Tablo 4.4'te yer almaktadır. 21, 22, 23, 24 ve 25 numaralı beş adet ameliyat odasında öncelikli olmayan tüm cerrahi bölümlere (Ağız Diş ve Çene Cerrahisi, Göğüs Cerrahisi ve Tüp Bebek) ait ameliyatların gerçekleştirilebilmesi sebebiyle, tabloda bu ameliyat odalarına yer verilmemiştir.

Tablo 4.4: Ameliyat odalarına öncelikli olan cerrahi bölümler ve önceliksiz cerrahi bölümlerin dağılımı

Amel. Od. No.	Öncelikli Cerrahi Bölüm	Diğer Cerrahi Bölümler
1	Kalp damar cerrahisi	-
2	Kalp damar cerrahisi	-
3	Kadın hastalıkları ve doğum	Kulak burun boğaz hastalıkları
4	Kadın hastalıkları ve doğum	Öncelikli operasyonlar dışındaki tüm vakalar
5	Çocuk cerrahisi	Öncelikli operasyonlar dışındaki tüm vakalar
6	Organ nakli	Öncelikli operasyonlar dışındaki tüm vakalar
7	Organ nakli / Genel cerrahi	Öncelikli operasyonlar dışındaki tüm vakalar
8	Genel cerrahi	Kulak burun boğaz hastalıkları
9	Üroloji	Öncelikli operasyonlar dışındaki tüm vakalar
10	Göz hastalıkları	-
11	Göz hastalıkları	-
12	Kulak burun boğaz hastalıkları	-
13	Kulak burun boğaz hastalıkları	-
14	Plastik ve rekonstrüktif cerrahi	Kulak burun boğaz hastalıkları
15	Beyin ve sinir cerrahisi	Öncelikli operasyonlar dışındaki tüm vakalar
16	Beyin ve sinir cerrahisi	Öncelikli operasyonlar dışındaki tüm vakalar
17	Ortopedi ve travmatoloji	-
18	Ortopedi ve travmatoloji	-
19	Parkinson cerrahisi	Kulak burun boğaz hastalıkları
20	Ortopedi ve travmatoloji	-

Çalışmada ameliyatların uygun ameliyat odalarına atanabilmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla Tablo 4.5'te her bir cerrahi bölümün gerçekleştirilebileceği ameliyat oda numaraları gösterilmiştir. Doğru çizelgelemenin yapılabilmesi için, tabloda yer alan bilgiler çizelgelemenin GA yöntemi ile gerçekleştirilebilmesi için yazılan koda yerleştirilmiştir.

Tablo 4.5: Her bir cerrahi bölüme ait ameliyatın yapılabileceği ameliyat odası numaraları

Cerrahi Bölümler	Operasyonların Yapılabileceği Ameliyat Odaları
Ağız Diş ve Çene Cerrahisi	4,5,6,7,9,15,16,21,22,23,24,25
Beyin ve Sinir Cerrahisi	15,16
Çocuk Cerrahisi	5
Genel Cerrahi	7,8
Göğüs Cerrahisi	4,5,6,7,9,15,16,21,22,23,24,25
Göz Hastalıkları	10,11
Kadın Hastalıkları ve Doğum	3,4
Kalp Damar Cerrahisi	1,2
Kulak Burun Boğaz Hastalıkları	3,8,12,13,14,19
Organ Nakli	6,7
Ortopedi ve Travmatoloji	17,18,20
Parkinson Cerrahisi	19
Plastik ve Rekonstrüktif Cerrahi	14
Tüp Bebek	4,5,6,7,9,15,16,21,22,23,24,25
Üroloji	9

Hastanın Servise kabul edilme Zamanı: Hastanın servise kabul edilme tarihi yatan hastalar için, hastanın hastanede kalmaya başladığı tarih ve saat olarak tanımlanabilmektedir. Bazı hastalar ameliyat günü sabahında hastaneye gelerek servise kabul edilebildiği gibi, bazı hastaların ise ameliyat öncesinde bir süre hastanede yatış yapmaları gerekebilmektedir.

Hastanın Ameliyathaneden İstenme Zamanı: Cerrahi operasyon saati yaklaştığında, hastanın ameliyat hazırlıklarının başlatılması gerekmektedir. Bu amaçla yatan hastalar bulundukları servisten, ameliyathaneye getirilmek üzere istenmektedir. Yatan hasta olmayan, ameliyat gün ve saatinde hastaneye gelen hastalar ise, medikal muhasebe departmanında ödeme işlemlerini tamamladıktan sonra ameliyat için beklemeleri gereken alana yönlendirilmektedirler.

Hastanın Ameliyathaneye Geliş Zamanı: Yatan hastaların ameliyathaneye getirildikleri an, hastanın ameliyathaneye geliş zamanı olarak adlandırılmaktadır. Hastaların ameliyathaneden istenme ve ameliyathaneye geliş zamanları arasında geçen zaman farkı "hastanın ameliyathaneye geliş süresi" olarak adlandırılmaktadır. Ameliyathaneye geliş süreleri, hastaların yatış yaptıkları servisin bina içerisinde bulunduğu blok ve kata göre değişiklik gösterebilmektedir. Çalışma verisi incelendiğinde yatan hastaların ameliyathaneye geliş süreleri ortalaması yaklaşık olarak 11 dakika olarak hesaplanmıştır. Yatan hasta olmayan yani ameliyat gün ve saatinde hastaneye gelen hastaların servisten istenmeleri durumu söz konusu olmadığından, bu süre hesaplanamamaktadır.

Hastanın Ameliyat Odasına Giriş Zamanı: Hastanın ameliyat odasına giriş zamanı, hasta açısından ameliyat hazırlıklarının başlaması anlamına gelmektedir. Hazırlıkların tamamlanmasının ardından, hasta operasyonun gerçekleştirileceği ameliyat odasına alınır ve ardından operasyon gerçekleştirilir.

Hastaya Anestezi Verilmeye Başlama Zamanı: Hastanın ameliyat odasına girişi ve anestezi verilmeye başlanması arasında geçen süre, hastanın ameliyata hazırlık süresi olarak adlandırılmaktadır. Hastanın anestezi ile uyutulmasının akabinde cerrahi operasyon başlatılmaktadır.

Planlanan Ameliyat Başlangıç ve Bitiş Zamanı: Planlanan ameliyat başlangıç zamanı, her bir ameliyatın başlatılması için önceden belirlenmiş olan tarih ve zamanı ifade etmektedir. Benzer olarak, planlanan ameliyat bitiş zamanı ise önceden belirlenmiş olan ameliyatın biteceği tarih ve zamanı ifade etmektedir. Planlanan ameliyat başlangıç ve bitiş zamanları arasındaki fark ise bir ameliyatın gerçekleştirilmesi için öngörülen toplam zamanı ifade etmektedir ve ameliyatın planlanan süresi olarak tanımlanmaktadır. Planlanan ameliyat süresi, ameliyatın ait olduğu cerrahi bölüme ve ameliyatın içeriğine bağlı olarak değişebilmektedir.

Gerçekleşen Ameliyat Başlangıç ve Bitiş Zamanı: Gerçekleşen ameliyat başlangıç zamanı, cerrahın bir ameliyata başladığı tarih ve zaman olarak tanımlanırken; gerçekleşen ameliyat bitiş zamanı ise cerrahın ameliyat yarasını kapatması ile ameliyatı bitirdiği tarih ve zaman olarak tanımlanabilmektedir. Gerçekleşen ameliyat başlangıç zamanı ile gerçekleşen ameliyat bitiş zamanı arasında geçen süre, ameliyat için harcanan toplam süreyi ifade etmektedir.

Bir ameliyatın planlanan bitiş zamanından geç bitirilmesi, aynı ameliyat odasında yapılacak bir sonraki ameliyatın geç başlamasına sebep olacaktır. Ameliyatın planlanan süreden erken bitmesi durumunda ise, bir sonraki planlanan ameliyat başlayana kadar ameliyat odasının boş kalmasına yol açacaktır, bu da ameliyathane kullanım oranını düşürecektir.

Hastanın Ameliyat Odasından Çıkış Zamanı: Cerrahın hastanın ameliyat yarasını kapması ile ameliyat süreci tamamlanmış olur ve ardından hastanın anestezi etkisinden çıkma süreci başlar. Ameliyatın tamamlanmasının ardından; hastanın uyanma odasına transfer edilme zamanı, hastanın ameliyat odasından çıkış zamanı olarak adlandırılır. Hastanın odadan çıkarılması ile, ameliyat odasında bir sonraki operasyonun başlayabilmesi için gerekli hazırlıklar yapılır.

Hastanın Servise Gönderilme Zamanı: Hastanın ameliyat ve uyanma sürecinin tamamlanmasının ardından, bulunduğu servise geri gönderilme zamanı, hastanın servise gönderilme zamanı olarak tanımlanmaktadır. Ameliyat odasından çıkış zamanı ile hastanın servise gönderilme zamanı arasında geçen süre de hastanın uyanma süresi olarak tanımlanmaktadır.

4.4. Ameliyathane Çizelgeleme Yaklaşımı

Çizelgeleme problemlerinin ilk olarak üretim işletmelerinde ortaya çıkması sebebiyle sıklıkla kullanılan “makine” terimi yerine, ameliyathanelerin çizelgelenmesinde ameliyat odaları kullanılmaktadır. Her bir ameliyat odası bir makine olarak düşünülüp, makinelere gelen işler ise, cerrahi operasyon vakaları olarak kabul edilmektedir.

Çalışma kapsamında incelenen ameliyathanede bazı cerrahi operasyon türlerinin gerçekleştirilebileceği ameliyat oda numaraları net olarak belirlenmişken, bazı cerrahi bölümlere ait ameliyatlara uygun olan herhangi bir ameliyat odasında gerçekleştirilebilmektedir. Bu sebeple, farklı tipteki cerrahi operasyon türlerinin planlanabilmesi, farklı çizelgeleme yaklaşımlarına benzetilmiştir. Tablo 4.6'da her bir cerrahi bölüm için uygun olan çizelgeleme yaklaşımı gösterilmiştir.

Örneğin parkinson cerrahisi operasyonları sadece 19 numaralı ameliyat odasında gerçekleştirilebildiğinden dolayı, bu cerrahi bölüme ait çizelgeleme süreci "Tek makineli çizelgeleme" problemine benzetilebilmektedir (Stuart & Kozan, 2012). 19 numaralı ameliyat odası işletmenin sahip olduğu “tek makine” olarak düşünülürse, operasyon geçirmek için bekleyen parkinson cerrahisi hastaları ise işletmenin bu tek makinesinde işlem görmek için sıra bekleyen işler olarak düşünülecektir.

Farklı olarak kalp damar cerrahisi operasyonları 1 ve 2 numaralı ameliyat odalarında gerçekleştirilebildiğinden, bu cerrahi bölüme ait çizelgeleme süreci "Paralel makineli çizelgeleme" problemine benzetilebilmektedir (Arnaout, 2010) (Huang et al., 2012). Tamamen aynı özelliklere sahip olan 1 ve 2 numaralı ameliyathaneler eş makineler olarak düşünülürse, operasyon geçirmek için bekleyen kalp damar cerrahisi hastaları ise bu eşdeğer ameliyat odalarından uygun (boş) olanına sırayla alınacaktır.

Genel cerrahi ve tüp bebek gibi bölümlerin cerrahi operasyonları ise öncelikli bölümlere ayrılmış olan odalar dışında kalan, tüm ameliyat odalarında gerçekleştirilebilir olduklarından dolayı; bu cerrahi bölümlere ait çizelgeleme süreci "açık çizelgeleme" yaklaşımına benzetilebilmektedir. Bu tür cerrahi operasyonlar; ameliyathane çizelgesinde kendileri için belirlenmiş olan herhangi bir ameliyat odasında, uygun bir zaman bloğuna yerleştirilebilirler (H. Fei et al., 2010) (Bouguerra et al., 2015).

Tablo 4.6: Çizelgeleme yaklaşımlarına göre cerrahi bölümlerin sınıflandırılması

Çizelgeleme Yaklaşımı	Cerrahi Bölümler
Tek Makineli Çizelgeleme	Çocuk Cerrahisi Parkinson Cerrahisi Plastik ve Rekonstrüktif Cerrahi Üroloji
Paralel Makineli Çizelgeleme	Beyin ve Sinir Cerrahisi Göz Hastalıkları Kadın Hastalıkları ve Doğum Kalp Damar Cerrahisi Organ Nakli Genel Cerrahi Ortopedi ve Travmatoloji Kulak Burun Boğaz Hastalıkları
Açık Çizelgeleme	Ağız Diş ve Çene Cerrahisi Göğüs Cerrahisi Tüp Bebek

4.5. Araştırmanın Kapsamı, Sınırlılıkları ve Varsayımları

Ameliyathane çizelgeleme problemi; hastaların cerrahi operasyonlarının ve bu operasyonları gerçekleştirecek olan cerrahların, zaman bloklarına ve uygun ameliyat odalarına atanması konularında, günlük hasta bekleme listelerinden faydalanılmasını içermektedir. Bu sürece ek olarak, bir cerrahi operasyonun gerçekleştirilebilmesi için cerrah dışında ihtiyaç duyulan hemşire, anestezi uzmanı gibi insan faktörlerinin de doğru bir şekilde çizelgelenmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, ameliyathane personelinin yeterli sayıda olduğu ve ameliyatlardan sonrasında hastaların transfer edildiği uyanma odasında yeterli sayıda yatak olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca çizelgelenmiş hastaların tümünün, belirtilen operasyon gününde hazır olduğu varsayılmaktadır.

Çalışmada günlük ameliyathane çizelgeleri oluşturulurken, eş zamanlı olarak çizelgelenen ameliyatlardan gerçekleştirecek olan doktorların da kontrol edilmesi sağlanmıştır. Herhangi bir ameliyatı gerçekleştirecek olan doktorun, aynı zaman diliminde başka bir ameliyat odasında görevlendirilmesi gibi bir doktor çakışmasının yaşanması önlenmiştir. Çalışma verisinde yer alan ameliyatlardan %91'i sadece bir adet doktor tarafından gerçekleştirilirken, %9'u ise iki veya daha fazla sayıda doktor tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada çizelgelemeler gerçekleştirilirken, doktor çakışmasının önlenmesi amacıyla sadece ameliyatı gerçekleştiren birinci doktor adı göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelgelenen herhangi bir günde görev alacak olan doktorlar, hastanedeki mevcut çizelgeleme süreci gereğince oluşturan taslak çizelgeye istinaden, ilgili gün görevlerinin bulundukları hakkında bilgi sahibidirler. Ancak, taslak çizelgenin gerçek çizelgeye dönüştürülmesi ile ameliyatlardan başlangıç zamanlarında değişiklikler yaşanmaktadır. Çalışmada doktorların, ameliyat başlangıç zamanındaki değişikliklere her zaman hazır olduğu varsayılmıştır.

Ameliyathane sürecinde gerçekleştirilen cerrahi operasyonlar iki grup olarak sınıflandırılmaktadırlar: Bu gruplardan ilki yapılması önceden planlanmış olan elektif ameliyatlar, diğeri ise rastsal olarak ortaya çıkan acil ameliyatlardır. Acil ameliyatlar öngörülemez olduklarından dolayı, çalışma kapsamında hazırlanan çizelgede dikkate alınmamışlardır (Roland, Di Martinelly, Riane, & Pochet, 2010). Ancak oluşabilecek acil ameliyatların; yeni bir ameliyat odasını kullanıma açmadan, çizelgelenmiş elektif ameliyatlar arasında (bir elektif ameliyat bir ameliyat odasında başladığında, yarıda kesilmesi söz konusu olamaz), mümkün olan en kısa bekleme süresi ile gerçekleştirilmesine imkan tanıyan bir çözüm önerisi çalışmada sunulmuştur.

Çalışmada ele alınan hastanede 15 farklı cerrahi bölüme ait ameliyatlar gerçekleştirilmektedir. Her ameliyat için, gerçekleşen ameliyat başlangıç ve bitiş zamanı bilgileri çalışma verisinde yer almaktadır. Bu bilgiler kullanılarak, her bir cerrahi bölümün ortalama ameliyat süresi (dakika cinsinden) elde edilmiştir (H. Fei et al., 2010). Ameliyathanelerin çizelgelenmesi üzerine daha önceden yapılan çalışmalarda, zaman bloklarının birer saatlik periyotlardan oluştuğu gözlemlenmiştir (Conforti, Guerriero, & Guido, 2010). Bu çalışmada, ameliyathane planlama ve çizelgeleme ekibinin uzman görüşleri doğrultusunda, çizelgeleme sürecinde hassasiyeti sağlamak amacıyla 1/2 saatlik blok zaman dilimlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu sebeple her bir cerrahi bölüm için dakika cinsinden elde edilen operasyon süreleri, blok zaman dilimlerine dönüştürülmüştür. Tablo 4.7'de farklı cerrahi bölümlere ait ameliyatlarının kaç adet blok zamanda gerçekleştirilebileceğine dair bilgiler yer almaktadır. Her bir operasyon sonrasında ameliyat odasının temizlenme ve dezenfekte edilmesi için ihtiyaç duyulan süreler, belirlenen ameliyat sürelerine dahil edilmiştir (Bouguerra et al., 2015). Çalışmada cerrahi bölümlere ait ameliyat sürelerinin sabit olduğu kabul edilmiştir. Ancak oluşturulan GA modelinin tasarımındaki esneklik, bunu bir varsayım olmaktan çıkarmıştır. GA analizini yapabilmek için kullanılan girdilerde, her bir ameliyatın blok zaman sayısı (ameliyat süresi) değiştirilebilmektedir. Çalışmada, GA analizi için yazılan kod bu değişikliğe uyum sağlayabilir nitelikte tasarlanmıştır.

Tablo 4.7 Cerrahi bölümlere ait operasyonların gerçekleştirileceği blok zaman dilimi sayıları

Cerrahi Bölümler	Blok Zaman Dilimi Sayısı
Ağız Diş ve Çene Cerrahisi	8
Beyin ve Sinir Cerrahisi	6
Çocuk Cerrahisi	3
Genel Cerrahi	4
Göğüs Cerrahisi	5
Göz Hastalıkları	2
Kadın Hastalıkları ve Doğum	3
Kalp Damar Cerrahisi	8
Kulak Burun Boğaz Hastalıkları	4
Organ Nakli	10
Ortopedi ve Travmatoloji	5
Parkinson Cerrahisi	4
Plastik ve Rekonstrüktif Cerrahi	5
Tüp Bebek	2
Üroloji	4

Çalışmada, ait oldukları cerrahi bölümler ne olur olsun, çizelgelenecek olan ameliyatların tümünün önem derecelerinin eşit olduğu varsayılmıştır.

Çalışmaya konu olan ameliyathanenin mesai başlangıç ve bitiş zamanları göz önünde bulundurulduğunda, ameliyathanenin normal mesai süresinde 20 adet blok zamana sahip olabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca ameliyathanede fazla mesai olarak izin verilen maksimum süre göz önünde bulundurulduğunda, fazla mesai zaman bloğu sayısı 10 adet olarak belirlenmiştir. Ameliyathanedeki tüm ameliyat odalarının mesai başlangıç ve bitiş zamanları aynı olarak kabul edilmiş olup, her bir çizelge gününde her bir ameliyat odası için kullanılabilir 30 adet blok zamanın var olduğu kabul edilmiştir.

Çalışmada GA yönteminin uygulanması amacıyla oluşturulan uygunluk fonksiyonunun, dört farklı bileşenden oluştuğu kabul edilmiş olup, bu bileşenlerin her biri için maliyet değerleri belirlenmiştir. Uygunluk fonksiyonuna dair gerekli açıklamalar ilgili başlık altında detaylı olarak açıklanmıştır.

4.6. Araştırmanın Matematiksel Formülasyonu

Bu çalışmada geliştirilen model yardımıyla hastaneye ameliyat talebi ile başvuran elektif hastaların cerrahi operasyonlarının, toplam maliyeti en küçükleyecek şekilde çizelgelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada hastaların çizelgelenmesi, oluşturulan modelde yer alan kısıtlar ve ameliyathanenin sahip olduğu kısıtlı kaynaklar göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Sunulan modelin öncelikli amacı çizelgeleme ile oluşan maliyetin en küçüklenmesidir. Bu kapsamda, belirlenen her bir amaç için ceza fonksiyonları oluşturulmuştur. Ceza fonksiyonlarının en küçüklenmesi ile eş zamanlı olarak, ameliyathane kullanım oranının artırılması da oluşturulan model yardımıyla sağlanmıştır.

Tablo 4.8’de çalışmanın matematiksel modelinde yer alan indis, parametrelere ve karar değişkenlerine ait açıklamalar yer almaktadır. Çalışmada ele alınan amaç fonksiyonu (Denklem 4.1) 4 farklı amaç içermektedir. 1.amaç (Denklem 4.2) çizelgelemede kullanılan toplam ameliyat odası sayısına bağlı olarak oluşan maliyet değerini minimize etmektedir. 2.amaç (Denklem 4.3) çizelgede kullanılan fazla mesai blok zamanları sebebiyle oluşan maliyetlerin minimize edilmesini sağlamaktır. 3.amaç (Denklem 4.4) çizelgeye atanamayan hastaların oluşturacağı maliyeti minimize etmektedir. 4.amaç (Denklem 4.5) ise bir ameliyat bitişine sahip olmayan zaman blokları sebebiyle oluşan maliyetlerin minimize edilmesini sağlamaktır.

Tablo 4.8 : Çalışmanın matematiksel modeline ait indis, parametre ve karar değişkenleri

İNDİSLER	
i	: Elektif hasta sayısı $i \in \{1, \dots, I\}$
t	: Toplam zaman bloğu indisi $t \in \{1, \dots, T\}$
k	: Fazla mesai zaman bloğu indisi $k \in \{1, \dots, K\}$
m	: Ameliyat odası indisi $m \in \{1, \dots, M\}$
l	: Cerrah indisi $l \in \{1, \dots, L\}$
PARAMETRELER	
AOM	: Bir ameliyat odasının kullanıma açılmasının sabit maliyeti
FMM	: Fazla mesai zaman bloğu maliyeti (maliyet/zaman bloğu)
AHM	: Bir hastanın çizelgeye yerleştirilememesi maliyeti
BIMM	: Ameliyat bitişi olmayan zaman bloğu maliyeti (maliyet/zaman bloğu)
AS _i	: i hastasının ameliyat süresi
Maks_t	: Bir ameliyatın tamamlanabileceği maksimum süre
t _i	: i hastasının ameliyat başlangıç zamanı
ABZ _i	: i hastasının ameliyat bitiş zamanı
KARAR DEĞİŞKENLERİ	
a _{im}	: Eğer i hastası m ameliyat odasına atandıysa 1, aksi halde 0'dır
b _{mk}	: Eğer m ameliyat odası k zamanında dolu ise 1, aksi halde 0'dır
c _m	: Eğer m ameliyat odası kullanıma açıldıysa 1, aksi halde 0'dır
d _i	: Eğer i hastası çizelgeye atandıysa 1, aksi halde 0'dır
e _t	: Eğer t zamanında bir ameliyat bitmediyse 1, aksi takdirde 0'dır ($e_1=0$ ve $e_T=0$)
x _{itm}	: Eğer i hastası için t zamanında m ameliyat odasında ameliyat başlarsa 1, aksi takdirde 0'dır
y _{itm}	: Eğer l doktoru t zamanında m ameliyat odasında ameliyat yapıyorsa 1, aksi takdirde 0'dır

$$\text{Min } (1.\text{Amaç} + 2.\text{Amaç} + 3.\text{Amaç} + 4.\text{Amaç}) \quad (4.1)$$

$$1.\text{Amaç} = \sum_{m \in M} (AOM \times c_m) \quad (4.2)$$

$$2.\text{Amaç} = \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} (FMM \times b_{mk}) \quad (4.3)$$

$$3.Amaç = \sum_{i \in I} (AHM \times d_i) \quad (4.4)$$

$$4.Amaç = \sum_{t \in T} (BIMM \times e_t) \quad (4.5)$$

Uygun bir çizelgede, bir ameliyat odasına aynı blok zamanda sadece bir adet hasta atanabilmektedir. Bu doğrultuda, Denklem 4.6 aynı zaman diliminde her ameliyat odasına en fazla 1 adet hastanın atanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i \in I} x_{itm} \leq 1 \quad (4.6)$$

Uygun bir çizelgede; herhangi bir ameliyatın bitiş zamanı, mevcut olan son blok zamandan fazla olmamalıdır. Bir başka ifade ile, ameliyathane kapandıktan sonra (mesai bitiş süresinden sonra) bir ameliyatın tamamlanması mümkün değildir. Denklem 4.7 ile hastaların ameliyat bitiş zamanlarının, ameliyathanenin son çalışma zamanından fazla olması önlenmektedir.

$$ABZ_i \leq Maks_t \quad (4.7)$$

Denklem 4.7’de belirtilen koşula istinaden; öncelikle bir hastaya ait ameliyatın başlatılabilmesi için mümkün olan en geç zamanın belirlenmesi gerekmektedir. İlgili ameliyatın belirlenen bu zamandan erken başlayabilmesi mümkündür. Ancak daha geç başlayabilmesi söz konusu değildir. Çünkü böyle bir durumda ameliyatın bitiş zamanı, ameliyathanenin kapanış saatini aşmış olacaktır. Denklem 4.8 ile bir ameliyatın başlayabilmesi için uygun olan zaman aralığı elde edilmektedir. Modelde, bu aralıkta yer alan bir değer ameliyat başlangıç zamanı olarak seçilmektedir.

$$1 \leq t_i \leq Maks_t - AS_i + 1 \quad (4.8)$$

Denklem 4.9 ile çizelgeye atanacak olan hastaların ameliyatlarının bitiş (tamamlanma) zamanları hesaplanmaktadır. Ameliyat bitiş zamanlarının hesaplanabilmesi için ameliyat başlangıç süresinin ve ilgili ameliyat süresinin bilinmesi gerekmektedir.

$$\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} (t_i + AS_i - 1) x_{itm} = ABZ_i \quad (4.9)$$

Uygun bir çizelgede aynı anda gerçekleştirilebilen ameliyat sayısı, toplam ameliyat odası sayısından fazla olamaz. Aksi bir ifade, bir ameliyat odasında birden fazla sayıda operasyonun aynı anda gerçekleştirilmesi gibi mümkün olmayan bir sonucu yansıtmış olacaktır. Denklem 4.10 ile aynı anda ameliyathane sayısından fazla sayıda ameliyat yapılması engellenmiştir.

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} x_{itm} \leq M \quad (4.10)$$

Bir ameliyat odasında gerçekleştirilen tüm operasyonların toplam süresinin, ameliyathanenin maksimum çalışma süresini aşması mümkün değildir. Denklem 4.11 ile bir ameliyat odasında yapılan ameliyatların toplam süresinin, ameliyathanenin son çalışma süresinden fazla olması engellenir. Aksi bir durum, ilgili ameliyat odası kapandıktan sonra, devam eden bir operasyon olduğunu gösterir.

$$\sum_{m \in M} \sum_{i \in I} a_{im} AS_i \leq Maks_t \quad (4.11)$$

Denklem 4.12 ile operasyonları gerçekleştiren doktorların atamalarındaki çakışmalar engellenir. Bu kısıt ile aynı zaman bloğunda farklı ameliyat odalarında, aynı doktorun birden fazla görev alamaması sağlanır.

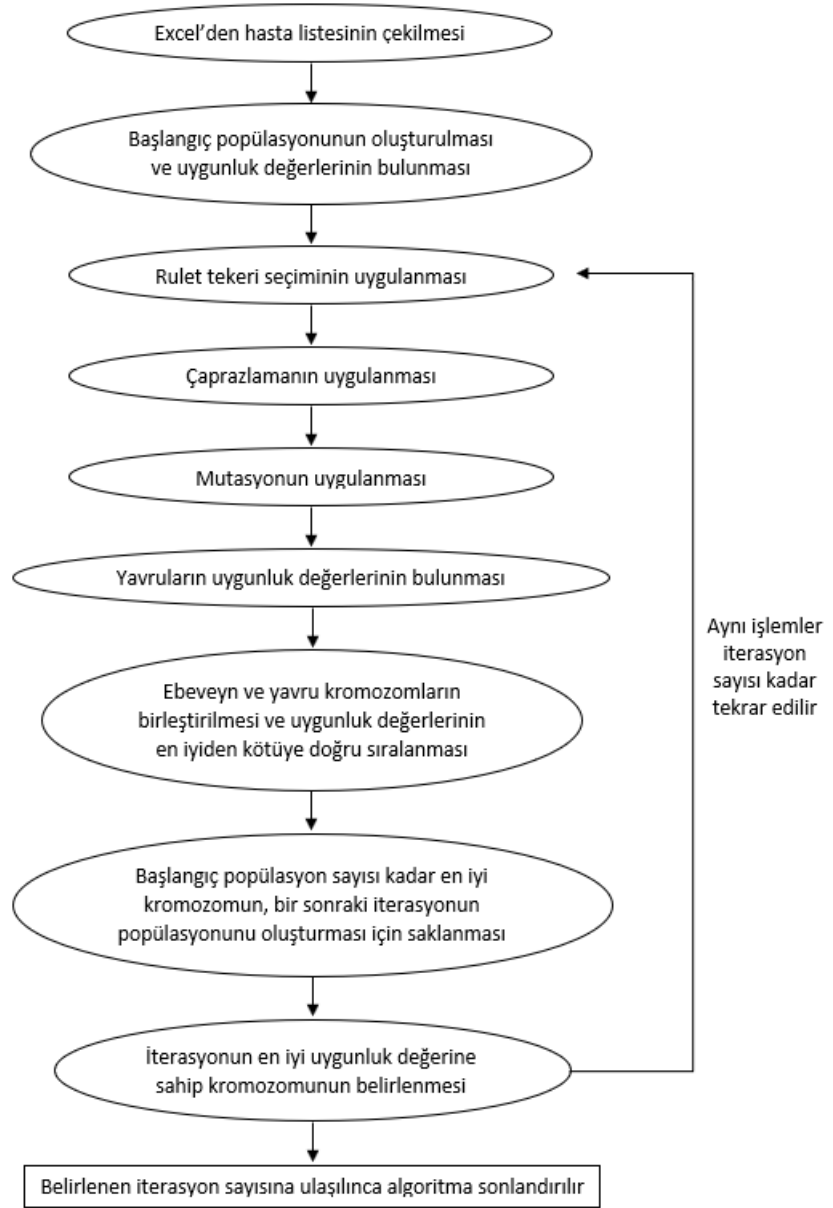
$$\sum_{l \in L} y_{lrm} \leq 1 \quad (4.12)$$

4.7. Genetik Algoritma ile Çizelgelemenin Uygulanması

Çalışmada Intel® Core™ i7-2670QM CPU @ 2.20GHz işlemcili, 8,00 GB RAM bellekli, işletim sistemi Windows 10 Education olan Sony marka bir bilgisayar kullanılmıştır. Ameliyathane çizelgeleme problemine GA ile çözüm oluşturmak amacıyla Matlab programının R2017b sürümü kullanılmıştır. Çalışmada Matlab programı kullanılarak yazılan ve Ek-2’de yer alan kaba kodlar ile, ceza fonksiyonunu en küçükleyen sonucu elde etmek amaçlanmıştır. Çalışmada oluşturulan GA kodunun akışı Şekil 4.2’de genel olarak özetlenmiştir.

Çalışma verisinin incelenmesi sonucunda, en fazla sayıda ameliyatın gerçekleştirildiği günler belirlenmiştir. Bu günler 50 adet ameliyat ile 7 Şubat 2019 ve 61 adet ameliyat ile 23 Ocak 2019 tarihlerine aittir. Çalışmada GA yöntemi ile, bu tarihlerde ameliyatları gerçekleştirilmiş hastaların çizelgelenmesi gerçekleştirilmiş ve sonrasında elde edilen çizelgeler ile aynı tarihlerdeki gerçekleşen çizelgeler karşılaştırılmıştır.

Matlab kodunun çalıştırılabilmesi için gerekli olan bilgiler, Microsoft Excel programında hazırlanan bir şablondan aktarılmıştır. Bu şablonda çizelgeleme yapılmak istenen hasta numaraları, cerrahi bölümler, ameliyat süreleri (zaman bloğu cinsinden) ve operasyonu gerçekleştirecek olan doktor bilgileri yer almaktadır.



Şekil 4.2 : GA'nın kodunun akış şeması

4.7.1. Kromozomların Kodlanması

Çalışmada hastaların, ameliyat odalarına ve blok zaman dilimlerine atanma ve operasyonları gerçekleştirecek olan doktorların çakışmalarını kontrol etmek amacıyla “ameliyat odası sayısı x toplam süre” boyutlu matrislerden faydalanılmıştır. GA yönteminin uygulanması sürecinde yazılan kodlar yardımıyla zaman zaman atamalar matrisi kromozom yapısına dönüştürülürken, bazı durumlarda da kromozom yapısı atamalar matrisi ve doktor çakışmalarını kontrol matrisine dönüştürülmüştür.

Çalışmada her bir kromozom, hasta sayısı kadar genden oluşmaktadır (Kühn, Baumann, & Salzwedel, 2012) (Pezzella, Morganti, & Ciaschetti, 2008). Her bir gen ise, ele alınan çizelgeleme problemi için önem taşıyan 3 farklı bilgi içermektedir. Bu bilgiler sırasıyla: (1) Ameliyat odası numarası, (2) Ameliyat başlangıç zamanı, (3) Ameliyat bitiş zamanıdır (H. Fei et al., 2010). Bu şekilde bir yapı ile “çizelgelenecek hasta sayısı x 3” adet bitten oluşan bir kromozom yapısı oluşmaktadır. Kromozomdaki ilk 3 bit 1 numaralı hastaya ait bilgileri içerirken, 4., 5. ve 6. Bitler ise 2. hastaya ait bilgileri içermektedir. Kromozomdaki son 3 bit ise sonuncu hastaya ait atamaları göstermektedir.

Şekil 4.3'te 5 adet hastaya ait çizelgeyi gösteren örnek bir kromozom yapısı görülmektedir. Örnekte yer alan 1.hastanın ameliyatı, 5 numaralı ameliyat odasında 17.blok zamanda başlayacak olup, 19.blok zamanda tamamlanarak toplam 3 blok zaman diliminde (1,5 saatte) sonlanmış olacaktır.

1. hasta			2. hasta			3. hasta			4. hasta			5. hasta		
5	17	19	2	11	18	7	15	24	0	0	0	2	2	9

Şekil 4.3 : Örnek bir kromozom yapısı

Rastgele olarak oluşturulan başlangıç çözümlerinde ve GA iterasyonları ile oluşturulan yavru çözümlerde; ameliyat odası, zaman blokları ya da doktor uygunluklarının sağlanamaması gibi sebeplerle zaman zaman bazı hastaların çizelgeye atanamaması söz konusu olabilmektedir. Bu gibi durumlarda, kromozom yapısında ilgili hastaya ait 3 adet bit sıfır (0) değeri almaktadır. Şekil 4.3'te 4 numaralı hastaya ait bilgiler 0 değerinden oluştuğu için, bu hastanın çizelgeye yerleştirilememiş olduğu görülmektedir.

4.7.2. Uygunluk Fonksiyonunun Tanımlanması

Çalışmada uygunluk fonksiyonu, ceza/maliyet fonksiyonu olarak oluşturulmuştur (Lamiri, Dreao, & Xie, 2007). Ceza fonksiyonunu en küçükleyen sonucu elde etmek amaçlanmıştır. Maliyet fonksiyonu 4 farklı bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler: (1) kullanılan ameliyat odalarının maliyeti, (2) kullanılan fazla mesailerin maliyeti, (3) çizelgeye atanamayan hastaların maliyeti, (4) ameliyat bitişi olmayan zaman bloklarının (BIM çakışma) maliyetidir. Belirtilen 4 maliyet bileşeninin toplanması ile, GA'da elde edilen her bir çözüme ait uygunluk değeri hesaplanmaktadır. Çalışma konusu hastanenin ameliyathane planlama ve çizelgeleme ekibinin önerileri doğrultusunda, uygunluk fonksiyonu bileşenlerinin çizelgeleme sürecindeki önem derecelerine göre her bir bileşen için birim maliyetler belirlenmiştir. Belirlenen birim maliyetler parasal bir değer ifade etmemektedir. Her bir bileşenlere ait detaylı açıklamalar aşağıda yer almaktadır:

(1) Kullanılan ameliyat odalarının maliyeti : Ameliyathanelerde kullanılan her bir ameliyat odası sabit bir maliyet yaratmaktadır. Bu sebeple herhangi bir gün için tüm hastalar mümkün olduğunca az sayıda ameliyat odası kullanılacak şekilde çizelgelenmelidir. Çalışmada kullanılan her bir ameliyat odası için maliyet, 500 birim olarak belirlenmiştir.

(2) Fazla mesai maliyetleri : Çalışmada kullanılan blok zaman dilimlerinin her biri 0,5 saate eşittir. Çalışma konusu ameliyathanenin, normal mesai süresi 08:00 ile 18:00 saat aralığında yer alan toplam 20 blok zaman diliminden oluşmakta olup, fazla mesai süresi ise 18:00 ile 23:00 saat aralığında yer alan 10 blok zaman diliminden oluşmaktadır. Fazla mesai süresi içerisinde gerçekleştirilen her ameliyat ekstra maliyet yaratmakta olup, mümkün olduğunca fazla mesai kullanılmasının önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Çalışmada kullanılan her bir blok zaman dilimi için maliyet, 50 birim olarak belirlenmiştir.

(3) Atanamayan hasta maliyeti : Cerrahi bölümlere ait ameliyat odalarının, zaman bloklarının ya da doktorların uygun olmamaları sebepleriyle hastaların çizelgeye atanamaması durumu oluşabilmektedir. Çalışmada atanamayan her bir hasta için maliyet, 400 birim olarak belirlenmiştir.

(4) BIM çakışma maliyeti : Çalışmada sadece elektif ameliyatların çizelgelenmesi gerçekleştirilmiştir. Oluşması muhtemel acil ameliyat taleplerinin ise, o gün kullanılması planlanmayan bir ameliyat odasını açmak yerine, çizelgelenmiş iki elektif ameliyat arasına sıkıştırılması önerilmektedir. Bu şekilde, araya yerleştirilen acil ameliyat sebebiyle, ilgili ameliyat odasındaki diğer elektif ameliyatlar gecikmeli olarak başlamış olacaktır. Acil ameliyat taleplerinin en kısa zamanda karşılanabilmesi amacıyla, farklı ameliyat odalarında gerçekleştirilen tüm elektif ameliyatların bitiş sürelerinin farklı blok zamanlara denk gelecek şekilde yerleştirilmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla, ameliyat bitişi olmayan blok zamanları için maliyet, 10 birim olarak belirlenmiştir. Çalışmada en kısa sürede ameliyatı tamamlanan bölümler, 2 blok zaman dilimi ile göz hastalıkları ve tüp bebektir. Bu sebeple 1.blok zaman sonunda ameliyat bitişi olması mümkün olmadığından gerekli hesaplamalar bu doğrultuda yapılmıştır. Ameliyat bitiş zamanlarının çakışma durumları sadece normal mesai süresi için hesaplanmıştır.

Uygunluk fonksiyonunu oluşturan dört maliyet unsurundan, kullanılan ameliyat odalarının oluşturduğu maliyet 500 birim maliyet ile en yüksek değere sahip bileşendir. İkinci sırada ise 400 birim maliyet ile atanamayan hastaların oluşturduğu maliyetler, üçüncü sırada 50 birim maliyet ile kullanılan fazla mesai blok zaman maliyetleri ve son sırada 10 birim maliyet ile ameliyat bitişine sahip olmayan normal mesai blok zaman maliyetleri belirlenmiştir. Ameliyathane yönetimi açısından en önemli kriter en az sayıda ameliyat odası kullanarak tüm operasyonların tamamlanmasını sağlamaktır. Ancak az sayıda oda kullanmak için fazla mesai zamanlarının tamamen kullanılması istenmemektedir. Bu sebeple bir ameliyat odasının fazla mesai blok zamanının tümünün kullanılması halinde oluşan $10 \times 50 = 500$ birim maliyet değeri, yeni bir ameliyat odası açılmasının oluşturacağı maliyete eş değer olarak belirlenmiştir. Aynı maliyet değerine katlanılarak, fazla mesai kullanıldığında sadece 10 blok zamana sahip olunabiliyorken, yeni bir odanın kullanıma açılması ile 20 adet normal mesai zaman bloğuna sahip olunabilmektedir.

Ameliyathane yönetimi açısından taslak çizelgede yer alan tüm hastaların, yeni oluşturulan çizelgeye yerleştirilebilmeleri de büyük önem taşımaktadır. Ancak ortaya çıkan maliyetler açısından değerlendirildiğinde; bu maliyet, yeni bir ameliyat odası açma maliyeti kadar önemli görülmemiştir. Bu durumun sebebi, çizelgeye atanamayan bir hastanın, herhangi uygun bir ameliyat odasının fazla mesai zaman bloklarına yerleştirilebilme imkanına sahip olmasıdır.

Çalışma kapsamında öncelikli olarak değerlendirilmeyen acil ameliyat taleplerine cevap verilebilirliği hızlı bir şekilde sağlamak adına, normal mesai süresi içerisinde yer alan tüm zaman bloklarında (1. ve 20. zaman blokları hariç) en az bir adet ameliyat bitiş olması önem taşımaktadır. Bu maliyetin, çalışmada öncelikli olmayan acil ameliyatlara ilgilendiren bir bileşen olması sebebiyle, önem derecesinin diğer bileşenlerden daha düşük olması gerektiği düşünülmüştür. Çalışma konusu hastanede günlük çizelgelenecek hasta sayısının yüksek olması sebebiyle, bu amacın genellikle sağlandığı, az sayıda çizelgede ameliyat bitişine sahip olmayan zaman bloklarının olduğu gözlemlenmiştir.

4.7.3. Genetik Algoritma Operatörlerinin ve Kontrol Parametrelerinin Belirlenmesi

GA'nın uygulanmasında kullanılan operatörler ve kontrol parametreleri Tablo 4.9'da özetlenmiştir. Detaylı açıklamalar alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

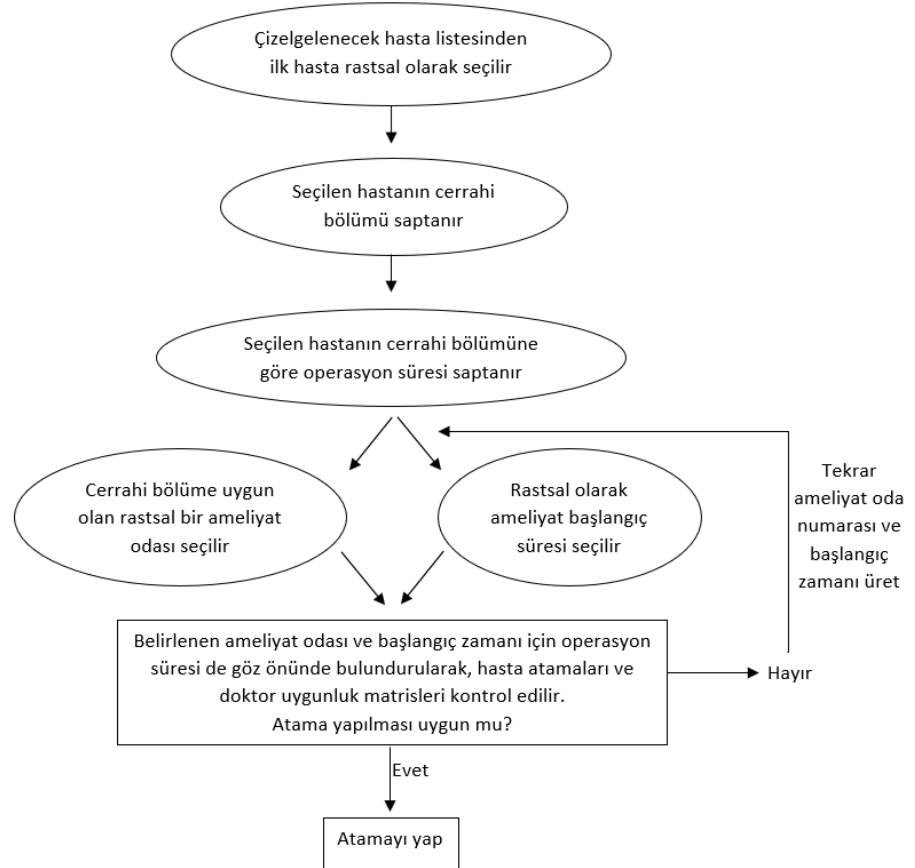
Tablo 4.9 : GA operatörleri ve kontrol parametre değerleri

Operatörler / Parametreler	Operatör Açıklaması / Parametre Değeri
Popülasyon büyüklüğü	200
Başlangıç popülasyonu oluşturulması	Rastsal
İterasyon sayısı	250
Seçim türü	Rulet tekeri seçimi
Çaprazlama türü	Tek nokta çaprazlama
Çaprazlama oranı	0,90
Mutasyon türü	Hedeflenmiş mutasyon ve rastsal mutasyon
Mutasyon oranı	0,15
Yer değiştirme operatörü	Sabit durum yer değiştirme
Durdurma kriteri	İterasyon sayısı

4.7.3.1. Popülasyon Büyüklüğünün ve Başlangıç Popülasyonunun Belirlenmesi

Goldberg, birçok GA araştırmasında popülasyon büyüklüğünün 30 ile 200 arasında değiştiğini ve bu sayının kromozom uzunluğu ile ilişkili olduğunu belirtmiştir. Uzun kromozom yapıları için büyük popülasyon büyüklüğünün gerekli olduğunu savunmuştur (Siriwardene & Perera, 2006). Bu çalışmada oluşturulan kromozom yapısının uzun olması sebebiyle, popülasyon büyüklüğü literatürde önerilen üst sınır olan 200 olarak belirlenmiştir.

Çalışmada başlangıç popülasyonu Matlab programında yazılan kod ile rastsal olarak oluşturulmuştur. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması sürecinde izlenen adımlar Şekil 4.4'te özetlenmiştir.



Şekil 4.4 : Başlangıç popülasyonunun oluşturulma aşamaları

Başlangıç popülasyonunun oluşturulması sürecinde, hastaların rastsal olarak seçilebilmesi için hasta sayısı kadar permütasyon oluşturulmuştur. Operasyonu sadece bir adet ameliyat odasında gerçekleştirilebilen hastaların atamalarının yapıldığından emin olabilmek için, permütasyonun rastsallığı korunarak bu hastalara öncelik verilmesi sağlanmıştır. Ardından operasyonu iki adet ameliyat odasında gerçekleştirilebilen hastaların atamaları, permütasyonun rastsallığı korunarak yapılmıştır. Sonrasında ise diğer hastaların atamaları yapılarak başlangıç popülasyonunun ilk bireyi elde edilmiştir. Bu süreçte bir hastanın atamasının yapılabilmesi için uygun koşullar sağlanamadığında, tekrar rastsal ameliyat odası

numarası ve başlangıç zamanı üretilmiştir. Bir hastanın atanabilmesi için yapılacak deneme süresi 500 adet olarak belirlenmiş olup, tüm denemeler sonucunda uygun koşullar sağlanamaz ise hastanın atanmamasına karar verilmiştir.

4.7.3.2. Seçim Operatörü

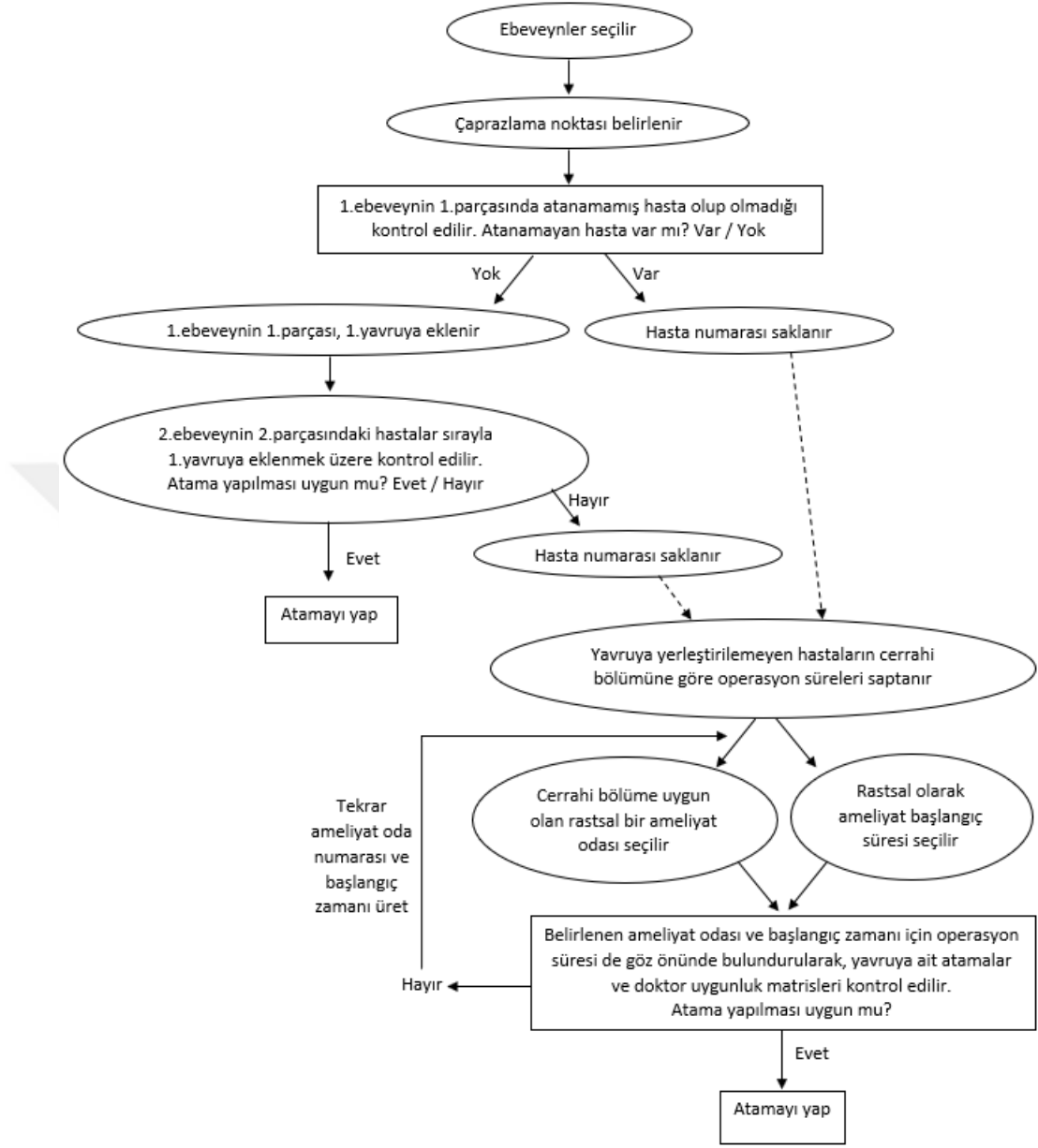
Çalışmada seçim operatörü olarak rulet tekeri seçimi kullanılmıştır. Böylece uygunluk değeri minimum olan yani mevcut nesilde en iyi olan çözümün, bir sonraki nesili oluşturacak olan ebeveyn olarak seçilebilme olasılığının yüksek olması sağlanmıştır. En büyükleme problemlerinin tersine, en küçükleme problemlerinde uygunluk değeri ile rulet tekerinde kaplanan alan arasında ters orantı vardır. Çalışmada uygunluk değeri minimum olan çözümün rulet tekerinde kapladığı alan daha büyük olmaktadır (Heris, "Genetic Algorithms in Python and MATLAB", (Çevrimiçi) <https://www.udemy.com/course/genetic-algorithms-in-python-and-matlab/learn/lecture/17588286#overview>, 08.06.2020). Böylece en iyi (küçük) uygunluk değerine sahip bireylerin ebeveyn olarak seçilmesi, GA'nın yakınsama süresini azaltmaktadır.

4.7.3.3. Çaprazlama Operatörü ve Çaprazlama Oranı

Ebeveyn seçiminin ardından çaprazlama operatörü uygulanmıştır. Çalışmada çaprazlama türü olarak kromozom yapısının karmaşıklığı ve çizelgelerde sağlanması gereken koşullar göz önünde bulundurularak "Tek Nokta Çaprazlama" yöntemi kullanılmıştır. Çaprazlama noktası belirlenirken; kromozomda herhangi bir hastaya ait bilgilerin bölünmesini önlemek amacıyla, $[3, (\text{hasta sayısı}-1) \times 3]$ aralığında bir değer rastsal olarak seçilmiştir.

Oluşturulan ilk yavru kromozomun 1.parçası, 1.ebeveynin çaprazlama noktasından önceki değerlerinin aynısını içermektedir. Yavrunun 2.parçası ise 1.parçadan gelen atamalar kontrol edilerek sırasıyla teker teker yerleştirmiştir. Bu aşamada zaman, doktor ya da ameliyat odası çakışmaları gibi sebeplerle yerleştirilme koşullarını sağlamayan hastalar ise, atanamayan hastalar olarak değerlendirilmiştir. Benzer olarak çaprazlamanın uygulanması sırasında seçilen ebeveyn kromozomlarda var olan atanamamış hasta ya da hastalar var ise, bunların saptanması da önem taşımaktadır. Çizelgeye yerleştirilememiş olan tüm bu hastalar, çaprazlama işleminin sonunda yavru çizelge uygunluğu kontrol edilerek, rastsal olarak yerleştirilmeye çalışılmıştır. Bu hastaları yavru kromozomlara çizelgelemeden çaprazlama işleminin bitirilmesi sonucunda, uygunluk değerleri ebeveynlerinden daha kötü olan yavru kromozomlar elde edilmiş olacaktır. Bu nedenle çizelgelenememiş bu hastaların, çaprazlama işlemi sonunda yavru kromozomlara rastsal olarak yerleştirilmesi önem taşımaktadır. İkinci yavru kromozomun üretilmesi için de aynı işlemler ebeveyn kromozomların yeri değiştirilerek uygulanmıştır. Çaprazlamanın uygulanması sürecinde uygun olmayan yavru kromozomların oluşmasını engelleyecek önlemler alınmış olup, ayrıca bir tamir operatörü tanımlanmamıştır. Çaprazlama operatörünün uygulanması sürecinde izlenen adımlar Şekil 4.5'te özetlenmiştir.

GA'da çaprazlama oranının yüksek olması fazla sayıda çaprazlama işlemi yapılması ve bununla orantılı olarak fazla sayıda yavru oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu da analiz süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Oluşturulan GA modelinin farklı çaprazlama ve mutasyon oranları ile tekrar tekrar çalıştırılması sonucunda elde edilen değerlere istinaden; analiz süresi ve bulunan en iyi çözümlerin değerlendirilmesi ile çalışmada çaprazlama oranı 0,90 olarak belirlenmiştir. Her iterasyonda uygulanan çaprazlama sonucunda 'çaprazlama oranı x popülasyon sayısı' kadar yavru kromozom üretilmiştir. Her çaprazlama sonucunda iki adet yavru oluşabileceği için, farklı çaprazlama oranları ile üretilen yavru kromozom sayısının, yazılan kod yardımıyla yuvarlama işlemi yapılarak çift sayı olması sağlanmıştır. Böylece modelde, oluşturulan yavru sayısının yarısı kadar çaprazlama işleminin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.5 : Çaprazlama operatörünün uygulanma aşamaları

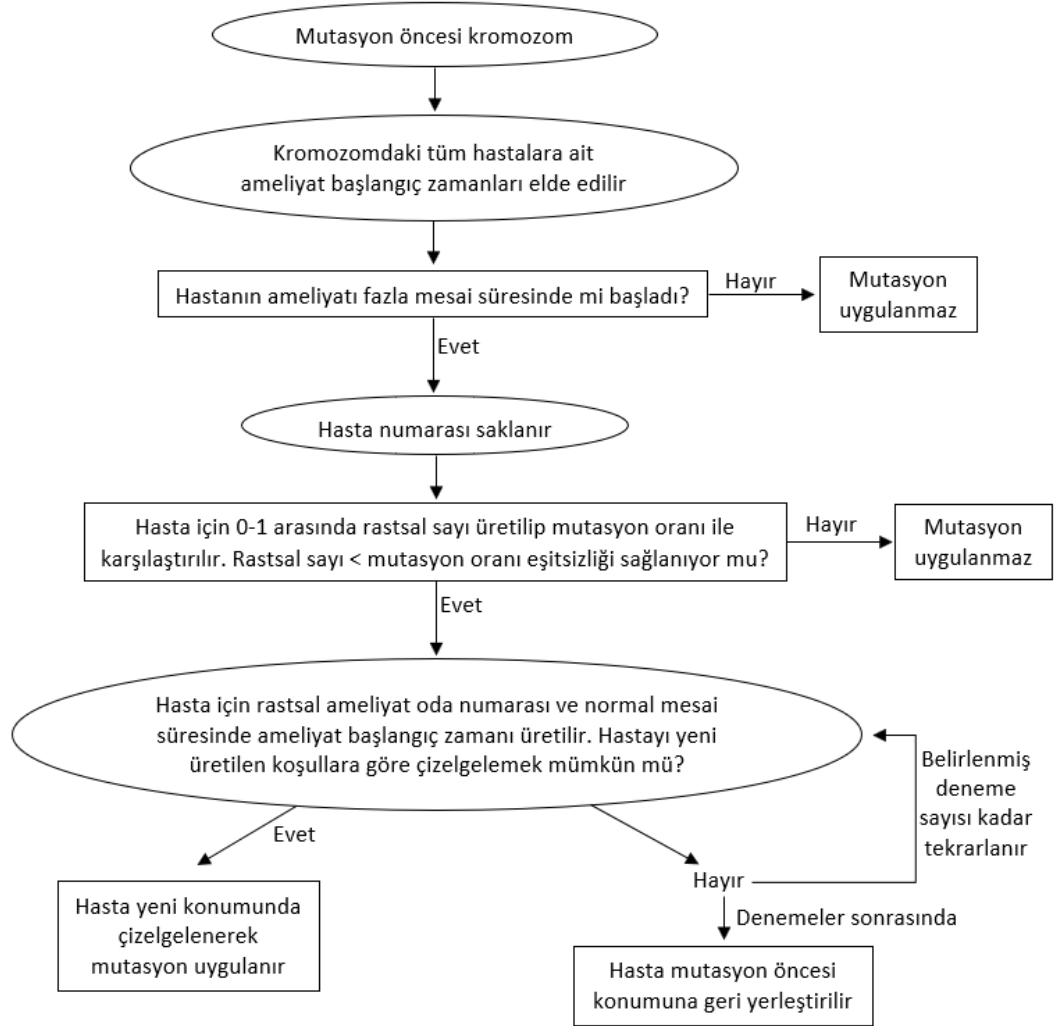
4.7.3.4. Mutasyon Operatörü ve Mutasyon Oranı

Mutasyon, GA’da bir kromozomu geliştirme adımlarından biridir. Mutasyon operatörü yardımıyla çözüm uzayının farklı noktalarında aranma yapılma imkanı elde edilebilmektedir. Mutasyon stratejilerinin bir çoğunda, kromozomda değişiklik yapmak için mutasyon oranına bağlı olan rastgele seçim yaklaşımı kullanılır. Bu amaçla, rastgele seçilen bir ameliyatın zaman bloğu ya da ameliyat oda numarası değiştirilebileceği gibi; bir hastaya ait ameliyat çizelgesi tamamen de değiştirilebilir.

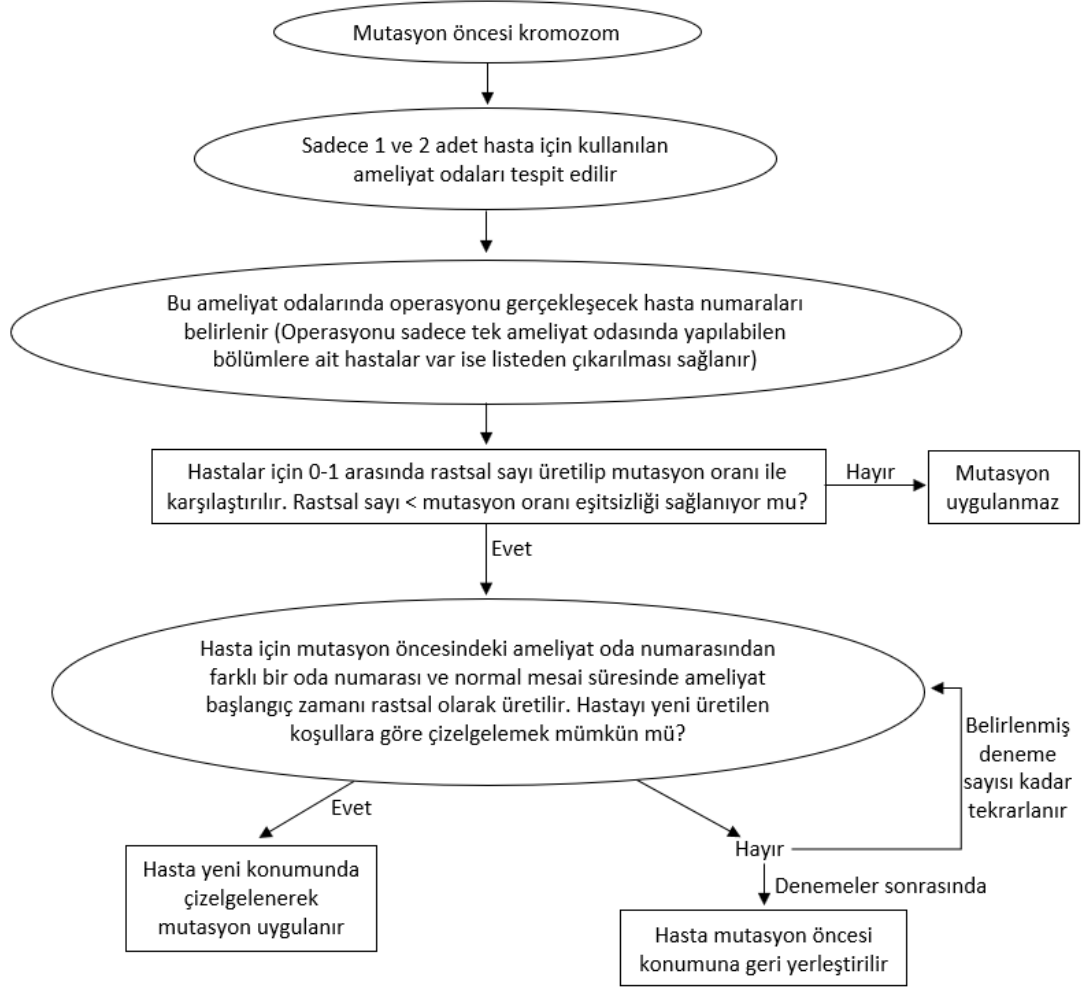
Çalışmada kullanılan mutasyon operatörü, hem rastsal olarak seçilen hastalara odaklanan “Rastsal Mutasyon”, hem de kromozomda hedeflenen kısımlara odaklanan “Hedeflenmiş Mutasyon (Targeted Mutation)”dur (Abdelhalim & El Khayat, 2016). Hedeflenmiş mutasyon yönteminde amaç, ameliyat odaları ve mesai zamanının etkin kullanımını sağlayabilmektir. Bu amaçla etkin kullanılmadığı tespit edilen kromozom kısımlarının belirli bir mutasyon oranı ile mutasyon geçirmesi sağlanmaktadır. Rastgele mutasyonun uygulanmasındaki amaç ise, çözüm uzayında farklı alanların taranmasına imkan sağlaması olmuştur. Her iki yöntemin birlikte uygulanması ile çözüm uzayının farklı kısımlarının taranması sağlanırken, aynı zamanda hedeflenmiş mutasyon ile daha iyi bir çözüm elde etme olasılığının yüksek olması sağlanacaktır. Böylece GA’nın yakınsama süresinin azaltılması sağlanmış olacaktır.

Bu amaçla çalışmada 3 adet mutasyon operatörü tanımlanmıştır. Bu mutasyonlardan 2 tanesi hedeflenmiş mutasyon sınıfında yer alırken, 3. mutasyon rastsal mutasyon olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan ilk mutasyon operatörü fazla mesai blok zaman dilimlerinde başlamış olan ameliyatların, normal mesai saatleri içerisinde başlayacak şekilde mutasyon geçirmesi amaçlanmıştır. Şekil 4.6’da 1.tip mutasyonun uygulama adımları özetlenmiştir. Tanımlanmış olan 2.tip mutasyonun uygulama adımları ise Şekil 4.7’de görülmektedir. Bu mutasyonda sadece 1 ya da 2 adet ameliyat atanmış odalara yerleştirilmiş olan hastaların, başka ameliyat odalarına

yerleştirilecek şekilde mutasyon geçirmesi amaçlanmıştır. Yani kullanımı düşük olan ameliyat odalarındaki ameliyatların diğer odalara aktarılması hedeflenmiştir.



Şekil 4.6 : 1. Mutasyon türünün uygulama adımları



Şekil 4.7 : 2. Mutasyon türünün uygulama adımları

Her iki hedeflenmiş mutasyon yönteminde de önceden belirlenmiş sayıda deneme sonucunda çizelgeye atanamayan hastaların, mutasyon işlemi öncesinde bulundukları konuma tekrar atanmaları sağlanmıştır. Farklı bir ifade ile, mutasyon öncesinde bulundukları konumdan farklı herhangi bir konuma atanması mümkün olmayan hastaların, çizelgeye atanmadan kalmalarının önüne geçilmiştir. Bu hastaların çizelgeye atanmamaları durumunda, oluşturulan yavru kromozomun uygunluk değeri artacaktır. Çalışmada uygunluk değerinin en küçüklenmesi hedeflendiğinden, yüksek uygunluk değerine sahip bu kromozomun gelecek nesli oluşturacak popülasyonda kalma şansı da azalmış olacaktır. Bu sebeple mümkün olduğunca tüm hastaların çizelgeye atanmış olmalarını sağlamak amaçlanmıştır.

Mutasyonun uygulanması sürecinde uygun olmayan yavru kromozomların oluşmasını engelleyecek önlemler alınmış olup, ayrıca bir tamir operatörü tanımlanmamıştır.

Tanımlanmış olan 3.tip mutasyonda ise, kromozomda yer alan her bir hasta için üretilen rastsal sayının, belirlenmiş olan mutasyon oranı ile karşılaştırılması sonucunda mutasyon geçirecek olan hasta numaraları elde edilmiştir. Mutasyon geçirecek olan her bir hasta için rastsal olarak ameliyat odası numarası ve ameliyat başlangıç zamanı belirlendikten sonra; diğer hastaların çizelgesi ve doktorların uygunlukları kontrol edilerek yeniden atamaları yapılmıştır. Her bir hastanın atamasının yapılabilmesi için oluşturulan bir sayaç kodu ile 500 adet deneme yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda hastanın çizelgeye atanamaması durumunda, hastanın mutasyon öncesi konumuna tekrar yerleştirilmesi sağlanmıştır. Böylece hastanın çizelgeye atanamaması durumunun önüne geçilmiştir. Rastsal olarak uygulanan bu mutasyon ile elde edilen çözümün iyileştirilmesi sağlanabileceği gibi, daha kötü bir çözüm üretilmesi de sağlanabilmektedir.

Çalışmada ele alınan ilk iki mutasyon türü uygunluk değerlerinin en küçüklenmesi açısından önem taşımaktadır. Üçüncü mutasyon türü ise çözüm uzayının farklı bölgelerine ulaşılmasına imkan tanımaktadır. İyi çözümlerin aranmasına olan katkıları sebebiyle, her üç mutasyon türüne de eşit seçilme hakkı tanınarak mutasyon operatörünün uygulanması sağlanmıştır. Bu sebeple mutasyon işleminin uygulanmasından önce, rastsal olarak üretilen bir sayı yardımıyla hangi mutasyon türünün uygulanacağına karar verilmiştir. Ardından seçilen mutasyon türüne bağlı olarak, belirlenen mutasyon oranı ile mutasyon operatörü uygulanmıştır. Oluşturulan GA modeli farklı mutasyon oranları ile tekrar tekrar çalıştırılmış olup, analiz süresi ve bulunan en iyi çözümlerin değerlendirilmesi sonucunda çalışmada mutasyon oranı 0,15 olarak belirlenmiştir. Düşük mutasyon oranları ile yapılan denemelerde uygunluk değeri daha iyi olan çözümlere yakınsamanın zorlaştığı gözlemlenmiştir.

4.7.3.5. Yer Değiştirme Operatörü

Çalışmada sabit durum yer değiştirmesi uygulanmıştır. Yöntemde çaprazlanma ve mutasyon operatörleri yardımıyla elde edilen yavru kromozomlara ait popülasyon ile ebeveynlere ait popülasyon birleştirilmiştir. Birleştirme ile oluşturulan yeni popülasyondaki birey sayısının, başlangıç popülasyon sayısına eşit olacak şekilde düzenlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, birleştirme ile elde edilen popülasyondaki kromozomlar uygunluk değerlerine göre sıralanmış ve kötü uygunluk değerine sahip bireylerin popülasyondan çıkarılması şeklinde yer değiştirme operatörü uygulanmıştır. Böylece başlangıç popülasyon sayısı kadar birey korunarak bir sonraki iterasyona geçilmiştir ve gelecek nesillerin en iyi bireylerden oluşturulması sağlanmıştır. Ayrıca bu yöntemin uygulanması ile başlangıç popülasyon sayısının iterasyonlar boyunca sabit tutulabilmesi de sağlanmıştır.

4.7.3.6. Durdurma Kriterleri

Çalışmada GA'yı durdurma kriteri olarak iterasyon sayısı belirlenmiştir. İterasyon sayısının yüksek olması, analiz süresinin artmasına sebep olmaktadır. Çalışma verisinde yer alan en yoğun günler belirlenip, bu günlerdeki hastaların çizelgelenmesi gerçekleştirilmiştir. Farklı iterasyon sayıları ile yapılan denemeler sonucunda maksimum 212. iterasyon olmak üzere, ortalama 117. iterasyondan sonra çözümlerde herhangi bir iyileşme gözlemlenmemiştir. Bu sebeple, çalışmada maksimum iterasyon sayısı 250 olarak belirlenmiştir. Böylece oluşturulan modelin ortalama olarak 437 saniyede (yaklaşık olarak 7,28 dakikada) GA analizini tamamladığı gözlemlenmiştir.

4.8. Modelin Uygulanması İle Elde Edilen Sonuçlar

Ele alınan çizelgeleme problemine GA ile çözüm üretebilmesi amacıyla oluşturulan Matlab kodu farklı hasta listeleri için çalıştırılmış ve her biri için uygun çözümler elde edebildiği saptanmıştır.

Araştırma verisinden elde edilmiş olan 7 Şubat 2019 tarihli ameliyat listesinde 50 adet hasta yer almaktadır. İlgili gün tüm hastaların ameliyatlarını gerçekleştirmek amacıyla, toplam 18 adet ameliyat odası kullanıma açılmıştır ve fazla mesai zamanı kullanılmıştır. Bu tarihteki ameliyathane çizelgenmesine göre, gerçekleşen ameliyathane kullanım oranının %38 olduğu saptanmıştır.

Çalışmada oluşturulan kod yardımıyla aynı tarih için GA çizelgeleme modeli çalıştırıldığında elde edilen çizelgelerden iki tanesi Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Aynı tarih için GA analizinin tekrar tekrar çalıştırılması sonucunda %72,5 ile %83 arasında değişen ameliyathane kullanım oranlarına sahip farklı çözümler elde edilebilmiştir. Ameliyathane kullanım oranları, çizelgeleme yapılan gün kullanıma açılan ameliyat odası sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Elde edilen çizelgelerde kullanılan ameliyat odası sayısının 12 ile 14 arasında değiştiği farklı çözümler elde edilebilmiştir. Elde edilen çizelgelerin %40'ında fazla mesai kullanılmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Çizelgelerin tamamında, tüm hastaların atanabilmesi sağlanmıştır. Ayrıca tüm zaman bloklarında ameliyat bitişi olması da sağlanabilmiştir.

Şekil 4.8'de görülen çizelgede; toplam 12 adet ameliyat odası kullanıma açılmıştır. Tüm hastalar çizelgeye yerleştirilebilmiştir ve bunun için 3 farklı ameliyat odasında toplam 9 adet fazla mesai zaman bloğu kullanılmıştır. Normal mesai süresi içerisindeki tüm zaman bloklarında en az bir adet ameliyat bitişi olması sağlanabilmiştir. Bu koşullar altında elde edilen çizelgenin uygunluk değeri, analiz sonucunda 6.450 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.9’da yer alan çizelgede ise; toplam 13 ameliyat odası kullanıma açılmış olup, sadece 1 adet fazla mesai zaman bloğu kullanılmıştır. Çizelgeye atanamayan hasta bulunmamaktadır ve normal mesai süresi içerisindeki tüm zaman bloklarında en az bir adet ameliyat bitişinin olması sağlanabilmektedir. Elde edilen bu çizelgenin uygunluk değeri 6.550 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.8’de yer alan çizelgede kullanılan fazla mesai zaman bloğu sayısı daha fazla olduğu için, ihtiyaç duyulan ameliyat odası sayısı azalmıştır. Daha az sayıda ameliyat odası kullanılması sonucunda da Şekil 4.8’deki çizelgenin ameliyathane kullanım oranı %83 olarak elde edilmiştir. Şekil 4.9’da yer alan çizelgede ise, fazla mesai zaman bloğu kullanımı oldukça az olduğu için, kullanılan ameliyat odası sayısı bir önceki çizelgeye nazaran fazla olmuştur. Bu çizelge için ameliyathane kullanım oranı %80 olarak elde edilmiştir.

BLOKLAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
AMELİYAT ODALARI	08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00	16:00 - 16:30	16:30 - 17:00	17:00 - 17:30	17:30 - 18:00	18:00 - 18:30	18:30 - 19:00	19:00 - 19:30	19:30 - 20:00	20:00 - 20:30	20:30 - 21:00	21:00 - 21:30	21:30 - 22:00	22:00 - 22:30	22:30 - 23:00
1	5 - KALP DAMAR CERRAHİSİ								2 - KALP DAMAR CERRAHİSİ																					
2																														
3		6 - KADIN HAST. VE DOĞUM			31 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				17 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				32 - KADIN HAST. VE DOĞUM			42 - KADIN HAST. VE DOĞUM			10 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.											
4																														
5	1 - ÇOCUK CERRAHİSİ			9 - TÜP BEBEK						12 - ÇOCUK CERRAHİSİ			8 - AĞIZ DIŞ VE ÇENE CERRAHİSİ																	
6																														
7			44 - GENEL CERRAHİ			46 - GENEL CERRAHİ				39 - TÜP BEBEK		3 - ORGAN NAKLİ																		
8	47 - GENEL CERRAHİ				35 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.					48 - GENEL CERRAHİ				25 - GENEL CERRAHİ																
9				16 - ÜROLOJİ				29 - ÜROLOJİ						7 - GÖĞÜS CERRAHİSİ																
10	38 - GÖZ HAST.						20 - GÖZ HAST.			24 - GÖZ HAST.				49 - GÖZ HAST.		40 - GÖZ HAST.														
11																														
12			14 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				45 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.					37 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				26 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.														
13	18 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.						21 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.					50 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				19 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.														
14	22 - PLASTİK VE REKONSTRÜKTİF CERRAHİ				13 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				43 - PLASTİK VE REKONSTRÜKTİF CERRAHİ					27 - PLASTİK VE REKONSTRÜKTİF CERRAHİ																
15																														
16																														
17																														
18																														
19	41 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				23 - PARKINSON CERRAHİSİ				4 - PARKINSON CERRAHİSİ				28 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				33 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.													
20	11 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ				15 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ				30 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ				34 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ				36 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ													
21																														
22																														
23																														
24																														
25																														

Şekil 4.8 : GA ile oluşturulan ameliyathane çizelgesi-1

BLOKLAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
AMELİYAT ODALARI	08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00	16:00 - 16:30	16:30 - 17:00	17:00 - 17:30	17:30 - 18:00	18:00 - 18:30	18:30 - 19:00	19:00 - 19:30	19:30 - 20:00	20:00 - 20:30	20:30 - 21:00	21:00 - 21:30	21:30 - 22:00	22:00 - 22:30	22:30 - 23:00
1																														
2		2 - KALP DAMAR CERRAHİSİ								5 - KALP DAMAR CERRAHİSİ																				
3	42 - KADIN HAST. VE DOĞUM		31 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.			32 - KADIN HAST. VE DOĞUM		6 - KADIN HAST. VE DOĞUM		33 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.		28 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.																		
4																														
5		12 - ÇOCUK CERRAHİSİ				9 - TÜP BEBEK		1 - ÇOCUK CERRAHİSİ		8 - AĞIZ DİŞ VE ÇENE CERRAHİSİ																				
6																														
7	46 - GENEL CERRAHİ					48 - GENEL CERRAHİ				3 - ORGAN NAKLİ																				
8	47 - GENEL CERRAHİ		10 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.			45 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.		25 - GENEL CERRAHİ		44 - GENEL CERRAHİ																				
9		16 - ÜROLOJİ						29 - ÜROLOJİ										7 - GÖĞÜS CERRAHİSİ		39 - TÜP BEBEK										
10	38 - GÖZ HAST.		40 - GÖZ HAST.		20 - GÖZ HAST.								24 - GÖZ HAST.					49 - GÖZ HAST.												
11																														
12	19 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.		37 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.					13 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.		14 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.																				
13		26 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				21 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				18 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.		41 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.																		
14	22 - PLASTİK VE REKONSTRÜKTİF CERRAHİ		43 - PLASTİK VE REKONSTRÜKTİF CERRAHİ							50 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.		27 - PLASTİK VE REKONSTRÜKTİF CERRAHİ																		
15																														
16																														
17	36 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ							11 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ		34 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ																				
18		15 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ						30 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ																						
19		35 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.						23 - PARKINSON CERRAHİSİ		17 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.		4 - PARKINSON CERRAHİSİ																		
20																														
21																														
22																														
23																														
24																														
25																														

Şekil 4.9 : GA ile oluşturulan ameliyathane çizelgesi-2

Çalışmada, normal mesai süresinde 20 adet ve fazla mesai süresinde 10 adet blok zaman olmak üzere, ameliyathanede bir günde toplam 30 blok zamanın mevcut olduğu kabul edilmiştir. Aynı güne ait veri kullanılarak, fazla mesai süresinde sadece 2 blok zamanın (toplam 1 saat fazla mesai süresi) mevcut olduğu varsayımı ile model çalıştırıldığında Şekil 4.10'de görülen çizelge elde edilmiştir.

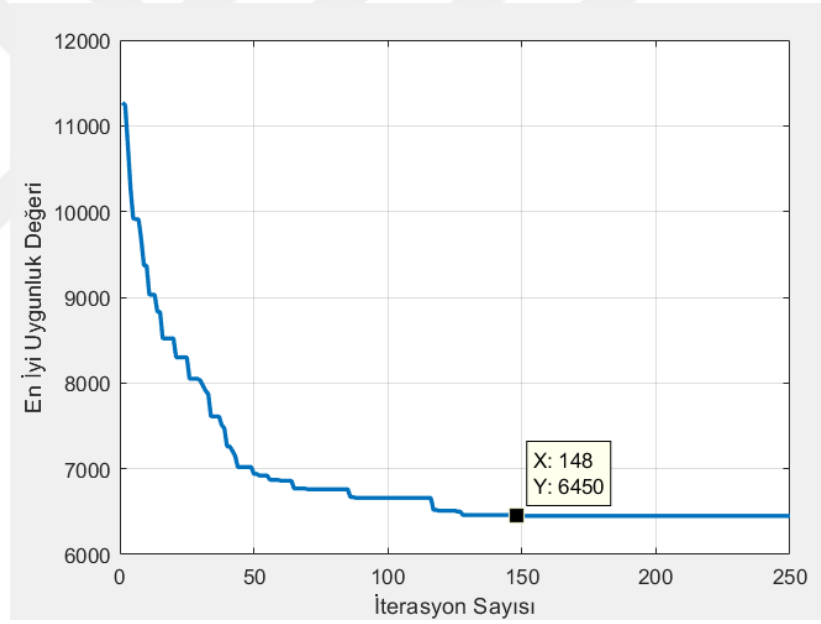
Bu çizelgede 50 adet hastanın çizelgelenebilmesi için, toplam 14 adet ameliyat odası kullanıma açılmış olup, fazla mesai kullanımına ihtiyaç duyulmamıştır. Çizelgeye atanamayan hasta bulunmamaktadır ve normal mesai süresi içerisindeki tüm zaman bloklarında en az bir adet ameliyat bitişinin olması sağlanabilmiştir. Çizelgenin uygunluk değeri 7.000 olarak hesaplanmıştır. Bu çizelgeye ait ameliyathane kullanım oranı ise %74,3 olarak hesaplanmıştır. Aynı ameliyatlara yapılabilmesi için daha fazla sayıda ameliyat odası kullanıldığından dolayı, ameliyathane kullanım oranının önceki çizelgelere kıyasla azaldığı görülmektedir.

Çalışma kapsamında oluşturulan Matlab kodu ile, elde edilen tüm çizelgelerde ameliyatı gerçekleştirecek olan cerrahların, aynı zaman bloklarında ya da aynı ameliyat odalarında çakışmaları engellenebilmiştir.

BLOKLAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
AMELİYAT ODALARI	08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00	16:00 - 16:30	16:30 - 17:00	17:00 - 17:30	17:30 - 18:00	18:00 - 18:30	18:30 - 19:00		
1																								
2	5 - KALP DAMAR CERRAHİSİ								2 - KALP DAMAR CERRAHİSİ															
3	42 - KADIN HAST. VE DOĞUM			32 - KADIN HAST. VE DOĞUM			6 - KADIN HAST. VE DOĞUM				33 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.					41 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.								
4																								
5	12 - ÇOCUK CERRAHİSİ						7 - GÖĞÜS CERRAHİSİ								1 - ÇOCUK CERRAHİSİ									
6		8 - AĞIZ DIŞ VE ÇENE CERRAHİSİ								3 - ORGAN NAKLİ														
7	48 - GENEL CERRAHİ				47 - GENEL CERRAHİ					46 - GENEL CERRAHİ				25 - GENEL CERRAHİ										
8	18 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				35 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.					44 - GENEL CERRAHİ				10 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.										
9	39 - TÜP BEBEK		29 - ÜROLOJİ						16 - ÜROLOJİ								9 - TÜP BEBEK							
10		49 - GÖZ HAST.		40 - GÖZ HAST.		20 - GÖZ HAST.			38 - GÖZ HAST.		24 - GÖZ HAST.													
11																								
12		17 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.			28 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				26 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.			14 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.												
13	50 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				37 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				19 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				13 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				45 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.							
14		43 - PLASTİK VE REKONSTRÜKTİF CERRAHİ							22 - PLASTİK VE REKONSTRÜKTİF CERRAHİ					27 - PLASTİK VE REKONSTRÜKTİF CERRAHİ										
15																								
16																								
17						30 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ									34 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ									
18																								
19	4 - PARKİNSON CERRAHİSİ				23 - PARKİNSON CERRAHİSİ				21 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.						31 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.									
20	15 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ					11 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ					36 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ													
21																								
22																								
23																								
24																								
25																								

Şekil 4.10 : Fazla mesai zaman bloklarının azaltılması ile oluşturulan çizelge

Şekil 4.8’de yer alan en küçük uygunluk değerine sahip çizelgenin elde edilme sürecinde, GA döngüsü boyunca her bir iterasyonda ulaşılan en iyi uygunluk değerlerinin gösterildiği grafik Şekil 4.11’de görülmektedir. Grafikten anlaşıldığı üzere ilk 50 iterasyonda uygunluk değerinde hızlı bir iyileşme gözlemlenmiştir. İlerleyen iterasyonlarda uygunluk değerinin iyileşmesi devam etmiştir ancak, iyileşme hızında yavaşlama gözlemlenmiştir. 1. iterasyon sonunda elde edilen en iyi uygunluk değeri yaklaşık 11.400 iken, 148. iterasyonda en iyi uygunluk değeri olan 6.450’ye ulaşılabilmiştir. GA analizinin tamamlanarak çözüm çizelgesinin elde edilmesi 314 saniye (yaklaşık 5, 23 dakika) zaman almıştır.



Şekil 4.11 : GA iterasyonları boyunca en iyi uygunluk değerinin değişimi

İlgili güne ait gerçekleşen çizelge ile, analiz sonucunda elde edilen çizelgeler Tablo 4.10’da karşılaştırılmış olup, GA yöntemi ile oldukça kısa süre içerisinde daha iyi çözümler elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4.10 : 7 Şubat 2019 tarihli gerçekleşen çizelge ile GA analizi sonucunda elde edilen çizelgelerin karşılaştırılması

		10 Adet Fazla Mesai Bloğu İle		2 Adet Fazla Mesai Bloğu İle
	Gerçekleşen Çizelge	GA ile Elde Edilen 1.Çözüm (Şekil 4.8)	GA ile Elde Edilen 2.Çözüm (Şekil 4.9)	GA ile Elde Edilen 3.Çözüm (Şekil 4.10)
Kullanılan Ameliyat Odası Sayısı	18 adet	12 adet	13 adet	14 adet
Kullanılan Fazla Mesai Blok Sayısı	-	9 adet	1 adet	-
Çizelgeye Atanamayan Hasta Sayısı	-	-	-	-
BIM'e Sahip Olmayan Blok Sayısı	2 adet	-	-	-
Ameliyathane Kullanım Oranı	%38	%83	%80	%74,3

Benzer olarak farklı tarihler için çizelgeleme modeli çalıştırıldığında da ameliyathane kullanım oranının yüksek olmasını sağlayan ve aynı zamanda belirlenmiş olan dört amacı mümkün olduğunca sağlayan çözümlerin elde edildiği saptanmıştır.

Araştırma verisinden elde edilmiş olan 23 Ocak 2019 tarihli ameliyat listesinde toplam 61 adet hasta yer almaktadır. İlgili gün tüm hastaların ameliyatları gerçekleştirilmiş olup, bunun için toplam 18 adet ameliyat odası kullanıma açılmıştır ve fazla mesai zamanı kullanılmıştır. Bu tarihteki ameliyathane çizelgelenmesine göre, gerçekleşen ameliyathane kullanım oranının %65 olduğu saptanmıştır.

Şekil 4.12’de görülen çizelgede; toplam 17 adet ameliyat odası kullanıma açılmıştır. Fazla mesai zamanı kullanılmadan, tüm hastalar çizelgeye yerleştirilebilmiştir. Normal mesai süresi içerisindeki tüm zaman bloklarında en az bir adet ameliyat bitişinin olması sağlanabilmiştir. Bu koşullar altında elde edilen çizelgenin uygunluk değeri, analiz sonucunda 8.500 olarak hesaplanmıştır. Çizelgeye ait ameliyathane kullanım oranı %74,7 olarak hesaplanmıştır. GA analizi ile çözüm 525 saniyede (8,75 dakika) elde edilebilmiştir.

İlgili güne ait gerçekleşen çizelge ile, analiz sonucunda elde edilen çizelgeler Tablo 4.11’de karşılaştırmalı olarak yer almaktadır.

Tablo 4.11 : 23 Ocak 2019 tarihli gerçekleşen çizelge ile GA analizi sonucunda elde edilen çizelgelerin karşılaştırılması

	Gerçekleşen Çizelge	GA ile Elde Edilen Çizelge (Şekil 4.12)
Kullanılan Ameliyat Odası Sayısı	18 adet	17 adet
Kullanılan Fazla Mesai Blok Sayısı	-	-
Çizelgeye Atanamayan Hasta Sayısı	-	-
BIM’e Sahip Olmayan Blok Sayısı	1 adet	-
Ameliyathane Kullanım Oranı	%65	%74,7

Hasta sayısının artması ile birlikte, algoritmanın belirlenen iterasyon sayısını tamamlaması için geçen sürede bir miktar artış gözlenmiştir. Algoritma farklı sayılarda ve farklı bölümlere ait hastaların bulunduğu çizelgeleri oluşturabilme yeteneğine sahiptir. Araştırmada fazla mesai zaman bloğu sayısı 10 adet tanımlanmış olmasına rağmen, gerek duyulması durumunda algoritmanın fazla mesaiye ihtiyaç duymadan çözüm üretebilmesi imkan tanıyan bir model oluşturulmuştur. Aynı tarihe ait gerçekleşen ameliyathane kullanım oranı ile karşılaştırılma yapıldığında, GA analizi ile kısa zaman içerisinde daha iyi bir çizelge elde edildiği sonucuna varılmıştır.



BLOKLAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
AMELİYAT ODALARI	08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00	16:00 - 16:30	16:30 - 17:00	17:00 - 17:30	17:30 - 18:00	18:00 - 18:30	18:30 - 19:00	19:00 - 19:30	19:30 - 20:00	20:00 - 20:30	20:30 - 21:00	21:00 - 21:30	21:30 - 22:00	22:00 - 22:30	22:30 - 23:00					
1		2 - KALP DAMAR CERRAHİSİ									5 - KALP DAMAR CERRAHİSİ																								
2		4 - KALP DAMAR CERRAHİSİ								57 - KALP DAMAR CERRAHİSİ																									
3			36 - KADIN HAST. VE DOĞUM				47 - KADIN HAST. VE DOĞUM			40 - KADIN HAST. VE DOĞUM				20 - KADIN HAST. VE DOĞUM			9 - KADIN HAST. VE DOĞUM																		
4			48 - AĞIZ DİŞ VE ÇENE CERRAHİSİ								59 - GÖĞÜS CERRAHİSİ					35 - KADIN HAST. VE DOĞUM																			
5		38 - ÇOCUK CERRAHİSİ			19 - ÇOCUK CERRAHİSİ			41 - ÇOCUK CERRAHİSİ			23 - ÇOCUK CERRAHİSİ					37 - ÇOCUK CERRAHİSİ			30 - ÇOCUK CERRAHİSİ																
6						3 - ORGAN NAKLİ										28 - TÜP BEBEK																			
7			43 - GENEL CERRAHİ				56 - GENEL CERRAHİ				1 - ORGAN NAKLİ																								
8		22 - GENEL CERRAHİ				26 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				11 - GENEL CERRAHİ				46 - GENEL CERRAHİ				61 - GENEL CERRAHİ																	
9		32 - ÜROLOJİ				13 - ÜROLOJİ				29 - ÜROLOJİ								45 - ÜROLOJİ																	
10		27 - GÖZ HAST.				58 - GÖZ HAST.				49 - GÖZ HAST.		44 - GÖZ HAST.					18 - GÖZ HAST.			24 - GÖZ HAST.															
11		21 - GÖZ HAST.				39 - GÖZ HAST.											53 - GÖZ HAST.		31 - GÖZ HAST.																
12		16 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.					7 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.											60 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.																	
13		14 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				8 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.						50 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.							42 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.																
14		54 - PLASTİK VE REKONSTRÜKTİF CERRAHİ					52 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				15 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				25 - PLASTİK VE REKONSTRÜKTİF CERRAHİ																				
15																																			
16		33 - BEYİN CERRAHİSİ					55- AĞIZ DİŞ VE ÇENE CERRAHİSİ										6 - BEYİN CERRAHİSİ																		
17										10 - ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ																									
18																																			
19		51 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				34 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				17 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.				12 - KULAK BURUN BOĞAZ HAST.																					
20																																			
21																																			
22																																			
23																																			
24																																			
25																																			

Şekil 4.12: GA ile oluşturulan 23 Ocak 2019 tarihli ameliyathane çizelgesi

SONUÇ

Bu tez çalışmasında, GA yöntemi kullanılarak elektif hastalara ait günlük ameliyat taleplerinin çizelgelenmesi problemini çözen etkin bir yöntem önerilmiştir. 25 adet ameliyat odası bulunan ve her bir ameliyat odası içerdiği teknoloji sebebiyle farklı cerrahi bölümlerden hastalara cevap verebilecek şekilde tasarlanmış olan bir ameliyathanenin çizelgelenmesi, GA analizi ile çalıştırılmış ve sonuçlar raporlanmıştır. Çalışmada hastanenin ameliyathanesine ait gerçek veriler kullanılmıştır.

Herhangi bir programlama modeli ya da algoritma kullanılmadan, ameliyathane yönetim ve planlama ekibi tarafından günlük olarak yapılan toplantılar sonucunda oluşturulan çizelgelere göre, ameliyathane kullanım oranının ortalama olarak %24,54 düzeyinde olduğu hesaplanmıştır. Geliştirilen GA modeli ile bu oran yaklaşık %75-80 düzeylerine çıktığı gözlemlenmiştir. Ayrıca analiz süresinin günlük olarak yapılan toplantılara kıyasla oldukça kısa olması sebebiyle, planlama ve çizelgeleme için harcanan işgücü zamanından da önemli ölçüde tasarruf edilmesi sağlanmıştır.

GA analizi ile elde edilen çizelgeler ile gerçekleşen çizelgeler karşılaştırıldığında, algoritmanın kullanılan toplam ameliyat odası sayısında iyileştirme sağlayabilir nitelikte olduğu gözlemlenmiştir. Ele alınan problem özelinde geliştirilen hedeflenmiş mutasyon operatörlerinden biri ile mümkün olduğunca az sayıda ameliyat odasının kullanıma açılması sağlanabilmektedir. Benzer olarak çizelgelerde kullanılan fazla mesai zamanlarının da geliştirilen bir diğer hedeflenmiş mutasyon operatörü ile mümkün olduğunca azaltılması sağlanabilmektedir.

Geliştirilen GA modeli, hastaların tamamının günlük çizelgeye atanmasını sağlamakta başarılı olmuştur. Rastsal olarak oluşturulan başlangıç popülasyonlarında sıklıkla çizelgelere atanamayan hastalar bulunmasına rağmen, problem özelinde geliştirilen çaprazlama ve mutasyon operatörleri yardımıyla tüm hastaların çizelgelere atanabilmeleri sağlanmıştır.

Çalışmada her ne kadar acil ameliyatlara çizelgelenmemiş olsa da; oluşabilecek bir acil ameliyat talebinin, yeni bir ameliyat odasını kullanıma açmadan hızlı bir şekilde operasyona alınabilmesi amacıyla, elektif ameliyatlara bitiş zamanlarının birbirinden farklı olması başarıyla sağlanabilmektedir. Böylece acil hastaların toplam bekleme süresi en aza indirgenebilmiştir.

Yazılan GA kodunda kullanılan girdilerde yapılabilecek küçük değişiklikler ile model ihtiyaçları doğrultusunda yapılandırılabilir. Çalışmada ameliyathane yöneticilerinin önerileri doğrultusunda 10 adet fazla mesai bloğu zamanı kullanılmıştır. Ancak elde edilen çizelgelerde görüleceği üzere fazla mesai zamanları tam kapasite olarak değil, ihtiyaç duyulduğu durumlarda kullanılmıştır. Çizelgelenmesi gereken günlük hasta sayısının fazla olduğu durumlarda fazla mesai zaman bloğu sayısı artırılarak, tüm hastaların çizelgeye yerleştirilebilmesini sağlamak mümkündür. Çizelgelenme sürecinde gerek duyulduğunda fazla mesai zamanlarında değişiklik yapılmasına imkan tanıyan bir çözüm önerisi sunulmuştur.

Çalışmada; zaman bloklarının 1'er saatlik zaman dilimlerinden oluşması durumunda, 1,5 saat sürmesi planlanan bir ameliyat için 2 adet zaman bloğunun kullanılması gerekecektir. Böylece kullanılan ameliyat odasında 0,5 saatlik kayıp bir zaman oluşmuş olacaktır. Bu durumun önüne geçmek amacıyla, ameliyathane çizelgeleme ekibinin önerileri ile çalışmadaki zaman blokları 0,5 saatlik zaman dilimlerinden oluşturulmuştur. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, planlanan ameliyat sürelerinin daha hassas tahmin edilmesi ile, zaman blokları daha küçük zaman dilimleri olarak ele alınıp, oluşabilecek zaman kayıplarının minimum düzeye indirgenmesinin sağlanabileceği düşünülmektedir. Çalışmada sunulan çözüm önerisi,

zaman bloklarının saatlerinde ve dolayısıyla adetlerinde yapılacak değişikliklere imkan sağlamaktadır.

Çalışmada her bir cerrahi bölümde gerçekleşecek olan ameliyat sürelerinin sabit olduğu kabul edilmiştir ve çizelgeler bu varsayım altında oluşturulmuştur. Her bir hastaya ait ameliyat süresi, zaman blok sayısı cinsinden, analizin girdi dosyasında yer almaktadır. Yazılan kod yardımıyla girdi dosyasındaki bu bilgiler okunarak analiz gerçekleştirilmektedir. İhtiyaç duyulduğu takdirde, analiz girdisini oluşturan Microsoft Excel dosyasında herhangi bir hastanın ameliyat süresi değiştirildiğinde, yazılan kod üzerinde bir değişiklik yapmadan, çizelgelemenin yapılabilmesi mümkün olmaktadır. Böylece çalışma, ameliyat sürelerinin sabit olması varsayımını ortadan kaldırarak, farklı ameliyat süreleri için de çizelgelerin gerçekleştirilmesine imkan tanımaktadır.

Bu çalışma ile ameliyathane çizelgeleme problemine, GA yöntemi kullanılarak çözüm üretilebildiği sonucuna varılmıştır. GA analizi ile; çalışma verisinde 61 adet hasta ile hasta sayısı en fazla olan güne ait çizelgeleme gerçekleştirilmiştir. Ancak, oluşturulan modelin çalışabilmesi için herhangi bir hasta sayısı sınırı bulunmamaktadır. Ameliyat odası sayısı ve belirlenen mesai sürelerine bağlı olarak, çizelgelenebilecek hasta sayısının artırılabilmesi mümkündür. Ancak çalışmada belirlenmiş olan durdurma kriteri, çalışma verisindeki en yoğun günlere ait hasta sayılarına göre belirlenmiştir. Bu sebeple çizelgelenecek hasta sayısının artması durumunda, algoritmayı durdurma kriteri olarak belirlenen iterasyon sayısının da artırılması gerektiği göz ardı edilmemelidir.

Oluşturulan model eş zamanlı olarak doktor çakışmalarının yaşanmasını önleyebilir niteliktedir. Bilindiği gibi ameliyatlarda doktorun yanı sıra; hemşire ve anestezi uzmanı gibi yardımcı personel de görev almaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalar için, yardımcı ameliyathane personelinin aynı zaman periyodunda farklı ameliyat odalarında görevlendirilmesinin engellenmesinin önem taşıdığı düşünülmektedir.

Gelecek çalışmalarda acil ameliyat talebi ile hastaneye başvuran hastalar ve çeşitli sebeplerle son anda iptal edilen cerrahi operasyonlar gibi belirsiz faktörlerin de modele dahil edilmesi ile gerçek hayat benzeri bir çizelgelemenin elde edilmesi önerilmektedir. Gerçekleştirilen cerrahi operasyonlar sonrasında hastaların transfer edildiği "Anestezi sonrası bakım (uyanma odası)" ve "Yoğun bakım" ünitelerindeki yatak sayılarının modele dahil edilmesi önerilmektedir. Ayrıca operasyonu tamamlanan hastaların bu birimlerden hangisine transfer edildiği ve bu birimlerde ne kadar süre ile tutulduklarına dair verinin kayıt altına alınması ile stokastik analizlerin yapılması imkanı da elde edilebilecektir.

Çalışmada hastaların operasyonlarına ait öncelikleri gösteren bir değişken yer almamaktadır. Ancak gerçek hayatta operasyonuna öncelik verilmesi gereken hastalar bulunmaktadır. Oluşturulan GA analizine hastaların öncelik durumlarının eklenmesi sağlanarak, gerçek dünyayı daha iyi temsil edebilecek çizelgelerin elde edilmesinin mümkün olabileceği düşünölmektedir.

Sağlık işletmelerinde ameliyathane planlama ve çizelgeleme süreci, bu konuda görevli sağlık personelinin tecrübeleri doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Bu süreçte analitik ve algoritmik çalışmalar ile elde edilmesi mümkün olan kazanımlar çoğunlukla göz ardı edilmektedir. İlgili ameliyathane personelinin, elde edilebilecek bu kazanımlar hakkında bilgilendirilmesi sağlanarak, farkındalık yaratılmasının mümkün olduğu düşünölmektedir.

KAYNAKÇA

- Aarts, E., Jan K. : **Local Search in Combinatorial Optimization**, John Wiley & Sons Ltd., 1997.
- Abdelhalim, E. A., : “A Utilization-based Genetic Algorithm for Solving the G. A. El Khayat University Timetabling Problem (UGA)”, **Alexandria Engineering Journal** 55(2), 2016, s.1395–1409.
- Abedini, A., W. Li, : “An Optimization Model for Operating Room Scheduling to Reduce Blocking Across the Perioperative Process”, **Procedia Manufacturing** 10, 2017, s.60–70.
- Aringhieri, R., P. : “A Two Level Metaheuristic for the Operating Room Landa, P. Soriano, E. Scheduling and Assignment Problem”, **Computers and Operations Research**, 54, 2015, s.21–34.
- Tanfani, A. Testi
- Arnaout, Jean-Paul : “Heuristics for the maximization of operating rooms utilization using simulation”, **Simulation** 86(8–9), 2010, s.573–583.
- Bäck, T. : **Evolutionary Algorithms in Theory and Practice**, Oxford University Press, New York, 1996.
- Bäck, T., D. B. : **Evolutionary Computation 1: Basic Algorithms and Fogel, Z. Operators**, 1st edition, 2000.
- Michalewicz
- Baker, K. R., D. : **Principles of Sequencing and Scheduling**, Wiley, 2nd Trietsch edition, 2009.
- Baytören, E., E. : “Sağlık Alanında Kullanılan Yöneylem Araştırması Teknikleri Önder, M. Özdemir Üzerine Literatür İncelemesi”, **International Scientific Researches Congress 2019 Tbilisi, Gümüşhane Üniversitesi Yayınları, Tiflis**, 2019, s.69–72.
- Beasley, D., D. R. : “An Overview of Genetic Algorithms: Part 1, Fundamentals”, Bull, R. R. Martin **University Computing**, 15(2), 1993, s.1–16.

- Beaulieu, I., M. : **Advanced Decision Making Methods Applied to Health Care, Operating Rooms Scheduling Under Uncertainty**, Ed. by. E. Tànfani ve A. Testi, 2012, s.13–32.
- Gendreau, P. Soriano
- Blake, J. T., J. : “Mount Sinai Hospital Uses Integer Programming to Allocate Operating Room Time”, **Interfaces**, **32(2)**, 2002, s.63–73.
- Donald
- Błażewicz, J., K. H. : **Scheduling Computer and Manufacturing Processes**, Ecker, E. Pesch, G. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, 1996.
- Schmidt, J. Węglarz
- Bolat, B., O. K. Erol, : “Mühendislik Uygulamalarında Genetik Algoritma ve Operatörlerin İşlevleri”, **Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, **4**, 2004, s.264–271.
- E. C. İmrak
- Bouguerra, A., C. : “Mathematical Model for Maximizing Operating Rooms Utilization”. **IFAC-PapersOnLine**, **48(3)**, 2015, s.118–123.
- Sauvey, N. Sauer
- Breslawski, S., D. : Operating Room Scheduling. **AORN Journal**, **53(5)**, 1991, s.1229.
- Hamilton
- Brucker, P. : **Scheduling Algorithms**, Springer, New York, 5th Edition, 2007.
- Cantu-Paz, E. : **Efficient and Accurate Parallel Genetic Algorithms**, Kluwer Academic Publishers, USA, 2000.
- Cardoen, B., E. : “Operating room planning and scheduling: A literature review”, **European Journal of Operational Research**, **201(3)**, 2010, s.921–932.
- Demeulemeester, J. Beliën
- Castro, P. M., I. : “Operating room scheduling with Generalized Disjunctive Programming”, **Computers and Operations Research**, **64**, 2015, s.262–273.
- Marques

- Chaabane, S., N. : “Comparison of Two Methods of Operating Theatre Planning: Application in Belgian Hospital”, **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, **17(2)**, 2008, s.171–186.
- Meskens, A. Guinet,
M. Laurent
- Chambers, L. : **Practical Handbook of Genetic Algorithms: New Frontiers Volume II**, CRC Press, USA, 1st edition, 1995.
- Chambers, L. : **The Practical Handbook of Genetic Algorithms: Applications**, Chapman & Hall/Crc, USA, 2nd edition, 2001.
- Chan, F. T. S., S. H. : “A Hybrid Genetic Algorithm for Production and Distribution”, **Omega The International Journal of Management Science**, **33(4)**, 2005, s.345–355.
- Chung, S. Wadhwa
- Chen, M., A. M. S. : “A Genetic Approach to Motion Planning of Redundant Mobile Manipulator Systems Considering Safety and Configuratinon”, **Journal of Robotic Systems**, **14(7)**, 1997, s.529–544.
- Zalzala
- Chen, Ting-Yu, : “Improvements of Simple Genetic Algorithm in Structural Design”, **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, **40**, 1997, s.1323–1334.
- Chung-Jei Chen
- Cheng, R., M. Gen, : “A tutorial Survey of Job-Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithms, Part II: Hybrid Genetic Search Strategies”, **Computers and Industrial Engineering**, **36(1)**, 1999, s.343–364.
- Y. Tsujimura
- Conforti, D., F. : “A Multi-Objective Block Scheduling Model for the Management of Surgical Operating Rooms: New Solution Approaches via Genetic Algorithms”, **2010 IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM)**, 2010, s.1–5.
- Guerriero, R. Guido
- Conway, R. W., W. : **Theory of Scheduling**, Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1967.
- L. Maxwell, L. W.
Miller

- Cura, T. : **Modern Sezgisel Teknikler ve Uygulamaları**, Papatya Yayınları, İstanbul, 1.Baskı, 2008.
- Dave, M., K. : “Job Shop Scheduling Algorithms - A Shift from Traditional Techniques to Non-Traditional Techniques”, **Proceedings of the 10th INDIACom, 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development**, 2016, s.163–167.
- Demirtas, M. : **Resource Constrained Operating Room Scheduling**, New England University, 2019.
- Denton, B., J. : “Optimization of Surgery Sequencing and Scheduling Decisions Under Uncertainty”, **Health Care Management Science**, **10(1)**, 2007, s.13–24.
- Viapiano, A. Vogl
- Dexter, F., R. H. : “Operating Room Efficiency and Scheduling”, **Current Opinion in Anaesthesiology**, **18(2)**, 2005, s.195–198.
- Epstein
- Dexter, F., A. : “Which Algorithm for Scheduling Add-on Elective Cases Maximizes Operating Room Utilization?”, **Anesthesiology**, **91(5)**, 1999, s.1491–1500.
- Macario, R. D. Traub
- Dexter, F., R. D. : “How to Schedule Elective Surgical Cases into Specific Operating Rooms to Maximize the Efficiency of Use of Operating Room Time”, **Anesth-Analg**, **94**, 2002, s.933–942.
- Traub
- Dexter, F., R. D. : “How to Release Allocated Operating Room Time to Increase Efficiency: Predicting Which Surgical Service Will Have the Most Underutilized Operating Room Time”, **Anesthesia and Analgesia**, **96(2)**, 2003, s.507–512.
- Traub, A. Macario

- Dios, Manuel, J. M. : “A Decision Support System for Operating Room Scheduling”, **Computers & Industrial Engineering**, **88**, 2015, s.430–443.
- Molina-Pariente, V. : “Can We Improve Operating Room Efficiency?” **Journal of Postgraduate Medicine**, **61(1)**, 2015, s.1–2.
- Fernandez-Viagas, J. : “Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları”, **Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi**, **21(1)**, 2002, s.129–152.
- L. Andrade-Pineda, J. M. Framinan : **Computational Intelligence**, John Wiley & Sons Inc, 2nd edition, 2007.
- Engelbrecht, A. P. : “Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yardımı ile Çözümünde Uygun Çaprazlama Operatörünün Belirlenmesi”, **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, **6**, 2002, s.27–35.
- Engin, O., A. Fırlı : “A Genetic Algorithm for Job Shop”, **Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation**, 1991, s.824–829.
- Falkenauer, E., S. : “Solving A Tactical Operating Room Planning Problem by A Column-Generation-Based Heuristic Procedure with Four Criteria”, **Annals of Operations Research**, **166(1)**, 2009, s.91–108.
- Bouffoux : “A Planning and Scheduling Problem for An Operating Theatre Using An Open Scheduling Strategy”, **Computers and Industrial Engineering**, **58(2)**, 2010, s.221–230.

- Fei, Hongying, N. : “An Operating Theatre Planning and Scheduling Problem in the Case of A Block Scheduling Strategy”, **2006 International Conference on Service Systems and Service Management**, 2006, s.422–428.
- Fitzgerald, J. A., M. : “How Can Human Technologies Improve Decision - Making Practices in the Operating Theatre?”, **4th Health Care Technology Management Conference**, Denmark, 2005.
- French, S. : **Sequencing And Scheduling: An Introduction to the Mathematics of The Job-Shop**, John Wiley and Sons Publishing, New York, 1982.
- Garg, R., A. R. : “Reasons for Cancellation of Cases on the Day of Surgery – A Prospective Study”, **Indian Journal of Anaesthesia**, 53(1), 2009, s.35–39.
- N. Gupta, R. Anand
- Goldberg, D. E. : **Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning**, Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
- Goldberg, D. E., K. : **Foundations of Genetic Algorithms, A Comparative Analysis of Selection Schemes Used in Genetic Algorithms**, Ed. by. G. J. E. Rawlins, 1991, s.69–93.
- Deb
- Goldberg, D. E., J. : “Guest Editorial Genetic Algorithms and Machine Learning”, **Machine Learning**, 3, 1988, s.95–99.
- H. Holland
- Goldberg, D. E., B. : “Messy Genetic Algorithms : Motivation, Analysis, and First Results”, **Complex Systems**, 3, 1989, s.493–530.
- Korb, K. Deb
- Guerriero, F., R. : “Operational Research in the Management of the Operating Theatre: A Survey”, **Health Care Management Science**, 14(1), 2011, s.89–114.
- Guido
- Guinet, A., S. : “Operating Theatre Planning”, **International Journal of Production Economics**, 85(1), 2003, s.69–81.
- Chaabane

- Hamilton, D. M., S. : “Operating Room Scheduling: Factors to Consider”, **AORN Journal**, **59(3)**, 1994, s.665–680.
Breslawski
- Hans, E. W., P. T. : **Handbook of Healthcare System Scheduling, Operating Theatre Planning and Scheduling**, Ed. by. R. Hall, Springer US, Boston, 2012.
Vanberkel
- Hasançebi, O., F. : “Evaluation of Crossover Techniques in Genetic Algorithm Based Optimum Structural Design”, **Computers and Structures**, **78(1)**, 2000, s.435–448.
Erbatur
- Haupt, R. L., S. E. : **Practical Genetic Algorithms**, 2nd Edition, 2004.
Haupt
- Heris, M. K. : **Genetic Algorithms in Python and MATLAB**, (Çevrimiçi) <https://www.udemy.com/course/genetic-algorithms-in-python-and-matlab/learn/lecture/17588286#overview>, 08.06.2020.
- Holland, J. H. : **Adaptation In Natural And Artifical Systems**, MIT Press, 1992.
- Holland, J. H. : “Genetic Algorithms”, **Scientific American**, **267(1)**, 1992, s.66–73.
- Hromkovič, J. : **Algorithmics for Hard Problems: Introduction to Combinatorial Optimization, Randomization, Approximation, and Heuristics**, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, 2nd edition, 2004.
- Huang, G., W. : “Surgical Scheduling Based on Hybrid Flow-Shop Scheduling”, **Applied Mechanics and Materials**, **201–202**, 2012, s.1004–1007.
Xiang, C. Li, Q.
Zheng, S. Zhou, B.
Shen, S. Chen

- İşler, M. C., B. : “Öğrenme Etkili Erken/Geç Tamamlanma Çizelgeleme Problemleri İçin Bir Literatür Araştırması”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **15(2)**, 2009, s.227–252.
- Iyer, S. K., B. : “Improved Genetic Algorithm for the Permutation Flowshop Scheduling Problem”, **Computers and Operations Research**, **31(4)**, 2004, s.593–606.
- Jain, A. S., S. : “Deterministic Job-Shop Scheduling: Past, Present and Future”, **European Journal of Operational Research**, **113(2)**, 1999, s.390–434.
- Kavuncubaşı, Ş., S. : **Sağlık Kurumları Yönetiminde Sayısal Yöntemler**, Ed. by. Y. A. Özcan, Siyasal Kitabevi, Ankara, 1. Baskı, 2013.
- Kaya, M. : “The Effects of Two New Crossover Operators on Genetic Algorithm Performance”, **Applied Soft Computing Journal**, **11(1)**, 2011, s.881–890.
- Kellegöz, T., B. : “Comparing Efficiencies of Genetic Crossover Operators for One Machine Total Weighted Tardiness Problem”, **Applied Mathematics and Computation**, **199(2)**, 2008, s.590–598.
- Khambhammettu, M., M. Persson : “Analyzing a Decision Support System for Resource Planning and Surgery Scheduling”, **Procedia Computer Science**, **100**, 2016, s.532–538.
- Knoeff, T. : **Operating Room Scheduling**, University of Twente, 2010.
- Kramer, O. : **Genetic Algorithm Essentials**, Springer International Publishing, Cham, 2017.
- Kühn, M., T. : “Genetic Algorithm For Process Optimization In Hospitals”, **Proceedings 26th European Conference on Modelling and Simulation**, 2012, s.103–107.

- Lamiri, M., J. Dreo, J., X. Xie : “Operating Room Planning with Random Surgery Times”, **IProceedings of the 3rd Annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering**, 2007, s.521–526.
- Lans, M. Van Der, E. W. Hans, J. L. Hurink, G. Wullink, M. Van Houdenhoven, G. Kazemier : “Anticipating Urgent Surgery in Operating Room Departments”, **Beta Research School for Operations Management and Logistics**, 2005.
- Leung, Joseph Y-T. : **Handbook of Scheduling Algorithmns, Models, and Performance Analysis**, A CRC Press Company, 2004.
- Li, F., D. Gupta, S. Potthoff : “Improving Operating Room Schedules”, **Health Care Management Science**, **19(3)**, 2016, s.261–278.
- Li, L. X., W. C. Benton, G. K. Leong : “The Impact of Strategic Operations Management Decisions on Community Hospital Performance”, **Journal of Operations Management**, **20(4)**, 2002, s.389–408.
- Macario, A. : “Are Your Operating Rooms Efficient?”, **OR Manager**, **23(12)**, 2007, s.1–5.
- Michalewicz, Z. : **Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs**, Springer, USA, 3rd edition, 1996.
- Mirjalili, S. : (Çevrimiçi) <https://www.udemy.com/geneticalgorithm/>, 30.01.2019
- Mirjalili, S. : **Evolutionary Algorithms and Neural Networks Theory and Applications**, Springer International Publishing, Cham, 2019.
- Mitchell, M. : **An Introduction To Genetic Algorithms**, MIT Press, London, 1996.

- Mühlenbein, H., D. : “Predictive Models for the Breeder Genetic Algorithm I. Schlierkamp-Voosen Continuous Parameter Optimization”, **Evolutionary Computation**, **1(1)**, 2008, s.25–49.
- Muñoz Alameda, L. : “Advances in Operating Room Management. The Role Of E., & Macario, A. Operating Room Director”, **Revista Española de Anestesiología y Reanimación (English Edition)**, **64(3)**, 2017, s.121–124.
- Narter, K. F. : Hastane Yönetimi, Ameliyathane Süreç Yönetimi, Ed. by. H. Sur ve T. Palteki, Nobel Tıp Kitapevleri, İstanbul, 2013, s.691–711.
- Nearchou, A. C. : “The Effect of Various Operators on the Genetic Search For Large Scheduling Problems”, **International Journal of Production Economics**, **88(2)**, 2004, s.191–203.
- Niu, Q., Q. Peng, T. : “Performance Analysis of the Operating Room Using ElMekkawy, Y. Y. Simulation”, **Proceedings of the Canadian Engineering Education Association**, 2017.
- Tan, H. Bruant, L. : Bernaerdt
- Omara, F. A., M. M. : “Genetic Algorithms For Task Scheduling Problem”, **Journal of Parallel and Distributed Computing**, **70(1)**, 2010, s.13–22.
- Önder, E. : Araç Rotalama Problemlerinin Parçacık Sürü ve Genetik Algoritma ile Optimizasyonu, 2011.
- Önder, E. : “İstanbul Halk Ekmek A.Ş.’ye Ait Çok Depolu Araç Rotalama Probleminin Meta-Sezgisel Yöntemler İle Optimizasyonu”, **İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi**, **70(22)**, 2011 , s.74–92.
- Özçakar, N. : “Genetik Algoritmalar”, **İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi**, **27(1)**, 1998, s.69–82.

- Ozcan, Y. A. : **Quantitative Methods in Health Care Management: Techniques and Applications**, Jossey-Bass , San Francisco, 2nd Edition, 2009
- Ozkarahan, I. : “Allocation of Surgeries to Operating Rooms by Goal Programing”, **Journal of Medical Systems**, **24(6)**, 2000, s.339–378.
- Pariente, J. M. M., J. : “Policies and Decision Models for Solving Elective Case
M. F. Torres, T. G. Operating Room Scheduling”, **2009 International
Cia Conference on Computers & Industrial Engineering**, 2009, s.112–117.
- Park, B. J., Choi, H. : “A Hybrid Genetic Algorithm For the Job Shop Scheduling
R., & Kim, H. S. Problems”, **Computers & Industrial Engineering**, **45(4)**, 2003, s.597–613.
- Patterson, P. : “What makes a well-oiled scheduling system?”, **OR Manager**, **12(9)**, 1996, s.19–23.
- Peltokorpi, A. : “How Do Strategic Decisions and Operative Practices Affect
Operating Room Productivity?” **Health Care Management
Science**, **14(4)**, 2011, s.370–382.
- Pendharkar, P. C., J. : “An Empirical Study of Impact of Crossover Operators on The
A. Rodger Performance of Non-Binary Genetic Algorithm Based Neural
Approaches For Classification”, **Computers and Operations
Research**, **31(4)**, 2004, s.481–498.
- Pezzella, F., G. : “A Genetic Algorithm For the Flexible Job-Shop Scheduling
Morganti, G. Problem”, **Computers & Operations Research**, **35(10)**,
Ciaschetti 2008, s.3202–3212.
- Pham, D. N., A. : “Surgical Case Scheduling As A Generalized Job Shop
Klinkert Scheduling Problem”, **European Journal of Operational
Research**, **185(3)**, 2008, s.1011–1025.

- Pinedo, Michael L. : **Scheduling In Manufacturing and Services**, Springer Science+Business Media, Inc., New York, 2005.
- Pinedo, Michael L. : **Scheduling Theory, Algorithms, and Systems**, Springer, 4th Edition, 2012.
- Rahimi, Samira A., A. Jamshidi, D. Ait-Kadi, A. R. Bartolome : “Applied Methods in Prioritization of Patients in Surgery Waiting Lists”, **Proceedings of the 2014 Industrial and Systems Engineering Research Conference**, 2014, s.1857.
- Reeves, C. : **Handbook of Metaheuristics, Genetic Algorithms**, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003, s.55–82.
- Reeves, C. R., J. E. Rowe : **Genetic Algorithms: Principles and Perspectives A Guide to GA Theory**, Kluwer Academic Publishers, New York, 1st Edition, 2002.
- Riise, A., C. Mannino, E. K. Burke : “Modelling and Solving Generalised Operational Surgery Scheduling Problems”, **Computers and Operations Research**, **66**, 2016, s.1–11.
- Robbins, S. P., D. A. Decenzo, M. Coulter : **Fundamentals of Management**, Pearson Education Inc., New Jersey, 8th Edition, 2013.
- Robert, Y., F. Vivien : **Introduction To Scheduling**, CRC Press, Boca Raton, 2010.
- Roland, B., C. Di Martinelly, F. Riane, Y. Pochet : “Scheduling an Operating Theatre Under Human Resource Constraints”, **Computers and Industrial Engineering**, **58(2)**, 2010, s.212–220.
- Satman, M. H. : **Genetik Algoritmalar**, Türkmen Kitabevi, İstanbul, 1.Baskı, 2016.

- Schlottmann, F., D. : “A Hybrid Genetic-Quantitative Method for Risk-Return Optimisation of Credit Portfolios”, **Quantitative Methods in Finance Conference Proceedings**, University of Technology, Sydney, 2001, s.1–27.
- Sier, D., P. Tobin, C. : “Scheduling Surgical Procedures”, **Journal of the McGurk Operational Research Society**, **48(9)**, 1997, s.884–891.
- Sim, S. K., Yeo, K. : “An Expert Neural Network System For Dynamic Job Shop T., & Lee, W. H. Scheduling”, **International Journal of Production Research**, **Vol. 32**, 1994, s.1759–1773.
- Siriwardene, N. R., : “Selection of Genetic Algorithm Operators For Urban B. J. C. Perera Drainage Model Parameter Optimisation”, **Mathematical and Computer Modelling**, **44(5–6)**, 2006, s.415–429.
- Sivanandam, S. N., : **Introduction to Genetic Algorithms**, Springer-Verlag Berlin S. N. Deepa Heidelberg, New York, 2008.
- Sosyal Güvenlik : **Sosyal Güvenlik Kurumu Sağlık Uygulama Tebliği**, Resmi Kurumu Gazete: 28597, 2013.
- Strum, D. P., J. H. : “Modeling the Uncertainty of Surgical Procedure Times”, May, L. G. Vargas **Anesthesiology**, **92(4)**, 2000, s.1160–1167.
- Stuart, K., E. Kozan : “Reactive Scheduling Model For the Operating Theatre”, **Flexible Services and Manufacturing Journal**, **24(4)**, 2012, s.400–421.
- Sufahani, S. F., S. N. : “A Scheduling Problem for Hospital Operating Theatre”, a M. Razali, Z. **International Seminar on the Application of Science & Mathematics**, 2012, s.1–8.
- Şahin, Ü. : **Hastane İşletmeciliğinde Kalite**, Kişisel Yayın, Eskişehir, 1999.

- Taniguchi, E., H. Shimamoto : “Intelligent Transportation System Based Dynamic Vehicle Routing and Scheduling With Variable Travel Times”, **Transportation Research Part C**, **12**, 2004, s.235–250.
- Taşkın, Ç., G. G. Emel : **Sayısal Yöntemlerde Genetik Algoritmalar**, Alfa Aktüel Yayınları, Bursa , 1. Baskı, 2009.
- Testi, A., E. Tanfani, G. Torre : “A Three-Phase Approach For Operating Theatre Schedules”, **Health Care Management Science**, **10(2)**, 2007, s.163–172.
- T.C. Sağlık Bakanlığı : “Türkiye Sağlık Yapıları Asgari Tasarım Standartları 2010 Yılı Klavuzu”, **T.C. Sağlık Bakanlığı İnşaat ve Onarım Dairesi Başkanlığı**, 2010.
- Uçak, Hatice : **Ameliyathanede Yönetim ve Organizasyon & Ameliyathane Talimatları ve Protokolleri**, Ayrıntı Basımevi, Ankara, 1. Baskı, 2009.
- Uçak, Hatice : **Ameliyathanede Yönetim - Organizasyon & Cerrahi Uygulamalar**, Kongre Kitapevi, İzmir, 2. Baskı, 2016.
- Uğurluoğlu, Ö., Y. Çelik, D. Tengilimoğlu, M. Kılıç, A. E. Esatoğlu, B. Şahin : **Sağlık Kurumları Yönetimi-II**, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 1. Baskı, 2013.
- Van Ders Lans, M., E. W. Hans, J. L. Hurink, G. Wullink, M. Van Houdenhoven, G. Kazemier : “Anticipating urgent surgery in operating room departments”, **BETA Research School for Operations Management and Logistics**, 2005, s.1–26.

- Van Houdenhoven, : “Improving Operating Room Efficiency by Applying Bin-
M., J. M. Van Packing and Portfolio Techniques to Surgical Case
Oostrum, E. W. Scheduling”, **Economics, Education, and Policy**, **105(3)**,
Hans, G. Wullink, G. 2007, s.707–714.
Kazemier
- van Oostrum, J. M., : “A Master Surgical Scheduling Approach For Cyclic
M. Van Scheduling in Operating Room Departments”, **OR Spectrum**,
Houdenhoven, J. L. **30(2)**, 2008, s.355–374.
Hurink, E. W. Hans,
G. Wullink, G.
Kazemier
- Weiss, Illa : **The Resource Transfer Problem A Framework for
Integrated Scheduling and Routing Problems**, Springer
International Publishing, Cham, 2019.
- Werner, Frank : **Genetic Algorithms For Shop Scheduling Problems: A
Survey**, 1997.
- Wong, J., K. J. Khu, : “Delays in the Operating Room: Signs of An Imperfect
Z. Kaderali, M. System”, **Canadian Journal of Surgery**, **53(3)**, 2010, s.189–
Bernstein 195.
- Wullink, G., M. Van : “Closing Emergency Operating Rooms Improves Efficiency”,
Houdenhoven, E. W. **Journal of Medical Systems**, **31(6)**, 2007, s.543–546.
Hans, J. M. Van
Oostrum, M. Van
Der Lans, G.
Kazemier
- Xiang, W., C. Li : “Surgery Scheduling Optimization Considering Real Life
Constraints and Comprehensive Operation Cost of Operating
Room”, **Technology and Health Care**, **23(5)**, 2015, s.605–
617.

- Yeniay, Özgür : “An Overview of Genetic Algorithms”, **Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 2(1), 2001, s.37–49.
- Yıldırım, Esra : “Ameliyathane Sistemlerinde Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli Çizelgeleme Yaklaşımı”, **Dumlupınar Üniversitesi**, 2013.
- : Evolutionary Algorithms 4 Recombination, (Çevrimiçi) <http://www.geatbx.com/docu/algindex-03.html>, 06.10.2019.
- : Evolutionary Algorithms 5 Mutation, (Çevrimiçi) http://www.geatbx.com/docu/algindex-04.html#P666_44497, 10.08.2020.
- : Healthcare Financial Management Association (HFMA), (Çevrimiçi) <https://www.hfma.org/>, 29.07.2020.
- : Surgery Management Improvement Group, (Çevrimiçi) www.surgerymanagement.com/, 22.10.2019.
- : Türk Dil Kurumu Sözlükleri, (Çevrimiçi) <http://sozluk.gov.tr/>, 08.10.2019.
- : Türkiye İstatistik Kurumu, (Çevrimiçi) http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1027, 08.01.2020.

EKLER

EK-1: Etik Kurul Raporu



T.C.
İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanlığı

E-İmzalıdır

Sayı : 10840098-604.01.01-E.55989
Konu : Etik Kurulu Kararı

10/10/2019

Sayın Esra BAYTÖREN

Üniversitemiz Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kuruluna yapmış olduğunuz “Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Ameliyathanelerde Çizelgeleme” isimli başvurunuz incelenmiş olup etik kurulu kararı ekte sunulmuştur.

Bilgilerinize rica ederim.

Prof. Dr. Hanefi ÖZBEK
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar
Etik Kurulu Başkanı

Ek:
-Karar Formu (2 sayfa)

Bu belge 5070 sayılı e-İmza Kanununa göre Prof. Dr. Hanefi ÖZBEK tarafından 10.10.2019 tarihinde e-imzalanmıştır. Evrağınızı <https://ebys.medipol.edu.tr/e-imza> linkinden C2558AE5XF kodu ile doğrulayabilirsiniz.

İstanbul Medipol Üniversitesi

Kavacık Mah. Ekinçiler Cad. No.19 Kavacık Kavşağı - Beykoz
34810 İstanbul

Tel: 444 85 44
İnternet: www.medipol.edu.tr
Ayrıntılı Bilgi İçin : bilgi@medipol.edu.tr

İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ
GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR
ETİK KURULU KARAR FORMU

BAŞVURU BİLGİLERİ	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Ameliyathanelerde Çizelgeleme			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVAN/ADI/SOYADI	Esra BAYTÖREN			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Sayısal Yöntemler			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	İstanbul			
	DESTEKLEYİCİ	-			
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ ☒	ÇOK MERKEZLİ ☐	ULUSAL ☒	ULUSLARARASI ☐

İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ
GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR
ETİK KURULU KARAR FORMU

Değerlendirilen Belgeler	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ/PLANI			Türkçe ☐ İngilizce ☐ Diğer ☐
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU			Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐
Karar Bilgileri	Karar No: 740	Tarih: 09/10/2019		
	Yukarıda bilgileri verilen Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve araştırmanın etik ve bilimsel yönden uygun olduğuna “oybirliği” ile karar verilmiştir.			

İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU	
BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI	Prof. Dr. Hanefi ÖZBEK

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet	Araştırma ile ilişki	Katılım *	İmza
Prof. Dr. Şeref DEMİRAYAK	Eczacılık	İstanbul Medipol Üniversitesi	E ☒ K ☐	E ☐ H ☒	E ☐ H ☒	
Prof. Dr. Hanefi ÖZBEK	Farmakoloji	İstanbul Medipol Üniversitesi	E ☒ K ☐	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐	
Prof. Dr. Mete ÜNGÖR	Endodonti	İstanbul Medipol Üniversitesi	E ☒ K ☐	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐	
Doç. Dr. İlknur KESKİN	Histoloji ve Embriyoloji	İstanbul Medipol Üniversitesi	E ☐ K ☒	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐	
Dr. Öğr. Üyesi Sibel DOĞAN	Psiko-onkoloji	İstanbul Medipol Üniversitesi	E ☐ K ☒	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐	
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Hikmet ÜÇİŞİK	Biyoteknoloji	İstanbul Medipol Üniversitesi	E ☒ K ☐	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐	
Dr. Öğr. Üyesi Devrim TARAKCI	Fizyoterapi ve Rehabilitasyon	İstanbul Medipol Üniversitesi	E ☒ K ☐	E ☐ H ☒	E ☒ H ☐	

* :Toplantıda Bulunma

EK-2: Ameliyathane Çizelgelemesinde Kullanılan GA Matlab Kaba Kodu

1. Problemin girdisi
2. Ameliyat oda sayısını belirlenir
3. Normal ve fazla mesai blok zaman adedini belirlenir
4. Birim maliyetleri belirlenir
5. Maksimum iterasyon sayısını belirlenir
6. Popülasyon sayısını belirlenir
7. Çaprazlama oranını belirlenir
8. Mutasyon oranını belirlenir
9. Çizelgelenecek hastaları belirlenir
10. Çizelgelenecek hastaların operasyon süreleri belirlenir
11. Çizelgelenecek hastaların doktorları belirlenir
12. Başlangıç popülasyonu oluşturulur
13. For i = 1:popülasyon sayısı
14. For b = 1:çizelgelenecek hasta sayısı
15. Her hasta için rastsal olarak uygun bir ameliyat odası ve ameliyata başlangıç zamanı belirlenir. Koşulların uygunluğu sağlanırsa hasta çizelgeye atanır.
16. End for
17. Çizelge (kromozom) için uygunluk değeri hesaplanır
18. If (Çizelgenin uygunluk değeri < en iyi çözüm)
19. Kromozom en iyi çözüm olarak kaydedilir
20. End if
21. End for
22. GA ana döngüsü başlatılır
23. For it = 1:maksimum iterasyon sayısı
24. Çaprazlama sayısı belirlenir
25. For k = 1: çaprazlama sayısı
26. Rulet tekeri seçimi ile ebeveynler seçilir
27. Çaprazlama uygulanır

```
28.          End for
29.          For l = 1: yavru kromozom sayısı
30.              Mutasyon uygulanır
31.              Yavru kromozomun uygunluk değeri hesaplanır
32.              If (Yavru çizelgenin uygunluk değeri < en iyi
                  çözüm)
33.                  Yavru kromozom en iyi çözüm olarak
                      kaydedilir
34.              End if
35.          End for
36.          Ebeveyn ve yavru kromozomlar birleştirilir
37.          Birleştirilmiş popülasyon uygunluk değerlerine göre
              sıralanır
38.          Başlangıç popülasyon sayısı kadar en iyi kromozom bir
              sonraki iterasyon için korunur, diğerleri yok edilir
39.          İterasyona ait en iyi uygunluk değeri kaydedilir
40.      End for
41.  Maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında algoritma sonlandırılır
42.  Problem için elde edilen en iyi çizelge gösterilir
43.  İterasyon sayısı – en iyi uygunluk değeri grafiği oluşturulur
```

ÖZGEÇMİŞ

1986 İstanbul doğumlu olan Esra BAYTÖREN, ilk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamlamıştır. 2004 yılında Pertevniyal Anadolu Lisesi'nden mezun olmuştur. 2008 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği'nden mezun olmuştur. 2011 yılında İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadı Enstitüsü'nde İngilizce İşletme Yöneticiliği yüksek lisansını tamamlamıştır. 2011 yılında İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Sayısal Yöntemler Ana Bilim Dalı'nda doktora eğitimine başlamıştır.

2016 yılından itibaren İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Sağlık Yönetimi Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.