

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ DOKTORA PROGRAMI**

**EVDE SAĞLIK HİZMETLERİ ÇİZELGELEME VE ROTALAMA
PROBLEMİ: MATEMATİKSEL MODELLER VE META-SEZGİSEL
ALGORİTMALAR**

HAZIRLAYAN

ASIYE ÖZGE DENGİZ

DOKTORA TEZİ

ANKARA – 2021

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ DOKTORA PROGRAMI**

**EVDE SAĞLIK HİZMETLERİ ÇİZELGELEME VE ROTALAMA
PROBLEMİ: MATEMATİKSEL MODELLER VE META-SEZGİSEL
ALGORİTMALAR**

HAZIRLAYAN

ASIYE ÖZGE DENGİZ

DOKTORA TEZİ

**TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. KUMRU DİDEM ATALAY**

**TEZ EŞ DANIŞMANI
PROF. DR. FULYA ALTIPARMAK**

ANKARA – 2021

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, “Endüstri Mühendisliği” Doktora Programı çerçevesinde Asiye Özge Dengiz tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 04 / 08 / 2021

Tez Adı: Evde Sağlık Hizmetleri Çizelgeleme ve Rotalama Problemi: Matematiksel Modeller ve Meta-sezgisel Algoritmalar

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)		İmza
Doç. Dr. Kumru Didem Atalay	Başkent Üniversitesi
Prof. Dr. İmdat Kara	Başkent Üniversitesi
Prof. Dr. İsmail Karaoğlan	Konya Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Yusuf Tansel İç	Başkent Üniversitesi
Doç. Dr. Haluk Yapıcıoğlu	Eskişehir Teknik Üniversitesi

ONAY

Prof. Dr. Ömer Faruk Elaldı
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Tarih : ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: ... / ... / 20...

Öğrencinin Adı, Soyadı : Asiye Özge Dengiz

Öğrencinin Numarası : 21520271

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Endüstri Mühendisliği

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Doç. Dr. Kumru Didem Atalay

Prof. Dr. Fulya Altıparmak

Tez Başlığı : Evde Sağlık Hizmetleri Çizelgeleme ve Rotalama Problemi: Matematiksel Modeller ve Meta-sezgisel Algoritmalar

Yukarıda başlığı belirtilen Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 80 sayfalık kısmına ilişkin, 18 / 08 / 2021 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3'tür. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

ONAY

Tarih: ... / ... / 20...

Öğrenci Danışmanı

Doç. Dr. Kumru Didem Atalay

Bu tezi COVID-19 salgını sürecinde sağlık sektöründe büyük bir fedakârlıkla çalışan tüm sağlık çalışanlarına ve başta saygıdeğer kayınpederim AHMET TAHİR DENGİZ olmak üzere kaybettiğimiz tüm sevdiklerimize ithaf ediyorum.

A.Özge DENGİZ

Ankara – 2021

TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkılarından dolayı, aşağıda adı geçen kişilere içtenlikle teşekkür eder.

Sayın hocam Doç. Dr. Kumru Didem ATALAY'a (tez danışmanı) ve Sayın hocam Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK'a (tez eş danışmanı), tez çalışmam süresince her aşamada hem bilgi ve deneyimleriyle hem de anlayış ve hoşgörülerıyla her zaman yanımda oldukları için...

Sayın hocam Prof. Dr. İmdat KARA'ya ve Sayın hocam Prof. Dr. Berna DENGİZ'e tüm eğitim sürecinde bana inandıkları, destekledikleri, yol gösterdikleri ve tez süresince her zaman engin bilgi, fikir ve öneri ile tez çalışmama sağladıkları büyük katkılar için...

Sayın hocam Prof. Dr. İsmail KARAOĞLAN'a katkı ve önerileri için...

Sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Barış KEÇECİ'ye programlama sürecindeki tüm yardımları için...

Başta asistanlığını yaptığım Sayın hocam Prof. Dr. Ergin İĞREK ve Sayın hocam Dr. Azer ÖNEL olmak üzere Endüstri Mühendisliği'nin saygıdeğer tüm hocaları, araştırma görevlisi arkadaşlarım ve idari personellerine anlayış ve destekleri için...

Sevgili annem Dt. Zuhal ALKANAT başta olmak üzere AİLEME tüm eğitim hayatım ve tez çalışmam boyunca bana olan moral, motivasyon ve tüm destekleri için...

Sevgili eşim Dr. Orhan DENGİZ ve sevgili kızım Lal Derin'e doktora eğitimim süresince gösterdikleri sabır, destek ve anlayışları için...

ÖZET

Asiye Özge DENGİZ

**EVDE SAĞLIK HİZMETLERİ ÇİZELGELEME VE ROTALAMA PROBLEMİ:
MATEMATİKSEL MODELLER VE META-SEZGİSEL ALGORİTMALAR**

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

2021

Dünyayı etkileyen COVID-19 salgını, sağlık sektörü başta olmak üzere tüm sektörler üzerinde birçok sorun yaratmıştır. Gelişmişlik düzeylerine bakılmaksızın tüm ülkeler, salgının etkilerini azaltmanın yanı sıra kronik hastalığı veya bakım gerektiren hastalığı olan vatandaşları için güvenli, sürdürülebilir ve uygulanabilir çözüm arayışına girmiştir. Ortaya çıkan bu ihtiyacı karşılayabilecek nitelikte bir hizmet olan evde sağlık hizmeti (ESH), kişilerin acil olmayan sağlık problemleri için sağlık personelleri tarafından evlerinde ziyaret edilmelerini sağlayan bir sağlık hizmeti olarak tanımlanabilir. ESH'de, bu hizmeti veren ekip ve hizmeti talep eden hastalar olmak üzere iki önemli taraf bulunmaktadır. Özellikle Türkiye gibi sosyal devletlerde, sağlık hizmetlerinin finansal yükü devlet tarafından karşılanmaktadır. Ayrıca, ülkemizde ESH'nin, artan bir şekilde talep görmesi, birçok hastane tarafından verilmesi ve yasal düzenlemelere rağmen hizmetin planlanması aşamasında ortaya çıkan problemler, yeni yaklaşımların geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle ESH'nin verimli bir şekilde planlanması ve sorunsuz şekilde hastalara ulaştırılabilmesi, her iki tarafın tatmin edilmesini gerektiren önemli bir çizelgeleme ve rotalama problemidir. Bu nedenle, ele alınan sistemde, hastane tarafından sağlanan hizmetler, aynı hastanın gün içinde birden fazla ziyaret edilmesinin gerekmesi ve kaynakların sınırlı olması rotaların belirlenmesi problemini, kaynaklardaki Çok Turlu Araç Rotalama Problemi (ÇTARP)'nin özel bir hali olarak ele alınmasını gerektirmiştir. Bu tez çalışması, Türkiye'deki ESH sistemini bu kapsamda tanımlayarak, ele alan ve rotalama problemine çözüm bulmayı amaçlayan ilk çalışmadır. Gerçek hayattaki sistemi anlamak ve gerçek hayat verileri ile çalışmak için, Ankara'daki Gölbaşı Devlet Hastanesi'nin ESH birimi

pilot hastane olarak seçilmiştir. ESHÇRP için geliştirilen modelin kısıtları, varsayımları ve amaç fonksiyonu, Türkiye’deki ESH sistemine ve pilot hastanedeki işleyişe özel olarak belirlenmiştir. Bu tezde, hizmet veren ekip sayısının tek/çok ekip olması ve önerilen modeldeki yardımcı karar değişkeninin düğüm/ayrıt tabanlı tanımlanmasına göre dört ayrı, özgün matematiksel model geliştirilmiştir. Ayrıca pilot hastaneden alınan bilgilere göre üretilen test problemleri ile model performansları incelenmiştir. Matematiksel modellerin sınırlı kaldığı büyük boyutlu test problemlerinin çözümü için birinci algoritma Yerel Arama (YA) ikinci algoritma tavlama benzetimi (B-TB) algoritmasına dayalıdır. Üçüncü algoritmada başlangıç çözümü Açgözlü Rassallaştırılmış Uyarlamalı Arama Prosedürü (ARUAP) göre üretilmiş ve algoritma ARUAP-TB olarak adlandırılmıştır. Son algoritma ARUAP-TB-ısıtma olarak kodlanmış ve tez kapsamında toplamda dört meta-sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Algoritma performansları belirlenen performans kriterlerine göre istatistiksel analizlerle karşılaştırılmıştır. Sayısal analiz sonuçlarına göre, matematiksel modellerin ancak küçük boyutlu test problemleri için çözümler bulabildiği, hasta sayısının 40 ve daha büyük olduğu test problemleri için önerilen meta-sezgisel algoritmalar ile uygun çözümlerin makul sürelerde elde edildiği görülmüştür. Meta-sezgisel algoritmalar arasında ARUAP-TB algoritması çözüm kalitesi açısından; YA algoritması ise çözüm süresi açısından daha iyi bir performans göstermiştir. Önerilen yaklaşımlar ile elde edilen çözümlere sistematik ve bilimsel bir şekilde çözüm aramanın yanı sıra hastane kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılarak hastalara kaliteli hizmet verilmesi amaçlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Evde Sağlık Hizmetleri, Çok Turlu Araç Rotalama Problemi, Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli, Zaman Penceresi, Meta-sezgisel Algoritmalar.

ABSTRACT

Asiye Özge DENGİZ

HOME HEALTH CARE SCHEDULING AND ROUTING PROBLEM:

MATHEMATICAL MODELS AND META-HEURISTIC ALGORITHMS

Başkent University Institute of Science and Engineering

Department of Industrial Engineering

2021

The COVID-19 pandemic, which affects the world, has created many problems in every sector, especially in the health sector. Regardless of their level of development, all countries have searched for safe, sustainable, and viable solutions for their citizens with chronic diseases or diseases that require care, as well as trying to reduce the effects of the epidemic. Home health care (HHC), a service that can meet this emerging need, can be defined as a health service that allows people to be visited at home by healthcare personnel for non-emergency health problems. There are two important parties in the HHC, the healthcare personnel providing this service and the patients requesting the service. Especially in social states like Turkey, the majority of the financial burden of health services is covered by the state. For this reason, efficient planning of services and delivery to patients without any issues is an important problem that needs to grant satisfaction of both parties. In Turkey, the increasing demand and legal regulations for HHC has created a need to develop new approaches for the problems that arise during the planning of the service, as it is delivered by many hospitals. In the system under consideration, the services provided by the hospital, the need to visit the same patient more than once during the day, and determining the routes to provide these services with limited resources required the problem to be considered as a special case of the Multi-Trip Vehicle Routing Problem (MT-VRP) in the literature. This thesis is the first study that aims to find a solution to the routing problem by defining the HHC system in Turkey in this context. To understand the real-life system and work with real-life data, the HHC unit of Gölbaşı State Hospital in Ankara is chosen as the pilot hospital. The constraints, assumptions, and objective function of the model developed for the HHCRSP have been determined specifically for the HHC system in Turkey and the operation in the pilot hospital. In this thesis, four different, unique mathematical models were developed

according to the number of serving teams being single or multiple and the node/edge based definition of the auxiliary decision variables in the proposed model. In addition, the model performances are analyzed with test problems produced according to the information received from the pilot hospital. For solving large-scale test problems where mathematical models are unable to provide solutions in practical time, four meta-heuristic algorithms are developed within the scope of the thesis. The first algorithm is based on Local Search (LS) and the second algorithm is based on simulated annealing (B-SA). In the third algorithm, the initial solution is generated according to the Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) and the algorithm is named GRASP-SA. The last algorithm was coded as GRASP-SA-heating. Algorithm performances are compared with statistical analysis according to the determined performance criteria. According to the numerical analysis results, it is seen that mathematical models can only find solutions for small-sized test problems, and suitable solutions are obtained in reasonable time with the proposed meta-heuristic algorithms for test problems with 40 or more patients. Among the meta-heuristic algorithms, the GRASP-SA algorithm showed better performance in terms of solution quality. The LS algorithm, on the other hand, performed better in terms of solution time. The aim of the proposed models is to provide quality service to patients by using hospital resources efficiently in addition to provide a systematic and scientific method to seek solutions for the HHC planning problem.

KEY-WORDS: Home Health Care, Multi-Trip Vehicle Routing Problem, Integer Linear Programming Model, Time Window, Meta-heuristic Algorithms.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

Sayfa

TEŞEKKÜR	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. EVDE SAĞLIK HİZMETLERİ ÇİZELGELEME VE ROTALAMA PROBLEMİ	5
2.1. Türkiye’de Evde Sağlık Hizmetleri.....	6
2.2. Kaynaklardaki ESHÇRP ile ilgili Çalışmalar	6
2.3. Evde Sağlık Hizmetleri ve Çok Turlu Araç Rotalama Problemi.....	9
2.4. Kaynaklardaki Matematiksel Modeller	11
2.4.1. Mankowska vd. [54] modeli	12
2.4.2. Bredström ve Rönnqvist [53] Modeli	14
2.4.3. Anaya-Arenas vd. [50] Modelleri.....	16
2.5. Mevcut Matematiksel Modellerin Değerlendirilmesi ve Özgün Yaklaşım Gereççeleri	20
3. TEK EKİPLİ EVDE SAĞLIK HİZMETLERİ ÇİZELGELEME VE ROTALAMA PROBLEMİ.....	22
3.1. Problem Tanımı	22
3.1.1. Sistemin Gereklilikleri ve Yapısı	23
3.1.2. Sistemin veri tabanında bulunması gereken bilgiler/ veriler	23
3.1.2.1. Sabit bilgiler.....	23
3.1.2.2. Ara işlemler modülü	24
3.1.2.3. Sistemin özellikleri ve kısıtlar	24
3.2. Dizin Kümeleri ve Simgesel Gösterimler	25
3.3. Önerilen Karar Modelleri	30
3.3.1. Tek Ekipli ESHÇRP için düğüm tabanlı matematiksel model.....	30
3.3.2. Tek ekipli ESHÇRP için akış tabanlı matematiksel model	32
3.4. Modellerin Performans Analizi	34
3.4.1. Test problemleri	34

3.4.2.	Sayısal Sonuçlar	36
3.5.	Önerilen Modellerin Genel Değerlendirmesi.....	38
4.	ÇOK EKİPLİ EVDE SAĞLIK HİZMETLERİ İÇİN ÇİZELGELEME VE ROTALAMA PROBLEMİ	39
4.1.	Problem tanımı.....	39
4.2.	Dizin kümeleri ve Simgesel Gösterimler	39
4.3.	Önerilen Karar Modelleri	40
4.3.1.1.	Çok ekipli ESHÇRP için düğüm tabanlı matematiksel model	41
4.3.1.2.	Çok Ekipli ESHÇRP için akış tabanlı matematiksel model.....	43
4.4.	Modellerin Performans Analizi	45
4.4.1.	Test problemleri	45
4.4.2.	Sayısal sonuçlar	46
4.5.	Önerilen Modellerin Genel Değerlendirmesi.....	47
5.	ÇT-ESHÇRP için META-SEZGİSEL ALGORİTMALAR.....	49
5.1.	Meta-Sezgisel Algoritmaların Temel Bileşenleri.....	49
5.1.1.	Çözüm gösterimi	50
5.1.2.	Komşuluk yapıları.....	51
5.1.3.	Amaç ve uygunluk fonksiyonu	54
5.2.	Yerel Arama Algoritması	56
5.2.1.	YA Algoritmasının genel yapısı	56
5.2.2.	Geliştirilen YA algoritmasının adımları	56
5.3.	Geliştirilen TB Algoritmaları.....	57
5.3.1.	B-TB Algoritması	60
5.3.2.	ARUAP-TB Algoritması.....	60
5.3.3.	ARUAP-TB-ısıtma Algoritması	62
5.3.4.	Test problemleri	62
5.3.5.	Sayısal sonuçlar	62
5.4.	Sayısal Analizler.....	62
5.5.	İstatistiksel Analizler	68
5.5.1.	YA ve B-TB algoritmalarının karşılaştırılması	69
5.5.2.	B-TB ve ARUAP-TB algoritmalarının karşılaştırılması	69
5.5.3.	ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritmalarının karşılaştırılması	70
5.6.	Değerlendirme	71
6.	SONUÇ	73

KAYNAKLAR 77

EKLER..... 87

EK 1: Algoritmalar için normallik analizleri

EK 2: YA ve B-TB algoritmaları için istatistiksel analiz sonuçları

EK 3: B-TB ve ARUAP-TB algoritmaları için istatistiksel analiz sonuçları

EK 4: ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritmaları için istatistiksel analiz sonuçları

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Test problemlerinin özellikleri	34
Tablo 3.2. Test problemlerinde kullanılan parametre değerleri.....	35
Tablo 3.3. TE_DTMM ve TE_ATMM ile elde edilen çözümler	37
Tablo 4.1. Test problemlerinin özellikleri	45
Tablo 4.2. ÇE_DTMM ve ÇE_ATMM ile elde edilen çözümler.....	46
Tablo 5.1. Performans kriterlerine göre YA ve B-TB algoritma sonuçları.....	64
Tablo 5.2. Performans kriterlerine göre ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritma sonuçları.....	66
Tablo 5.3. YA ve B-TB algoritmalarının EKAF ve OÇS kriterleri için istatistiksel analiz sonuçları.....	69
Tablo 5.4. B-TB ve ARUAP-TB algoritmalarının EKAF ve OÇS kriterleri için istatistiksel analiz sonuçları.....	70
Tablo 5.5. ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritmalarının EKAF ve OÇS kriterleri için istatistiksel analiz sonuçları.....	71

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 5.1. 10 hasta, 14 hizmet ve 3 araç/ekipli ÇT-ESHÇRP için serim ve çözüm gösterimi	51
Şekil 5.2. <i>1-1 Yerdeğiştirme</i> mekanizması ile üretilebilecek olası komşu çözümler.....	52
Şekil 5.3. <i>1-1 Kaydırma</i> mekanizması ile üretilebilecek olası komşu çözümler.....	53
Şekil 5.4. Tur değiştirme mekanizması ile üretilebilecek olası komşu çözümler.....	54
Şekil 5.5. YA algoritmasının genel adımları.....	57
Şekil 5.6. ARUAP çözüm kurucu algoritmasının genel adımları.....	58
Şekil 5.7. ARUAP-TB-ısıtma algoritmasının genel adımları	61

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a_i	i. düğüm için en erken ziyaret saati
b_i	i. düğüm için en geç ziyaret saati
h_j	j. düğümdeki hizmet süresi
K	Turlar kümesi
M	Yeterince büyük, pozitif bir sayı
N	Genişletilmiş düğümler kümesi
P	Düğümler kümesi
S_k	k. turun en geç bitiş zamanı
t_i	i. düğümdeki hastanın hizmetinin tamamlanma zamanı
T_k	k. turun başlangıç zamanı
t_{ij}	(i,j) düğümleri arasındaki seyahat süresi
T_{ij}	j. düğüme i. düğümden gelerek j. düğümde hizmeti yerine getirme süresi
V	Araçlar kümesi
w_{ij}	i. düğümden j. düğüme gelirse başlangıçtan itibaren geçirilen süre
x_{ij}	i,j değişkeni çözümde var ise 1, yok ise 0 değerinin alan 0-1 tamsayılı karar değişkeni
x_{ijv}	i,j,v değişkeni çözümde var ise 1, yok ise 0 değerinin alan 0-1 tamsayılı karar değişkeni
Y_{ki}	k. tur i. düğüm ile başlar ise 1, değilse 0 değerini alan 0-1 tamsayılı karar değişkeni
Y_{vki}	v. aracın k. turu i. düğüm ile başlar ise 1, değilse 0 değerini alan 0-1 tamsayılı karar değişkeni
Z_{ki}	k. tur i. düğüm ile başlar ise 1, değilse 0 değerini alan 0-1 tamsayılı karar değişkeni
Z_{vki}	v. aracın k. turu i. düğüm ile başlar ise 1, değilse 0 değerini alan 0-1 tamsayılı karar değişkeni
ARP	Araç rotalama problemi
ARUAP	Açgözlü rassallaştırılmış uyarlamalı arama prosedürü
ÇE_ATMM	Çok ekipli akış tabanlı matematiksel model
ÇE_DTMM	Çok ekipli düğüm tabanlı matematiksel model
ÇS	Çözüm süresi
ÇTARP	Çok turlu araç rotalama problemi
ÇT-ESHÇRP	Çok turlu evde sağlık hizmetleri çizelgeleme ve rotalama problemi
ESH	Evde Sağlık Hizmetleri
ESHÇRP	Evde Sağlık hizmetleri çizelgeleme ve rotalama problemi
GDH	Gölbaşı Devlet Hastanesi
GRASP	Açgözlü Rassallaştırılmış Uyarlamalı Arama Prosedürü
GSP	Gezgin satıcı problemi
OA	Optimallik açığı
TE_ATMM	Tek ekipli akış tabanlı matematiksel model
TE_DTMM	Tek ekipli düğüm tabanlı matematiksel model
TB	Tavlama benzetimi
YA	Yerel arama

1. GİRİŞ

Tüm dünyayı etkileyen salgın hastalıklar, özellikle son dönemde küresel bir kriz yaşanmasına neden olan COVID-19 virüsü nedeni ile ortaya çıkan salgın, bir kez daha sağlık sektörünün önemini ortaya koymuştur. Sağlık sektöründe yaşanabilecek böyle bir salgının tüm dünyayı, özellikle de bazı sektörleri ne denli etkilediği görülmüştür. Ülkelerin gelişmişlik düzeyinin yüksek olması bile böyle durumlarda sağlık sektöründeki aksamalara engel olamamıştır. Öyle ki gelişmiş ülkeler arasında bulunan Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere, İtalya, Fransa ve Almanya gibi birçok ülke, vatandaşlarını virüsten korumanın yanı sıra sağlık hizmeti almaları gereken durumlarda bu hizmetleri ulaştırabilmek için yeni yollar, yöntemler arayışına girmiştir. Özellikle şeker, tansiyon vb. gibi kronik hastalığı olan ya da hamile olan bireylerin hem hastane ortamında bulunmasının getirebileceği zararlardan korunması hem de gereken sağlık hizmetini alması için güvenli bir çözüm bulunması gerekmektedir. Bu durum günümüzde birçok hizmet veya ürünün çağın getirdiği koşullardan etkilendiğini ve değiştirilip geliştirilerek farklı şekillerde ve yollardan insanlara ulaştırılmasının gerektiğini göstermektedir.

Evde sağlık hizmeti (ESH) kavramı, yukarıda sözü edilen nedenlerden ötürü ortaya çıkan ve hastaların çeşitli sağlık hizmetlerini evlerinde güvenli bir şekilde almalarına olanak sağlayan bir sağlık hizmetidir. Demografik yapı, hastalıklardaki epidemiyolojik değişimler, hasta odaklı hizmet anlayışının artması, hasta ekipmanlarındaki yeni teknolojiler ve hastalara hızlı ve doğru bir şekilde yanıt vermek gibi faktörler ESH'ye olan ihtiyacı ve talebi etkileyen faktörler arasında sayılabilir [1]. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, küresel ESH pazarının büyüklüğü 2019 yılında 281,8 milyar \$ olmuş ve bu değer 2027 yılına kadar %7,9 artması beklenmektedir. 2019 yılında dünyada 65 yaş üstü 703 milyon kişi bulunmaktadır. Bu sayının da 2050 yılına kadar iki katına yani 1,5 milyara çıkması beklenmektedir [2]. Dünya genelinde nüfusun yaşlanması ve sağlık hizmetlerinde hasta tercihlerinin ön plana çıkması ile ESH pazarının daha fazla büyüyeceği düşünülmektedir.

Hastalar açısından ESH'de hizmet kalitesinin yüksek olması ve aynı zamanda hastane maliyetlerinin azaltılması için ekiplerin rotalarının belirlenmesi önemli bir problemdir. Bu durumda dikkate alınan problem, lojistik ve yöneylem araştırması ile ilgili kaynaklarda temel problemlerden biri olan Araç Rotalama Problemi (ARP) ile bağlantılı olmaktadır. ARP, Dantzig ve Ramsey [3] tarafından yapılan çalışmadan sonra birçok alana uygulanmış ve farklı uzantıları

türetilerek çok fazla sayıda çalışma yayınlanmıştır. Bu çalışmalarda, farklı özellikler, kısıtlar ve sistemler dikkate alınmaktadır. Ayrıca, gerçekçi saptamalar ile teorik zorluklar ortaya çıkarılmakta ve gerçek hayattaki ihtiyaçlar ile uygulamadaki kısıtların kombinasyonu olarak ARP’de aktif bir şekilde kullanılmaktadır. ARP’nin sağlık sektöründeki uzantısı olarak kabul edebileceğimiz “Evde sağlık hizmetlerinin çizelgelenmesi ve rotalanması problemi (ESHÇRP)” son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında oldukça ilgi çekici bir konu haline gelmiştir. Bu alanda 1997 yılında Begur ve diğerleri tarafından [4] yapılmış çalışma, ilk çalışma olarak kabul edilmektedir.

Avrupa ülkelerinin çoğunda, şu an 65 yaş üzerindeki her bir kişi için çalışma yaşında dört kişi bulunurken; bu rakamın 2050 yılında yarıya düşmesi beklenmektedir [5]. Bu durum ESH’yi sosyal devlet olmanın bir parçası olarak gören ve finansal yükümlülüğünü üstlenen devletler açısından uzun vadede sorun yaratacaktır. Bu nedenle ESH’ye ayrılacak kaynaklar başta olmak üzere bu hizmetlerden yararlanacak kişiler için yapılacak operasyonel çalışmaların kaliteli (hasta memnuniyeti sağlayan) ve verimli yönetilmesi oldukça önemlidir. Özellikle ESH hizmeti veren hastanelerde bu hizmet için ayrılan ekipler, cihazlar ve araçlar sınırlıdır.

ESH bazı ülkelerde tüm vatandaşlar için bir hak olarak görülürken, bazılarında özellikle yakını olmayan vatandaşlar için bir güvence olarak görülmektedir. Bu nedenle ülkeler arasındaki anlamı ve amacı değişkenlik göstermektedir. Sağlık personellerinin hizmetteki rolü, kişilerin hizmete erişebilirliği, finansal koşullar ve sektörü yönlendiren yönetmelikler gibi faktörler ülkeye göre değişen farklılıklar arasında sayılabilir [5]. Ayrıca tarihsel gelişmeler, uygulamaları ve dolayısıyla politikaları da etkilemektedir. Birçok ülkede ESH devlet tarafından kısmen ya da tamamen karşılanmaktadır. Bu nedenle de birçok kişi tarafından tercih edilmektedir.

Türkiye’de ESH son yıllarda hükümet politikaları ile kanuni altyapısı oluşturularak uygulamaya alınan ve her geçen gün daha fazla talep gören bir hizmet haline gelmiştir. Türkiye’de 2005 yılında ESH için başlatılan yönetmelik çalışmaları 2015 yılında revize edilmiş ve sistemin alt yapısı hazır hale getirilmiştir. Yasal altyapı ile çerçevesi çizilen hizmetin yaygınlaşması ile artık birçok hastanenin ESH veren birimleri hizmete girmiştir. Bu durum hizmetin nasıl yapılacağına planlanması ve oluşabilecek problemler için çözüm geliştirilmesi açısından araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Özellikle artan talep göz önüne alındığında sistemde birçok sorunun ortaya çıktığı ve bu sorunlar için araştırmacıların yeni yaklaşımlar üretmesi gerektiği görülmektedir. Bu tezde ele alınan problemin çalışılmasındaki

motivasyonların başında bu durum gelmektedir. Ayrıca ele alınan sisteme özgü olarak hizmet verilen hastalar, gün içinde belirli zamanlarda bir ya da birden fazla hizmeti talep edebilmektedir. Kaynakların sınırlı olması ve hastanın talebinin birden fazla olduğu durumda hastaların gün içinde birden çok ziyaret edilmesinin gerekmesi bu çalışmanın bir diğer motivasyon kaynağını oluşturmaktadır. Bu özellikler nedeniyle ESH turlarının belirlenmesi kaynaklarda yer alan Çok Turlu Araç Rotalama Problemi (ÇTARP)'nin özel bir hali olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kaynaklar incelendiğinde bu konuda özellikle sosyal bilimler ve sağlık bilimleri alanlarında yapılan birçok çalışma olduğu görülmüştür. Ancak, Türkiye'deki ESH sistemini dikkate alarak yukarıda özellikleri kısaca belirtilen rotalama problemine çözüm bulmayı amaçlayan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu anlamda, bu tez çalışması ESH'yi Türkiye sağlık sistemi için dikkate alarak, problemi tanımlayan ve buna göre bir matematiksel model ve büyük boyutlu problemlerin çözümü için de sezgisel bir algoritma geliştiren ilk çalışmadır. Ayrıca kaynak incelemesinden gördüğümüz kadarıyla ESHÇRP'nin ÇTARP olarak ele alındığı ilk çalışmadır.

Tez çalışması için öncelikle kaynaklardaki ESHÇRP ile ilgili çalışmalar incelenmiş ve Türkiye'de ESH'nin nasıl yürütüldüğüne ilişkin araştırmalar yapılmıştır. Ayrıca, gerçek hayattaki sistemi anlamak ve bir pilot hastane üzerinden gerçek hayat verileri ile çalışmak için, Ankara'daki Başkent Üniversitesi Hastanesi, Güven Hastanesi ve Gölbaşı Devlet Hastanesi olmak üzere sırasıyla araştırma, özel ve devlet hastanesi gibi farklı kategorilerdeki hastanelerin ESH birimi ile görüşmeler yapılmıştır. Bu görüşmelerdeki temel amaç, sistem hakkında bilgi toplayarak uygulamadaki sorunları tespit etmek ve buna göre çözüm yaklaşımları geliştirmektir. Araştırmalar sonucunda elde edilen bilgilerden yola çıkılarak verilecek hizmet için oluşturulan sistemin hastaneye bağlı olarak bile değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle ele alınacak problemin özel olarak tanımlanmasının gerektiği görülmüştür. Geliştirilecek matematiksel model için, problem tanımlanmasının yanı sıra kaynaklardaki ESH'nin farklı ülkelerin sistemlerini, değişik amaç ve kısıtları dikkate alarak modelleyen çalışmaların incelenmesinin önemli olacağı düşünülmüştür.

Bu tez çalışmasının sonunda, önerilen modeller ile ESH veren bir hastanenin hizmet vereceği hastaların hizmet aracı rotalarının oluşturulması problemi için çözüm bulunacaktır. Elde edilen çözüm sistematik ve bilimsel bir çözüm olmanın yanı sıra hastane yönetiminin

kaynaklarını verimli bir şekilde kullanmasını ve hastalara kaliteli bir hizmet verilmesini sağlamaktadır.

Tezin izleyen bölümleri şu şekilde organize edilmiştir.

İkinci bölümde, ESHÇRP üzerinde durularak Türkiye'deki ESH sisteminin işleyişi ile ESH - Çok turlu araç rotalama problemi arasındaki bağlantı hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Ayrıca kaynaklarda yer alan, ESHÇRP ile ilişkili çalışmalar incelenerek var olan modeller irdelenmiştir.

Üçüncü bölümde, tek ekipli olarak dikkate alınan ESHÇRP için problem tanımı yapılarak probleme ilişkin yardımcı karar değişkenine göre düğüm ve akış tabanlı olarak tanımlanan yeni karar modelleri sunulmuştur. Önerilen modellerin performanslarını görmek amacıyla, pilot hastane olarak seçilen Gölbaşı Devlet Hastanesi'nden elde edilen bilgilere göre oluşturulan test problemleri çözdürülmüştür.

Dördüncü bölümde, ESHÇRP'nin çok ekipli olarak tanımlanmasıyla genişletilen modeller, düğüm ve ayrıt tabanlı olarak sunulmuştur. Modellerin performansları aynı test problemleri üzerinde incelenmiş ve deneysel karşılaştırmalar yapılmıştır.

Beşinci bölümde, büyük boyutlu problemlerin yaklaşık olarak çözülebilmesi amacıyla başlangıç çözümün üretilmesinde rassal arama ve açgözlü rassallaştırılmış uyarlamalı arama prosedürü; başlangıç çözümün iyileştirmesi aşamasında ise yerel arama ve tavlama benzetimi algoritmaları kullanılarak dört meta-sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Önerilen meta-sezgisel algoritmaların etkinliği farklı performans kriterlerine göre matematiksel modellerde olduğu gibi farklı büyüklükte oluşturulan test problemleri ile karşılaştırılarak, istatistiksel analizler yapılmıştır.

Tezin son bölümü olan altıncı bölümde, yapılan çalışmalar özetlenmiş, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecekte yapılabilecek araştırma önerileri belirtilmiştir.

2. EVDE SAĞLIK HİZMETLERİ ÇİZELGELEME VE ROTALAMA PROBLEMİ

Evde sağlık hizmetleri çizelgeleme ve rotalama problemi (ESHÇRP) genel olarak belirli bir coğrafik alana yayılmış, sağlık personeli/personelleri tarafından evlerinde ziyaret edilmesi gereken, bakıma ihtiyacı olan hastalara hangi sağlık personeli ile hangi sırada hizmet verileceğinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Bu problemde amaç, planlama döneminde dikkate alınan kısıtlara göre belirlenen bir kriterin enküçülenmesi veya hizmet kalitesinin enbüyükenmesi olabilir. Kaynaklarda bu iki problem beraber ya da ayrı olarak ele alınmıştır. Genelde hastadan gelen talep doğrultusunda ya da sistemde takip edilen hastalar olduğu için evde sağlık hizmetlerinin rotalanması problemi olarak ele alınmaktadır. Bu tür problemlerin modellenmesinde, kapsama göre kaynaklardaki farklı ARP modellerinden yararlanılır. ESHÇRP, klasik ARP'den farklı olarak; araçların sadece sağlık ekibi taşınması nedeniyle araç kapasitesinin önemsiz olması, ekipte bulunan sağlık personelinin görev yetkinlikleri ile hasta taleplerinin eşleştirilmesi, sağlık hizmetlerinin özellikleri nedeniyle öncüllük ilişkilerinin ortaya çıkması ve laboratuvar hizmetlerinde zaman kısıtının dikkate alınması gibi probleme özgü özellikler içermesi nedeniyle farklı kısıt ve amaç fonksiyonları kullanılarak modellenmektedir. Bu çalışmada ele alınan ESHÇRP, hangi hastaya, hangi ekibin gönderileceği ve ekiplerin kullandıkları araçların, hastalara ziyaretlerinin rotalanması şeklinde özetlenebilir.

Son yıllarda dünyada ve ülkemizde yaşlı nüfusun artması ESH talebini artırmaktadır. Ayrıca ESH'nin sağladığı konfor ve ekonomik avantajlar nedeniyle artan ilgi, araştırmacıların da bu alanda ortaya çıkan çeşitli problemler üzerinde yoğunlaşmasına yol açmıştır. Ülkemiz özelinde uygulamalar yeni gelişmekte olup gerçek uygulamalara yönelik problemlerin çözümü için yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle ESHÇRP için bu tezde geliştirilen modeller detaylı bir şekilde ilerleyen bölümlerde verilmektedir.

Bu bölümde önce Türkiye'de ESH anlatılarak kaynaklardaki ESHÇRP ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir. ESH ve ÇTARP ilişkisi verildikten sonra bu çalışma kapsamında önemli olduğu düşünülen bazı matematiksel modeller ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bölümün son kısmında ise, mevcut modeller değerlendirilmiş ve tezde ele alınan özgün yaklaşımın gerekçeleri ortaya konmuştur.

2.1. Türkiye’de Evde Sağlık Hizmetleri

Türkiye’de ESH ile ilgili başta sosyal bilimler olmak üzere birçok bilim alanında yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Yıldırım vd. [6], tarafından yapılan tarama makalesinde, 1980-2015 yılı sonuna kadar Web of Science (SCI-Expanded, SSCI, AHCI) ve Ulakbim Tıp veri tabanı kapsamındaki dergilerde çıkmış Türkiye adresli yayınlar içinde “home nursing and Turkey”, “home care and Turkey”, “home care services and Turkey”, “home care agencies and Turkey” anahtar kelimeleri ile yapılan taramalarda tam metin olarak yayınlanmış Türkiye adresli 110 adet yayın olduğu tespit edilmiştir. Bu tarama 2021 yılına kadar genişletildiğinde “home nursing and Turkey” için 224 adet, “home care and Turkey” için 297 adet, “home care services and Turkey” için 86 adet ve “home care agencies and Turkey” anahtar kelimeleri ile yapılan taramalarda tam metin olarak yayınlanmış 5 adet yayın olduğu tespit edilmiştir. Bu yayınların %65.5’i 2007 yılı ve sonrasında yayınlanmış olup, %44’ü dört ve daha fazla yazarlıdır. Yayınların %89.1’i nicel araştırma, bunlardan %32.6’sı tanımlayıcı, %15.8’i ise deneysel ve yarı deneysel araştırma makalelerinden oluştuğu görülmüştür. Makalelerin konuları sıralandığında ilk beşte yer alan konu başlıkları ve oranları ise şu şekildedir; yaşlının evde bakımı (%30), evde bakım hizmetleri ve modelleri (%19.1), sağlığı geliştirme, sağlıklı yaşlanma ve yaşlılık sorunları (%19.1), gebe ve lohusanın evde bakımı (%12.7), evde anne ve çocuk bakımı (%10.9). Araştırmanın sonucunda çoğu araştırmanın tanımlayıcı desende yapıldığı tespit edilerek ESH’nin gelişimine yönelik çabaların oluşması, açıkların kapatılması açısından kanıta dayalı araştırmalara ve ESH’e ilişkin model oluşturulmasına ihtiyaç olduğu saptanmıştır [6].

Kaynak taraması kapsamında öncelikle kaynaklardaki ESHÇRP ile ilgili çalışmalar özetlenecektir. Ayrıca çalışma kapsamında ele alınan problemin özellikleri gereği ÇTARP olarak ve ilişkili hizmetleri dikkate alınması nedeniyle bu konularla ilgili kaynaklarda yer alan matematiksel modeller incelenecektir.

2.2. Kaynaklardaki ESHÇRP ile ilgili Çalışmalar

Begur vd. [4] tarafından yayınlanan makale ESHÇRP alanındaki ilk çalışma olarak kabul edilmektedir. Bu alandaki çalışmaların sayısının artmasıyla, 2017 yılında üç [7], [8], [9] ve 2020 yılında bir [10] olmak üzere toplam dört tarama makalesi yayınlanmıştır.

ESHÇRP için yapılan çalışmalar, dikkate alınan farklı özellikler ve çalışmada kullanılan yöntemler açısından farklılık göstermektedir. Bu özellikler arasında, personel türü, (homojen ya

da heterojen), sağlık hizmetinin türü (eş zamanlı, ardışık ve/veya öncelikli hizmetler), planlama dönemi (kısa, uzun) ve bölge (ülke, vb.) sayılabilir. Kullanılan çözüm yöntemi açısından (kesin algoritmalar, sezgiseller, metasezgiseller) ve kullanılan yöntemde dikkate alınan özellikler açısından ise amaç fonksiyonu (hizmet kalitesinin enbüyüklemesi, seyahat süresinin/mesafesinin/maliyetinin enküçüklenmesi) ve zaman pencerelerine (sıkı ya da gevşek) göre ayrılmaktadır. Kaynaklardaki çalışmalar incelendiğinde, %79'unun ekiplerin atanması, %71'inin ziyaretlerin rotalanması ve %70'inin ziyaret çizelgelemesi gibi doğrudan yöneylem araştırması konuları ile ilişkili oldukları görülmüştür [10].

Akjiratikar vd. [11], İngiltere'de bir sağlık merkezinde kısa planlama dönemi için hasta tercihlerini dikkate alan, personellerin seyahat mesafesini enküçüklemek için tam sayılı programlama modeli ve kuş sürüsü algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmiştir. An vd. [12], farklı planlama dönemleri için karma tamsayılı programlama modeli ve iki aşamalı bir sezgisel algoritma önermiş ve gerçek özelliklere göre üretilen sentetik veriler üzerinde model performanslarını incelemişlerdir. Bard vd. [13], hasta zaman pencereleri ve öğle molalarını dikkate alarak terapistlerin atanması ve maliyeti en küçükleyen rotaların haftalık olarak belirlenmesi için gerçek verilerle hem karma tam sayılı programlama modeli ve hem de sezgisel algoritma geliştirmiş ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Amerika'daki ESH'ni dikkate alan Begur vd. [4], farklı yetkinliklere sahip personellerin uzun dönem için toplam seyahat süresini enküçüklemek amacıyla geliştirdikleri karar destek sisteminde tasarruf algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma kullanmışlardır. Bennett and Erera [14], hizmet verilecek hasta sayısını enbüyükleyen haftalık dinamik periyodik hasta randevularının çizelgenmesi ve rotalanması için açgözlü iki sezgisel yaklaşım geliştirmişlerdir. Bertels ve Fahle [15], farklı nitelikteki personeli dikkate alan günlük seyahat süresi ve toplam çalışma zamanını enküçüklemek amacıyla doğrusal programlama modeli ve kısıt programlama, tavlama benzetimi ve tabu arama algoritmasının kombinasyonundan oluşan karma bir algoritma önermişlerdir. Bower vd. [16], ebelerin günlük atama ve rotalama programını oluşturmak için Clarke-Wright tasarruf algoritmasını hastalara aynı ebeyi atayacak şekilde geliştirerek bir kombinatoriyal optimizasyon algoritması önermişlerdir. Avusturya için bir uygulama yapan Breakers vd. [17], seyahat ve fazla mesai maliyetinin ve süresinin yanısıra hasta tercihlerinin de dikkate alındığı kısa dönemli rotalama problemi için iki amaçlı tam sayılı programlama modeli ve çok yönlü yerel arama yapan bir metasezgisel algoritma geliştirmiştir. Cappanera vd. [18], ESHÇPR için hasta taleplerindeki belirsizliği dikkate alarak kardinalite kısıtlı ve metasezgisel yaklaşım önermişlerdir. Aynı yıl

aynı yaklaşımı kullanan Carello vd. [19] uzun dönem için talep belirsizliğinin yanı sıra hasta-hemşire arasındaki ödünleşmeyi (bakımın sürekliliği, iş yükü degelemesi ve fazla mesai gibi) dikkate alan tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Rodriguez vd. [20], belirsiz hasta talebini karşılamak için personellerin ücretlerini dikkate alarak Fransa'daki bir hastanenin uzun dönemde çalıştırması gereken personel sayısını belirlemeyi amaçlayan tamsayılı doğrusal, stokastik programlamaya dayalı iki aşamalı bir yaklaşım kullanan bir algoritma geliştirmişlerdir. Duque [21], Belçika için yaptığı uygulama çalışmasında uzun dönemi dikkate almış ve toplam seyahat mesafesini enküçükleyen ve hizmet seviyesini enbüyükleyen ESHRP için küme bölümlene problemine dayalı bir matematiksel formülasyon önermiş ve iki aşamalı sezgisel bir çözüm stratejisi geliştirmiştir. Erdem ve Bulkan [22], fazla mesai maliyeti ve seyahat maliyeti ile ziyaret edilmeyen hasta sayısını enküçükleyen karma tam sayılı programlama modeli ve değişken komşu arama yöntemini kullanan iki aşamalı bir sezgisel algoritma önermişlerdir. Eveborn vd. [23], LAPS CARE olarak adlandırdıkları, kısa planlama dönemi için seyahat maliyetlerini enküçükleyen en yakın komşu sezgiseli ile tekrarlamalı bir eşleştirme yapan bir sezgisel algoritma geliştirmiştir. Hiermann vd. [24], Avusturya'da farklı niteliklere sahip hemşireler tarafından hastalara verilen hizmetler için hem araçların hem de toplu taşımanın kullanıldığı, seyahat sürelerinin gün ve kullanılan ulaşım aracına göre farklılık gösterdiği eniyi rotayı bulan bir matematiksel model geliştirmiş ve büyük boyutlu problemler için iki aşamalı bir hiper-sezgisel yaklaşım kullanmıştır. Erdem ve Koç [25], çok depo, heterojen filo, zaman pencereleri, tercihleri, yetkinlikleri, bağlantılı faaliyetleri, elektrikli araç çeşitlerini ve bu araçların şarj durumu ve şarj stratejilerini dikkate alarak bir matematiksel model önermişlerdir. Ayrıca genetik algoritma ve değişken komşu iniş algoritmalarını birleştiren bir karma metasezgisel algoritma geliştirerek çözüm elde etmişlerdir. Trautsamwieser ve Hirsch [26], uzun dönemi dikkate almıştır. Rasmussen vd. [27], kısa planlama dönemli ESHRP için dal-fiyat algoritmasını geliştirmiş ve Danimarka'daki bir hastaneden elde edilen veriler ile algoritmanın performansını incelemişlerdir. Almanya'da bakımın sürekliliği kavramını dikkate alan uzun dönemli planlama için bir karma tamsayılı programlama modeli Wirnitzer vd. [28] tarafından geliştirilmiştir. ESH veren sağlık personellerinin atama, çizelgeleme ve rotalama kararları için Yalçındağ vd. [29], iki aşamalı bir ayrıştırma yöntemi önermişler ve İtalya'daki bir hastaneden elde ettikleri veriler üzerinde senaryo analizleri yapmışlardır. Liu vd. [30], kısa dönem ESHRP için ziyaret edilemeyen hasta sayısının enküçüklenmesi amacıyla dal-fiyat algoritmasına dayalı bir kesin çözüm algoritması geliştirmiştir. Nikzad vd. [31] ESH'deki seyahat ve hizmet

sürelerindeki belirsizliği dikkate alan iki aşamalı stokastik karma tamsayı bir model önermişlerdir. Büyük boyutlu problemler için daha kısa sürede kaliteli çözümler bulabilen matematiksel model tabanlı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Grenouilleau vd. [32], Kanada’da ESH veren kurumların rotalama ve çizelgeleme problemi için küme bölme ve büyük komşuluk arama yaklaşımlarına dayalı bir sezgisel algoritma önermişlerdir. Bu algoritma ile hasta memnuniyeti artırılırken seyahat sürelerinde de önemli ölçüde tasarruflar sağlanmışlardır.

Şimşek [33], tarafından hazırlanan doktora tezinde, yönetmelikler esas alınarak problem şu şekilde tanımlanmıştır: Uzun dönemde çok sayıda hasta için belirli bir kalite düzeyi sağlanacak ve personele araçtan araca transfer olma imkânı verilecek, iş yükü personel arasında dengeli dağıtılacak ve seyahat mesafesi enazlanacak. Tanımlanan bu problem için çok amaçlı bir model önerilmiştir. Çalışmada tassarruf algoritması kullanılarak kümeleme işlemi bir rotalama oluşturması amacıyla kullanılmıştır. Geliştirilen model Solomon [34] ’nun veri setleri ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre karar verici, personeli verimli bir şekilde kullanarak bakımın sürekliliğini ve iş yükü dengelemesini sağlamakta ve uzun dönemli personel ihtiyacını belirlemektedir.

Evde sağlık hizmeti kavramı kapsamı, ilgilendiği hasta tipleri, bu alana ayrılacak kaynaklar (personel, araç-tehizat vb.), çözüm yaklaşımları açısından ülkeler arasında farklılık göstermektedir [7]. Bu nedenle uluslararası açıdan belirli bir standarttan bahsedebilmek güçtür. Ülkelerin farklı teknoloji ve gelişmişlik düzeylerine sahip olmasının yanı sıra sosyo-kültürel yapıları, kurumsal örgütlenme biçimleri, mevzuatları ve hizmet anlayışındaki farklılıklar bu problemin ülkeye göre modellenmesini gerektirmektedir.

2.3. Evde Sağlık Hizmetleri ve Çok Turlu Araç Rotalama Problemi

Ele alınacak sistemin özelliklerinin belirlenmesi için hastane ile yapılan görüşmeler sonucunda ESH sisteminde kullanılan iki ana kaynak olduğu tespit edilmiştir. Bu kaynaklar hastalara ulaşılmasını sağlayan araçlar ve bu hizmeti veren sağlık elemanlarıdır. Ayrıca ele alınan sisteme özgü olarak hizmet verilen hastalar, gün içinde belirli zamanlarda bir ya da birden fazla hizmeti talep edebilmektedirler. Kaynakların (ekip, araç) sınırlı olması ve hastanın talebinin birden fazla olduğu durumda hastaların gün içinde birden çok ziyaret edilmesi gerekmektedir. Bu özellikler nedeniyle, ESH ile ilgili araç rotalama turlarının belirlenmesi kaynaklarda yer alan Çok Turlu Araç Rotalama Problemi (ÇTARP)’nin özel bir hali olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle tez çalışması kapsamında kaynaklardaki ÇTARP için geliştirilen matematiksel modeller

de incelenmiştir. ARP'nin, uzantısı olan ÇTARP, araç ya da araçların birden çok rotaya sahip olduğu rotalama problemi olarak tanımlanabilir. ÇTARP'de, klasik ARP'den farklı olarak araçlar birden çok kez kullanılmakta ve her tur için belirli bir seyahat süresi üst sınırı bulunmaktadır.

ÇTARP ile ilgili kaynaklar incelendiğinde, çalışmaların son yıllarda arttığı görülmüştür. Bu çalışmaların artmasının başlıca nedeni, her anlamda daha verimli dağıtım stratejilerinin geliştirilmesi arayışıdır. Böylece çevresel etkilerin azaltılması amaçlanmakta ve şehirler başta olmak üzere yaşam alanlarının daha yaşanılabilir bir hale getirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, çevresel politikaların önem kazanması ile olumsuz çevresel etkiler yaratan araç çeşitlerinin trafikten uzaklaştırılması gibi kararlar, dağıtım kanallarında daha az kapasiteye sahip, küçük araçların kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. ÇTARP modellerinin ortaya çıkmasının bir diğer sebebi de birçok şehirde ağır tonajlı büyük araçların kullanılmasına imkan vermeyen yapıdaki yolların bulunmasıdır. Dağıtım kanallarındaki tüm bu faktörler araç kapasitelerinin daha az olmasını ve araçların birden çok kez kullanılmasını gerektirdiğinden, ÇTARP'nin ortaya çıkmasını sağlamıştır [35].

ÇTARP alanındaki çalışmalar incelendiğinde, aynı problemin farklı isimler kullanılarak tanımlandığı görülmektedir. Fleischmann [36] “Çok kullanımlı ARP (VRP with multiple use of vehicles)”, Buer vd. [37] “Yeniden kullanımlı kamyonlar” (recycling of trucks), Taniguchi ve Van Der Heijden [38] “Çoklu dönüşlü” (multiple traverses), Prins [39] “Çok seyahatli ARP” (multitrip VRP), Olivera ve Viera [40] “Çoklu turlu ARP” (VRP with multiple trips), Azi vd. [41] “Çoklu rotalı ARP” (VRP with multiple routes), Battarra vd. [42] “Çoklu turlu ARP” (multiple trip VRP) olarak adlandırdıkları çalışmalar yapmışlardır. Bu tez kapsamında ise, Çok Turlu Araç Rotalama Problemi (ÇTARP) ifadesi kullanılacaktır.

ÇTARP alanında, Şen ve Bülbül [43] ve Cattaruzza vd. [35] tarafından iki ayrı tarama makalesi yayınlanmıştır. Bu çalışmalardan Şen ve Bülbül [43], klasik ÇTARP ele alırken, Cattaruzza vd. [35] ise, kaynaklardaki mevcut çalışmalarını modelleri ile birlikte kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Toth ve Vigo [44], Lei vd. [45], Aghezzaf vd. [46], Buhrkal vd. [47], Koç ve Karaoğlan [8], Rivera vd. [48] ve Karaoğlan [49] yaptıkları çalışmalarda zaman penceresini içermeyen ÇTARP için matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Anaya-Arenas vd. [50], Azi vd. [41], Hernandez vd. [51] ve Koç ve Karaoğlan [52] tarafından yapılan çalışmalarda ise zaman penceresi de dikkate alınarak ÇTARP için matematiksel modeller önerilmiştir.

ÇTARP uygulamasında sıkça karşılaşılan önemli bir problem olmasına rağmen, yapılan taramalarda yukarıda belirtildiği gibi kaynaklarda az sayıda çalışma bulunduğu ve ESHÇRP'nin daha önce ÇTARP olarak ele alınmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle kaynaklardaki ÇTARP ve ilişkili hizmetlerin dikkate alındığı matematiksel modeller izleyen bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

2.4. Kaynaklardaki Matematiksel Modeller

Ele alınan problemde, hastalara verilen hizmetler arasında ilişki olduğu tespit edilmiş ve bu durumun geliştirilecek matematiksel modelde dikkate alınması gerektiği belirlenmiştir. Kaynaklarda ilişkili hizmetlerin dikkate alındığı iki matematiksel modelin Bredström ve Rönnqvist [53] ve Mankowska vd. [54] tarafından geliştirildiği görülmüştür. İlişkili iki hizmet iki farklı personel tarafından ya birlikte (örneğin engelli hastanın kaldırılması) ya da ardışık (örneğin hastaya önce ilaç verilmesi belirli süre sonra da öğle yemeğinin verilmesi) olarak yapılmaktadır. Bredström ve Rönnqvist [53], her sağlık personelinin sadece bir hizmeti verebildiği durumu dikkate alırken, Mankowska vd. [54], her sağlık personelinin farklı hizmetler verebildiği durumu dikkate almışlardır. Mankowska vd. [54], ESH için tek veya çift hizmet operasyonlarının çizelgelenmesi ve personelin rotasının oluşturulması durumunu dikkate alacak şekilde bir matematiksel model önermişlerdir. Ele alınan problemde dikkate alınması gereken bir diğer özellik de ekiplerin bulunduğu araçların birden çok kez kullanılması gerektiğidir. Bu durum kaynaklardaki ÇTARP'ne karşı gelmektedir. Bu nedenle kaynaklarda ÇTARP olarak ele alınan ve ESH'ne benzer özellikler taşıyan, Anaya-Arenas vd. [50] tarafından geliştirilen matematiksel model incelenmiştir. Çalışmada, yardımcı karar değişkeninin tanımlanması açısından farklılık gösteren iki ayrı matematiksel model önerilmiştir. Ele alınan problemin, araç yükünün olmaması, hastalardan alınan tahlillerin bozulmaması için rota sürelerinin belirli taşıma süreleri ile sınırlandırılması, ziyaret edilen düğümün ihtiyaç oluşması durumunda tekrar ziyaret edilebilmesi ve mesai saatlerinin dikkate alınması gibi nedenlerle tez çalışması kapsamında ele alınan sistemle benzer özellikler taşıdığı görülmüştür. İzleyen bölümde, ESHÇRP'deki ilişkili hizmetler için ve ÇTARP olarak geliştirilen bu matematiksel modeller ayrıntılı olarak incelenmiştir. Matematiksel modellerde kullanılan dizin kümeleri, parametreler ve karar değişkenleri ile model formülasyonları açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmektedir.

2.4.1. Mankowska vd. [54] modeli

Mankowska vd. [54], ESH'de tek veya çift hizmet operasyonlarının çizelgelenmesi ve personelin rotasının oluşturulması için matematiksel bir model önermişlerdir. Eş zamanlı ve ardışık hizmetlerin tek ya da çift hizmet olarak verilebildiği durum için model öneren çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran en önemli nokta; farklı özellikteki personellerin, hizmetler arasındaki geçici bağımlılıkların ve maliyet-hizmet dengesinin kombinasyonlarını aynı anda dikkate almasıdır. Model formülasyonu, ilgili notasyonlar ve ayrıntılı açıklamalar aşağıda verilmektedir.

i. Dizin kümeleri

C = Tüm hastaların kümesi

S = Verilen hizmet tiplerinin kümesi

V = Personel kümesi

C^0 = Tüm lokasyonların kümesi, $C^0 = C \cup \{0\}$

C^s = Tek hizmet alan hastaların kümesi

C^d = Çift hizmet alan hastaların kümesi, $C^d = C^{sim} \cup C^{prec}$

C^{sim} = Eş zamanlı çift hizmet verilen hastaların kümesi

C^{prec} = Öncelikli çift hizmet verilen hastaların kümesi

ii. Parametreler

$$a_{vs} = \begin{cases} 1, & v. \text{ personel } s. \text{ hizmeti verebilecek nitelikteyse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$r_{is} = \begin{cases} 1, & i. \text{ hasta } s. \text{ hizmeti talep ediyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$\delta_i^{min} = i. \text{ hasta için hizmet başlangıç zamanları arasındaki asgari süre, } i \in C^d$$

$$\delta_i^{max} = i. \text{ hasta için hizmet başlangıç zamanları arasındaki azami süre, } i \in C^d$$

$[e_i, l_i] = i$. hasta için zaman penceresi, $i \in C$

$d_{ij} = i$ ve j lokasyonları arası seyahat mesafesi, $i, j \in C^0$

$p_{is} = i$. hastadaki s . hizmet için hizmet süresi, $i \in C$

iii. Karar değişkenleri

$x_{ijvs} = \begin{cases} 1, & v. \text{ personel } s. \text{ hizmeti vermek için } i. \text{ hastadan } j. \text{ hastaya geçiyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$

$t_{ivs} = i$. hasta için v . personel tarafından verilen s . hizmetin başlama zamanı

$z_{is} = i$. hastadaki s . hizmetin gecikme süresi

$$D = \sum_{v \in V} \sum_{i \in C^0} \sum_{j \in C^0} \sum_{s \in S} d_{ij} x_{ijvs} \quad (2.1)$$

$$T = \sum_{i \in C} \sum_{s \in S} z_{is} \quad (2.2)$$

$$T^{max} \geq z_{is} \quad \forall i \in C, s \in S \quad (2.3)$$

$$\sum_{i \in C^0} \sum_{s \in S} x_{0ivs} = \sum_{i \in C^0} \sum_{s \in S} x_{i0vs} = 1 \quad \forall v \in V \quad (2.4)$$

$$\sum_{j \in C^0} \sum_{s \in S} x_{jivs} = \sum_{j \in C^0} \sum_{s \in S} x_{ijvs} \quad \forall i \in C, v \in V \quad (2.5)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{j \in C^0} a_{vs} * x_{jivs} = r_{is} \quad \forall i \in C, s \in S \quad (2.6)$$

$$t_{ivs_1} + p_{is_1} + d_{ij} \leq t_{jvs_2} + M * (1 - x_{ijvs_2}) \quad \forall i \in C^0, j \in C, v \in V, s_1, s_2 \in S \quad (2.7)$$

$$t_{ivs} \geq e_i \quad \forall i \in C, v \in V, s \in S \quad (2.8)$$

$$t_{ivs} \leq l_i + z_{is} \quad \forall i \in C, v \in V, s \in S \quad (2.9)$$

$$t_{iv_2s_2} - t_{iv_1s_1} \geq \delta_i^{min} - M * \left(2 - \sum_{j \in C^0} x_{jiv_1s_1} - \sum_{j \in C^0} x_{jiv_2s_2} \right) \quad (2.10)$$

$$\forall i \in C^d, v_1, v_2 \in V, s_1, s_2 \in S: s_1 < s_2$$

$$t_{iv_2s_2} - t_{iv_1s_1} \leq \delta_i^{max} + M * \left(2 - \sum_{j \in C^0} x_{jiv_1s_1} - \sum_{j \in C^0} x_{jiv_2s_2} \right) \quad (2.11)$$

$$\forall i \in C^d, v_1, v_2 \in V, s_1, s_2 \in S: s_1 < s_2$$

$$x_{ijvs} \in \{0, a_{vs} \cdot r_{js}\} \quad \forall i, j \in C^0, v \in V \quad (2.12)$$

$$t_{ivs}, z_{is} \geq 0 \quad \forall i \in C^0, v \in V, s \in S \quad (2.13)$$

kısıtları altında

$$Enk Z = \lambda_1 * D + \lambda_2 * T + \lambda_3 * T^{max} \quad (2.14)$$

Modelde, (2.1)-(2.3) kısıtları amaç fonksiyonundaki değişkenlerin açılımını göstermektedir ve sırasıyla seyahat mesafesini, toplam gecikmeyi ve enbüyük gecikmeyi hesaplamaktadır. Bu çalışmada amaç fonksiyonunda yer alan ve d_{ij} ile gösterilen i düğümden j düğüme olan uzaklığın (seyahat mesafesinin), seyahat süresiyle orantılı olduğu varsayılmıştır. Kısıt (2.4) her personelin rotasının depoda başlayıp ve yine depoda bitmesini sağlamaktadır. Kısıt (2.5), akışların korunumunu sağlayan kısıttır. Herbir hastanın nitelikli bir personel tarafından ziyaret edilmesini garanti eden Kısıt ise (2.6) numaralı eşitlikte verilmiştir. Kısıt (2.7) hizmet başlangıç zamanlarını, hizmet süresi ve seyahat sürelerini dikkate alarak kontrol eden kısıttır. Kısıt (2.8) ve (2.9) hizmet başlangıç zamanlarının zaman pencerelerine uygun şekilde yapılmasını sağlayan kısıtlardır. Kısıt (2.10) ve (2.11) sırasıyla iki hizmet alacak hastalar için hizmet başlangıç zamanları arasındaki sürenin asgari ve azami süreye uygun olmasını garanti eden kısıtlardır. (2.12) ve (2.13) numaralı kısıtlar değişkenlerin alabileceği değerleri göstermektedir. Eşitlik (2.14) amaç fonksiyonudur ve toplam seyahat mesafesinin, toplam gecikmelerin ve enbüyük gecikmenin ağırlıklandırılmış toplamalarının enküçüklenmesini amaçlamaktadır.

2.4.2. Bredström ve Rönnqvist [53] Modeli

ESHÇRP için ilişkili hizmetleri içeren diğer bir model de Bredström ve Rönnqvist [53] tarafından önerilmiştir. Zaman penceresi, eşzamanlı ve öncelikli hizmet verilmesi gereken hastaların dikkate alındığı kısıtların bulunduğu rotalama ve çizelgeleme problemi için önerdikleri

bir matematiksel model formülasyonu, ilgili notasyonlar ve ayrıntılı açıklamalar aşağıda verilmektedir.

i. Dizin kümeleri

K = Araçların kümesi

N = Dğümler kümesi

P^{sync} = İkili eşzamanlı ziyaretler edilen düğümler kümesi ($P^{sync} \subset N \times N$)

P^{prec} = İkili öncelikli ziyaretler edilen düğümler kümesi ($P^{prec} \subset N \times N$)

ii. Parametreler

c_{ik} = k . aracın i . hastaya hizmet vermek için katlanması gereken maliyet

T_{ij} = i . hastadan j . hastaya seyahat süresi

S_{ij} = i . hastadan j . hastaya giderken yaşanan gecikme zamanı

D_i = i . hastada geçirilen süre (hizmet süresi)

$[a_i^k, b_i^k]$ = k . aracın uygun olduğu zaman penceresi

$[a_i, b_i]$ = Varışlar için zaman penceresi

w = İki araç arasındaki olabilecek enbüyük fark için üst limit (dengeleme değışkeni)

iii. Karar değışkenleri

$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & k. \text{ araç } (i, j) \text{ ayrıtından geçmişse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$

t_{ik} = k . aracın i . hastaya varış zamanı

$$\sum_{k \in K} \sum_{j: (i,j) \in A} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2.15)$$

$$\sum_{j:(o,j) \in A} x_{ojk} = \sum_{j:(j,d) \in A} x_{jdk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (2.16)$$

$$\sum_{j:(i,j) \in A} x_{ijk} - \sum_{j:(j,i) \in A} x_{jik} = 0 \quad \forall i \in N, k \in K \quad (2.17)$$

$$t_{ik} + (T_{ij} + D_i) * x_{ijk} \leq t_{jk} + b_i * (1 - x_{ijk}) \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (2.18)$$

$$a_i \sum_{j:(i,j) \in A} x_{ijk} \leq t_{ik} \leq b_i \sum_{j:(j,i) \in A} x_{jik} \quad \forall i \in N, k \in K \quad (2.19)$$

$$a_i^k \leq t_{ik} \leq b_i^k \quad \forall i \in \{o, d\}, k \in K \quad (2.20)$$

$$\sum_{k \in K} t_{ik} = \sum_{k \in K} t_{jk} \quad \forall (i, j) \in P^{sync} \quad (2.21)$$

$$\sum_{k \in K} t_{ik} = S_{ij} + \sum_{k \in K} t_{jk} \quad \forall (i, j) \in P^{prec} \quad (2.22)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} W_{ijk_1} * x_{ijk_1} - \sum_{(j,i) \in A} W_{ijk_2} * x_{jik_2} \leq w \quad \forall k_1, k_2 \in K \text{ ve } k_1 \neq k_2 \quad (2.23)$$

kısıtları altında

$$Enk \quad \alpha_P \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ik} * x_{ijk} + \alpha_T \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} T_{ij} * x_{ijk} + \alpha_B * w \quad (2.24)$$

Bu modelde (2.15)-(2.20) arasındaki kısıtlar GSP'deki kısıtlardır. Kısıt (2.15) her müşterinin yalnızca bir araba tarafından ziyaret edilmesini sağlarken, kısıt (2.16) ve (2.17) akış korunumunu sağlamaktadır. (2.18)-(2.20) arasındaki kısıtlar çizelgeleme kısıtlarıdır. Kısıt (2.21) i . hastayı ve j . hastayı ziyaret eden araçların aynı anda ulaşmasını garanti eder. Kısıt (2.22) ile zamansal öncelikler dikkate alınmış ve gerçek hayattaki karşılaşılan durumların modele yansıtılması amaçlanmıştır. İş yükü dengelemesi (2.23) kısıtı ile sağlanmaktadır. Amaç fonksiyonu olan (2.24) numaralı eşitlik ise tercihlerin, seyahat süresinin ve dengeleme değişkeninin ağırlıklandırılmış toplamından oluşmaktadır.

2.4.3. Anaya-Arenas vd. [50] Modelleri

Anaya-Arenas vd. [50], ÇTARP için yardımcı karar değişkeninin tanımlanması açısından farklılık gösteren, 4 indisli iki ayrı matematiksel model önermişlerdir. Modellerdeki araçlar hastalardan alınan örneklerin toplandığı örnek toplama merkezleri ile bu örneklerin tahlil edileceği laboratuvarlar arasında toplama işlemini gerçekleştirmektedir. Toplanan örnekler için bozulma süresi söz konusu olduğu için araçların, rota zamanlarının yanı sıra örnek bozulma

zamanını da dikkate alacak şekilde rota sürelerinin ayarlanması gerekmektedir. Ayrıca her toplama merkezinin q kadar talebi bulunmakta ve her ziyarette bu taleplerin yalnızca birisi karşılanmaktadır. Geliştirilen birinci model merkezlerin birden çok talebi olması durumunda talep sayıları kadar ziyaret yapılmasını dikkate alırken; ikinci modelde ise talep sayısı birden fazla olan merkezler talep sayıları kadar kopyalanarak (tüm merkezlerin talep sayısının bire eşit olması durumu) araç tarafından yalnız bir kez ziyaret edilmesi dikkate alınmıştır. Bu modellerin karar değişkenleri ve matematiksel formülasyonları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

Birinci Model:

Karar değişkenleri;

$$x_{ijkr} = \begin{cases} 1, & (i, j) \text{ ayrıtı } k. \text{ aracın } r. \text{ rotasında kullanılıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$y_{jqkr} = \begin{cases} 1, & j. \text{ örnek toplama merkezinin } q. \text{ talebi } k. \text{ aracın } r. \text{ rotasında karşılanıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$u_{ikr} = i.$ örnek toplama merkezinin $k.$ aracın $r.$ rotasında ziyaret zamanı

$$\sum_{i=0}^n x_{ijkr} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R \quad (2.25)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ijkr} - \sum_{l=1}^{n+1} x_{jlkr} = 0 \quad j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R \quad (2.26)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jkr} \leq 1 \quad k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R \quad (2.27)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jkr} - \sum_{j=1}^n x_{j(n+1)kr} = 0 \quad k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R \quad (2.28)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jkr} - \sum_{j=1}^n x_{0jk(r-1)} \leq 0 \quad k = 1, \dots, K; r = 2, \dots, R \quad (2.29)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R y_{jqkr} = 1 \quad j = 1, \dots, n; q = 1, \dots, Q_j \quad (2.30)$$

$$\sum_{q=1}^{Q_j} y_{jqkr} - \sum_{i=1}^n x_{ijk_r} = 0 \quad j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R \quad (2.31)$$

$$u_{ikr} + \tau_i + t_{ij} - u_{jkr} \leq T_k * (1 - x_{ijk_r}) \quad i = 0, \dots, n; j = 1, \dots, n + 1; k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R \quad (2.32)$$

$$a_{jq} - T_k * (1 - y_{jpkr}) \leq u_{jkr} \leq b_{jq} + T_k * (1 - y_{jpkr}) \quad j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R; q = 1, \dots, Q_j \quad (2.33)$$

$$u_{0kr} \geq u_{(n+1)k(r-1)} \quad k = 1, \dots, K; r = 2, \dots, R \quad (2.34)$$

$$u_{(n+1)kr} - u_{jkr} \leq T_{max}^j + T_k * \left(1 - \sum_{i=0}^n x_{ijk_r}\right) \quad j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R \quad (2.35)$$

$$u_{(n+1)kr} - u_{0k1} \leq T_k \quad k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R \quad (2.36)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk1} - \sum_{j=1}^n x_{0j(k-1)1} \leq 0 \quad k = 2, \dots, K \quad (2.37)$$

$$\sum_{r=1}^R y_{jqkr} - \sum_{i=1}^{j-1} \sum_{l=1}^{Q_j} \sum_{r=1}^R y_{il(k-1)r} - \sum_{l=1}^{q-1} \sum_{r=1}^R y_{jl(k-1)r} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n; q = 1, \dots, Q_j; k = 2, \dots, K \quad (2.38)$$

kısıtları altında

$$Enk \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^{n+1} \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R d_{ij} x_{ijk_r} \quad (2.39)$$

Bu modelde diğer modellerden farklı olarak kısıt (2.25)'te müşterilerin her rotada en fazla bir kez ziyaret edilmesi garanti edilmektedir. Kısıt (2.26) ile akış korunumu sağlanırken, kısıt (2.27) ve (2.28) ile rotaya başlayan her aracın rotaya depoda başlaması ve tekrar rotasını

depoda sonlandırması sağlanmaktadır. Rotaların sırasının düzenlenmesi için modele kısıt (2.29) eklenmiştir. Toplama işi ile ilişkili kısıtlar ise (2.30) ve (2.31)'dir. Buna göre eğer bir düğümde talep varsa o düğümün ziyaret edileceği garanti edilmiş olur. Kısıt (2.32)-(2.36) ise zaman ile ilgili kısıtlardır ve kısıt (2.32) aynı zamanda alt tur eliminasyonları için kullanılmaktadır. Kısıt (2.33) zaman penceresi alt ve üst sınırlarını gösterirken, kısıt (2.34) birbirini takip eden iki rotanın başlangıç ve bitiş zamanlarının arasındaki ilişkiyi sağlamak için eklenmiştir. Kısıt (2.35), toplanan örneklerin bozulma zamanlarını dikkate alan kısıttır. Rota uzunluklarının günlük çalışma zamanını geçmemesi ise kısıt (2.36) ile sağlanmaktadır. Kısıt (2.37), depodan yeni araç çıkmasının ancak ve ancak hali hazırda müşterileri dolaşmakta olan bir araç olması ile mümkün olabileceğini göstermektedir. Benzer bir durum merkezler için kısıt (2.38) ile sağlanmıştır. Buna göre j . örnek toplama merkezinin q gibi bir talebi k aracının herhangi bir rotasında karşılanıyorsa, $k - 1$ aracının bu düğümden daha önce olan (daha düşük bir indise sahip) bir merkezin talebini karşılamış ($i < j$) ya da aynı örnek merkezinin daha önceki bir talebinin karşılanmış ($l < q$) olması gerekmektedir. Son olarak amaç fonksiyonunda (2.39), araçların kat ettiği toplam seyahat mesafesi enküçüklenmektedir.

İkinci Model:

İkinci modelde ise orijinal düğümler kümesi genişletilerek tüm taleplerin toplamından oluşan P kümesi ($p = \sum_{i=0}^n Q_i$) oluşturulmuştur. Yeni modelde bu anlamda küme tanımlamaları değişmiş ve yardımcı karar değişkeni olan y_{jqkr} modelden çıkarılmıştır. Bu haliyle ikinci model, düğümler kümesinin tanımlamasının değiştirilmesi ile birlikte aşağıda belirtilen kısıtlardan oluşmaktadır.

(2.25)-(2.29), (2.32),(2.34)-(2.37),(2.39)

$$\sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R \sum_{i=0}^p x_{ijkkr} = 1 \quad j = 1, \dots, p \quad (2.40)$$

$$a_j - T_k * \left(1 - \sum_{i=0}^p x_{ijkr} \right) \leq u_{jkr} \leq b_j + T_k * \left(1 - \sum_{i=0}^p x_{ijkr} \right) \quad (2.41)$$

$$j = 1, \dots, p; k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^p x_{ijkr} - \sum_{l=1}^{j-1} \sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^p x_{il(k-1)r} \leq 0 \quad j = 1, \dots, p; k = 2, \dots, K \quad (2.42)$$

Model 2'ye eklenen kısıt (2.40) ile her toplama isteğinin bir araç ile herhangi bir rotada gerçekleştirilmesi garanti edilmektedir. Kısıt (2.41) zaman penceresi için alt ve üst sınırları gösterirken, kısıt (2.42) ise müşteri taleplerinin herhangi bir rotada karşılanması sırasında ardışık ilişkilerinin dikkate alınmasını sağlamaktadır.

2.5. Mevcut Matematiksel Modellerin Değerlendirilmesi ve Özgün Yaklaşım Gereçekleri

Bu çalışmada ele alınan ESHÇRP, hastaların aynı gün için oluşan bir veya birden fazla taleplerinin karşılanmasını dikkate almaktadır. Diğer bir deyişle, hastane veya sağlık biriminin elinde hastaların düzenli ziyaret edilmesini gerektiren hizmetler olmayıp, planlama dönemleri içinde hastalar tarafından gelen talepler karşılanmaktadır. Dolayısıyla hastaların taleplerinde belirli bir düzen, sıklık (pattern) bulunmamaktadır, Bu özellik nedeniyle kaynaklardaki stok rotalama problemi ve periyodik ARP sınıfından [33], [55], [56] da ayrılmaktadır.

Ayrıca hastalar tarafından talep edilen ilişkili hizmetler (örneğin, hastanın kan tahlili sonucuna göre diyet programı oluşturulması gibi) nedeniyle hastaların farklı zamanlarda birden fazla ziyaret edilmesi gerekmektedir. Bu özellik nedeniyle ele alınan ESHÇRP, ÇTARP'nin özel hali olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kaynaklardaki çalışmalar incelendiğinde problemin farklı planlama dönemleri için tanımlanarak modellerin buna göre oluşturulduğu görülmektedir [22], [30], [42], [48], [49]. Bu tez çalışması kapsamında ele alınan ESHÇRP, kısa planlama dönemi olan bir günü farklı tur uzunluklarına göre alt planlama dönemlerine ayırması ile kaynaklardaki çok dönemli çalışmalar [57]–[59] sınıfına girmektedir. Problem mevcut talepler dikkate alınarak bir gün için bir kez çözülmektedir. Ayrıca kaynaklarda, taleplerin devamlı oluşmaya devam ettiği durumlar için yeni taleplerin de dikkate alınarak modelin yeniden çalıştırılması ile ilgili dönem içinde planlamayı değiştiren [58], [60], [61] çalışmalar da vardır. Sonuç olarak, bu tezde ele alınan

problem, ESH için çok dönemli, zaman pencereli, çok talepli, kapasitesiz, homojen ekipli ÇTARP olarak sınıflandırılabilir.

Kaynaklardaki ele alınan problem ile ilgili matematiksel modeller Bölüm 2.4'te ayrıntılı olarak incelenmiş ve ESHÇRP'nin daha önce ÇTARP olarak ele alınmadığı görülmüştür. Anaya Arenas vd. [50] tarafından geliştirilen model ÇTARP olarak kurgulanmış ancak dikkate alınan sistemde sadece hastalardan alınan kan ve benzeri tahlillerin laboratuvarlara taşınması amacıyla kullanılmıştır. Kaynaklarda ÇTARP olarak ele alınan çalışmalarda, araçla taşınan yük, aracın kapasitesi açısından önemli bir faktördür. Ancak ESH'de araçlar, hastalara hizmet verilmesi amacıyla kullanıldığı ve ilgili ekibi taşıyacağı için burada aracın yükü önemsizdir. Ancak hizmet süreleri ve hasta zaman pencereleri aracın tur uzunluğu açısından bir limit oluşturmaktadır. Problem boyutunun yanı sıra bu iki durumun dikkate alınması problemin çözümünü zorlaştırmaktadır.

Tez çalışmasının motivasyonlarından birini oluşturan ve problemin tanımını etkileyen bir diğer durum da; çalışmanın Türkiye'deki bir hastanedeki sistemi dikkate alarak kurgulanmış olmasıdır. Şimşek [33] tarafından yapılan doktora tez çalışmasında ise sistemin Türkiye'deki yönetmelikler esas alınarak tanımlandığı belirtilmiş ancak hem problemin periyodik hizmetleri (zamanı belli olan hizmetlerin tekrarı) dikkate alınması hem de test verisi olarak Solomon'un [34] test verilerini kullanması açısından, tanımlanan problemde önemli derece ayrılmaktadır.

Bu tez kapsamında ele alınan ESHÇRP Ankara'da Gölbaşı Devlet Hastanesi'nde uygulanan sistem dikkate alınarak tanımlanmıştır. Ele alınan ESHÇRP ekiplerin çok tur yaptığı, gelen mevcut hasta taleplerine göre rotaların planlandığı, hastaların farklı, bir ve birden çok taleplerinin zaman pencerelerine göre dikkate alındığı ve planlama döneminin alt planlama dönemlerine ayrıldığı bir problem olarak tanımlanmıştır. Kaynaklarda yapılan incelemelere göre bu problem için geliştirilen matematiksel modeller özgün modellerdir.

3. TEK EKİPLİ EVDE SAĞLIK HİZMETLERİ ÇİZELGELEME VE ROTALAMA PROBLEMİ

Bu bölümde, sistemdeki özellikleri yansıtan, tek ekipli, zaman pencereci, çok turlu, özgün ve ele alınan ESHÇRP için geliştirilen iki matematiksel model sunulacaktır. Öncelikle ele alınan sistemin özellikleri, yapılan varsayımlar, simgesel tanımlar ve kısıtlar belirtilerek bu problem için geliştirilen matematiksel modeller verilecektir.

3.1. Problem Tanımı

Bu çalışmada ele alınan problem, birden fazla talebi olan hastalara ESH'ni eşzamanlı ya da ardışık olarak veren bir hastanede, gün içerisinde birden fazla kullanılan bir araç için toplam seyahat süresini enküçükleyecek şekilde araç rotalarının ve çizelgesinin oluşturulması olarak tanımlanabilir. Problemin detaylı tanımı ve kısıtları aşağıda verilmektedir.

Problem, tam bağlı bir serim $G = (P, A)$ üzerinde tanımlanabilir. P düğümler kümesi hastaları temsil etmektedir. Hastalar, aynı konumda olacak şekilde talep sayısı kadar kopyalanır. Kopyalama ile, her bir hastanın talep sayısı kadar düğüme sahip olduğu yeni bir serim elde edilir. Böylece, başlangıçta P ile gösterilen hastalardan oluşan düğümler kümesi, N ile gösterilen ve serimdeki tüm hastaların hizmet talep sayıları toplamından oluşan genişletilmiş düğümler kümesi haline gelir. Genişletilmiş serim, tam bağlı bir serim olarak $G = (N, A)$ şeklinde tanımlanabilir. Burada $N = \{0, 1, \dots, \sum_{i=1}^P Q_i\}$ düğümler kümesini; A ise bu düğümler arasındaki ayrıtlardan oluşan kümeyi ifade etmektedir. Düğüm kümesindeki $\{0\}$ düğümü, hastaneyi temsil ederken; diğer düğümler ise hizmet verilecek hastaların oluşturduğu düğümleri temsil etmektedir. Ayrıtlar, iki hasta arasındaki yolları göstermekte olup, çalışmada bu yollarda ekibin harcayacağı seyahat süresi dikkate alınmıştır. Hastanede başlangıçta 1 adet kapasitesiz araç ve bu araçta hastalara hizmet veren bir sağlık ekibi bulunmaktadır. Bu ekip mesai süresi içerisinde 3 tur yapmaktadır. Ekibin turlarının başlangıç zamanları ve uzunlukları belirlidir. Ekibin her turu hastanede başlamakta ve hastanede bitmektedir. Araçtaki sağlık ekibi tarafından ziyaret edilen her düğüme, verilecek hizmet için belirli bir hizmet süresi harcanmaktadır. Hastaların ziyaretleri, ilgili hasta için belirlenen en erken ve en geç ziyaret süreleri arasında gerçekleştirilmektedir. Amaç, tanımlanan serim üzerinde aşağıda verilen kısıtları sağlayan en küçük seyahat süresine sahip rotaları elde etmektir:

- i. Araçtaki sağlık ekibinin her turu hastanede başlamalı ve tekrar hastanede bitmelidir.
- ii. Her hasta talep sayısı kadar ziyaret edilmelidir.
- iii. Herhangi bir turdaki hizmet ve seyahat süreleri toplamı, ilgili turun en geç bitiş süresini geçmemelidir.
- iv. Her bir hastanın ziyareti, hasta için belirlenen en erken ve en geç ziyaret saatleri arasında yapılmalıdır.

3.1.1. Sistemin Gereklilikleri ve Yapısı

Ele alınan problemin çözümü ile hasta talepleri kaydedilip, günler itibariyle hasta hizmet planı yapılarak, gereken hastalar için randevu oluşturulacaktır. Sistemin ana bileşeni olan hasta talepleri, planlama yapıldıktan sonra bile, gün içerisinde hastaneye gelmeye devam etmektedir. Bu durum, hasta talepleri ve dolayısıyla da sistemin çok esnek ve çoğunlukla belirsiz olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada bu belirsizlik, hastalara verilecek hizmetlerin acil hizmet olmaması nedeniyle planlama döneminden sonra gelen hasta taleplerinin bir sonraki günün planına eklenmesiyle çözülmüştür. Bir başka deyişle, çalışmada ele alınan problem bir gün öncesinden gelen talepleri dikkate alarak ekibin günlük rotalama planını yapmayı amaçlamaktadır. Dolayısıyla, problem için önerilen matematiksel modeller, sistemin barındırdığı bu yapıyı dikkate alarak karar vericinin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde geliştirilmelidir.

3.1.2. Sistemin veri tabanında bulunması gereken bilgiler/ veriler

Bu kısımda sistemin veri tabanında bulunması gereken, sistemin işleyişiyle ilgili sabit bilgiler, hasta talepleri ile ilgili bilgiler ve ara işlemler ile ilgili bilgiler açıklanmaktadır.

3.1.2.1. Sabit bilgiler

Geliştirilen karar modellerinde gerekli olan sabit bilgiler:

- Mesainin başlangıç zamanı (1.turun başlangıç zamanı),
- 2.turun başlangıç zamanı,
- 3.turun başlangıç zamanı,
- Sabah turları için en fazla tur süresi,
- Öğleden sonraki turda en fazla tur süresi,

- Hizmet verilen bölgede hizmet talep noktaları arasındaki uzaklıklar, araç türüne göre seyahat süreleri,
- Hizmet verilebilir talep türlerine göre hizmet süreleri,
- Sağlık hizmeti talep eden bireyin konum bilgisi ve kaç hizmet talep ettiği,
- Hizmet talebinin var ise en erken, en geç saatleri (zaman penceresi)

başlıkları altında toplanabilir.

3.1.2.2. Ara işlemler modülü

Geliştirilen karar modelleri için yapılması gereken ara işlemler aşağıda belirtilmiştir:

- Gelen her bir talep, hizmet istenen türlere göre değerlendirilerek uygun olan işlem süreleri birleştirilir, hizmetler arasında zaman aralıklarının zorunlu olduğu durumlarda hizmetler için türetilmiş talep noktası oluşturularak hizmet süresi hesaplanır. Önceki talep noktası ile türetilmiş talep noktası arasındaki mesafe/süre büyük bir sayı (M) olmak üzere, o gün hizmet verilecek noktalar, hizmet süreleri ve noktalar arası seyahat süreleri veri tabanından çekilip serim haline getirilir,
- Türetilmiş talep noktalarının en erken ziyaret saati 2. Tur başlangıcı ile ilişkilendirilip en geç ziyaret saati 3.tur bitişinden önce olacak şekilde belirlenir.

3.1.2.3. Sistemin özellikleri ve kısıtlar

Geliştirilen karar modellerinde dikkate alınan özellikler ve buna göre oluşturulan kısıtlar aşağıda belirtilmiştir:

- Hastalara 4 farklı hizmet verilmektedir (Kan alma, muayene etme, diyet programı oluşturma, egzersiz yaptırma).
- Verilen hizmetlere göre hizmet süreleri belirlidir ve 4 farklı hizmet süresi vardır.
- Hastalara tek ekip hizmet vermektedir.
- Verilecek hizmetin özelliğine bağlı olarak sabah 2 tur öğleden sonra 1 tur olmak üzere toplamda 3 tur gerçekleştirilmektedir.
- Tüm turların başlangıç zamanları ve uzunlukları belirlidir. (Sabah birinci tur saat 08.00'de; ikinci tur ise saat 10.00'da başlar. Sabah gerçekleştirilecek tur uzunlukları en fazla 120 dk. iken öğleden sonraki tur saat 13.00'te başlar ve en fazla 210 dk.'dır).

- Her tur hastanede başlar ve hastanede biter.
- Bir turun süresi belirlenen bir değerden daha fazla olamaz (her turun uzunluğu belirlidir ve bu uzunluk aşılamaz).
- Her bir turun uzunluğu, kan örneklerinin bozulma durumu varsa bu süreden küçük olmalıdır.
- Hasta için ziyaret saatleri talep ettikleri en erken ve en geç zamanlar arasında gerçekleşmelidir (zaman penceresi).
- Her hasta talep sayısı kadar ziyaret edilmelidir (Her hasta en fazla 3 talepte bulunabilir).
- Herhangi bir hastanın birden fazla talebi varsa ve bu talepler hastaya eş zamanlı verilebilecek hizmetler ise hizmet zamanı tüm verilecek hizmet sürelerinin toplamıdır.
- Herhangi bir hastanın birden fazla talebi varsa ve bu talepler hastaya farklı zamanlarda hizmet vermeyi gerektiriyorsa; iki hizmet başlangıç zamanı arasında geçen süre belirli bir değerden büyük olmalıdır (iki hizmet başlangıç zamanı arasında en az belirli bir süre olmalıdır. Örneğin; kan alma işlemi gerçekleştirildikten sonra diyetisyenin diyet programı oluşturmak için hastayı tekrar ziyaret etmesi için en az 2 saat geçmesi gerektiği gibi).

3.2. Dizin Kümeleri ve Simgesel Gösterimler

Matematiksel modellerde kullanılan ortak dizin kümeleri, parametreler ve karar değişkenleri açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Dizin Kümeleri

$P =$ Döğümler kümesi $P = \{0, 1, 2, \dots, P\}$

$N =$ Genişletilmiş döğümler kümesi $N = \{0, 1, 2, \dots, \sum_{i=1}^P Q_i\}$

$K =$ Turlar kümesi $K = \{1, 2, 3\}$

Parametreler

$h_i = i.$ döğümdeki hizmet süresi

$t_{ij} = i.$ döğüm ile $j.$ döğüm arasındaki seyahat süresi

olmak üzere;

$T_{ij} = j.$ döğüme $i.$ döğümden gelip $j.$ döğümde hizmeti yerine getirme süresi ($T_{ij} = t_{ij} + h_j$)

$T_1 =$ Birinci turun başlangıç zamanı

$T_2 =$ İkinci turun başlangıç zamanı

$T_3 =$ Üçüncü turun başlangıç zamanı

$S_1 =$ Birinci turun en geç bitiş zamanı

$S_2 =$ İkinci turun en geç bitiş zamanı

$S_3 =$ Üçüncü turun en geç bitiş zamanı

$a_i =$ i . düğüm için en erken ziyaret saati

$b_i =$ i . düğüm için en geç ziyaret saati

$M =$ Yeterince büyük pozitif bir sayı

Karar Değişkenleri

$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{ düğüm} \text{ den } j. \text{ düğüme geçiş varsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

$Y_{ki} = \begin{cases} 1, & k. \text{ tur } i. \text{ düğüm ile başlar ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

$Z_{ki} = \begin{cases} 1, & k. \text{ tur } i. \text{ düğüm ile biter ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

Yardımcı Karar Değişkeni

$t_i =$ i . düğümdeki hastanın hizmetinin tamamlanma zamanı

Matematiksel Model

1. Her tur hastanede başlayacağı için ,

$$\sum_{j=1}^n x_{0j} = 3$$

eşitliği sağlanmalıdır.

2. Her tur hastanede biteceği için,

$$\sum_{i=1}^n x_{i0} = 3$$

eşitliği sağlanmalıdır.

3. Herhangi bir hastanın ziyareti sonrasında bir başka hastaya geçilmesi için,

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^n x_{ik} = \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^n x_{kj} \quad \forall k = 1, 2, \dots, n \quad \text{ve} \quad i \neq j$$

eşitliği sağlanmalıdır.

4. Tüm hastaların ziyaret edilmesi için,

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad \text{ve} \quad i \neq j$$

eşitliği sağlanmalıdır.

5. Her hastanın ziyaret zamanının o hasta için belirlenen en erken ve en geç ziyaret zamanları arasında gerçekleşmesi için,

$$a_i + h_i \leq t_i \leq b_i + h_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, n$$

eşitsizliği kullanılmalıdır.

6. Alt-tur engellemeleri için, Miller-Tucker-Zemlin [62] kısıtlarından uyarlanan eşitsizlik, tüm ikili ara düğümler için hizmet bitiş süreleri arasındaki ilişkiyi,

$$t_i - t_j + M * x_{ij} \leq M - T_{ij} \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{ve} \quad i \neq j$$

eşitsizliği ile sağlanmalıdır.

7. Herhangi bir hasta bir turun ilk hastası ise (*i*. hastaya hastaneden ilk çıkışta uğranıyorsa),

$$\begin{aligned} \text{Ya} \quad & t_i \geq T_{0i} + T_1 \\ \text{veya} \quad & t_i \geq T_{0i} + T_2 \\ \text{veya} \quad & t_i \geq T_{0i} + T_3 \end{aligned} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n$$

eşitsizlikleri kullanılmalıdır.

8. Herhangi bir hasta bir turun son hastası ise (*i*. hastadan sonra hastaneye uğranıyorsa),

$$\begin{aligned} \text{Ya} \quad & t_i + T_{i0} \leq S_1 \\ \text{veya} \quad & t_i + T_{i0} \leq S_2 \\ \text{veya} \quad & t_i + T_{i0} \leq S_3 \end{aligned} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n$$

eşitsizlikleri kullanılmalıdır.

9. Karar değişkenlerinin alabileceği değerler için,

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad Y_{ki} \in \{0,1\}, \quad Z_{ki} \in \{0,1\}, \quad t_i \geq 0$$

koşulları sağlanmalıdır.

10. Modelin amaç fonksiyonu olan toplam seyahat süresinin enküçüklenmesi için

$$Enk \sum_{i=0}^n \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^n t_{ij} x_{ij}$$

formülasyonu kullanılmalıdır.

Önerme 1: (6). kısıtta bulunan M'nin alt sınır değeri olarak, $T_{i0} + T_1 + T_{0j} - T_{ij} - S_3$ alınabilir.

İspat:

$$\begin{aligned} \text{Max}\{t_i - t_j\} &= \text{Max } t_i - \text{Min } t_j \\ &= S_3 - T_{i0} - (T_1 + T_{0j}) \end{aligned}$$

$$= S_3 - T_{i0} - T_1 - T_{0j}$$

$$S_3 - T_{i0} - T_1 - T_{0j} \leq M - T_{ij}$$

olup (6) nolu kısıt,

$$t_i - t_j + (S_3 - T_{i0} - T_1 - T_{0j}) * x_{ij} \leq S_3 - T_{i0} - T_1 - T_{0j} - T_{ij}$$

şeklinde tekrar yazılabilir.

Önerme 2: (7) nolu kısıtta verilen koşullu kısıtlar yerine aşağıdaki eşitsizlikler yazılarak aynı koşul sağlanır.

$$t_i \geq T_{0i} + T_1 * Y_{1i} + T_2 * Y_{2i} + T_3 * Y_{3i} + T_1 * (1 - x_{0i})$$

$$x_{0i} = Y_{1i} + Y_{2i} + Y_{3i}$$

$$\forall i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n Y_{1i} = 1$$

$$\sum_{i=1}^n Y_{2i} = 1$$

$$\sum_{i=1}^n Y_{3i} = 1$$

Önerme 3: (8) nolu kısıtta verilen koşullu kısıtlar yerine aşağıdaki eşitsizlikler yazılarak aynı koşul sağlanır.

$$t_i + T_{i0} \leq S_1 * Z_{1i} + S_2 * Z_{2i} + S_3 * Z_{3i} + S_3 * (1 - x_{i0})$$

$$x_{i0} = Z_{1i} + Z_{2i} + Z_{3i}$$

$$\forall i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n Z_{1i} = 1$$

$$\sum_{i=1}^n Z_{2i} = 1$$

$$\sum_{i=1}^n Z_{3i} = 1$$

3.3. Önerilen Karar Modelleri

Bölüm 3.2’de ayrıntıları verilen matematiksel modeldeki Kısıt (6), Kısıt (7) ve Kısıt (8) yerine sırasıyla Önerme 1, Önerme 2 ve Önerme 3’de verilen kısıtlar kullanılarak elde edilen matematiksel model, Tek Ekipli ESHÇRP için Düğüm Tabanlı Matematiksel Model (TE_DTMM) olarak adlandırılmıştır. Aynı modeldeki yardımcı karar değişkeni ayrıtlar üzerinden tanımlanarak ele alınan problem için Tek Ekipli Ayrıt Tabanlı Matematiksel Model (TE_ATMM) bir model daha önerilmiştir. Her iki model ve bu modellerin performans analizleri ayrıntılı olarak bu kısımda incelenecektir.

3.3.1. Tek Ekipli ESHÇRP için düğüm tabanlı matematiksel model

Tek ekipli ESHÇRP için önerilen ilk model yardımcı karar değişkenin düğüm üzerinden tanımlanmasıyla oluşturulmuştur. TE_DTMM olarak adlandırılan modele ilişkin kısıtlar ve amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$\sum_{j=1}^n x_{0j} = 3 \quad (3.1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0} = 3 \quad (3.2)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^n x_{ik} = \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^n x_{kj} \quad \forall k = 1, 2, \dots, N \text{ ve } i \neq j \quad (3.3)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, N \text{ ve } i \neq j \quad (3.4)$$

$$a_i + h_i \leq t_i \leq b_i + h_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (3.5)$$

$$t_i - t_j + (S_3 - T_{i0} - T_1 - T_{0j}) * x_{ij} \leq S_3 - T_{i0} - T_1 - T_{0j} - T_{ij} \quad (3.6)$$

$\forall i, j = 1, 2, \dots, N$ ve $i \neq j$

$$t_i \geq T_{0i} + T_1 * Y_{1i} + T_2 * Y_{2i} + T_3 * Y_{3i} + T_1 * (1 - x_{0i}) \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (3.7)$$

$$x_{0i} = Y_{1i} + Y_{2i} + Y_{3i} \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (3.8)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_{1i} = 1 \quad (3.9)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_{2i} = 1 \quad (3.10)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_{3i} = 1 \quad (3.11)$$

$$t_i + T_{i0} \leq S_1 * Z_{1i} + S_2 * Z_{2i} + S_3 * Z_{3i} + S_3 * (1 - x_{i0}) \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (3.12)$$

$$x_{i0} = Z_{1i} + Z_{2i} + Z_{3i} \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (3.13)$$

$$\sum_{i=1}^n Z_{1i} = 1 \quad (3.14)$$

$$\sum_{i=1}^n Z_{2i} = 1 \quad (3.15)$$

$$\sum_{i=1}^n Z_{3i} = 1 \quad (3.16)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, Y_{ki} \in \{0,1\}, Z_{ki} \in \{0,1\}, t_i \geq 0 \quad \forall i, j = 0, 1, \dots, N \quad \forall k = 1, 2, 3 \quad (3.17)$$

kısıtları altında

$$Enk \sum_{i=0}^n \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^n t_{ij} x_{ij} \quad (3.18)$$

TE_DTMM'nin $3n^2 + 11n + 2k + 6$ kısıtı ve $(n + 1)^2 + 2nk$ kadar 0-1 tamsayılı karar değişkeni bulunmaktadır.

3.3.2. Tek ekipli ESHÇRP için akış tabanlı matematiksel model

Kaynaklarda, ARP için akış tabanlı matematiksel modeller ile daha iyi alt sınırlar elde edildiği gözlemlenmiştir [63]. Ele alınan ESHÇRP için bu durumun geçerliliğini test etmek amacıyla TE_DTMM'deki yardımcı karar değişkeni ayrıt üzerinde tanımlanmıştır. ESHÇRP için geliştirilen bu model TE_ATMM olarak isimlendirilmiştir. TE_ATMM için yardımcı karar değişkeni, kısıtlar ve amaç fonksiyonu aşağıda verilmektedir.

Yardımcı Karar Değişkeni

$w_{ij} = i$. düğümden j . düğüme gelirse başlangıç tan itibaren geçirilen süre

Model

(1)-(4), (8)-(11), (13)-(16) ve

$$a_i + h_i \leq \sum_{j=0}^N w_{ji} \leq b_i + h_i \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, N \quad (3.19)$$

$$\sum_{m=1}^N w_{mi} + \sum_{j=1}^N T_{ij} * x_{ij} - \sum_{j=1}^N w_{ij} = 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (3.20)$$

$$w_{ij} \leq (S_k - T_{i0} - T_1 - T_{0j}) * x_{ij} \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, N \quad (3.21)$$

$$\sum_{j=1}^N w_{ji} \geq T_{0i} + \sum_{k=1}^K T_k * Y_{ki} + T_1 * (1 - x_{0i}) \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (3.22)$$

$$\sum_{j=1}^N w_{ji} + T_{i0} \leq \sum_{k=1}^K S_k * Z_{ki} + S_k * (1 - x_{0i}) \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (3.23)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, Y_{ki} \in \{0,1\}, Z_{ki} \in \{0,1\}, w_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j = 0, 1, \dots, n \quad \forall k = 1, 2, 3 \quad (3.24)$$

kısıtları altında

$$Enk \sum_{i=0}^N \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^N t_{ij} x_{ij} \quad (3.25)$$

TE_DTMM'de düğüm tabanlı tanımlanan yardımcı karar değişkeninin, TE_ATMM'de akış tabanlı tanımlanması, modelin bu yardımcı karar değişkenini içeren kısıtlarını etkilemektedir. TE_DTMM'deki Eş. (3.5), Eş. (3.6), Eş. (3.7), Eş. (3.12) ve Eş. (3.17) ile verilen kısıtlar yerine sırasıyla TE_ATMM'de, aynı işi yapan Eş.(3.19), Eş.(3.20), Eş.(3.21)-(3.22), Eş. (3.23) ve Eş. (3.24) ile verilen kısıtlar yazılmıştır. Eş. (3.19) ilgili düğüm için hastaların ziyaret zamanlarının, belirlenen en erken ve en geç zamanlar arasında olmasını sağlamaktadır. Eş. (3.20) ara düğümler için hizmet bitiş sürelerinin birbirini takip etmesini sağlamakla beraber alt turların oluşmasını da engellemektedir. Eş. (3.21)-(3.22), j . hastanın herhangi bir turunun ilk hastası olması durumunda, hizmet başlangıç zamanının, turun başlangıç zamanından sonra olmasını sağlamaktadır. Eş. (3.23) ise, hastanın turun son hastası olması durumunda, hizmet zamanı ile ilgili koşulları sağlamaktadır. Eş. (3.24), işaret kısıtıdır.

TE_ATMM'nin $4n^2 + 13n + 2k + 5$ kısıtı ve $(n + 1)^2 + 2nk$ kadar 0-1 tamsayılı karar değişkeni bulunmaktadır.

3.4. Modellerin Performans Analizi

Deneysel karşılaştırma amacıyla kullanılan test problemleri hakkında detaylı bilgi verildikten sonra, bu test problemleri üzerinde tek ekipli ESHÇRP için önerilen matematiksel modellerin performansı bu kısımda incelenecektir.

3.4.1. Test problemleri

Tek ekipli ESHÇRP için önerilen yukarıdaki matematiksel modellerin performansını görebilmek amacıyla, Gölbaşı Devlet Hastanesi (GDH) 'nden bir aylık 80 hastaya ait adres bilgileri alınmıştır. Adres bilgileri kullanılarak, hastaların bulunduğu koordinatlar Google Maps programı ile belirlenmiştir. Her bir test problemi için düğümler arası mesafe matrisleri üretilmiştir. Test problemlerinde kullanılacak hastalara ait diğer parametre değerleri ise GDH tarafından hem sağlıklı bir şekilde tutulmadığı hem de hasta gizliliği politikası nedeniyle paylaşılmadığı için yapılan görüşmeler sonucunda alınan bilgilere göre gerçeğe uygun şekilde düzgün dağılımdan rassal olarak üretilmiştir. Hasta sayısının 10-15-20 olduğu test problemleri küçük boyutlu ve 30-40-45-50-65-80 olduğu test problemleri orta boyutlu problemler olarak adlandırılmıştır. Test problemlerindeki hasta sayısının %60'ı tek hizmet, %30'u çift hizmet ve geriye kalan %10'u ise üç hizmet alan hastalardan oluşmaktadır. Tablo 3.1'de test probleminin boyutuna göre sırasıyla hasta sayısı ve tek, çift ve üç hizmet alan hasta sayıları gösterilmektedir. Bu çalışmada hasta sayısına göre, 10 ile 80 arasında değişen 9 farklı büyüklükte problem tanımlanmıştır. Her büyüklük için 5 farklı test problemi, 80 hasta arasından rassal seçilerek ve hizmet tipine göre rassal olarak atanması suretiyle elde edilmiştir. Böylece, toplam 45 test problemi oluşturulmuş ve her bir problem önerilen modeller için çözdürülmüştür.

Tablo 3.1. Test Problemlerinin Özellikleri

Hasta Sayısı	Tek Hizmet Alan Hasta Sayısı	İki Hizmet Alan Hasta Sayısı	Üç Hizmet Alan Hasta Sayısı
10	6	3	1
15	9	4	2
20	12	6	2
30	18	9	3
40	24	12	4
45	27	13	5
50	30	15	5
65	39	19	7
80	48	24	8

Hastalara verilecek hizmetler eş zamanlı yapılabilirse (Kan alma ve Muayene etme gibi) bu hizmeti alan hasta, iki hizmet aldığı halde tek hizmet almış gibi değerlendirilerek hizmet süresi belirlenir. Bazı hastalar için, iki hizmet arasında belirli bir süre geçmesini gerektiren ardışık hizmetlerin tanımlanması gerekmektedir. Çalışmada iki ve üç hizmet alan hastaların, %50'sinin eş zamanlı ve %50'sinin ise ardışık hizmetler aldığı varsayılmıştır. Birden çok talebi olan hastalar için ilk hizmet, kan alma hizmetidir. Ardışık hizmet alacak hastalarda, ilk hizmetin sonucu diğer hizmetleri etkilemektedir. Örneğin; diyetisyenin, kan tahlilinin sonucuna göre diyet programını hazırlaması gibi. Bu nedenle, kan alımına dayalı yapılan ardışık iki hizmet arasında en az 120 dakika bulunmalıdır. Hastalara hizmeti verebilme yetkisine sahip sağlık personelinin oluşan bir ekip tarafından 4 farklı tipte hizmet verilmektedir. Hizmet süreleri hastaya verilecek hizmet tipine göre değişmektedir. Test problemlerindeki hizmet süreleri; kan alımı için [3-8], muayene için [5-15], diyet programı oluşturmak için [10-20] ve fizyoterapi hizmeti vermek için [20-30] değerleri arasında, herbir test problemi için düzgün dağılımdan rassal olarak üretilmiştir. Kanın bozulmadan hastaneye ulaştırılması için belirli bir süre kısıtı bulunmaktadır. Bu süre 120 dakika olarak alınmıştır. Zaman pencereleri ise hastaya verilecek hizmet tipine göre değişkenlik göstermekte ve mesai süresi olan 8 saatlik planlama periyodunun içerisinde kalmaktadır.

Tablo 3.2. Test Problemlerinde Kullanılan Parametre Değerleri

Hizmet sayısı	Hizmet No	Hizmetin Tanımı	Hizmet Süresi (dk.)	Zaman Penceresi
Tek Hizmet	1	Kan Alımı	[3-8]	[0,120]
Tek Hizmet	2	Muayene Etme	[5-15]	[0,510]
Tek Hizmet	3	Diyet Programı oluşturma	[10-20]	[0,510]
Tek Hizmet	4	Fizyoterapi	[20-30]	[300,510]
İki Hizmet	5	Kan Alımı + Muayene Etme	[8-23]	[0,120]
İki Hizmet	6	Kan Alımı, Diyet Programı oluşturma	[13-28]	[0,120] [180,510]
İki Hizmet	7	Kan Alımı, Fizyoterapi	[23-38]	[0,120] [180,510]
Üç Hizmet	8	Kan Alımı + Muayene Etme, Diyet Programı oluşturma	[18-43]	[0,120] [300,510]
Üç Hizmet	9	Kan Alımı + Muayene Etme, Fizyoterapi	[28-53]	[0,120] [300,510]

Test problemlerinin üretimi ile ilgili tüm bu açıklamalar Tablo 3.2’de verilmektedir. Hizmet tanımı sütununda görüldüğü gibi, birden fazla hizmet söz konusu olduğunda bu hizmetler eş zamanlı yapılıyorsa (+) ile ardışık yapılıyor ise (,) ile gösterilmiştir.

Planlama periyodu olarak hastanenin bir günlük mesai saati olan 8 saatlik süre dikkate alınmıştır. Bu planlama periyodunda ayrıca öğle tatili dikkate alınmaktadır. Bu durumda, sabah-öğle arasında 2 tur ve öğleden sonra 1 tur olmak üzere her araç toplam 3 tur yapmaktadır. Turların aralıkları ise sırasıyla (0-120), (121-240) ve (300-510) şeklindedir. Öğle tatili olan (240-300) aralığında sağlık hizmetini veren ekibin bulunduğu araçlar, hizmet vermeyerek hastaneye dönmektedir. Planlama periyodu, dikkate alınan süre ve yapılacak tur sayıları, çalışmanın ilerleyen aşamalarında karar vericinin amacına göre değiştirilebilir.

Test problemlerindeki seyahat süreleri dışındaki hastalara verilecek hizmetler ile ilgili parametreler, yukarıda belirtilen bilgilere uygun şekilde düzgün dağılımdan rassal olarak üretilmiştir.

3.4.2. Sayısal Sonuçlar

Tüm modeller IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.6.1 matematiksel model çözücüsünde kodlanmış ve çözdürülmüştür. Herbir koşum Intel(R) Xeon Phi(TM) CPU 7290 @ 1.50 GHz hızında, 16 GB ara belleğe sahip, işletim sistemi 64-bit olan bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Bütün koşumlar 2 saat (7200 sn.) ile sınırlandırılmıştır.

Matematiksel modelleri analiz etmek amacıyla aşağıda belirtilen performans kriterleri kullanılmıştır.

1. Çözüm süresi (ÇS): Matematiksel modelin koşum süresi.
2. Amaç fonksiyonu değeri (Z^*): Matematiksel modellerin CPLEX çözücüsü ile iki saat koşumu sonucunda elde edilen tamsayılı çözümün amaç fonksiyonu değeri.
3. Optimallik açığı¹ (OA): Matematiksel modellerin CPLEX çözücüsü ile iki saat koşumu sonucunda bulunan tamsayılı çözümün amaç fonksiyonu değeri (Z^*) ile ilgili iterasyona kadar tespit edilen güncel sınır değeri (Z^{SINIR}) arasındaki farkın tamsayılı amaç fonksiyonu değerine oranı. Bu değeri hesaplamak için aşağıda verilen eşitlik kullanılmıştır.

¹ TÜBA -Türkçe Bilim Terimleri Sözlüğü

$$OA = \left(\frac{Z^* - Z^{SINIR}}{Z^*} \right) * 100 \quad (3.21)$$

Eş.(3.21)'de verilen formüle göre hesaplanan bu değer, Z^* değerinin eniyi çözüme yüzde cinsinden en fazla ne kadar uzak olabileceğini göstermektedir ve OA olarak adlandırılmaktadır.

TE_DTMM ve TE_ATMM, iki saatlik bir çalışma süresi üst sınırı konularak yukarıda belirtilen özelliklere göre oluşturulan toplam 45 veri seti için çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.3'te verilmiştir. Tablo 3.3'ün birinci sütunu test problemindeki hasta sayısını, ikinci sütunu ise bu büyüklükteki toplam talep sayısını göstermektedir. Aynı büyüklükteki test problemleri için düğümler arası seyahat süreleri, hasta talep sayıları ve hastalara verilen hizmet türlerinin değişkenlik gösterdiği 5 farklı test problemi oluşturulmuştur.

Tablo 3.3. TE_DTMM ve TE_ATMM ile elde edilen çözümler

N	Talep Sayısı	#	TE_DTMM			TE_ATMM		
			Z* (dk.)	ÇS (sn.)	OA (%)	Z* (dk.)	ÇS (sn.)	OA (%)
10	13	1	90	4,44	0	90	27,18	0
	13	2	138	4,68	0	138	22,28	0
	12	3	70	1,43	0	70	4,04	0
	12	4	157	0,34	0	157	2,25	0
	12	5	72	0,8	0	72	3,08	0
Ortalama	12,4		105,4	2,34	0	105,4	11,76	0

Deneyisel analiz yapmak için oluşturulan problemlerde, birden fazla hizmet alan hastalar kopyalanarak yeni serim elde edilmektedir. Bu şekilde oluşturulan veri setlerinde problem boyutu arttıkça birden fazla hizmet alan hasta sayısı ve dolayısıyla kopyalanan düğüm sayısı da aynı oranda artmaktadır.

Hem TE_DTMM hem de TE_ATMM ile sadece hasta sayısının 10 olduğu küçük boyutlu problemler için çözüm elde edilmiştir. Çözüm bulunan problemler için sonuçlar Tablo 3.3'te verilmektedir. Tablo 3.3'te sütunlar sırasıyla hasta sayısını, toplam hasta talebini, deneme sayısını, amaç fonksiyonu değerini, modelin çözüm zamanını ve OA değerini her iki model içinde ayrı ayrı göstermektedir. Denemeleri yapılan ancak tabloda gösterilmeyen hasta sayısının 15-80 arasında değişkenlik gösterdiği test problemleri için her iki modelde 2 saat içerisinde çözüm elde edilememiştir. TE_DTMM ile çözüm elde edilen hasta sayısının 10 olduğu test problemlerinin sonuçları incelendiğinde, ortalama seyahat süresi 105,4 dk. iken; OA değerinin %0 olduğu eniyi çözümlere ortalama çözüm süresi 2,34 sn. olan makul bir sürede ulaşıldığı

görülmektedir. TE_ATMM ile elde edilen çözümler incelendiğinde çözüm zamanlarının makul olmasına rağmen 5 kat arttığı yani aynı çözümlerin daha uzun sürelerde elde edilebildiği görülmüştür. Bu durumda küçük boyutlu problemler için TE_DTMM kullanılması önerilir.

3.5. Önerilen Modellerin Genel Değerlendirmesi

Önerilen her iki model de, çalışma süreleri ve tur sayıları açısından oldukça esnek bir kullanıma sahiptir. Karar vericinin, istemesi halinde tur sayılarını azaltıp çoğaltabileceği gibi, modellerin uygun görülmesi halinde mesai saatlerinin düzenine göre de uyarlanması mümkündür. Önerilen modeller ekibin toplam seyahat süresini enküçükleme amacını taşımaktadır. Farklı ortam ve koşullarda, modellerin kısıtlarını oluşturan temel omurga korunarak, hizmet verilen toplam hasta sayısı, hizmet verilen öncelikli hasta veya hastalıklar, zaman penceresinin esnetilmesi ve benzeri durumlar dikkate alınarak ölçüt veya beklentilere göre, tek veya çok ölçütlü modelleme yapılabilir.

Model performansları üretilen test problemleri üzerinden incelendiğinde, tek ekibin hizmet verdiği durumda önerilen TE_DTMM ve TE_ATMM ile sadece 10 hastanın olduğu küçük boyutlu test problemlerinde çözüm elde edilebildiği görülmüştür. Bu durum, tek ekipte artan hasta taleplerini karşılanmasının mümkün olmadığını göstermektedir. Bu nedenle daha fazla sayıda hasta talebinin karşılanması için geliştirilen matematiksel modeller genişletilerek çok ekipli hale getirilmiştir. Çok ekipli ESHÇRP için geliştirilen modeller hakkında ayrıntılı bilgi izleyen bölümde verilecektir.

4. ÇOK EKİPLİ EVDE SAĞLIK HİZMETLERİ İÇİN ÇİZELGELEME VE ROTALAMA PROBLEMİ

3.Bölüm’de tek ekipli ESHÇRP olarak önerilen matematiksel modelin performansı farklı büyüklüklerdeki problem setleri ile incelenmiştir. Önerilen matematiksel modelde, küçük boyutlu problem setleri için makul sürelerde çözümler bulunabilirken; problem büyüklüğünün artması durumunda tek ekiple artan talebin karşılanmasının mümkün olmamaktadır. Bu durum, ele alınan problemin çok ekipli olarak, birden fazla aracın hizmet verecek şekilde genişletilmesine olan ihtiyacı ortaya koymuştur. Bu nedenle bu bölümde, 3. Bölüm’deki tek ekipli ESHÇRP için önerilen matematiksel modele araç indisi eklenerek model Çok Ekipli ESHÇRP olarak geliştirilmiştir. Yardımcı karar değişkeninin düğüm ve ayrıtlarda tanımlanmasıyla, Çok Ekipli ESHÇRP için de hem düğüm hem de akış tabanlı iki ayrı matematiksel model önerilmiştir. Önerilen matematiksel modeller, bu bölümde ayrıntılı olarak incelenerek performansları analiz edilmiştir.

4.1. Problem tanımı

Bu bölümde ele alınan problem, birden fazla talebi olan hastalara ESH’ni eşzamanlı ya da ardışık olarak veren bir hastanede, gün içerisinde birden fazla kullanılan birden fazla ancak sınırlı sayıda araç için toplam seyahat süresini enküçükleyecek şekilde araç rotalarının ve çizelgesinin oluşturulması olarak tanımlanabilir. 3. Bölüm’de ele alınan problemden farklı olarak, hastanede başlangıçta birden fazla kapasitesiz araç ve her araçta hastalara ESH veren ekipler bulunmaktadır. Tablo 4.1’de problem boyutuna göre değişen ekip sayıları görülmektedir. Problem tanımına ilişkin diğer detaylar Bölüm 3.1’de ayrıntılı şekilde verilmiştir.

4.2. Dizin kümeleri ve Simgesel Gösterimler

Matematiksel modellerde kullanılan ortak dizin kümeleri, parametreler ve karar değişkenleri açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Dizin Kümeleri

$P =$ Düğümler kümesi $P = \{0, 1, 2, \dots, P\}$

$N =$ Genişletilmiş düğümler kümesi $N = \{0, 1, 2, \dots, \sum_{i=1}^P Q_i\}$

$K =$ Turlar kümesi $K = \{1, 2, 3, \dots, K\}$

$V =$ Araçlar kümesi $V = \{1, 2, 3, \dots, V\}$

Parametreler

$h_j = j.$ düğümdeki hizmet süresi

$t_{ij} = (i, j)$ düğümleri arasındaki seyahat süresi

olmak üzere;

$T_{ij} = j.$ düğüme $i.$ düğümünden gelip $j.$ düğümde hizmeti yerine getirme süresi ($T_{ij} = t_{ij} + h_j$)

$T_k = k.$ turun başlangıç zamanı

$S_k = k.$ turun en geç bitiş zamanı

$a_i = i.$ düğüm için en erken ziyaret saati

$b_i = i.$ düğüm için en geç ziyaret saati

$M =$ Yeterince büyük, pozitif bir sayı

Karar Değişkenleri

$x_{ijv} = \begin{cases} 1, & i. \text{ düğümünden } j. \text{ düğüme } v. \text{ araç ile geçiş varsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

$Y_{vki} = \begin{cases} 1, & v. \text{ aracın } k. \text{ turu } i. \text{ düğüm ile başlar ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

$Z_{vki} = \begin{cases} 1, & v. \text{ aracın } k. \text{ turu } i. \text{ düğüm ile biter ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

4.3. Önerilen Karar Modelleri

Matematiksel modeldeki 0-1 karar değişkeni sayısı, karar değişkeni indis sayısı ve kısıtların oluşturacağı çözüm uzayının sıklığı, matematiksel model çözümlerinin performansını etkileyen başlıca faktörlerdir. Dolayısıyla, problemin özelliklerinin yanı sıra bu faktörleri de dikkate alarak performansı yüksek (kısa sürede eniyi çözümleri yada sıkı alt-üst sınırları elde edebilen) yeni matematiksel modeller geliştirilebilir. Bu kısımda, yeni model geliştirilirken dikkat edilmesi gereken bu faktörlerden yola çıkılarak, ESHÇRP için yardımcı karar değişkeninin tanımlanmasına göre değişkenlik gösteren matematiksel modeller önerilmiştir. Bu modeller, 3.Bölümdeki tek ekipli ESHÇRP için önerilen matematiksel modelin uzantılarıdır. Önerilen matematiksel modelin amaç fonksiyonu, tek ekipli modelin amaç fonksiyonuyla aynı

olup, Klasik ARP ve ESHÇRP’de yaygın olarak kullanılan toplam seyahat süresinin enküçüklenmesidir.

Gerçek hayatta ESH veren hastanelerde gelen hasta taleplerini karşılayabilmek için birden fazla aracın kullanılması gerekmektedir. Bu durumu modelleyebilmek amacıyla, 3. Bölüm’de tek ekipli ESHÇRP için önerilen modele araç indisi eklenerek, üç indisli karar değişkenine sahip yeni bir model elde edilmiştir. Böylece önerilen yeni model; çok araçlı, zaman pencereci, çok turlu, hastalara çoklu hizmet verebilecek ESH problemini ele alacak şekilde genişletilmiştir.

Önerilen modeldeki yardımcı karar değişkeni düğümler ve ayrıtlar üzerinde ayrı ayrı tanımlanmıştır. Yardımcı karar değişkeninin düğüm üzerinden tanımlandığı model Çok Ekipli ESHÇRP için Düğüm Tabanlı Matematiksel Model (ÇE_DTMM) olarak adlandırılacaktır. Aynı modeldeki yardımcı karar değişkeni ayrıtlar üzerinden tanımlanan model ise Çok Ekipli Ayrıtlar Tabanlı Matematiksel Model (ÇE_ATMM) olarak adlandırılmıştır. Her iki model ve bu modellerin performans analizleri ayrıntılı olarak bu kısımda incelenecektir.

4.3.1.1. Çok ekipli ESHÇRP için düğüm tabanlı matematiksel model

Çok ekipli ESHÇRP için önerilen ilk model yardımcı karar değişkenin düğüm üzerinden tanımlanmasıyla oluşturulmuştur. ÇE_DTMM olarak adlandırılan modele ilişkin kısıtlar ve amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

Yardımcı Karar Değişkeni

$t_i = i$. düğümdeki hastanın hizmetinin tamamlanma zamanı

$$\sum_{j=1}^N x_{0jv} = k \quad \forall v = 1, 2, \dots, V \quad (4.1)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i0v} = k \quad \forall v = 1, 2, \dots, V \quad (4.2)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^N x_{imv} = \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N x_{mjv} \quad \forall m = 1, 2, \dots, N \text{ ve } i \neq j, \forall v = 1, 2, \dots, V \quad (4.3)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^N \sum_{v=1}^V x_{ijv} = 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, N \text{ ve } i \neq j \quad (4.4)$$

$$a_i + h_i \leq t_i \leq b_i + h_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (4.5)$$

$$t_i - t_j + (S_k - T_{i0} - T_1 - T_{0j}) * x_{ijv} \leq S_k - T_{i0} - T_1 - T_{0j} - T_{ij} \quad (4.6)$$

$\forall i, j = 1, 2, \dots, N, \forall v = 1, 2, \dots, V$

$$t_i \geq T_{0i} + \sum_{k=1}^K T_k * Y_{vki} + T_1 * (1 - x_{0iv}) \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, \forall v = 1, 2, \dots, V \quad (4.7)$$

$$x_{0iv} = \sum_{k=1}^K Y_{vki} \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, \forall v = 1, 2, \dots, V \quad (4.8)$$

$$\sum_{i=1}^N Y_{vki} = 1 \quad \forall k = 1, 2, \dots, K, \forall v = 1, 2, \dots, V \quad (4.9)$$

$$t_i + T_{i0} \leq \sum_{k=1}^K S_k * Z_{vki} + S_k * (1 - x_{i0v}) \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, \forall v = 1, 2, \dots, V \quad (4.10)$$

$$x_{i0v} = \sum_{k=1}^K Z_{vki} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n, \forall v = 1, 2, \dots, V \quad (4.11)$$

$$\sum_{i=1}^N Z_{vki} = 1 \quad \forall k = 1, 2, \dots, K, \forall v = 1, 2, \dots, V \quad (4.12)$$

$$x_{ijv}, Y_{vki}, Z_{vki} \in \{0,1\}, \quad t_i \geq 0 \quad (4.13)$$

$\forall i, j = 0, 1, \dots, N, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K, \quad \forall v = 1, 2, \dots, V$

kısıtları altında

$$Enk \sum_{i=0}^N \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^N \sum_{v=1}^V t_{ij} x_{ijv} \quad (4.14)$$

Bu modelde Eş. (4.1) - Eş. (4.4) atama kısıtları olarak adlandırılır. Eş. (4.1) ve Eş. (4.2) ile tüm araçlar için sırasıyla her turun hastanede başlaması ve yine hastanede sona ermesi sağlanmaktadır. Döğümler arasındaki girdi-çıkıtı dengesi Eş. (4.3) ile garanti edilmektedir. Eş. (4.4), tüm hastaların ziyaret edilmesini sağlar. Eş. (4.5), hastaların ziyaret zamanlarının, ilgili döğüm için belirlenen en erken ve en geç zamanları geçmesini engellemektedir. Bu modelde ARP için kullanılan ve Miller-Tucker-Zemlin kısıtları [62] olarak bilinen alt tur eleme kısıtları ESHÇRP'ne uygulanmış ve Eş. (4.6) ile gösterilmiştir. Buna göre ara döğümler için hizmet bitiş sürelerinin birbirini takip etmesi sağlanırken aynı zamanda alt turların oluşması da engellenmektedir. Eş. (4.7) - Eş. (4.9), j . hastanın herhangi bir aracın herhangi bir turunun ilk hastası olması durumundaki atamaların gerçekleştirilmesini ve hizmet başlangıç zamanlarının, tur başlangıç zamanından sonra olmasını garanti etmektedir. Eş. (4.10) - Eş. (4.12) ise aynı atama ve hizmet zamanı ile ilgili koşulları turun son hastası olması durumunda sağlayan kısıtlardır. Eş. (4.13), işaret kısıtıdır. ÇE_DTMM'nin amaç fonksiyonu olan Eş. (4.14) ise toplam seyahat süresini enküçüklemeştir.

ÇE_DTMM'nin $(n + 1)(2n + v + 2) + nv(n + 3) + 2v(k + 1) + 3n + 1$ kısıtı ve $(n + 1)^2v + 2vkn$ kadar 0-1 tamsayılı karar değışkeni bulunmaktadır.

4.3.1.2. Çok Ekipli ESHÇRP için akış tabanlı matematiksel model

Literatürde, ARP için akış tabanlı matematiksel modeller ile daha iyi alt sınırlar elde edildiğı gözlemlenmiştir. Ele alınan ESHÇRP için bu durumun geçerliliğini test etmek amacıyla ÇE_DTMM'deki yardımcı karar değışkeni ayrıt üzerinde tanımlanmıştır. ESHÇRP için geliştirilen bu üç indisli model Çok Ekipli Akış Tabanlı Matematiksel Model (ÇE_ATMM) olarak isimlendirilmiştir. ÇE_ATMM için yardımcı karar değışkeni, kısıtlar ve amaç fonksiyonu aşağıda verilmektedir.

Yardımcı Karar Değışkeni

$w_{ij} = i$. döğümden j . döğüme gelirse başlangıç tan itibaren geçirilen süre

Model

(4.1)-(4.4), (4.8)-(4.9), (4.11)-(4.12)

$$a_i + h_i \leq \sum_{j=0}^N w_{ji} \leq b_i + h_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (4.15)$$

$$\sum_{m=1}^N w_{mi} + \sum_{v=1}^V \sum_{j=1}^N T_{ij} * x_{ijv} - \sum_{j=1}^N w_{ij} = 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (4.16)$$

$$w_{ij} \leq (S_k - T_{i0} - T_1 - T_{0j}) \sum_{v=1}^V x_{ijv} \quad \forall i, j = 0, 1, 2, \dots, N \quad (4.17)$$

$$\sum_{j=1}^N w_{ji} \geq T_{0i} + \sum_{k=1}^K T_k * Y_{vki} + T_1 * (1 - x_{0iv}) \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, \forall v = 1, 2, \dots, V \quad (4.18)$$

$$\sum_{j=1}^N w_{ji} + T_{i0} \leq \sum_{k=1}^K S_k * Z_{vki} + S_k * (1 - x_{i0v}) \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, \forall v = 1, 2, \dots, V \quad (4.19)$$

$$x_{ijv}, Y_{vki}, Z_{vki} \in \{0,1\}, w_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j = 0, 1, \dots, N, \forall k = 1, 2, \dots, K, \forall v = 1, 2, \dots, V \quad (4.20)$$

kısıtları altında

$$Enk \sum_{i=0}^N \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^N \sum_{v=1}^V t_{ij} x_{ijv} \quad (4.21)$$

ÇE_DTMM'de düğüm tabanlı tanımlanan yardımcı karar değişkeninin, ÇE_ATMM'de akış tabanlı tanımlanması, modelin bu yardımcı karar değişkenini içeren kısıtlarını etkilemektedir. ÇE_DTMM'deki Eş. (4.5), Eş. (4.6), Eş. (4.7), Eş. (4.10) ve Eş. (4.13) ile verilen kısıtlar yerine sırasıyla ÇE_ATMM'de, aynı işi yapan Eş.(4.15), Eş.(4.16), Eş.(4.17)-(4.18), Eş. (4.19) ve Eş.(4.20) ile verilen kısıtlar yazılmıştır. Eş. (4.15) ilgili düğüm için hastaların ziyaret zamanlarının, belirlenen en erken ve en geç zamanlar arasında olmasını sağlamaktadır. Eş. (4.16) ara düğümler için hizmet bitiş sürelerinin birbirini takip etmesini sağlamakla beraber alt turların oluşmasını da engellemektedir. Eş. (4.17) - Eş. (4.18), j . hastanın herhangi bir aracın

bir turunun ilk hastası olması durumunda, hizmet başlangıç zamanının, turun başlangıç zamanından sonra olmasını sağlamaktadır. Eş. (4.19) ise, hastanın turun son hastası olması durumunda, hizmet zamanı ile ilgili koşulları sağlamaktadır. Eş. (4.20), işaret kısıtıdır.

ÇE_ATMM'nin $(n + 1)(5n + 2) + (5n + 2k + 3)v + n + 1$ kısıtı ve $(n + 1)^2v + 2vkn$ kadar 0-1 tamsayılı karar değişkeni bulunmaktadır.

4.4. Modellerin Performans Analizi

Bu bölümde, deneysel karşılaştırma amacıyla kullanılan test problemleri hakkında detaylı bilgi verildikten sonra bu test problemleri üzerinde önerilen matematiksel modellerin performansları incelenecektir.

4.4.1. Test problemleri

Çok ekipli ESHÇRP için önerilen matematiksel modellerin etkinliğini araştırmak amacıyla, tek ekipli matematiksel modellerin performans araştırması için oluşturulan ve Bölüm 3.4.1'de ayrıntılı bir şekilde açıklanan test problemleri kullanılmıştır. Ancak test problemlerinde hastalara hizmet veren ekip sayısı artırılmıştır. Problem boyutuna göre hizmet veren ekip sayıları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Test Problemlerinin Özellikleri

Ekip Sayısı	Hasta Sayısı	Tek Hizmet Alan Hasta Sayısı	İki Hizmet Alan Hasta Sayısı	Üç Hizmet Alan Hasta Sayısı
2	10	6	3	1
2	15	9	4	2
2	20	12	6	2
3	30	18	9	3
3	40	24	12	4
4	45	27	13	5
4	50	30	15	5
5	65	39	19	7
6	80	48	24	8

Tablo 4.1'in sütunları sırasıyla ilgili test problemindeki ekip sayısını, hasta sayısını, tek, iki ve üç hizmet alan hasta sayılarını göstermektedir. Tabloda görüldüğü gibi hasta sayısının 10-80 arasında değişkenlik gösterdiği farklı boyutlardaki test problemlerinde, ekip sayıları en az 2 ve en fazla 6 olarak kabul edilmiştir.

4.4.2. Sayısal sonuçlar

Tüm modeller IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.6.1 matematiksel model çözücüsünde kodlanmış ve çözdürülmüştür. Herbir koşum Intel(R) Xeon Phi(TM) CPU 7290 @ 1.50 GHz hızında, 16 GB ara belleğe sahip, işletim sistemi 64-bit olan bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Bütün koşumlar 2 saat (7200 sn.) ile sınırlandırılmıştır.

Çok ekipli ESHÇRP için önerilen matematiksel modelleri analiz etmek amacıyla da 3. Bölüm’de belirtilen performans kriterleri kullanılmıştır.

Önerilen ÇE_DTMM ve ÇE_ATMM ile tüm test problemleri iki saatlik koşum süresi için çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. ÇE_DTMM ve ÇE_ATMM ile elde edilen çözümler

V	P	N	#	ÇE_DTMM			ÇE_ATMM		
				Z*	ÇS (sn.)	OA (%)	Z*	ÇS (sn.)	OA (%)
2	10	13	1	116	84,19	0,00	116	54,69	0,00
		13	2	155	17,61	0,00	155	23,95	0,00
		12	3	91	3,36	0,00	91	10,39	0,00
		12	4	182	1,68	0,00	182	2,31	0,00
		12	5	94	3,44	0,00	94	2,29	0,00
Ortalama				128	22,06	0,00	128	18,72	0,00
2	15	19	1	158	195,15	0,00	158	7200,00	2,59
		19	2	242	7200,00	4,56	242	7200,00	7,32
		19	3	151	7200,00	13,87	152	7200,00	16,44
		20	4	154	7200,00	11,49	155	7200,00	16,20
		19	5	143	202,39	0,00	143	2380,99	0,00
Ortalama				170	4399,51	5,98	170	6236,20	8,51
2	20	26	1	173	7200,00	23,96	174	7200,00	24,70
		27	2	150	7200,00	13,55	151	7200,00	16,61
		27	3	125	7200,00	20,63	124	7200,00	20,96
		26	4	179	7200,00	19,45	178	7200,00	20,25
		27	5	177	7200,00	13,17	177	7200,00	16,14
Ortalama				161	7200,00	18,15	161	7200,00	19,73
3	30	39	1	-	7200,00	-	225	7200,00	17,79
		40	2	-	7200,00	-	-	7200,00	-
		39	3	-	7200,00	-	239	7200,00	20,92
		40	4	-	7200,00	-	-	7200,00	-
		40	5	-	7200,00	-	-	7200,00	-
Ortalama				-	7200,00	-	232	7200,00	19,36

Tablonun ilk üç sütünü sırasıyla araç (ekip) sayısını, hasta sayısını ve düğüm sayısını göstermektedir. Takip eden her üç sütun ise belirlenen performans kriterlerinin ÇE_DTMM ve ÇE_ATMM ile bulunan çözümlerini göstermektedir. Tabloda (-) işareti ile ifade edilen değerler, ilgili problem için 2 saatlik bir süre içerisinde uygun çözümün elde edilemediğini dolayısıyla OA değerlerinin hesaplanamadığını göstermektedir. Tablo 4.2 incelendiğinde, hasta sayısının 10 olduğu test probleminin tümünde belirlenen süre içerisinde her iki model ile de eniyi çözüme ulaşıldığı görülmektedir. ÇE_DTMM'in ortalama çözüm süresi açısından, ÇE_ATMM'den yaklaşık 5 kat daha kısa olduğu gözlemlenmiştir.

Hasta sayısının 15 olduğu test problemlerinden 5 denemenin sadece 2'sinde eniyi çözüme ulaşılabilmiştir. İki modelin ortalama OA değerleri sırasıyla %5,98 ve %8,51 iken; çözüm süreleri ortalamaları ise sırasıyla 4399,51 sn. ve 6236,20 sn.'dir. Bu değerler, ÇE_DTMM'in ÇE_ATMM'ye göre nispeten daha sıkı alt sınırları daha kısa sürelerde elde ettiğini göstermektedir.

Tablo 4.2'de görüldüğü gibi 20 hastalı test problemlerinin tümünde her iki model ile belirlenen iki saatlik süre içerisinde bir uygun çözüm elde edilmiştir. Modellerde ortalama OA değerleri sırasıyla %18,15 ve %19,73 olup, bu değerler ÇE_DTMM'in ÇE_ATMM'ye göre nispeten daha sıkı alt sınırlar ürettiğini göstermektedir.

Son olarak hasta sayısı 30 olduğunda, 2 saatlik süre içerisinde ÇE_ATMM ile 2 test problemi için uygun bir çözüm elde edilmiştir. Bu test problemleri için OA değerleri sırasıyla %17,79 ve %20,92'dir. ÇE_DTMM ile hiçbir test problemi için iki saatlik süre içerisinde uygun bir çözüm bulunamamıştır. Dolayısıyla, ÇE_ATMM ile ÇE_DTMM'ye göre daha fazla sayıda test problemi için çözümler elde edildiği söylenebilir.

Hasta sayısının 40-80 arasında değiştiği test problemleri için 2 saatlik çözüm süresi içerisinde her iki model ile uygun bir çözüme ulaşılamamıştır.

4.5. Önerilen Modellerin Genel Değerlendirmesi

Model performansları üretilen test problemleri üzerinden incelendiğinde, çok ekibin hizmet verdiği durumda önerilen ÇE_DTMM ve ÇE_ATMM ile en fazla 30 hastaya kadar olan, küçük boyutlu test problemlerinde çözüm elde edilebildiği görülmüştür. Bu durum önerilen matematiksel modellerin ancak küçük boyutlu test problemleri için ve uzun sürelerde çözüm

üretebildiğini göstermektedir. Çözüm elde edilemeyen büyük boyutlu test problemleri için ve daha makul sürelerde etkin çözüm elde edebilmek amacıyla sezgisel yaklaşımlara ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bu nedenle, ilerleyen bölümlerde ÇT-ESHÇRP için sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Ayrıntıları izleyen bölümde aktarılacak olan sezgisel algoritmalar ile hem büyük boyutlu test problemleri için çözüm elde edilmiş hem de geliştirilen algoritma performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

5. ÇT-ESHÇRP için META-SEZGİSEL ALGORİTMALAR

ÇT-ESHÇRP, NP-zor problem sınıfında yer alan ÇTARP ve ESHÇRP'nin birleşiminden oluşan bir NP-zor problemidir. Dolayısıyla geliştirilen tek veya çok ekipli matematiksel modeller ile büyük boyutlu problemler için makul zamanlarda uygun bir çözümün ya da eniyi çözümün elde edilemediği görülmektedir. Bu nedenle, tezin bu bölümünde büyük boyutlu problemlerin çözümü için sezgisel algoritmalar geliştirilmiş ve algoritmaların performansı dikkate alınan performans ölçütlerine göre değerlendirilmiştir.

Kaynaklarda ESHÇRP için farklı sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalar kullanan çalışmalar vardır. Adaptif gezgin satıcı sezgiseli [64], kuş sürüsü algoritması [11], değişken komşu arama tabanlı yaklaşımlar [26], [54], [65]–[67], tabu arama algoritması [68], genetik algoritma [25], [68]–[70], değişken komşu iniş algoritması [71], iki aşamalı çözüm algoritması [21], [50], [53], [72], GRASP [73], [74], sezgisel tabanlı kısıt programlama ile adaptif büyük komşuluk aramayı birleştiren iki aşamalı karma algoritmalar [15], [75]–[77], küme bölme ve büyük komşuluk arama yaklaşımlarına dayalı bir sezgisel [32], tasarruf algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma [4], en yakın komşu sezgiseli ile tekrarlamalı bir eşleştirme yapan sezgisel algoritma [23], matematiksel model tabanlı sezgisel algoritma [31], yerel aramaya dayalı meta-sezgisel algoritma [17] kaynaklarda kullanılan sezgisel algoritmalar arasında sayılabilir.

Bu bölümde, öncelikle başlangıç çözümün rastgele oluşturulduğu bir yerel arama (YA) algoritması geliştirilmiştir. Daha sonra başlangıç çözümünü çözüm kurucu bir algoritma ile oluşturduktan sonra tavlama benzetimi (TB) algoritması ile iyileştiren ve ARUAP-TB olarak adlandırılan bir algoritma geliştirilmiştir. Başlangıç çözümün etkisini incelemek amacıyla bu algoritma ayrıca rastgele başlangıç çözüm ile başlatılmış ve geliştirilen algoritma B-TB olarak adlandırılmıştır. Ayrıca TB algoritmasında ısıtma stratejisi kullanılmış ve bunun algoritmanın performansına etkisi incelenmiştir. Isıtmanın olduğu algoritma ise ARUAP-TB-ısıtma olarak adlandırılmıştır. Bu bölümde probleme özgü geliştirilen bu meta-sezgisel algoritmalar detaylı şekilde açıklanmış, sayısal ve istatistiksel analizler ile algoritma performansları karşılaştırılmıştır.

5.1. Meta-Sezgisel Algoritmaların Temel Bileşenleri

Temel sezgisel algoritmaların bazı özellikleri birleştirilerek, arama uzayını etkili ve verimli bir şekilde tarayan yüksek seviyeli stratejiler, meta-sezgisel algoritmalar olarak

isimlendirilmektedir. Yığın tabanlı, hafıza kullanmayan, doğadan esinlenen, sürü zekasına veya evrimsel gelişime dayalı olmak üzere farklı şekillerde sınıflandırılan meta-sezgiseller, probleme özgü geliştirilerek etkili sonuçlar elde edilebilmektedir. Meta-sezgiseller, arama uzayını belirlenen kurallar ile tarayarak, yerel eniyi tuzaklardan kurtulacak mekanizmalar kullanarak eniyi çözüme ulaşmayı veya yakınsamayı amaçlarlar.

Meta-sezgisel algoritmaların performansında probleme özgü çözüm gösteriminin, başlangıç çözümün oluşturulmasının ve komşuluk mekanizmaları gibi temel bileşenlerin önemli rolü vardır. Tez çalışmasında ele alınan ÇT-ESHÇRP'ye özgü geliştirilecek meta-sezgisel algoritmalar için bu temel bileşenler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

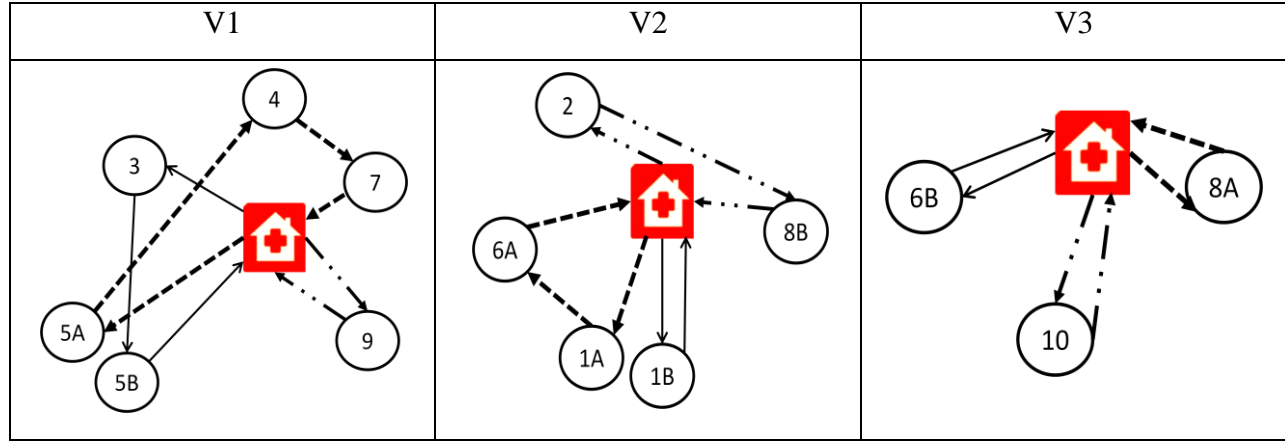
5.1.1. Çözüm gösterimi

Çözüm gösterimi, herhangi bir meta-sezgisel algoritmanın geçerliliğinde ve yeterliliğinde önemli rol oynayan temel bileşenlerdendir. Mümkün olan her çözümün temsil edilmesi, çözümler arasında geçişin sağlanabilmesi ve arama operatörleriyle çözümün kolaylıkla değiştirilebilmesi bir algoritma için çözüm gösterimi oluşturulurken dikkate alınması gereken özelliklerdir. Farklı eniyileme problemleri için oluşturulan ve kaynaklarda sıkça kullanılan çok çeşitli çözüm gösterimleri bulunmaktadır. Bu gösterimler birleştirilebilir ya da bunlardan yola çıkılarak farklı gösterimler türetilir. Yapısal açıdan çözüm gösterimlerini, doğrusal ve doğrusal olmayan çözüm gösterimleri olmak üzere iki ana sınıfta toplayabiliriz [78].

Bu çalışmada ele alınan ÇT-ESHÇRP'nin çözüm gösterimi için doğrusal çözüm gösterimleri sınıfına giren, $|V| \times |K|$ boyutunda bir matris oluşturulmuştur. Matrisin her satırı ekiplerin yaptığı turlarda hangi sıra ile hangi hastalara hizmet verildiği hakkında bilgi vermektedir. Böylece problem çözümü ile elde edilen matristen kullanılan ekip sayısını, ekiplerin tur sayılarını ve bu turlardaki hasta ziyaret sıraları görülebilmektedir.

Şekil 5.1a. ve Şekil 5.1b.'de örnek bir problem için sırasıyla serim gösterimi ve çözüm gösterimi verilmiştir. Bu test probleminde 4'ü çift hizmet olmak üzere 10 hasta için toplamda 14 hizmet, 3 araç/ekip ile toplamda 9 tur ile karşılanmaktadır. Örnekteki hastalardan, 1, 5, 6 ve 8. hastalar birden çok hizmet almakta ve bu nedenle bu hastalar iki kez ziyaret edilmektedir. Örneğin birden çok hizmet alan 1. hastanın aldığı ilk hizmet için "A" ve ikinci hizmet için "B"

hasta numarasından sonra eklenmiş ve hasta ziyaretleri rotalarda 1A veya 1B olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1a. Serim gösterimi

Araç\Tur	K1	K2	K3
V1	0-5A-4-7-0	0-9-0	0-3-5B-0
V2	0-1A-6A-0	0-2-8B-0	0-1B-0
V3	0-8A-0	0-10-0	0-6B-0

Şekil 5.1b. Çözüm gösterimi

Şekil 5.1. 10 hasta, 14 hizmet ve 3 araç/ekipli ÇT-ESHÇRP için serim ve çözüm gösterimi

Birden çok hizmet alan diğer hastalar için de aynı mantık yürütülerek sonuçta tüm hastalara (tek ve birden çok hizmet talep eden hastaların alacağı hizmetler birleştirilebilen hizmetlerle beraber) toplamda 14 ziyaret gerçekleştirilmiştir. Örnek çözümde, 1.ekip (V1), 3 tur yapmış ve 1. turda sırasıyla 5A - 4 - 7 hastalarını; 2. turda yalnızca 9. hastayı ve 3.turda 3 ve 5B hastalarını; 2.ekip (V2), 3 tur yapmış ve 1. turda sırasıyla 1A - 6A hastalarını; 2. turda 2 ve 8B hastalarını ve 3.turda 1B hastasını; 3.ekip (V3), 3 tur yapmış ve 1. turda yalnızca 8A hastasını, 2. turda 10.hastayı ve 3. turda 6B hastasını ziyaret etmiştir.

Bu çalışmada geliştirilen sezgisel algoritmalar için yukarıda açıklanan yapıda bir çözüm gösterimi kullanılmıştır.

5.1.2. Komşuluk yapıları

Geliştirilen algoritmalarda komşu üretimi için 3 hareket mekanizması kullanılmıştır. Bu mekanizmalar; 1-1 yer değiştirme, 1-1 kaydırma ve tur değiştirme olarak adlandırılmıştır. Hareket mekanizmaları her komşu üretimi için sırası ile %50, %33 ve %17'lik olasılık ile seçilmektedir. Ayrıca, %50 olasılıkla yalnızca bir ve %50 olasılık ile iki hareket mekanizmasının

kullanımı ile de komşu çözüm üretilmektedir. Bu olasılık değerleri yapılan deneysel ön çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Kullanılan hareket mekanizmalarının özellikleri aşağıda verilmiştir.

1-1 Yer değiştirme: Bu hareket mekanizmasıyla herhangi iki ziyaret rastgele seçilerek bu iki ziyaretin yeri değiştirilir.

1-1 Kaydırma: Bu hareket mekanizmasında bir ziyaret ve bir pozisyon rastgele seçilerek, seçilen ziyaret ilgili pozisyona kaydırılır. Seçilen ziyaret, en az iki ziyaretli bir tura ait olmalıdır.

Tur değiştirme: Bu hareket mekanizmasında herhangi iki tur rastgele seçilir ve bu turların yerleri değiştirilir. Seçilen iki tur, farklı araçların aynı numaralı turları olmamalıdır.

Yukarıda verilen mevcut çözüm için, hareket mekanizmaları kullanılarak oluşabilecek tur içi ve turlar arası olası çözümler Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4'te verilmiştir.

Şekil 5.2'de *1-1 Yerdeğiştirme* mekanizması ile üretilebilecek olası komşuluklar gösterilmektedir.

<i>Mevcut çözüm</i>			
Araç\Tur	K1	K2	K3
V1	0-5A-4-7-0	0-9-0	0-3-5B-0
V2	0-1A-6A-0	0-2-8B-0	0-1B-0
V3	0-8A-0	0-10-0	0-6B-0
a) 1A ile 8B yer değiştirirse			
	K1	K2	K3
V1	0-5A-4-7-0	0-9-0	0-3-5B-0
V2	0- 8B -6A-0	0-2- 1A -0	0-1B-0
V3	0-8A-0	0-10-0	0-6B-0
b) 9 ile 8A yer değiştirirse			
	K1	K2	K3
V1	0-5A-4-7-0	0- 8A -0	0-3-5B-0
V2	0-1A-6A-0	0-2-8B-0	0-1B-0
V3	0- 9 -0	0-10-0	0-6B-0
c) 5A ile 7 yer değiştirirse			
	K1	K2	K3
V1	0- 7 -4- 5A -0	0-9-0	0-3-5B-0
V2	0-1A-6A-0	0-2-8B-0	0-1B-0
V3	0-8A-0	0-10-0	0-6B-0

Şekil 5.2. *1-1 Yerdeğiştirme* mekanizması ile üretilebilecek olası komşu çözümler

Buna göre, *1-1 Yerdeğiştirme* mekanizması için rastgele seçilen iki ziyaret aynı aracın farklı turlarında (a) olabileceği gibi, farklı aracın farklı turlarında (b) ya da aynı aracın aynı

turunda (c) da olabilmektedir. Bu durumlar sırasıyla yukarıda örneklenmiş ve oluşan yeni çözümler gösterilmiştir. *1-1 Yerdeğiştirme* işlemi ile elde edilen yeni çözümlerdeki değişiklikler, **kalin** ve altı çizili şekilde gösterilmiştir.

1-1 Kaydırma mekanizması ile üretilebilecek olası komşuluklar Şekil 5.3'te gösterilmektedir. Buna göre, *1-1 Kaydırma* mekanizması için rastgele seçilen ziyaret ve pozisyon aynı aracın farklı turlarında bir pozisyon (a) olabileceği gibi, farklı aracın farklı turlarında bir pozisyon (b) ya da aynı aracın aynı turunun farklı bir pozisyonunda (c) da olabilmektedir. Bu durumlar sırasıyla yukarıda örneklendirilmiş ve oluşan yeni çözümler gösterilmiştir. *1-1 Kaydırma* işlemi ile elde edilen yeni çözümlerdeki değişiklikler, **kalin** ve altı çizili şekilde gösterilmiştir.

<i>Mevcut çözüm</i>			
Araç\Tur	K1	K2	K3
V1	0-5A-4-7-0	0-9-0	0-3-5B-0
V2	0-1A-6A-0	0-2-8B-0	0-1B-0
V3	0-8A-0	0-10-0	0-6B-0
a) 1A, V2-K2'nin 3. pozisyonuna kaydırılırsa			
	K1	K2	K3
V1	0-5A-4-7-0	0-9-0	0-3-5B-0
V2	<u>0-6A-0</u>	0-2-8B- <u>1A</u> -0	0-1B-0
V3	0-8A-0	0-10-0	0-6B-0
b) 2, V3-K3'ün 1. pozisyonuna kaydırılırsa			
	K1	K2	K3
V1	0-5A-4-7-0	0-9-0	0-3-5B-0
V2	0-1A-6A-0	<u>0-8B-0</u>	0-1B-0
V3	0-8A-0	0-10-0	0- <u>2</u> -6B-0
c) 3, V1-K3'ün 2. pozisyonuna kaydırılırsa			
	K1	K2	K3
V1	0-5A-4-7-0	0-9-0	<u>0-5B-3-0</u>
V2	0-1A-6A-0	0-2-8B-0	0-1B-0
V3	0-8A-0	0-10-0	0-6B-0

Şekil 5.3. *1-1 Kaydırma* mekanizması ile üretilebilecek olası komşu çözümler

Tur değiştirme mekanizması ile üretilebilecek olası komşuluklar Şekil 5.4'te gösterilmektedir. Buna göre, *Tur değiştirme* mekanizması için rastgele seçilen iki tur aynı aracın farklı turları (a) olabileceği gibi, farklı aracın turları (b) da olabilmektedir. Bu durumlar sırasıyla

yukarıda örneklendirilmiş ve oluşan yeni çözümler gösterilmiştir. *Tur değiştirme* işlemi ile elde edilen yeni çözümlerdeki değişiklikler, **kalın** ve altı çizili şekilde gösterilmiştir.

<i>Mevcut çözüm</i>			
Araç\Tur	K1	K2	K3
V1	0-5A-4-7-0	0-9-0	0-3-5B-0
V2	0-1A-6A-0	0-2-8B-0	0-1B-0
V3	0-8A-0	0-10-0	0-6B-0
a) V1'deki K2 ile K3 yer değiştirilirse			
	K1	K2	K3
V1	0-5A-4-7-0	<u>0-3-5B-0</u>	<u>0-9-0</u>
V2	0-1A-6A-0	0-2-8B-0	0-1B-0
V3	0-8A-0	0-10-0	0-6B-0
b) V1'deki K2 ile V3'teki K1 yer değiştirilirse			
	K1	K2	K3
V1	0-5A-4-7-0	<u>0-8A-0</u>	0-3-5B-0
V2	0-1A-6A-0	0-2-8B-0	0-1B-0
V3	<u>0-9-0</u>	0-10-0	0-6B-0

Şekil 5.4. Tur değiştirme mekanizması ile üretilebilecek olası komşu çözümler

5.1.3. Amaç ve uygunluk fonksiyonu

ÇT-ESHÇRP çok kısıtlı bir eniyileme problemi olduğundan dolayı mevcut çözüm uygun çözüm olmasına rağmen hareket mekanizmalarının uygulanması sonucunda kısıtları sağlamayan (uygun olmayan) çözümler elde edilebilmektedir. Kaynaklarda, arama sırasında bu tür uygun olmayan çözümler ile karşılaşıldığında kullanılacak çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlere örnek olarak reddetme, tamir ve cezalandırma yöntemleri verilebilir. Bu tez kapsamında uygun olmayan çözümler için cezalandırma yönteminden yararlanılmıştır. Cezalandırma yöntemi, kısıtlı eniyileme problemleri için kullanılan basit ve kolayca uygulanabilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, problemdeki kısıtlar amaç fonksiyonuna ceza terimi olarak eklenerek problem kısıtsız hale getirilir. Sezgisel algoritmalarda, statik ya da dinamik cezalandırma yöntemi kullanılabilir [79]. Uygun olmayan çözümleri cezalandırmanın basit bir yöntemi olarak kullanılan statik cezalandırma yöntemine göre herhangi bir şekilde uygunluğu bozan çözümler için ceza değeri algoritma boyunca değişmezken; dinamik cezalandırmada arama boyunca ceza değeri güncellenir. Statik cezalandırma yöntemi kullanılan bir enküçükleme probleminde cezalandırılmış amaç fonksiyonu hesaplanırken, cezalandırılmamış amaç fonksiyonu ile ceza değeri toplanır. Bu basit cezalandırma fonksiyonu oluşturulurken, ihlal

edilen kısıt sayısı kadar fonksiyon için cezalandırma yapılabilir. Kısıt sayısı “ m ” olan bir enküçükleme problemi için ceza fonksiyonu (5.1)’ deki gibi olmaktadır;

$$Enk f_p(x) = f(x) + \sum_{i=1}^m C_i \delta_i \quad (5.1)$$

Burada, $f_p(x)$ cezalandırılmış amaç fonksiyonunu, $f(x)$ amaç fonksiyonunu, C_i ihlal edilen i . kısıta uygulanacak ağırlık katsayısını ifade etmekte ve i . kısıtın ihlal edilmesi durumunda $\delta_i = 1$, diğer durumlarda 0 değerini almaktadır [80].

Bu tezde ele alınan problem için amaç fonksiyonu, araçların toplam seyahat süreleri toplamından oluşmaktadır. Cezalandırılmış amaç fonksiyonu ise amaç fonksiyonu ve ceza fonksiyonu toplamından oluşmaktadır. Ceza fonksiyonu ile algoritma arama uzayını tararken, hem çeşitliliği korumak için uygun olmayan çözümlerin de oluşmasına izin vermekte hem de uygun çözümlere yaklaşılmasını sağlamaktadır. Klasik ARP’nin birçoğunda cezalandırılmış amaç fonksiyonunda araç kapasitesi dikkate alınmaktadır. Örneğin; eş zamanlı topla-dağıt probleminde müşteri ziyaretleri gerçekleştirildikçe araçta yük artışları veya azalışları olmakta ve araç kapasitesi değişmektedir. Bu nedenle, bu tür problemlerde elde edilen çözümün uygunluk kontrolü için cezalandırma fonksiyonunda araç kapasitesinin aşımı dikkate alınmaktadır.

ÇT-ESHÇRP’nde ise klasik ARP’den farklı olarak araçlarda yük taşınmadığı ve araçlar sadece hastalara hizmet vermek için kullanıldığı için araç kapasiteleri ihmal edilir. Bu nedenle üretilen çözümün uygunluk kontrolü toplam mesai süresinin aşımına ve/veya tur sürelerinin aşımına bağlı olmaktadır. Ele alınan problemde hastaların ziyareti için zaman pencerelerinin olması ayrıca zaman pencerelerinin aşımının da bir uygunluk kriteri olarak ele alınmasını gerektirmektedir. Ayrıca, bu tezde çok turlu ESHÇRP ele alındığı için araçların belirlenen tur sayısı kadar turu oluşturabilmesi de sağlanmalıdır. Bütün bu durumlar dikkate alınarak önerilen algoritmalarda üretilen aday çözümün uygunluğu için kullanılan cezalandırma fonksiyonunda;

- i. Araçların tur zaman sınırını aşma miktarlarının toplamı (TU),
- ii. Zaman penceresinin alt veya üst sınırlarını aşma miktarlarının toplamı (ZP),
- iii. Herhangi bir ziyaret noktası bulunmayan tur sayısı (TS).

olmak üzere 3 ceza dikkate alınmıştır. Bu durumda tez kapsamında önerilen sezgisel algoritmalarda kullanılan cezalandırma fonksiyonu (5.2)' de verilmiştir.

$$Enk \sum_{i=0}^N \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^N \sum_{v=1}^V t_{ij} x_{ijv} + C_1 * TU + C_2 * ZP + C_3 * TS \quad (5.2)$$

Yapılan ön denemeler sonucunda ceza katsayıları, C_1 , C_2 , C_3 , sırasıyla 1.000, 10.000 ve 5.000 olarak belirlenmiştir.

5.2. Yerel Arama Algoritması

Bu kısımda, YA algoritması hakkında genel bilgi verildikten sonra ÇT-ESHÇRP için geliştirilen YA algoritmasının işleyişi hakkında ayrıntılı bilgi verilecektir.

5.2.1. YA Algoritmasının genel yapısı

YA algoritması en eski ve en temel meta-sezgisel yöntemlerdendir. Herhangi bir başlangıç çözüm ile başlayan arama, her iterasyonda belirlenen hareket mekanizmalarıyla başlangıç çözümün komşulukları üretilerek devam ettirilir. Üretilen komşuluğun amaç fonksiyonu değeri, mevcut çözümün amaç fonksiyonundan daha iyiye komşu çözüm yeni mevcut çözüm olarak kabul edilir. Aksi halde başlangıç çözümün farklı bir komşuluğu üretilerek süreç devam ettirilir. Yerel arama algoritması, mevcut çözümün komşuluklarında amaç fonksiyonunda iyileştirme sağlanmayana kadar devam eder. YA algoritmasının komşu çözümün üretilmesi (deterministik ya da stokastik) ve komşu çözümün seçilmesi (ilk iyileşme, eniyi iyileşme, rassal seçim) stratejisine göre farklı varyasyonları bulunmaktadır [78].

5.2.2. Geliştirilen YA algoritmasının adımları

Bu çalışmada geliştirilen YA algoritması, rastgele oluşturulan bir çözüm ile başlar. Başlangıç çözümünün iyileştirilmesi için komşuluk mekanizmaları Bölüm 5.1.2'de açıklandığı şekilde kullanılmaktadır. Üretilen komşu çözümün amaç fonksiyonu değeri, mevcut çözümün amaç fonksiyonu değerinden daha iyiye eniyi çözüm güncellenir; aksi halde başka komşulara bakılır. Komşu üretimi, durma koşulu sağlanana kadar bu şekilde devam eder. Yapılan ön denemeler sonucunda ardışık 40.000 iterasyonda iyileşme elde edilememesi durdurma koşulu

olarak seçilmiştir. ÇT-ESHÇRP için geliştirilen YA algoritmasının genel adımları Şekil 5.5'te verilmiştir.

Algoritma: YA	
Girdi: Rastgele oluşturulmuş bir başlangıç çözüm ($S_{başlangıç}$)	
Çıktı: Bulunan eniyi çözüm ($S_{YA_{eniyi}}$)	
Adım 1.	$S_{başlangıç} =$ Rastgele oluşturulmuş başlangıç çözüm $f_{eniyi} =$ Başlangıç çözümün amaç fonksiyonu değeri
Adım 2.	Olasılıklara göre seçilen bir komşuluk mekanizmasını kullanarak bir komşu üret. $S_{YA} =$ YA algoritmasıyla üretilen komşu çözüm.
Adım 3.	Ürettiğin komşuluğun amaç fonksiyonu değerini hesapla. (f_{YA}) if $f_{YA} < f_{eniyi}$: S_{YA} ve f_{YA} 'yı eniyi çözüm olarak kaydet. else Adım 2'ye dön.
Adım 4.	Durdurma koşulu sağlanana kadar Adım 2'yi tekrarla.

Şekil 5.5. YA algoritmasının genel adımları

5.3. Geliştirilen TB Algoritmaları

Bu kısımda, ÇT-ESHÇRP için başlangıç çözümün rastgele oluşturulduğu ve çözüm kurucu bir algoritma ile üretildiği iki farklı TB algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritmalar sırasıyla B-TB ve ARUAP-TB olarak adlandırılmıştır. Ayrıca, tekrar ısıtma stratejisi ARUAP-TB'da kullanılmış ve bu algoritma da ARUAP-TB-ısıtma olarak adlandırılmıştır. Çözüm kurucu algoritma ile oluşturulan başlangıç çözüm, TB algoritmalarının genel işleyişi ve önerilen algoritmaların adımları izleyen kısımda ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Cözüm Kurucu Algoritma

Problem için geliştirilen çözüm kurucu algoritmada, öncelikle olası ziyaretlerin atanması için araçların her bir turu hastanede başlayıp hastanede sonlanacak şekilde oluşturulur. Her bir turun aday listesi, hastaların talep ettikleri hizmetlerin zaman pencerelerine uygun şekilde ilgili turun aday listesine eklenerek oluşturulur. Böylece oluşacak çözümlerde, tur-zaman penceresi aşımı olasılığı azaltılmış olur. Hastaların zaman pencereleri birden fazla aracın turuna uygun olabileceği için hastalar birden fazla aday listesinde yer alabilir. Aday listeleri, her bir tur için ayrı tutulur. Çözüm kurucu algoritma döngüsü, herhangi bir turun aday listesinde en az bir aday olduğu durumda çalıştırılır. Çözüm kurucu algoritma döngüsü, rastgele bir araca ait rastgele bir

turun seçilmesi ile başlar. Seçilen turun aday listesinin daraltılmış alt kümesinden bir hasta rastgele seçilerek tura eklenir. Rastgele yapılan bu seçim, aday listesindeki adayların mesafe açısından mevcut konuma göre üstünlük sağlayan hastalar arasından belirlenir. Daraltılmış alt kümenin eleman sayısı, ARUAP algoritmasındaki mantıkla, alfa katsayısına göre belirlenir. Alfa katsayısının 1 olması durumunda en kısa mesafedeki aday seçilir ve bu durum tam aç gözlü çözüm kurucu olarak adlandırılır. Alfa katsayısı arttıkça daraltılmış alt küme genişler. Toplam aday sayısının mesafeye göre sıralanmış, (1-alfa) katı kadar aday hasta arasından rastgele seçilir. Bu durum yarı-aç gözlü çözüm kurucu olarak adlandırılır. ARUAP algoritması, tüm hastaların ziyaret edildiği bir aday çözüm kurulana kadar çalışmaya devam eder. Algoritmanın genel adımları Şekil 5.6'da verilmiştir.

Adım 1.	Sadece hastaneden oluşan aday çözüm matrisini oluştur.
Adım 2.	Herbir tur için aday listelerini oluştur.
Adım 3.	Herhangi bir aday listesinde eleman bulunuyorsa döngüye gir. Aksi halde Adım 4'e git.
Adım 3.1.	Rastgele bir araç (v) seç.
Adım 3.2.	Rastgele bir tur (k) seç.
Adım 3.3.	İlgili turun aday listesi boş ise Adım 3.2'ye git.
Adım 3.4.	Seçilen araç ve turun mevcut konumunu belirle.
Adım 3.5.	Aday listesini mevcut konumla olan mesafeye göre küçükten büyüğe doğru sırala.
Adım 3.6.	Sıralanan adayların (1-alfa) kadarını daraltılmış alt küme olarak oluştur. (Daraltılmış alt küme eleman sayısı ≥ 1)
Adım 3.7.	Daraltılmış alt kümeden rastgele bir aday seç ve ilgili araç ve tura bir sonraki ziyaret noktası olarak ekle.
Adım 3.8.	Ziyaret edilen noktayı aday listelerden çıkar.
Adım 3.9.	Adım 3.'e git.
Adım 4.	DUR.

Şekil 5.6. ARUAP çözüm kurucu algoritmasının genel adımları

Başlangıç çözümünün oluşturulmasından sonra ikinci aşamaya geçilir. İkinci aşama, mevcut çözümün iyileştirilmesi için TB algoritmasından oluşur.

Tavlama benzetimi (TB) algoritması

TB algoritması, ısı dengedeki bir sistemin farklı sıcaklık derecelerindeki davranışlarını inceleyen istatistiksel mekanik ile belli bir amaç fonksiyonuna göre eniyi değeri bulmayı amaçlayan kombinatoriyal optimizasyon arasındaki benzerlikten yola çıkılarak oluşturulan bir olasılıklı yerel arama yöntemidir. Metallerdeki “tav verme” sürecinde yaşanan fiziksel olaylar ile karmaşık ve büyük problemlerin optimizasyonu süreci arasında ilişki kurularak bir analogi yaratılmıştır. Bu benzerlik ilk defa Metropolis vd. [81] tarafından geliştirilen Metropolis algoritmasıyla kurulmuştur. Daha sonraki yıllarda Kirkpatrick vd. [82] ve Cerny [83], bu algoritmayı tavlama kavramı ile birleştirilerek “Tavlama Benzetimi Algoritması” olarak önermişlerdir. Metropolis algoritması, TB’nde, problemin çözümlerinin bir sırasını üretmek için kullanılmaktadır.

TB algoritması, başlangıç sıcaklığında (T_0), uygun bir başlangıç çözümden başlar. Bu sıcaklıkta yapılacak araştırmada belirli sayıda komşu çözüm üretilir. Birçok durumda başlangıç sıcaklığı (T_0), komşu aday çözümler arasındaki fark tahminine göre belirlenir. Arama süresince, sıcaklık “soğutma planı” olarak adlandırılan bir plana göre düşürülür. Basit geometrik soğutma planında sıcaklık, birçok durumda oldukça verimli olduğu gözlemlenen $T = \alpha * T$ eşitliğine göre azaltılır. Yeni bir çözüme geçmek için üretilen komşu çözümler arasından amaç fonksiyonunu daha iyi bir değere taşıyan bir çözüm seçilir. TB’de yerel eniyi tuzağından kurtulmak için, amaç fonksiyonunda kötüleşme yaratan komşu çözümlerin kabul edilmesine kontrollü bir şekilde, belirlenen bir olasılıkla rassal olarak izin verilir. TB’de amaç fonksiyonunu daha kötü çözümlere götüren çözümlerin kabul edilmesinde kullanılan farklı fonksiyonlar bulunmaktadır. Bunlar arasında en iyi bilinen ve sıkça kullanılan Boltzman fonksiyonu $e^{-\Delta/T}$ ile belirlenen değere göre, kötü çözüm olasılıklı olarak kabul edilmektedir. Burada, Δ mevcut çözümün amaç fonksiyonu $f(X)$ ile yeni çözümün amaç fonksiyonu $f(X')$ arasındaki farkı; α önceden belirlenen bir sabiti ve T mevcut sıcaklık değerini gösteren bir kontrol parametresidir. T parametresinin yüksek olması durumunda, komşu çözümlerin kabul edilme olasılığı artarken; düşük olduğu durumda ise kötü çözümlerin reddedilme olasılığı yükselmektedir. Algoritmanın durma koşulu genellikle T değerinin belirli bir değere ulaşması olarak belirlenmektedir. Sonuç olarak, TB algoritmasında: başlangıç sıcaklığı (T_0), sıcaklık

azaltma oranı (α), her sıcaklık değerinde üretilecek komşu sayısı (M) ve son sıcaklık (T_s) olmak üzere dört parametre kullanılmaktadır.

5.3.1. B-TB Algoritması

B-TB algoritmasında, başlangıç çözümü YA'da olduğu gibi rastgele oluşturulduktan sonra TB ile iyileştirilmektedir.

5.3.2. ARUAP-TB Algoritması

ARUAP-TB'de çözüm kurucu algoritma olarak Açgözlü Rassallaştırılmış Uyarlamalı Arama Prosedürü (ARUAP) algoritmasından esinlenilmiştir. ARUAP, kombinatoriyal eniyileme problemlerine başarılı bir şekilde uygulanan sezgisel algoritmalarından biri olup ilk kez 1989 yılında Feo ve Resende [84] tarafından geliştirilmiştir. ARUAP algoritmasının, her bir iterasyonu 2 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama, çözüm kurucu aşama olarak adlandırılıp, çözümün rassal olarak oluşturulmasını sağlar. İkinci aşama ise, yerel arama aşaması olarak adlandırılır ve oluşturulan başlangıç çözüm yerel arama algoritması ile iyileştirilir. Bu iki aşama karar verici tarafından belirlenen sayıda tekrarlanarak bu süreç boyunca bulunan eniyi çözüm, nihai çözüm olarak kaydedilir.

Bu çalışmada, ARUAP algoritmasından esinlenilerek çözüm kurucu bir algoritma ile başlangıç çözümü oluşturulmaktadır. İkinci aşamada ise yerel arama yerine TB kullanılarak başlangıç çözüm iyileştirilmektedir.

ARUAP-TB'nin Adımları

ARUAP-TB, çözüm kurucu algoritma ile oluşturulan bir çözüm ile başlar. Başlangıç çözümün iyileştirilmesi için klasik TB algoritmasında kullanılan adımlar izlenir. Algoritmadaki her sıcaklık değerindeki komşu çözümler, Bölüm 5.1.2'de açıklanan komşuluk mekanizmalarına göre üretilmektedir. Üretilen komşuluk uygun çözüm ise amaç fonksiyonu değeri, uygun çözüm değilse cezalandırılmış amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. Üretilen komşuluk, amaç fonksiyonu karşılaştırmasına göre Bölüm 5.4.1'de açıklanan şekilde olasılıklı olarak kabul edilir. Komşuluk üretimi, durma koşulu sağlanana kadar bu şekilde devam eder. Yapılan ön denemeler sonucunda durma koşulu olarak, 40.000 iterasyon boyunca iyileşme elde edilememesi durumu seçilmiştir.

ARUAP-TB'de klasik TB algoritmasından farklı olarak, Δ farklı şekilde hesaplanmıştır. Buna göre, Δ amaç fonksiyon değerindeki yüzdesel değişim oranı olarak hesaplanır. Böylece,

problem boyutu ve problemin parametrelerine bağılı olarak büyüklüğü değişebilen amaç fonksiyonu değerinden bağımsız hale getirilmiş olur. Algoritma için kullanılan diğer parametre değerleri; $\Delta = \%20$ olduğu durumda $\%13,5$ olasılıkla kötü çözümlerin kabul edilebilmesi için başlangıç sıcaklık değeri (T_0) 30, sıcaklık azaltma oranı (α) 0,002 ve her sıcaklık değerinde üretilen çözüm sayısı (M) 1 olarak kabul edilmiştir. ÇT-ESHÇRP için uyarlanan ARUAP-TB-ısıtma algoritmasının genel adımları Şekil 5.7’de verilmiştir.

Algoritma: <i>ARUAP-TB-ısıtma</i>	
Girdi: Çözüm kurucu algoritma ile elde edilen bir başlangıç çözüm ($S_{başlangıç}$)	
Çıktı: Bulunan eniyi çözüm ($S_{ARUAP-TB-ısıtma_{eniyi}}$)	
Adım 1.	$S_{başlangıç} =$ Çözüm kurucu algoritma ile üretilen bir başlangıç çözümü $f_{başlangıç} =$ Başlangıç çözümünün amaç fonksiyonu değeri $S_{TB_{eniyi}} \leftarrow S_{başlangıç}$ ve $f_{TB_{eniyi}} \leftarrow f_{başlangıç}$ $S_{mevcut} \leftarrow S_{başlangıç}$ ve $f_{mevcut} \leftarrow f_{başlangıç}$ Başlangıç sıcaklığı, $T \leftarrow T_0$ Üretilcek komşu çözüm sayacının sıfırlanması, $m \leftarrow 0$
Adım 2.	Olasılıklara göre seçilen bir komşuluk mekanizmasını kullanarak S_{mevcut} 'un bir komşusunu S_{TB} üret. $m \leftarrow m + 1$ Ürettiğin komşuluğun amaç fonksiyonu değerini hesapla (f_{TB}) $\Delta = \frac{f_{TB} - f_{mevcut}}{f_{mevcut}} \times 100$ hesapla if $\Delta \leq 0$ ise : $S_{mevcut} \leftarrow S_{TB}$ if $f_{TB} < f_{eniyi}$: $f_{eniyi} \leftarrow f_{TB}$ $S_{TB_{eniyi}} \leftarrow S_{TB}$ else $\Delta > 0$ ise : $e^{-\Delta/T}$ olasılıkla, $S_{mevcut} \leftarrow S_{TB}$
Adım 3.	Eğer $m \geq M$ ise sıcaklığı güncelle, $T \leftarrow \alpha \times T, m \leftarrow 0$
Adım 4.	Durdurma koşulu sağlanmış ise dur, sağlanmamışsa Adım 2'ye git.

Şekil 5.7 ARUAP-TB-ısıtma algoritmasının genel adımları

5.3.3. ARUAP-TB-ısıtma Algoritması

ARUAP-TB'nin çözüm kalitesini arttırmak yani algoritmaya yerel eniyiden kurtulma şansı vermek amacıyla algoritmada tekrar ısıtma stratejisi kullanılmıştır. Tekrar ısıtma stratejisinde, iyileşme elde edilemeyen iterasyon sayısı 20.000'e ulaştığında sıcaklık değeri başlangıç sıcaklığının %20'sine kadar arttırılır. Bu stratejinin kullanıldığı algoritma ARUAP-TB-ısıtma olarak adlandırılmıştır.

Bu kısımda önerilen sezgisel algoritmaların performansını incelemek amacıyla yapılan sayısal analizler verilmektedir. Çalışmada kullanılan test problemleri, algoritmaların performanslarının karşılaştırılması ve istatistiksel analizler detaylı olarak açıklanmaktadır.

5.3.4. Test problemleri

Algoritmaların etkinliğini test etmek amacıyla Bölüm 4.4.1'de ayrıntıları verilen ve çok ekipli matematiksel modellerin performans araştırması için oluşturulan farklı büyüklüklerdeki test problemleri kullanılmıştır.

5.3.5. Sayısal sonuçlar

Önerilen tüm sezgisel algoritmalar Python programlama dilinde kodlanmıştır. Denemeler, Intel(R) Core i7-8565U CPU @ 1.80GHz baz, 4.60 GHz max turbo hızında, 16 GB RAM belleğe sahip, işletim sistemi 64-bit olan bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Algoritmaların performansının karşılaştırmalı incelenebilmesi için, her test problemi her algoritma ile 10 kez çözdürülmüştür. Elde edilen çözümün amaç fonksiyonu değeri ve çözüm süreleri kaydedilmiştir.

5.4. Sayısal Analizler

Algoritmaların performans analizinde aşağıdaki performans kriterleri kullanılmıştır.

- 1) En küçük amaç fonksiyonu değeri (EKAF): İlgili test probleminin algoritma ile 10 kez çözdürülmesi sonucunda elde edilen en küçük amaç fonksiyonu değeri,
- 2) Ortalama amaç fonksiyonu değeri (OAF): İlgili test probleminin algoritma ile 10 kez çözdürülmesi sonucunda elde edilen amaç fonksiyonlarının ortalaması,
- 3) Değişim katsayısı (DK): İlgili test probleminin algoritma 10 kez çözdürülmesi sonucunda elde edilen çözümlerin değişim katsayısı,

- 4) Ortalama çözüm süresi (OÇS): İlgili test probleminin algoritma ile 10 kez çözdürülmesi sonucunda ortalama çözüm süresi,

Tablo 5.1.'de YA ve B-TB, Tablo 5.2.'de ise ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritmaları için elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 5.1'de aynı başlangıç çözüm yöntemi kullanarak, iyileştirme aşamasında farklı algoritmaların kullanıldığı YA ve B-TB algoritmaları ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. Eniyi ya da çözümün üst sınır değerleri bilinen, hasta sayısının 10, 15 ve 20 olduğu test problemlerinde, YA-TB algoritması ile eniyi çözümler ya da üst sınıra yakın elde edilmiştir. Hasta sayısının artmasıyla B-TB algoritması ile elde edilen çözümlerin kalitesindeki üstünlük değişmemektedir. Ortalama DK değerleri YA algoritması için 1,05-158,59 arasında iken B-TB algoritmasında 0,27-89,08 arasındadır. Buna göre, B-TB algoritması ile elde edilen çözümlerin değişkenliğinin daha az olduğu söylenebilir. Algoritmalar OÇS kriterine göre karşılaştırıldığında ise YA algoritması tüm test problemlerinde daha kısa çözüm sürelerine sahip olduğu görülmektedir.

Başlangıç çözümlerin algoritma performansı üzerindeki etkinliğinin araştırılması için B-TB ve ARUAP-TB algoritmaları ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tablo 5.1 ve 5.2'de verilen sonuçlara göre, hasta sayısının 10, 15 ve 20 olduğu test problemlerinde her iki algoritma ile aynı ya da yakın değerler elde edilmiştir. Hasta sayısının artmasıyla, ARUAP-TB algoritmasının performansı artmakta ve elde edilen ortalama amaç fonksiyonu değerleri düşmektedir. Ortalama DK değerleri, ARUAP-TB algoritması ile 0,19-130,18 arasında iken

Tablo 5.1. Performans kriterlerine göre YA ve B-TB algoritma sonuçları

Test Problemi	Eniyi/OA çözüm	YA				B-TB			
		EKAF	OAF	DK	OÇS	EKAF	OAF	DK	OÇS
10_1	116*	117,00	118,70	1,26	2,17	116,00	116,80	0,68	52,47
10_2	155*	157,00	157,30	0,60	5,97	155,00	156,80	0,40	31,10
10_3	91*	91,00	91,50	1,39	5,92	91,00	91,00	0,00	50,87
10_4	182*	182,00	183,60	1,00	4,92	182,00	182,60	0,28	60,56
10_5	94*	94,00	94,60	1,02	2,82	94,00	94,00	0,00	21,26
Ortalama		128,20	129,1	1,05	4,4	127,60	128,20	0,27	43,30
15_1	158	158,00	161,20	1,46	9,51	158,00	158,60	0,99	44,63
15_2	242	242,00	847,50	224,52	9,31	242,00	244,50	1,13	72,22
15_3	151	153,00	154,70	0,61	8,51	151,00	153,50	0,98	60,35
15_4	154	155,00	157,30	1,85	8,35001	154,00	154,40	0,33	74,36
15_5	143*	143,00	148,50	3,32	13,4835	143,00	143,80	1,34	53,50
Ortalama		170,20	293,80	46,35	9,8	169,60	171,00	0,96	61,00
20_1	173	173,00	178,60	3,25	14,2347	172,00	173,10	0,43	87,37
20_2	150	151,00	159,10	2,21	15,1451	149,00	151,80	1,58	60,65
20_3	124	130,00	134,10	2,50	10,6228	123,00	126,20	1,70	91,63
20_4	178	191,00	195,40	1,19	14,1844	179,00	190,00	2,13	126,50
20_5	177	180,00	197,60	5,72	13,2042	180,00	191,00	3,94	99,76
Ortalama		165,00	173,00	2,97	13,5	160,60	166,40	1,96	93,20
30_1	225	232,00	245,30	3,59	28,9089	223,00	231,30	3,24	200,20
30_2	-	408,00	1133,30	195,26	35,9142	402,00	421,30	3,14	139,70
30_3	239	243,00	558,10	171,57	38,8192	241,00	250,00	4,07	152,40
30_4	-	297,00	1009,50	219,96	32,2975	291,00	296,50	2,01	183,00
30_5	-	387,00	2904,40	202,57	32,9412	380,00	1093,90	203,01	176,30
Ortalama		313,40	1170,10	158,59	33,8	307,40	458,60	43,09	170,30
40_1	-	29427,00	56645,80	79,48	59,8957	28416,00	41934,80	29,82	177,90
40_2	-	207418,00	372531,10	32,82	51,9428	168396,00	302018,50	39,76	204,70
40_3	-	218,00	239,30	5,69	44,1781	213,00	226,20	4,88	162,20
40_4	-	9432,00	21427,10	39,36	46,6182	14399,00	23910,30	33,25	153,30
40_5	-	35408,00	59339,90	49,03	56,0264	30407,00	37413,00	17,20	214,40
Ortalama		56380,60	102036,60	41,28	51,7	48366,20	81100,60	24,98	182,50

Tablo 5.1. devam ediyor.

Test Problemi	Eniyi/OA çözüm	YA				B-TB			
		EKAF	OAF	DK	OÇS	EKAF	OAF	DK	OÇS
45_1	-	374,00	387,30	2,47	99,59	371,00	380,50	1,26	189,70
45_2	-	379,00	441,90	7,42	75,46	354,00	379,40	7,30	466,20
45_3	-	382,00	412,80	4,79	62,65	381,00	397,60	3,60	221,40
45_4	-	388,00	420,70	4,17	69,66	389,00	405,50	2,61	233,40
45_5	-	236,00	250,60	3,64	76,33	232,00	240,50	1,61	176,70
Ortalama		351,80	382,70	4,50	76,70	345,40	360,70	3,28	257,50
50_1	-	421,00	11938,60	71,85	101,82	397,00	5719,00	124,09	298,50
50_2	-	470,00	1892,00	173,21	104,20	465,00	1679,30	131,37	213,90
50_3	-	311,00	322,40	2,89	82,34	305,00	315,00	2,23	231,50
50_4	-	411,00	436,10	4,16	86,94	396,00	413,10	2,63	215,50
50_5	-	439,00	2766,50	140,81	112,67	443,00	5255,50	101,03	253,60
Ortalama		410,40	3471,10	78,59	97,60	401,20	2676,40	72,27	242,60
65_1	-	540,00	3367,50	149,53	151,90	535,00	1057,10	92,93	358,70
65_2	-	457,00	476,70	3,48	191,49	438,00	473,00	4,28	360,50
65_3	-	537,00	17569,00	78,03	186,30	527,00	11048,30	103,91	383,50
65_4	-	527,00	3457,10	225,78	232,14	519,00	8552,80	155,73	364,40
65_5	-	2551,00	17961,30	70,02	198,75	512,00	17250,50	88,54	356,30
Ortalama		922,40	8566,30	105,37	192,10	506,20	7676,30	89,08	364,70
80_1	-	585,00	6325,60	183,94	368,88	583,00	708,30	45,54	497,90
80_2	-	648,00	10657,20	98,27	372,85	1638,00	5848,30	76,88	452,90
80_3	-	624,00	3361,00	177,06	258,75	587,00	637,60	4,40	430,80
80_4	-	527,00	561,50	3,24	268,40	513,00	540,80	3,23	390,30
80_5	-	599,00	5335,30	147,97	281,33	565,00	4815,90	116,66	495,00
Ortalama		596,60	5248,10	122,10	310,00	777,20	2510,20	49,34	453,40

“*” ile gösterilen değerler, test probleminin matematiksel model ile elde edilen eniyi değerleridir,

”-“ ile gösterilen test problemleri için herhangi bir çözüm elde edilememiştir,

OA: Optimallik açığı olan değerlerdir,

EKAF: En küçük amaç fonksiyonu değeri, OAF: Ortalama amaç fonksiyonu değeri, DK: Değişim katsayısı, OÇS: Ortalama çözüm süresi

Tablo 5.2. Performans kriterlerine göre ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritma sonuçları

Test Problemi	Eniyi/OA çözüm	ARUAP-TB				ARUAP-TB-ısıtma			
		EKAF	OAF	DK	OÇS	EKAF	OAF	DK	OÇS
10_1	116*	116,00	117,30	0,70	33,30	116,00	117,30	0,72	37,30
10_2	155*	157,00	157,00	0,00	42,30	157,00	157,00	0,00	10,30
10_3	91*	91,00	91,00	0,00	36,30	91,00	91,00	0,00	19,20
10_4	182*	182,00	182,70	0,26	31,50	182,00	182,50	0,26	20,50
10_5	94*	94,00	94,00	0,00	28,80	94,00	94,00	0,00	11,60
Ortalama		128,00	128,40	0,19	34,40	128,00	128,40	0,20	19,80
15_1	158	158,00	158,80	0,98	43,80	158,00	159,30	0,00	28,20
15_2	242	242,00	245,30	0,88	61,80	242,00	645,30	1,11	32,50
15_3	151	151,00	154,10	1,16	37,80	152,00	153,60	0,82	42,90
15_4	154	154,00	154,80	0,59	40,90	154,00	155,20	0,44	46,20
15_5	143*	143,00	145,50	3,06	67,10	143,00	143,80	3,00	41,10
Ortalama		169,60	171,70	1,33	50,30	169,80	251,40	1,07	38,20
20_1	173	172,00	174,00	1,21	62,50	172,00	173,40	0,82	50,70
20_2	150	151,00	155,10	1,83	47,70	151,00	154,90	1,35	51,50
20_3	124	124,00	126,50	1,50	51,50	125,00	126,70	1,52	48,40
20_4	178	179,00	192,00	2,61	81,00	180,00	190,50	2,79	54,40
20_5	177	180,00	189,60	4,92	58,00	177,00	189,70	3,73	48,80
Ortalama		161,20	167,40	2,42	60,10	161,00	167,00	2,04	50,80
30_1	225	223,00	237,80	4,55	115,00	223,00	233,10	2,57	154,00
30_2	-	402,00	425,80	3,48	84,80	405,00	418,50	2,72	125,50
30_3	239	237,00	247,30	4,70	154,80	237,00	259,00	1,80	120,60
30_4	-	293,00	303,60	3,00	144,80	291,00	402,80	113,41	133,10
30_5	-	379,00	392,10	1,91	109,80	381,00	494,70	254,06	115,90
Ortalama		306,80	321,30	3,53	121,80	307,40	361,60	74,91	129,80
40_1	-	29422,00	40433,90	16,25	139,70	32418,00	37929,30	33,48	123,50
40_2	-	179409,00	258417,20	28,62	179,70	198410,00	347425,80	37,52	118,00
40_3	-	220,00	228,40	2,76	162,70	214,00	228,50	2,39	133,70
40_4	-	13396,00	19904,90	28,27	149,80	13408,00	19906,80	56,53	128,30
40_5	-	29403,00	39916,40	20,71	151,10	32407,00	41021,00	16,16	167,70
Ortalama		50370,00	71780,20	19,32	156,60	55371,40	89302,30	29,22	134,20

Tablo 5.2. devam ediyor.

Test Problemi	Eniyi/OA çözüm	ARUAP-TB				ARUAP-TB-Isıtma			
		EKAF	OAF	DK	OÇS	EKAF	OAF	DK	OÇS
45_1	-	354,00	376,10	2,89	238,80	371,00	377,80	2,19	212,10
45_2	-	358,00	392,70	9,15	219,60	356,00	396,20	3,03	214,60
45_3	-	381,00	402,80	3,38	179,30	375,00	403,20	2,31	208,40
45_4	-	388,00	399,90	2,52	229,40	385,00	401,00	2,58	168,50
45_5	-	236,00	241,60	1,60	222,60	233,00	240,30	2,61	248,50
Ortalama		343,40	362,60	3,91	217,90	344,00	363,70	2,54	210,40
50_1	-	391,00	11228,10	73,65	290,00	408,00	4321,30	84,87	259,30
50_2	-	452,00	665,80	64,43	204,30	454,00	4279,30	57,24	181,50
50_3	-	298,00	307,50	2,23	273,80	304,00	312,70	2,15	172,40
50_4	-	387,00	408,30	2,65	245,60	401,00	411,10	2,09	150,00
50_5	-	439,00	6059,00	102,30	244,00	442,00	6661,70	155,32	147,60
Ortalama		393,40	3733,70	49,05	251,50	401,80	3197,20	60,34	182,20
65_1	-	524,00	647,20	50,65	296,90	515,00	2455,50	107,26	241,40
65_2	-	443,00	463,00	4,14	400,60	443,00	462,70	3,50	300,10
65_3	-	525,00	4136,60	130,65	430,50	527,00	2641,90	94,51	343,80
65_4	-	516,00	6254,20	141,23	416,90	529,00	3453,90	102,55	302,40
65_5	-	505,00	15149,70	77,20	364,20	1547,00	13955,30	105,99	261,00
Ortalama		502,60	5330,10	80,77	381,80	712,20	4593,90	82,76	289,70
80_1	-	543,00	1194,30	159,35	672,70	568,00	579,50	152,86	463,70
80_2	-	627,00	10544,70	129,46	515,40	631,00	4438,30	116,11	503,10
80_3	-	580,00	4123,40	194,37	656,30	615,00	2636,70	139,03	374,70
80_4	-	495,00	527,80	3,32	550,50	514,00	536,10	4,07	374,20
80_5	-	533,00	6506,70	164,39	626,60	594,00	7124,30	190,45	394,90
Ortalama		555,60	4579,40	130,18	604,30	584,40	3063,00	120,50	422,10

“*” ile gösterilen değerler, test probleminin matematiksel model ile elde edilen eniyi değerleridir,

”-“ ile gösterilen test problemleri için herhangi bir çözüm elde edilememiştir,

OA: Optimallik açığı olan değerlerdir,

EKAF: En küçük amaç fonksiyonu değeri, **OAF:** Ortalama amaç fonksiyonu değeri, **DK:** Değişim katsayısı, **OÇS:** Ortalama çözüm süresi

B-TB algoritması için 0,27-89,08 arasındadır. Bu durumda, ARUAP-TB algoritması ile benzer çözümler elde edildiği söylenebilir. Algoritmalar, çözüm süreleri açısından karşılaştırıldığında hasta sayısının 50'ye kadar olduğu test problemlerinde B-TB algoritmasının; daha büyük boyutlu test problemlerinde ise ARUAP-TB'nin daha kısa çözüm sürelerine sahip olduğu görülmektedir.

TB algoritmasında ısıtma stratejisinin eklenmesinin algoritma performansına etkisini gözlemlenmek için ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritmaları ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tablo 5.2'teki sonuçlara göre, hasta sayısının 10, 15 ve 20 olduğu test problemlerinde, her iki algoritma ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Hasta sayısının artmasıyla, ARUAP-TB-ısıtma algoritmasının performansının düştüğü görülmektedir. Ortalama DK değerleri, ARUAP-TB algoritmasında 0,19-130,18 arasında iken ARUAP-TB-ısıtma algoritması için 0,20-120,50 arasındadır. Bu durum, her iki algoritma ile benzer çözümler elde edildiğini göstermektedir. Çözüm süresi açısından algoritmalar karşılaştırıldığında, ısıtma stratejisinin algoritmanın çözüm süresini düşürdüğü görülmektedir.

5.5. İstatistiksel Analizler

Bölüm 5.4'te ikili olarak karşılaştırılan algoritmaların EKAF ve OÇS kriterlerine göre üstünlükleri istatistiksel olarak bu kısımda test edilmiştir. Bunun için, öncelikle verilerin normal dağılıma uygun bir kitleden alınıp alınmadığını kontrol edilmiştir. İstatistiksel analizlerde SPSS paket programındaki Kolmogorov- Smirnov (K-S) test istatistiği kullanılmıştır.

H_0 = Veriler normal dağılıma uygun bir kitleden alınmıştır.

H_1 = Veriler normal dağılıma uygun bir kitleden alınmamıştır.

Elde edilen sonuçlar EKAF'de verilmiştir. Sonuçlara göre 0,05 anlamlılık düzeyine göre önerilen tüm meta-sezgisel algoritmaların EKAF değerlerinin normal dağılıma uygun olmadığı; OÇS değerlerinin ise normal dağılıma uygunluk gösterdiği söylenebilir. Bu nedenle algoritmaların EKAF kriterine göre ortalamalarının karşılaştırılması için Wilcoxon işaretli sıralar testi, OÇS kriterlerine göre ortalamalarının karşılaştırılması içinse çiftli gözlemler testi yapılmıştır.

5.5.1. YA ve B-TB algoritmalarının karşılaştırılması

Başlangıç çözümün iyileştirilmesi aşamasında YA ve B-TB olmak üzere iki farklı algoritma kullanılmıştır. Bu algoritmalarından elde edilen ortalama EKAF ve OÇS kriterleri açısından istatistiksel farklılıkların incelenmesi için kurulan alternatif hipotezler aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$H_1^{(1)} = \mu_{EKAF}^{B-TB} \neq \mu_{EKAF}^{YA}$$

$$H_1^{(2)} = \mu_{OÇS}^{YA} \neq \mu_{OÇS}^{B-TB}$$

SPSS paket programı kullanılarak yapılan istatistiksel analizlerin ayrıntıları EK-2’de verilmiştir. Kurulan alternatif hipotezler için istatistiksel analizler sonucunda 0,05 anlamlılık düzeyinde elde edilen ortalama fark ve p-değerleri Tablo 5.3’te gösterilmiştir. Tablo 5.3’e göre, YA ve B-TB algoritmalarının ortalama EKAF ve OÇS değerleri arasındaki farklar anlamlıdır ($p < 0,05$). Bu nedenle, tüm H_0 hipotezleri reddedilmiştir. Dolayısıyla, 0,05 anlamlılık düzeyinde B-TB ile elde edilen EKAF değerleri ortalaması, YA ile elde edilenden farklıdır. EK-2’deki negatif ve pozitif sıra sayısı incelendiğinde B-TB’nin daha küçük EKAF değerleri ürettiği görülmektedir. Benzer şekilde, EK-2’deki ortalama OÇS değerleri arasındaki fark için %95 güven düzeyinde güven aralığı (GA) incelendiğinde GA’nın negatif bölgede olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, YA ile elde edilen ortalama OÇS değerleri, B-TB ile elde edilen değerden daha küçüktür. Buna göre, iyileştirme aşamasında kullanılan TB algoritması ile daha kaliteli sonuçların YA algoritmasına göre daha uzun sürelerde elde edildiği sonucuna ulaşılabilir.

Tablo 5.3. YA ve B-TB algoritmalarının EKAF ve OÇS kriterleri için istatistiksel analiz sonuçları

Alternatif Hipotez	Ortalama Fark	p-değeri
$H_1^{(1)}$	19,31	0,00
Alternatif Hipotez	Ortalama Sıra	p-değeri
$H_1^{(2)}$	119,85	0,00

5.5.2. B-TB ve ARUAP-TB algoritmalarının karşılaştırılması

Başlangıç çözümün oluşturulması için rastgele ve ARUAP olmak üzere iki farklı algoritma kullanılmıştır. İstatistiksel farklılıkların incelenmesi için, her iki algoritmadan elde edilen

ortalama EKAF ve OÇS değerleri için kurulan alternatif hipotezler aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$H_1^{(1)} = \mu_{EKAF}^{B-TB} \neq \mu_{EKAF}^{ARUAP-TB}$$

$$H_1^{(2)} = \mu_{OÇS}^{B-TB} \neq \mu_{OÇS}^{ARUAP-TB}$$

SPSS paket programı kullanılarak yapılan istatistiksel analizlerin ayrıntıları EK-3'te verilmiştir. Kurulan alternatif hipotezler için istatistiksel analizler sonucunda 0,05 anlamlılık düzeyine göre elde edilen ortalama fark/sıra ve p-değerleri Tablo 5.4'te gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde B-TB ve ARUAP-TB algoritmalarının ortalama EKAF değerleri arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,05$) iken; OÇS değerleri arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ($p > 0,05$) görülmektedir. Bu nedenle, $H_0^{(1)}$ hipotezi reddedilirken $H_0^{(2)}$ hipotezi reddedilememiştir. Dolayısıyla, 0,05 anlamlılık düzeyinde ortalama EKAF değerleri açısından, ARUAP-TB ile elde edilen değerlerin B-TB ile elde edilenlerden daha küçük olduğu söylenebilir. Ayrıca, B-TB ile ARUAP-TB algoritmalarının ortalama OÇS değerleri arasında anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Bu durumda, iki algoritmanın çözüm sürelerinin farklılaşmadığı ve ARUAP-TB ile daha kaliteli çözümlerin elde edildiği söylenebilir. Bu sonuç, başlangıç çözümünün algoritmanın çözüm kalitesinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunun bir göstergesidir.

Tablo 5.4. B-TB ve ARUAP-TB algoritmalarının EKAF ve OÇS kriterleri için istatistiksel analiz sonuçları

Alternatif Hipotez	Ortalama Fark	p-değeri
$H_1^{(1)}$	16,90	0,03
Alternatif Hipotez	Ortalama Sıra	p-değeri
$H_1^{(2)}$	1,16	0,91

5.5.3. ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritmalarının karşılaştırılması

TB algoritmasına ısıtma stratejisinin eklenmesinin algoritmanın performansına etkisini incelemek amacıyla ARUAP-TB ve ARUAP-TB algoritması, ısıtma stratejisi eklenerek ARUAP-TB-ısıtma algoritması oluşturulmuştur. Bu iki algoritma ortalama EKAF ve OÇS değerleri açısından istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada aşağıdaki hipotez testleri kurulmuştur:

$$H_1^{(1)} = \mu_{EKAF}^{ARUAP-TB} \neq \mu_{EKAF}^{ARUAP-TB-ısıtma}$$

$$H_1^{(2)} = \mu_{OÇS}^{ARUAP-TB} \neq \mu_{OÇS}^{ARUAP-TB-ısıtma}$$

SPSS paket programı kullanılarak yapılan istatistiksel analizlerin ayrıntıları EK-4'te verilmiştir. Kurulan alternatif hipotezler için istatistiksel analizler sonucunda 0,05 anlamlılık düzeyinde elde edilen ortalama fark/sıra ve p-değerleri Tablo 5.5'de gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde, ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritmalarının ortalama EKAF ve OÇS değerleri arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,05$) olduğu görülmektedir. Bu nedenle, $H_0^{(1)}$ ve $H_0^{(2)}$ hipotezleri reddedilmiştir. Buna göre 0,05 anlamlılık düzeyinde ARUAP-TB ile elde edilen ortalama EKAF değerleri, ARUAP-TB-ısıtma ile elde edilenden daha küçüktür. Ancak ARUAP-TB-ısıtma ile elde edilen ortalama OÇS değeri, ARUAP-TB ile elde edilenden daha küçüktür. Dolayısıyla, ısıtma stratejisi çözüm kalitesi üzerinde bir etkiye sahip değilken çözüm süresini azaltmaktadır.

Tablo 5.5. ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritmalarının EKAF ve OÇS kriterleri için istatistiksel analiz sonuçları

Alternatif Hipotez	Ortalama Fark	p-değeri
$H_1^{(1)}$	17,43	0,00
Alternatif Hipotez	Ortalama Sıra	p-değeri
$H_1^{(2)}$	44,62	0,00

5.6. Değerlendirme

ÇT-ESHÇRP için YA, B-TB, ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritması olmak üzere dört meta-sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalarından YA ve B-TB algoritmalarında başlangıç çözüm rassal olarak üretilirken, ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritmalarında çözüm kurucu olarak tur süreleri ve hastaların zaman pencereleri ilişkilendirilerek elde edilmektedir. YA'da durma koşulu sağlanana kadar rassal olarak seçilen bir komşuluk mekanizmasına göre rassal arama yapılmaktadır. TB algoritmasında ise başlangıç çözümü iyileştirmek için, durma koşulu sağlanan kadar her sıcaklık değerinde kötü çözümler belli bir oranda kabul edilmektedir. TB algoritmasının parametre değerleri ön denemeler sonucunda belirlenmiş ve farklı büyüklükteki test problemleri için algoritma çalıştırılmıştır.

Algoritmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, ARUAP-TB algoritması ile daha kaliteli çözümler elde edildiği görülmüştür. Süre açısından YA ile daha kısa sürelerde ancak düşük kaliteli çözüm elde edildiği görülmüştür. Başlangıç çözümünün oluşturulması aşamasında çözüm kurucu algoritmanın, başlangıç çözümü rastgele oluşturulan algoritmadan daha iyi olduğu; iyileştirme aşamasında ise ısıtma stratejisinin etkin olmadığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, matematiksel modellerin uygun bir çözüm bile bulamadığı hasta sayısının 40 ve daha büyük olduğu test problemleri için önerilen meta-sezgisel algoritmalar ile uygun çözümlerin makul sürelerde elde edilebildiği ve ARUAP-TB algoritmasının çözüm kalitesi açısından; YA algoritmasının ise çözüm süresi açısından daha iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.

6. SONUÇ

2019 yılından beri tüm dünyayı etkisi altına alan COVID-19 salgını, insanları, toplumları, sistemleri ve sektörleri ciddi şekilde etkilemektedir. Bu etkiler, başta sağlık sektörü olmak üzere bu salgından etkilenen tüm sektörlerin ortaya çıkan sorunları çözmek için yeni yaklaşımlar geliştirmesini zorunlu kılmaktadır. Sağlık sektöründe kronik hastalıkları sebebiyle takip edilmesi gereken hastalar, ameliyat, kaza, düşme, çarpma, yaralanma gibi çeşitli sebeplerle bakım alması gereken hastalar veya hamilelik sürecinde sağlık hizmeti almak isteyenler, hatta salgın nedeniyle ortaya çıkan aşılama gibi sağlık ihtiyaçları için hastaneye gitmeden, pratik ve uygulanabilir çözümler bulunmalıdır. Bulunacak çözümün, sorunu çözenin yanı sıra yenilikçi, çağın gereksinimlerine uygun bir bakış açısıyla, yeni teknoloji ve yöntemleri de kapsayacak şekilde sunulması gerekmektedir. Evde sağlık hizmeti (ESH) kavramı, bu anlamda sağlık hizmetlerinin hastalara evlerinde verilmesini sağlayarak ihtiyaçların tümüne cevap verebilecek nitelikte olan bir hizmettir. İhtiyaçları karşılaması ve sağladığı avantajlar nedeniyle ESH, hastalar tarafından her geçen gün daha fazla tercih edilmektedir. Araştırmalar, ESH'deki bu talep artışının önümüzdeki dönemlerde de süreceğini göstermektedir. ESH'de oluşan bu ihtiyacın karşılanabilmesi için mevcut sistemlerin, hastanelerin ve ekiplerin bu yeni duruma göre düzenlenmesi, planlanması ve verimli bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada ARP'nin sağlık sektöründeki uzantısı olarak kabul edebileceğimiz “Evde sağlık hizmetlerinin çizelgelenmesi ve rotalanması problemi (ESHÇRP)” ele alınmıştır.

Sistemin ülkelere göre hasta tipleri, hastalıkların görülme sıklıkları, hastaların yaşları ve yoğunlukları, ülkenin finansal olanakları, bu işe ayırabilecekleri kaynakları, sağlık sektörü ile ilgili yönetmelikleri açısından farklılıklar göstermesi, problemin ülkeye göre farklı şekillerde ele alınmasını gerektirmektedir. Türkiye’de son yıllarda ESH ile ilgili yasal yönetmelikler çıkarılmış ve birçok hastanede ESH verebilen bölümler kurulmuştur. Ancak yapılan araştırmalara göre, bu hizmetleri veren hastanelerin hizmetin verilmesi için gereken planlama ve kaynakların iyi yönetilmesi konusunda birçok sorun yaşadığı görülmüştür. Hasta taleplerinin artmasının beklendiği ESH için ortaya çıkan bu sorunların acilen çözülmesi ve yeni yaklaşımlar üretilmesi gerekmektedir. Bu durum tez çalışmasında bu problemin ele alınmasının en önemli nedenlerinden biridir. Diğer bir neden ise, dikkate alınan sistemdeki hastaların gün içinde birden çok kez ziyaret edilmesini gerektirecek hizmetler olmasına rağmen hastane kaynaklarının bu talebi karşılamada sınırlı kalmasıdır. Bu özellik, kaynaklardaki Çok Turlu Araç Rotalama

Problemi (ÇTARP) özelliklerine benzer özellikler göstermektedir. Bu nedenle problem, ESH veren ekiplerin rotalarının oluşturulması için ÇTARP'nin özel bir hali olarak ele alınmıştır.

Yapılan kaynak incelemesinde, Türkiye'deki herhangi bir sağlık birimindeki ESH'ni dikkate alarak, uygulamaya dönük rotalama problemini çözen herhangi bir çalışmanın olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, bu tez çalışmasının bu çerçevede problemi tanımlayarak, problemi ÇTARP'ne uyarlayan, özgün matematiksel modeller ve sezgisel algoritmalar öneren ilk çalışma olduğu söylenebilir.

İlgilenilen problem temelde ESHÇRP'nin ÇTARP'ne uyarlanmasından oluşturulan ve ÇT-ESHÇRP olarak adlandırılan bir problemdir. Bu nedenle çalışmada, kaynaklardaki ESHÇRP, ÇTARP'leri ve bu problemler için geliştirilen matematiksel modeller incelenmiştir. Bu matematiksel modellere alternatif olarak, öncelikle karar değişkeninin iki indisli, yardımcı karar değişkeninin düğüm tabanlı ve akış tabanlı tanımlandığı, tek ekipli iki yeni matematiksel model önerilmiştir. Test problemlerinin oluşturulması için Ankara'daki Gölbaşı Devlet Hastanesi (GDH) pilot hastane olarak seçilmiş ve hastalara verilecek hizmetlere ilişkin bilgiler hastaneden alınmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda oluşturulan ve hasta sayısının 10-80 arasında değiştiği 9 farklı büyüklükteki toplamda 45 test problemi ile tek ekipli matematiksel modellerin eniyi amaç fonksiyonu değeri, OA yüzdesi ve çözüm zamanı kriterlerine göre performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, tek ekipli modeller ile ancak hasta sayısının 10 olduğu test problemleri için uygun çözümler bulunabilmiştir. Tek ekipli modeller arasından düğüm tabanlı modellerin, akış tabanlı modellere göre daha kısa sürede eniyi çözümü bulabildiği görülmüştür. Hasta sayısının 15 ve daha büyük olduğu test problemlerinde çözüm alanı boş küme olduğu için, hasta taleplerinin ancak ekip/araç sayısının artırılması ile karşılanabileceği tespit edilmiştir. Bu nedenle tek ekipli matematiksel modellerdeki izin kümesine, araçlar/ekipler kümesi eklenerek, modeller çok ekipli olacak şekilde genişletilmiştir. Çok ekipli modellerin karar değişkenindeki indis sayısı araçlar kümesinin eklenmesi ile 3'e çıkarken, yardımcı karar değişkeni de tek ekiplide olduğu gibi düğüm ve akış tabanlı tanımlanmıştır. Önerilen çok ekipli matematiksel modellerin performans analizleri, sadece ekip/araç sayıları artırılarak aynı test problemleri üzerinden yapılmıştır. Ekip/araç sayısının artırılmasıyla elde edilen sonuçlar incelendiğinde, hasta sayısının en fazla 30 olduğu test problemleri için belirlenen çözüm süresi içerisinde uygun çözümlerin elde edilebildiği görülmüştür. Hasta sayısının 40 ve daha fazla olduğu test problemlerinde ise 2 saatlik çözüm süresi içerisinde uygun bir çözüm elde edilememiştir. Test

probleminin büyüklüğüne göre oluşturulan 5 denemenin, hasta sayısının 10 olduğu test problemlerinin 5'inde; 15 olduğu test problemlerinin 2'sinde eniyi çözüme ulaşılırken; hasta sayısının 20 ve 30 olduğu test problemlerinin hiçbirinde çok ekipli modeller ile 2 saatlik süre içerisinde eniyi çözüme ulaşamamıştır. Çözüm zamanları açısından hasta sayısının 10 olduğu test problemlerinde akış tabanlı, 15 olduğu test problemlerinde düğüm tabanlı modeller avantaj sağlamaktadır. Önerilen çok ekipli modellerin, test problemlerinin boyutlarının artması ile performanslarının sınırlı kaldığı görüldüğü için ÇT-ESHÇRP için meta-sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Yerel arama ve Tavlama benzetimi tabanlı geliştirilen dört algortmada, başlangıç çözümün, iyileştirme aşamasında kullanılan algoritmanın ve ısıtma stratejisinin, algoritma performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Önerilen meta-sezgisel algoritmaların performansları, enküçük amaç fonksiyonu değeri, ortalama amaç fonksiyonu değeri, değişim katsayısı ve ortalama çözüm süreleri açısından incelenmiş ve istatistiksel analizler yapılmıştır. İstatistiksel analizlere göre, başlangıç çözümün çözüm kurucu algoritma ile oluşturulması, çözüm kalitesi üzerinde anlamlı bir etki yaratırken; ortalama çözüm sürelerini değiştirmediği görülmüştür. Algoritmanın iyileştirme aşamasında TB algoritması kullanılması ile YA algoritmasına göre daha kaliteli sonuçlar elde edilirken; ortalama çözüm süreleri, YA algoritmasına göre daha uzundur. TB algoritmasında kullanılan ısıtma stratejisinin, çözüm kalitesi üzerinde bir etkiye sahip olmadığı; ancak çözüm sürelerini azalttığı gözlemlenmiştir. Buna göre, geliştirilen algoritmalar arasında başlangıç çözümünü çözüm kurucu bir algoritma ile elde edip tavlama benzetimi algoritması ile iyileştiren algoritmanın (ARUAP-TB) çözüm kalitesi açısından daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Çözüm süresi açısından avantaj sağlayan yerel arama (YA) algoritmasında ise çözüm kalitesi daha düşük olmaktadır.

Bu çalışmanın devamında;

- Gün içinde gelen hasta taleplerinin olduğu durumun dikkate alınması,
- Farklı hasta özellikleri (öncelikli hastalar ve/veya aciliyet gösteren hastalar) dikkate alınarak, ön atama yapılması ve zaman pencerelerinin ayarlanması,
- İşlem süresi ve/veya seyahat süreleri gibi problem girdilerinin rassal değişken olduğu durumların incelenmesi,
- Önerilen matematiksel modellere yeni kısıtlar eklenmesi ile daha sıkı alt sınırların elde edilmesi,

- ESHÇRP probleminin gerçek hayatta karşılaşılabilecek birden fazla çelişen amacı için çok amaçlı ESHÇRP olarak ele alınması
- Geliştirilen meta-sezgisel algoritmalaradaki komşuluk yapıları çeşitlendirilerek model performanslarının arttırılması,
- Problem için kaynaklarda bulunan farklı sezgisel algoritmaların (genetik, tabu arama, kuş sürüsü algoritması vb.) uyarlanması,

durumlarını dikkate alan alışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] R. Tarricone and A. D. Tsouros, Eds., “The Solid Facts: Home care in Europe,” *World Health Organization Regional Office for Europe*, p. 46.
- [2] “Home Healthcare Market Size, Growth Report, 2020-2027.” <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/home-healthcare-industry> (accessed Feb. 12, 2021).
- [3] G. B. Dantzig and J. H. Ramser, “The Truck Dispatching Problem,” *Management Science*, vol. 6, no. 1, pp. 80–91, Oct. 1959, doi: 10.1287/mnsc.6.1.80.
- [4] S. V. Begur, D. M. Miller, and J. R. Weaver, “An Integrated Spatial DSS for Scheduling and Routing Home-Health-Care Nurses,” *INFORMS Journal on Applied Analytics*, vol. 27, no. 4, pp. 35–48, Aug. 1997, doi: 10.1287/inte.27.4.35.
- [5] N. Genet and European Observatory on Health Systems and Policies, Eds., *Home care across Europe: current structure and future challenges*. Copenhagen: World Health Organization, 2012.
- [6] J. G. Yildirim, Z. Arabaci, and M. Nal, “Evde Bakım Alanında Türkiye Adresli Yayınların Analizi (1980-2015): Sistematik İnceleme,” *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, vol. 2, no. 3, Art. no. 3, Sep. 2017.
- [7] M. Cissé, S. Yalçındağ, Y. Kergosien, E. Şahin, C. Lenté, and A. Matta, “OR problems related to Home Health Care: A review of relevant routing and scheduling problems,” *Operations Research for Health Care*, vol. 13–14, pp. 1–22, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.orhc.2017.06.001.
- [8] C. Fikar and P. Hirsch, “Home health care routing and scheduling: A review,” *Computers & Operations Research*, vol. 77, pp. 86–95, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.cor.2016.07.019.
- [9] D. C. Paraskevopoulos, G. Laporte, P. P. Repoussis, and C. D. Tarantilis, “Resource constrained routing and scheduling: Review and research prospects,” *European Journal of*

- Operational Research*, vol. 263, no. 3, pp. 737–754, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.ejor.2017.05.035.
- [10] L. Grieco, M. Utley, and S. Crowe, “Operational research applied to decisions in home health care: A systematic literature review,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 0, no. 0, pp. 1–32, Jun. 2020, doi: 10.1080/01605682.2020.1750311.
- [11] C. Akjiratikarl, P. Yenradee, and P. R. Drake, “PSO-based algorithm for home care worker scheduling in the UK,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 53, no. 4, pp. 559–583, Nov. 2007, doi: 10.1016/j.cie.2007.06.002.
- [12] Y.-J. An, Y.-D. Kim, B. J. Jeong, and S.-D. Kim, “Scheduling healthcare services in a home healthcare system,” *J Oper Res Soc*, vol. 63, no. 11, pp. 1589–1599, Nov. 2012, doi: 10.1057/jors.2011.153.
- [13] J. F. Bard, Y. Shao, and H. Wang, “Weekly scheduling models for traveling therapists,” *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 47, no. 3, pp. 191–204, Sep. 2013, doi: 10.1016/j.seps.2012.07.001.
- [14] A. R. Bennett and A. L. Erera, “Dynamic periodic fixed appointment scheduling for home health,” *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 6–19, Mar. 2011, doi: 10.1080/19488300.2010.549818.
- [15] S. Bertels and T. Fahle, “A hybrid setup for a hybrid scenario: combining heuristics for the home health care problem,” *Computers & Operations Research*, vol. 33, no. 10, pp. 2866–2890, Oct. 2006, doi: 10.1016/j.cor.2005.01.015.
- [16] J. Bowers, H. Cheyne, G. Mould, and M. Page, “Continuity of care in community midwifery,” *Health Care Manag Sci*, vol. 18, no. 2, pp. 195–204, Jun. 2015, doi: 10.1007/s10729-014-9285-z.
- [17] K. Braekers, R. F. Hartl, S. N. Parragh, and F. Tricoire, “A bi-objective home care scheduling problem: Analyzing the trade-off between costs and client inconvenience,” *European Journal of Operational Research*, vol. 248, no. 2, pp. 428–443, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.ejor.2015.07.028.

- [18] P. Cappanera, M. G. Scutellà, F. Nervi, and L. Galli, “Demand uncertainty in robust Home Care optimization,” *Omega*, vol. 80, pp. 95–110, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.omega.2017.08.012.
- [19] G. Carello, E. Lanzarone, and S. Mattia, “Trade-off between stakeholders’ goals in the home care nurse-to-patient assignment problem,” *Operations Research for Health Care*, vol. 16, pp. 29–40, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.orhc.2017.12.002.
- [20] C. Rodriguez, T. Garaix, X. Xie, and V. Augusto, “Staff dimensioning in homecare services with uncertain demands,” *International Journal of Production Research*, vol. 53, no. 24, pp. 7396–7410, Dec. 2015, doi: 10.1080/00207543.2015.1081427.
- [21] P. A. Maya Duque, M. Castro, K. Sørensen, and P. Goos, “Home care service planning. The case of Landelijke Thuiszorg,” *European Journal of Operational Research*, vol. 243, no. 1, pp. 292–301, May 2015, doi: 10.1016/j.ejor.2014.11.008.
- [22] M. Erdem and S. Bulkan, “A Two-Stage Solution Approach For The Large-Scale Home Healthcare Routeing And Scheduling Problem,” *The South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 28, no. 4, Art. no. 4, Dec. 2017, doi: 10.7166/28-4-1754.
- [23] P. Egeborn, P. Flisberg, and M. Rönnqvist, “Laps Care—an operational system for staff planning of home care,” *European Journal of Operational Research*, vol. 171, no. 3, pp. 962–976, Jun. 2006, doi: 10.1016/j.ejor.2005.01.011.
- [24] G. Hiermann, M. Prandtstetter, A. Rendl, J. Puchinger, and G. R. Raidl, “Metaheuristics for solving a multimodal home-healthcare scheduling problem,” *Cent Eur J Oper Res*, vol. 23, no. 1, pp. 89–113, Mar. 2015, doi: 10.1007/s10100-013-0305-8.
- [25] M. Erdem and Ç. Koç, “Analysis of electric vehicles in home health care routing problem,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 234, pp. 1471–1483, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.236.
- [26] A. Trautsamwieser and P. Hirsch, “Optimization of daily scheduling for home health care services,” vol. 3, no. 3, p. 13.

- [27] M. S. Rasmussen, T. Justesen, A. Dohn, and J. Larsen, "The Home Care Crew Scheduling Problem: Preference-based visit clustering and temporal dependencies," *European Journal of Operational Research*, vol. 219, no. 3, pp. 598–610, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.ejor.2011.10.048.
- [28] J. Wirnitzer, I. Heckmann, A. Meyer, and S. Nickel, "Patient-based nurse rostering in home care," *Operations Research for Health Care*, vol. 8, pp. 91–102, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.orhc.2015.08.005.
- [29] S. Yalçındağ, P. Cappanera, M. Grazia Scutellà, E. Şahin, and A. Matta, "Pattern-based decompositions for human resource planning in home health care services," *Computers & Operations Research*, vol. 73, pp. 12–26, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.cor.2016.02.011.
- [30] R. Liu, B. Yuan, and Z. Jiang, "Mathematical model and exact algorithm for the home care worker scheduling and routing problem with lunch break requirements," 2017, doi: 10.1080/00207543.2016.1213917.
- [31] E. Nikzad, M. Bashiri, and B. Abbasi, "A matheuristic algorithm for stochastic home health care planning," *European Journal of Operational Research*, vol. 288, no. 3, pp. 753–774, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.ejor.2020.06.040.
- [32] F. Grenouilleau, A. Legrain, N. Lahrichi, and L.-M. Rousseau, "A set partitioning heuristic for the home health care routing and scheduling problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 275, no. 1, pp. 295–303, 2019.
- [33] A. B. Şimşek, "Evde Sağlık Hizmetleri Atama Ve Rotalama Problemi Üzerine," Hacettepe Üniversitesi, 2019.
- [34] M. M. Solomon, "*Vehicle Routing And Scheduling With Time Window Constraints: Models And Algorithms (Heuristics)*". 1984. [Online]. Available: <https://repository.upenn.edu/dissertations/AAI8417364>
- [35] D. Cattaruzza, N. Absi, and D. Feillet, "Vehicle routing problems with multiple trips," *4OR-Q J Oper Res*, vol. 14, no. 3, pp. 223–259, Sep. 2016, doi: 10.1007/s10288-016-0306-2.

- [36] B. Fleischmann, “The vehicle routing problem with multiple use of vehicles,” Jan. 1990.
- [37] M. G. Van Buer, D. L. Woodruff, and R. T. Olson, “Solving the medium newspaper production/distribution problem,” *European Journal of Operational Research*, vol. 115, no. 2, pp. 237–253, Jun. 1999, doi: 10.1016/S0377-2217(98)00300-2.
- [38] E. Taniguchi and R. E. C. M. V. D. Heijden, “An evaluation methodology for city logistics,” *Transport Reviews*, vol. 20, no. 1, pp. 65–90, Jan. 2000, doi: 10.1080/014416400295347.
- [39] C. Prins, “Efficient Heuristics for the Heterogeneous Fleet Multitrip VRP with Application to a Large-Scale Real Case,” *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, vol. 1, no. 2, pp. 135–150, Jun. 2002, doi: 10.1023/A:1016516326823.
- [40] A. Olivera and O. Viera, “Adaptive memory programming for the vehicle routing problem with multiple trips,” *Computers & Operations Research*, vol. 34, no. 1, pp. 28–47, Jan. 2007, doi: 10.1016/j.cor.2005.02.044.
- [41] N. Azi, M. Gendreau, and J.-Y. Potvin, “An exact algorithm for a single-vehicle routing problem with time windows and multiple routes,” *European Journal of Operational Research*, vol. 178, no. 3, pp. 755–766, May 2007, doi: 10.1016/j.ejor.2006.02.019.
- [42] M. Battarra, M. Monaci, and D. Vigo, “An adaptive guidance approach for the heuristic solution of a minimum multiple trip vehicle routing problem,” *Computers & Operations Research*, vol. 36, no. 11, pp. 3041–3050, Nov. 2009, doi: 10.1016/j.cor.2009.02.008.
- [43] A. Şen and K. Bülbül, “A survey on multi trip vehicle routing problem,” Nov. 2008. <http://research.sabanciuniv.edu/13087/> (accessed Mar. 04, 2021).
- [44] P. Toth and D. Vigo, Eds., *The vehicle routing problem*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002.
- [45] L. Lei, S. Liu, A. Ruszczyński, and S. Park, “On the integrated production, inventory, and distribution routing problem,” *IIE Transactions*, vol. 38, no. 11, pp. 955–970, Nov. 2006, doi: 10.1080/07408170600862688.

- [46] E.-H. Aghezzaf, B. Raa, and H. Van Landeghem, “Modeling inventory routing problems in supply chains of high consumption products,” *European Journal of Operational Research*, vol. 169, no. 3, pp. 1048–1063, Mar. 2006, doi: 10.1016/j.ejor.2005.02.008.
- [47] K. Buhrkal, A. Larsen, and S. Ropke, “The Waste Collection Vehicle Routing Problem with Time Windows in a City Logistics Context,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 39, pp. 241–254, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.03.105.
- [48] J. C. Rivera, H. M. Afsar, and C. Prins, “Multistart Evolutionary Local Search for a Disaster Relief Problem,” in *Artificial Evolution*, Cham, 2014, pp. 129–141. doi: 10.1007/978-3-319-11683-9_11.
- [49] I. Karaoglan, “A branch and cut algorithm for the vehicle routing problem with multiple use of vehicles,” *International Journal of Lean Thinking*, vol. 6, no. 1, pp. 22–46, 2015.
- [50] A. M. Anaya-Arenas, T. Chabot, J. Renaud, and A. Ruiz, “Biomedical sample transportation in the province of Quebec: a case study,” *International Journal of Production Research*, vol. 54, no. 2, pp. 602–615, Jan. 2016, doi: 10.1080/00207543.2015.1018455.
- [51] F. Hernandez, D. Feillet, R. Giroudeau, and O. Naud, “A new exact algorithm to solve the multi-trip vehicle routing problem with time windows and limited duration,” *4OR-Q J Oper Res*, vol. 12, no. 3, pp. 235–259, Sep. 2014, doi: 10.1007/s10288-013-0238-z.
- [52] Ç. Koç and I. Karaoğlan, “Çok Kullanımlı Ve Zaman Pencerele Araç Rotalama Problemi İcin Bir Matematiksel Model,” no. 3, p. 8, 2012.
- [53] D. Bredström and M. Rönnqvist, “Combined vehicle routing and scheduling with temporal precedence and synchronization constraints,” *European Journal of Operational Research*, vol. 191, no. 1, pp. 19–31, Nov. 2008, doi: 10.1016/j.ejor.2007.07.033.
- [54] D. S. Mankowska, F. Meisel, and C. Bierwirth, “The home health care routing and scheduling problem with interdependent services,” *Health Care Manag Sci*, vol. 17, no. 1, pp. 15–30, Mar. 2014, doi: 10.1007/s10729-013-9243-1.

- [55] H. Noura, S. Hammami, A. El-Amraoui, G. Goncalves, and H. Bouchriha, *Periodic Vehicle Routing Problem for Home HemoDialysis Care*. New York: Ieee, 2019, pp. 19–24.
- [56] C.-C. Lin, L.-P. Hung, W.-Y. Liu, and M.-C. Tsai, “Jointly rostering, routing, and rostering for home health care services: A harmony search approach with genetic, saturation, inheritance, and immigrant schemes,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 115, pp. 151–166, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.cie.2017.11.004.
- [57] A. M. Fathollahi-Fard, A. Ahmadi, F. Goodarzian, and N. Cheikhrouhou, “A bi-objective home healthcare routing and scheduling problem considering patients’ satisfaction in a fuzzy environment,” *Appl. Soft. Comput.*, vol. 93, p. 106385, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.asoc.2020.106385.
- [58] D. Lagana, G. Laporte, and F. Vocaturo, “A dynamic multi-period general routing problem arising in postal service and parcel delivery systems,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 129, p. 105195, May 2021, doi: 10.1016/j.cor.2020.105195.
- [59] M. Erdem, “The Multi-Period Electric Home Healthcare Routing And Scheduling Problem With Nonlinear Charging,” *The South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 31, no. 2, Art. no. 2, Aug. 2020, doi: 10.7166/31-2-2153.
- [60] N. Ouertani, I. Nouaouri, H. Ben-Romdhane, H. Allaoui, and S. Krichen, *A Hypermutation Genetic Algorithm for the Dynamic Home Health-Care Routing Problem*. New York: Ieee, 2019, pp. 25–30.
- [61] M. Demirbilek, J. Branke, and A. Strauss, “Dynamically accepting and scheduling patients for home healthcare,” *Health Care Manag Sci*, vol. 22, no. 1, pp. 140–155, Mar. 2019, doi: 10.1007/s10729-017-9428-0.
- [62] C. E. Miller, A. W. Tucker, and R. A. Zemlin, “Integer Programming Formulation of Traveling Salesman Problems,” *J. ACM*, vol. 7, no. 4, pp. 326–329, Oct. 1960, doi: 10.1145/321043.321046.
- [63] I. Kara, “Two Indexed Polynomial Size Formulations for Vehicle Routing Problems,” p. 19.

- [64] Y. Zhan, Z. Wang, and G. Wan, "Home service routing and appointment scheduling with stochastic service times," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 288, no. 1, pp. 98–110, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.ejor.2020.05.037.
- [65] A. Trautsamwieser, M. Gronalt, and P. Hirsch, "Securing home health care in times of natural disasters," *OR Spectrum*, vol. 33, no. 3, pp. 787–813, Jul. 2011, doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00291-011-0253-4>.
- [66] S. Frifita, M. Masmoudi, and J. Euch, "General variable neighborhood search for home healthcare routing and scheduling problem with time windows and synchronized visits," *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, vol. 58, pp. 63–70, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.endm.2017.03.009.
- [67] J. A. Nasir and C. Dang, "Quantitative thresholds based decision support approach for the home health care scheduling and routing problem," *Health Care Manag Sci*, vol. 23, no. 2, pp. 215–238, Jun. 2020, doi: 10.1007/s10729-019-09469-1.
- [68] R. Liu, X. Xie, V. Augusto, and C. Rodriguez, "Heuristic approaches for a special simultaneous pickup and delivery problem with time windows in home health care industry," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 45, no. 6, pp. 345–350, May 2012, doi: 10.3182/20120523-3-RO-2023.00204.
- [69] Y. Shi, T. Boudouh, and O. Grunder, "A hybrid genetic algorithm for a home health care routing problem with time window and fuzzy demand," *Expert Systems with Applications*, vol. 72, pp. 160–176, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.eswa.2016.12.013.
- [70] J. A. Nasir and Y.-H. Kuo, "A decision support framework for home health care transportation with simultaneous multi-vehicle routing and staff scheduling synchronization," *Decision Support Systems*, vol. 138, p. 113361, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.dss.2020.113361.
- [71] O. Bräysy, P. Nakari, W. Dullaert, and P. Neittaanmäki, "An optimization approach for communal home meal delivery service: A case study," *Journal of Computational and*

- Applied Mathematics*, vol. 232, no. 1, pp. 46–53, Oct. 2009, doi: 10.1016/j.cam.2008.10.038.
- [72] S. Yalçındağ, A. Matta, E. Şahin, and J. G. Shanthikumar, “The patient assignment problem in home health care: using a data-driven method to estimate the travel times of care givers,” *Flex Serv Manuf J*, vol. 28, no. 1, pp. 304–335, Jun. 2016, doi: 10.1007/s10696-015-9222-6.
- [73] Y. Shao, J. F. Bard, and A. I. Jarrah, “The therapist routing and scheduling problem,” *IIE Transactions*, vol. 44, no. 10, pp. 868–893, Oct. 2012, doi: 10.1080/0740817X.2012.665202.
- [74] J. F. Bard, Y. Shao, and A. I. Jarrah, “A sequential GRASP for the therapist routing and scheduling problem,” *J Sched*, vol. 17, no. 2, pp. 109–133, Apr. 2014, doi: 10.1007/s10951-013-0345-x.
- [75] S. Nickel, M. Schröder, and J. Steeg, “Mid-term and short-term planning support for home health care services,” *European Journal of Operational Research*, vol. 219, no. 3, pp. 574–587, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.ejor.2011.10.042.
- [76] I. Roozbeh, J. W. Hearne, and D. Pahlevani, “A solution approach to the orienteering problem with time windows and synchronisation constraints,” *Heliyon*, vol. 6, no. 6, p. e04202, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04202.
- [77] R. Liu, Y. Tao, and X. Xie, “An adaptive large neighborhood search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and synchronized visits,” *Computers & Operations Research*, vol. 101, pp. 250–262, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.cor.2018.08.002.
- [78] E.-G. Talbi, *Metaheuristics: From Design to Implementation*. John Wiley & Sons, 2009.
- [79] B. W. Thomas and E. Manni, “Scheduled penalty Variable Neighborhood Search,” *Computers & Operations Research*, vol. 52, pp. 170–180, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.cor.2013.12.004.

- [80] A. E. Smith and D. W. Coit, “Penalty functions,” in *Handbook of Evolutionary Computation*, Oxford University Press and Institute of Physics Publishing, 1996, p. 11.
- [81] N. Metropolis, A. W. Rosenbluth, M. N. Rosenbluth, A. H. Teller, and E. Teller, “Equation of State Calculations by Fast Computing Machines,” *The Journal of Chemical Physics*, vol. 21, no. 6, pp. 1087–1092, 1953, doi: 10.1063/1.1699114.
- [82] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi, “Optimization by Simulated Annealing,” *Science*, vol. 220, no. 4598, pp. 671–680, May 1983, doi: 10.1126/science.220.4598.671.
- [83] V. Černý, “Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm,” *J Optim Theory Appl*, vol. 45, no. 1, pp. 41–51, Jan. 1985, doi: 10.1007/BF00940812.
- [84] T. A. Feo and M. G. C. Resende, “A probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem,” *Operations Research Letters*, vol. 8, no. 2, pp. 67–71, Apr. 1989, doi: 10.1016/0167-6377(89)90002-3.

EKLER

EK 1: Algoritmalar için normallik analizleri

Tablo 5.1. Algoritmaların EKAF Kriteri için Kolmogorov-Smirnov (K-S) Test Sonuçları

		YA	B_TB	ARUAP_TB	ARUAP_TB_ısıtma
N		45	45	45	45
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	6604.2889	5684.6000	5881.1778	6464.4444
	Std. Deviation	31362.94623	25606.29453	27197.04708	30065.99161
Most Extreme Differences	Absolute	.464	.474	.488	.476
	Positive	.464	.474	.488	.476
	Negative	-.418	-.414	-.416	-.416
Kolmogorov-Smirnov Z		3.114	3.179	3.272	3.194
Asymp. Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000	.000

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Tablo 5.2. Algoritmaların OÇS Kriteri için Kolmogorov-Smirnov (K-S) Test Sonuçları

		YA	B_TB	ARUAP_TB	ARUAP_TB_ısıtma
N		45	45	45	45
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	87.7436	207.5985	208.7629	164.1387
	Std. Deviation	99.31192	138.27587	179.83821	127.63102
Most Extreme Differences	Absolute	.194	.137	.158	.138
	Positive	.192	.137	.152	.138
	Negative	-.194	-.103	-.158	-.114
Kolmogorov-Smirnov Z		1.304	.919	1.063	.928
Asymp. Sig. (2-tailed)		.067	.367	.208	.355

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

EK 2: YA ve B-TB algoritmaları için istatistiksel analiz sonuçları

Tablo 5.3. YA ve B-TB algoritmalarının ortalama EKAF değerleri için Wilcoxon işaretli sıralar Test Sonuçları

		Ranks		
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
EKAF_B_TB - EKAF_YA	Negative Ranks	34 ^a	19.31	656.50
	Positive Ranks	4 ^b	21.13	84.50
	Ties	7 ^c		
	Total	45		

a. EKAF_B_TB < EKAF_YA

b. EKAF_B_TB > EKAF_YA

c. EKAF_B_TB = EKAF_YA

Test Statistics^b

EKAF_B_TB - EKAF_YA	
Z	-4.150 ^a
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

a. Based on positive ranks.

b. Wilcoxon Signed Ranks Test

Tablo 5.4. YA ve B-TB algoritmalarının ortalama OÇS değerleri için Çiftli gözlemler Test Sonuçları

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	OÇS_YA	87.7436	45	99.31192	14.80455
	OÇS_B_TB	207.5985	45	138.27587	20.61295

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	OÇS_YA & OÇS_B_TB	45	.896	.000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 OÇS_YA - OÇS_B_TB	-119.85490	66.04268	9.84506	-139.69632	-100.01349	-12.174	44	.000

EK 3: B-TB ve ARUAP-TB algoritmaları için istatistiksel analiz sonuçları

Tablo 5.5. B-TB ve ARUAP-TB algoritmalarının ortalama EKAF değerleri için Wilcoxon işaretli sıralar Test Sonuçları

		Ranks		
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
EKAF_ARUAP_TB - EKAF_B_TB	Negative Ranks	20 ^a	16.90	338.00
	Positive Ranks	10 ^b	12.70	127.00
	Ties	15 ^c		
	Total	45		

- a. EKAF_ARUAP_TB < EKAF_B_TB
b. EKAF_ARUAP_TB > EKAF_B_TB
c. EKAF_ARUAP_TB = EKAF_B_TB

Test Statistics^b

	EKAF_ARUAP_TB - EKAF_B_TB
Z	-2.172 ^a
Asymp. Sig. (2-tailed)	.030

- a. Based on positive ranks.
b. Wilcoxon Signed Ranks Test

Tablo 5.6. B-TB ve ARUAP-TB algoritmalarının ortalama OÇS değerleri için Çiftli gözlemler Test Sonuçları

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 OÇS_B_TB	207.5985	45	138.27587	20.61295
OÇS_ARUAP_TB	208.7629	45	179.83821	26.80870

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 OÇS_B_TB & OÇS_ARUAP_TB	45	.925	.000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 OÇS_B_TB - OÇS_ARUAP_TB	-1.16440	73.97689	11.02782	-23.38952	21.06072	-.106	44	.916

EK 4: ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritmaları için istatistiksel analiz sonuçları

Tablo 5.7. ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritmalarının ortalama EKAF değerleri için Wilcoxon işaretli sıralar Test Sonuçları

		Ranks		
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
EKAF_ARUAP_TB_ısıtma - EKAF_ARUAP_TB	Negative Ranks	8 ^a	11.88	95.00
	Positive Ranks	23 ^b	17.43	401.00
	Ties	14 ^c		
	Total	45		

- a. EKAF_ARUAP_TB_ısıtma < EKAF_ARUAP_TB
b. EKAF_ARUAP_TB_ısıtma > EKAF_ARUAP_TB
c. EKAF_ARUAP_TB_ısıtma = EKAF_ARUAP_TB

Test Statistics^b

	EKAF_ARUAP_TB_ısıtma - EKAF_ARUAP_TB
Z	-3.002 ^a
Asymp. Sig. (2-tailed)	.003

- a. Based on negative ranks.
b. Wilcoxon Signed Ranks Test

Tablo 5.8. ARUAP-TB ve ARUAP-TB-ısıtma algoritmalarının ortalama OÇS değerleri için Çiftli gözlemler Test Sonuçları

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	OÇS_ARUAP_TB	208.7629	45	179.83821	26.80870
	OÇS_ARUAP_TB_ısıtma	164.1387	45	127.63102	19.02611

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	OÇS_ARUAP_TB & OÇS_ARUAP_TB_ısıtma	45	.954	.000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 OÇS_ARUAP_TB - OÇS_ARUAP_TB_ısıtma	44.62422	69.67022	10.38582	23.69297	65.55547	4.297	44	.000