



## A goal programming approach for multi objective, multi-trips and time window routing problem in home health care service

Asiye Özge Dengiz<sup>1\*</sup>, Kumru Didem Atalay<sup>1</sup>, Fulya Altıparmak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Başkent University, Ankara, 06790, Turkey

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Gazi University, Ankara, 06570, Turkey

### Highlights:

- Home health care routing problem has been defined.
- The test problems are produced based on the data and the information obtained from a hospital in Ankara.
- The problem in this study has been defined as a multi-objective, multi-trip and time-windows home healthcare routing problem.

### Keywords:

- Home health care
- Multi-trip
- Carbon emission
- Weighted goal programming
- Time window

### Article Info:

Research Article  
Received: 05.01.2021  
Accepted: 12.04.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.853882

### Correspondence:

Author: Asiye Özge Dengiz  
e-mail:  
aokarahanli@baskent.edu.tr  
phone: +90 312 246 6658

### Graphical/Tabular Abstract

Patient satisfaction is an important criterion. The hospital administration wants at least one team to provide home health care and at least 50% of the customer demand to be met. The analysis of scenario 2 aim to show the effect of increasing this percentage on the resource requirements. Scenario 2 analysis is done on selected problems with 15 patients. Combinations of five different percentage values for customer requests to be met (DMR = 50, 60, 70, 80 and 90) and goal programming weights  $w_1 = 0.5$  and  $w_2 = 0.5$  are used to compare the results which are given in below Table A.

Table A. The effect of DMR on n = 15

$w_1$	$w_2$	DMR (%)	$f_1$	$f_2$	Z	$d_1^+$	$d_2^-$	GAP(%)	Solution Time (sec.)	AS	RS
0.5	0.5	50	5.62	19	0.24	0.00	9	0.00	3739.11	1	2
		60	7.49	19	0.18	0.00	7	0.00	301.13	2	2
		70	10.30	19	0.13	0.00	5	20.02	10800.00	2	2
		80	13.67	19	0.08	0.00	3	0.00	1639.83	2	2
		90	17.97	19	0.03	0.19	1	68.14	10800.00	2	2
		Average	11.01	19	0.13	0.04	5	17.63	5456.01	1.8	2

**Purpose:** Apply a mixed integer programming model for multi trip vehicle routing with time window constraints (MTTW-HHCRP) for home health care services maximizing patient satisfaction while minimizing environmental effects.

### Theory and Methods:

The problem addressed in this study has been defined as a multi-objective, multi-trip and time-windows home healthcare routing problem (MTTW-HHCRP). Weighted goal programming (GP) method is used to solve the problem.

### Results:

Results are provided for a set of test problems generated from data obtained from a hospital in Ankara, Turkey for two different scenarios; 1- Analyze the effect of goal programming weights, 2- Analyze the effect of minimum percentage of patient demand to be met on solutions and performance metrics. For scenario 1, it is found that  $w_1 \geq 0.3$  for the emissions to meet the target whereas in order to meet at least 50% of patient demands,  $w_2 \leq 0.9$ . For scenario 2, the increase in minimum percentage of patient demand to meet causes an increase in resource requirements as expected.

### Conclusion:

Based on the data and the information obtained from the hospital in Ankara, test problems are produced and the solutions obtained for each scenario analysis are evaluated to guide the decision-making process.



## Evde sağlık hizmetlerinde çok amaçlı, çok turlu ve zaman pencereli rotalama problemi için hedef programlama yaklaşımı

Asiye Özge Dengiz<sup>1\*</sup>, Kumru Didem Atalay<sup>1</sup>, Fulya Altıparmak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06790 Etimesgut, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570 Maltepe, Ankara, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Evde sağlık hizmeti yönlendirme sorunu tanımlandı
- Test problemleri, Ankara'daki bir hastaneden elde edilen verilere ve bilgilere dayanılarak üretilmiştir
- Bu çalışmadaki problem, çok amaçlı, çok seyahatli ve zaman pencereli bir evde sağlık hizmeti yönlendirme problemi olarak tanımlanmıştır

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 05.01.2020

Kabul: 12.04.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.853882

### Anahtar Kelimeler:

Evde sağlık hizmetleri,  
çok turlu rotalama problemi,  
karbon emisyonu,  
ağırlıklandırılmış hedef  
programlama,  
zaman penceresi

### ÖZ

Dünyayı etkileyen salgın hastalıklar, nüfus artışı, gelişen teknolojiler sağlık sektöründeki hizmetlerin yapısını da değiştirmektedir. Sağladığı avantajlar nedeniyle evde sağlık hizmetleri (ESH) hastalar tarafından her geçen gün daha fazla talep edilmektedir. Bu sebeple araştırmacıların Evde Sağlık Hizmetleri Rotalama Problemine (ESHRP) ilgisi artmaktadır. Bu çalışmada, Ankara'da ESH veren bir Devlet Hastanesinin ilgili biriminde yapılan incelemelere dayalı olarak ESHRP tanımlanmıştır. Ele alınan hastanede kaynakların kısıtlı olmasından dolayı araçların birden fazla kullanılması gerekmektedir. Dolayısıyla, ESHRP çok turlu olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca, hastaların taleplerinin zamanında karşılanmasını sağlamak amacıyla problem zaman pencereli bir yapıdadır. Bunun yanı sıra, ESHRP'de karşılanan hasta taleplerinin enbüyüklenmesi ve çevresel etkilerin azaltılması önemli iki amaçtır. Çevresel etkilerin azaltılması ESH'de kullanılan araçların karbon salınımının enküçüklenmesi ile sağlanabilir. Bu nedenle bu çalışmada ele alınan problem çok amaçlı, çok turlu ve zaman pencereli evde sağlık hizmetleri rotalama problemi (ÇTZP-ESHRP) olarak tanımlanmıştır. Problemin çözümü için ağırlıklı hedef programlama (HP) metodu kullanılmıştır. Ankara'da hizmet veren bir hastaneden elde edilen veri ve bilgilere dayalı olarak test problemleri rassal üretilmiş ve senaryo analizi ile bulunan çözümler karar alma sürecine yön verecek şekilde değerlendirilmiştir.

## A goal programming approach for multi objective, multi-trips and time window routing problem in home health care service

### H I G H L I G H T S

- Home health care routing problem has been defined
- The test problems are produced based on the data and the information obtained from a hospital in Ankara
- The problem in this study has been defined as a multi-objective, multi-trip and time-windows home healthcare routing problem

### Article Info

Research Article

Received: 05.01.2021

Accepted: 12.04.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.853882

### Keywords:

Home health care,  
multi-trips routing problem,  
carbon emission,  
weighted goal programming,  
time window

### ABSTRACT

The structure of services in the health sector is changed by the epidemic diseases affecting the world, the population growth and developing technologies. Due to the advantages it provides, home health care (HHC) services are increasingly being demanded by patients. With the in-crase in demand for HHC, the interest of researchers in Home Health Care Routing Problem (HHCRP) is also increasing. In this study, HHCRP has been studied based on information gathered from a relevant unit of a State Hospital providing HHC services in Ankara. Due to the limited resources in the hospital under consideration, vehicles often need to be used for multiple rounds. Thus, the HHCRP is considered as a multi-tour routing problem. Besides, the problem has been created with time window constraints in order to ensure that the demands of the patients are met on time. Meantime, meeting all the patient demands and reducing the environmental impacts are two important goals in HHCRP. The reduction of the environmental impacts can be achieved by minimizing the carbon emission of the vehicles used in the HHC. Thus, the problem addressed in this study has been defined as a multi-objective, multi-trip and time-windows home healthcare routing problem (MTTW-HHCRP). Weighted goal programming (GP) method is used to solve the proposed problem. Test problems are randomly generated based on the data and the information obtained from the hospital in Ankara, and the solutions obtained through scenario analysis are evaluated to guide the decision-making process.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tüm dünyayı etkileyen salgın hastalıklar, yaşlı nüfus ve kronik hastalığa sahip hasta sayısının artışı, evde bakımın hastaneye göre sağladığı avantajlar ve sağlık teknolojilerinde ortaya çıkan gelişmeler, bir kısım sağlık hizmetlerinin “Evde Sağlık Hizmetleri” (ESH) olarak verilmesine yol açmıştır. Ayrıca, ESH hastanelerdeki hasta yoğunluklarını ve yatış sürelerini de azaltmıştır. Özellikle bu hizmetler hastaneye ulaşma konusunda sıkıntı yaşayan ağır, yatalak ve/veya kronik hastaların, hastane ortamının yaratabileceği olumsuzluklardan (COVID-19, hastane mikrobi vs. gibi) uzak tutularak kendi evlerinde tedavi edilmelerine ve bakılmalarına imkan sağlamıştır.

ESH kavramı, kapsamı, ilgilendiği hasta tipleri, bu alana ayrılacak kaynaklar (personel, araç-tehizat vb.) ve çözüm yaklaşımları açısından farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle, uluslararası belirli bir standarttan bahsedebilmek güçtür. Türkiye’de ESH, son yıllarda devlet politikası ile kanuni alt yapısı 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 hizmet yaygınlaşmış ve birçok hastanenin ESH veren birimleri hizmete girmiştir. Bazı bireylere ulaşmanın tek yolu olan ve hastanelerin gereksiz işgal edilmesini önleyen ESH, sağlık sektörünün ilgisini çekmekte ve ortaya çıkacak yeni gereksinimler ve problemler için yeni stratejiler, politikalar, düzenlemeler ve çözüm yaklaşımları geliştirilmesini gerektirmektedir. Türkiye’deki Sağlık Bakanlığının ESH yönetmeliğine [1] göre, hizmeti veren ekiple asgari olarak bir doktor, bir hemşire, bir sağlık memuru ve bir şoför bulunması gerekmektedir. İhtiyaç halinde ve hizmet verecek kurumun imkanları doğrultusunda fizyoterapist, diyetisyen, psikolog, sosyal çalışmacı da bu ekibe dahil olmaktadır. Ayrıca, bir hastanede birden fazla ESH ekibi oluşturulabilir. ESH veren sağlık kurumları mesai saatleri içinde, randevuya dayalı olarak ve acil olmayan hastalara hizmet vermektedir. Bu hizmetin acil olarak verilmemesi, problemin kapsamı ve problem için oluşturulacak modelin kurulması açısından önemlidir. Özellikle son yıllarda toplumun, devletlerin, kurum ve kuruluşların çevreye olan duyarlılığının artması nedeniyle, çevre üzerinde etkili olan her türlü süreçte, çevresel etkilerin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu durum ESHRP’de maliyet vb. değişkenlerin dikkate alınmasının yanı sıra “Yeşil” kavramının da dikkate alınmasını gerektirmektedir.

Evde sağlık hizmetleri rotalama problemi (ESHRP), 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 çalışmada, Ankara’da ESH veren bir Devlet Hastanesinin ilgili biriminde yapılan incelemelere dayalı olarak ESHRP tanımlanmıştır. Hastanenin ESH

biriminde, bir ya da birden fazla talebi olan hastalara hizmet vermek için günlük rotalar planlanmaktadır. Bu planlamanın iki önemli kaynağı; sağlık hizmetini veren sağlık personeli ve hastalara hizmet vermek için kullanılan benzinli araçlardır. Hasta talebinin birden fazla olabilmemesinin (kan alma, fizik tedavi, vb.) yanısıra kaynakların sınırlı olması, gün içinde mevcut araçlar ile hastaların birden çok ziyaret edilmesini gerektirmektedir. Bu durumda, ESH için eniyi rotaların belirlenmesi problemi Çok Turlu Araç Rotalama Problemi (ÇTARP)’nin özel bir haline dönüştürmektedir. Hasta memnuniyetini artırmak ve araçların çevresel etkilerini azaltmak amacıyla çalışmada problem; çok amaçlı, çok turlu, zaman pencereli ESHRP (ÇTZP-ESHRP) olarak tanımlanmıştır. Problemin amaçları; araçların ürettiği toplam karbon emisyonunun enküçüklenmesi ve karşılanan hasta taleplerinin enbüyüklenmesidir. Hastalara hizmet verilen araçlar ile daha fazla hastanın talebinin karşılanabilmesi daha fazla karbon emisyonuna sebep olacağı için bu iki amaç çalışmaktadır. Problemin çözümü için ağırlıklı hedef programlama (HP) modeli geliştirilmiştir. HP yaklaşımı, çelişen amaçlardan dolayı eniyi çözüme ulaşmak yerine tatmin edici bir çözüme ulaşmaya çalışmaktadır. Karar verici öncelik verdiği amaca göre ağırlıklandırmayı yapabilmekte ve ele alınan problemi farklı amaçlar için bir bütün olarak değerlendirme fırsatı bulabilmektedir. Hastaneden elde edilen veri ve bilgilere dayalı olarak rassal üretilen test problemleri ağırlıklı HP ile çözülmüş, senaryo analizi ile elde edilen çözümler karar alma sürecine yön verecek şekilde değerlendirilmiştir.

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde ESHRP ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde ele alınan çok amaçlı ÇTZP-ESHRP tanımlanmış ve çözümüne ilişkin ağırlıklı HP modeli verilmiştir. Dördüncü bölümde ise senaryo analizine dayalı olarak sayısal sonuçlar incelenirken, beşinci bölümde sonuç ve ileride yapılabilecek çalışmalara yer verilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Literatürde ARP’nin sağlık sektöründeki uzantısı olarak kabul edilen ESHRP son yıllarda oldukça ilgi çekici bir konu haline gelmiştir. Bu alanda ilk çalışma 1997 yılında Begur vd. [2] tarafından yapılmıştır. Bu tarihten sonra bu alandaki çalışmalar hız kazanmış ve 2017 yılında yapılan tüm çalışmaları kapsayan üç derleme makalesi Cisse vd. [3], Fikar ve Hirsch [4], Paraskevopoulos vd. [5] tarafından yayınlanmıştır.

Literatürde ESHRP için yapılan çalışmalar, dikkate alınan farklı özelliklere göre sınıflandırılabilir. Sınıflandırmada dikkate alınacak özelliklerden biri sağlık hizmetini veren personelin homojen ya da heterojen olmasıdır. İkinci özellik, verilen sağlık hizmetinin eş zamanlı, ardışık ve/veya öncelikli hizmetlerden oluşmasıdır. Çalışmalarda önerilen matematiksel modellerin amaç fonksiyonu çoğunlukla hizmet kalitesinin enbüyüklenmesi ya da seyahat

süresinin/mesafesinin/maliyetinin enküçüklenmesi olarak ele alınmaktadır. Literatürdeki çalışmalar ayrıca planlama döneminin kısa ya da uzun olması ve kullanılan çözüm yönteminin kesin ya da sezgisel algoritmalarından oluşması gibi özelliklere göre de sınıflandırılmaktadır. Akjiratikar vd. [6], İngiltere’de bir sağlık merkezinde kısa dönem planlama kapsamında homojen personelin seyahat mesafesini enküçüklemek için kuş sürüsü algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmiştir. Amerika’daki ESH’ni dikkate alan Begur vd. [2], farklı yetkinliklere sahip personellerin uzun dönem için toplam seyahat süresini enküçüklemek amacıyla geliştirdikleri karar destek sisteminde tasarruf algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma kullanmışlardır. Bertels ve Fahle [7], farklı nitelikteki personeli dikkate alan kısa planlama dönemi için seyahat süresi ve toplam çalışma zamanını enküçüklemek amacıyla doğrusal programlama, kısıt programlama ve sezgisel algoritmaya dayalı bir karma algoritma önermişlerdir. Avusturya için bir uygulama çalışması yapan Breakers vd. [8], seyahat süresinin yanısıra hasta tercihlerinin de dikkate alındığı kısa dönemli rotalama problemi için kesin ve sezgisel algoritma geliştirmiştir. Avusturya’da yapılan bir diğer çalışmada Trautsamwieser ve Hirsch [9], uzun dönemi dikkate almıştır. Duque [10], Belçika için yaptığı uygulama çalışmasında uzun dönemi dikkate almış ve toplam seyahat mesafesini enküçükleyen ve hizmet seviyesini enbüyükleyen ESHRP için küme bölümlenme problemine dayalı bir matematiksel formülasyon önermiş ve iki aşamalı bir sezgisel çözüm stratejisi geliştirmiştir. Eveborn vd. [11], LAPS CARE olarak adlandırdıkları, kısa planlama dönemi için seyahat maliyetlerini enküçükleyen en yakın komşu sezgiseli ile tekrarlamalı bir eşleştirme yapan bir sezgisel algoritma geliştirmiştir. Literatürde, hastalara verilen hizmetler arasında ilişkiyi dikkate alan çalışmalar Bredström ve Rönnqvist [12], Mankowska vd. [13] tarafından yapılmıştır. Her iki çalışmada da ESHRP zaman penceresi, heterojen ekip ve tek hizmetin yanısıra ilişkili hizmetler de dikkate alınmıştır. 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 [12], her sağlık personelinin sadece bir hizmeti verebildiği durumu dikkate alırken, Mankowska vd. [13], her sağlık personelinin farklı hizmetler verebildiği durumu dikkate almışlardır. Mankowska vd.’nin [13], önerdiği matematiksel modelde ESH için tek veya çift hizmet operasyonlarının çizelgelenmesi ve personelin rotasının oluşturulması durumu dikkate alınmıştır. Rasmussen vd. [14], kısa planlama dönemi ESHRP için dal-fiyat algoritmasını geliştirmiş ve Danimarka’daki bir hastaneden elde edilen veriler ile algoritmanın performansı analiz etmiştir. Almanya’da bakımın sürekliliği kavramını dikkate alan uzun dönemli planlama için bir karma tamsayılı programlamama modeli Wurnitzer vd. [15] tarafından geliştirilmiştir. Liu vd. [16], kısa dönem ESHRP için ziyaret edilemeyen hasta sayısının enküçüklenmesi amacıyla dal-fiyat algoritmasına dayalı bir kesin çözüm algoritması geliştirmiştir. Hiermann vd. [17], 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 [18], Hiermann vd. [17]’nin verilerini kullanarak 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 önermiş, ayrıca genetik algoritma ve değişken komşu iniş algoritmalarını birleştiren bir karma metasezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Nikzad vd. [19] ESH’deki seyahat ve hizmet sürelerindeki belirsizliği dikkate alan iki aşamalı stokastik bir karma tamsayılı model önermiş ve büyük boyutlu test problemleri için daha kısa sürede kaliteli çözümler bulabilen matematiksel model tabanlı bir sezgisel algoritma geliştirmiştir. Grenouilleau vd. [20], 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 artırılarak seyahat sürelerinde de önemli tasarruflar sağlanmıştır.

Literatürde ESHRP’nin, ÇTARP olarak ele alındığı çok fazla çalışma olmadığı görülmüştür. Yapılan araştırmalar sonucunda ESH ile doğrudan ilişkili olmayan ancak sağlık sistemleri konularını ÇTARP olarak modelleyen birkaç çalışmaya raslanmıştır. Ren vd. [21], Amerika’nın Güney Kaliforniya eyaletinde 240 binası bulunan bir sağlık merkezinin operasyonel işlerini ÇTARP olarak dikkate almışlardır. Zhang vd. [22], Hong Kong’daki bir hastanede yaşlı ve engelli hastaların nakil işlemleri problemini ÇTARP olarak modellemişler, matematiksel modelin yanısıra yığın tabanlı sezgisel bir algoritma da önerilmiştir. Bu alanda diğer bir çalışma ise Anaya-Arenas vd. [23] tarafından yapılmış olup, ÇTARP olarak ele aldıkları sistem için iki farklı model geliştirmişlerdir. Çalışmada matematiksel modelin yanısıra iki aşamalı, yerel iyileştirme prosedürleri kullanılan bir sezgisel algoritma önerilmiştir.

Hedef programlama (HP) literatürde tedarikçi seçimlerinde [24], proje değerlendirmede [25], atama [26] ve tesis yerleşimi [27] gibi birçok farklı problemin çözümünde kullanılan bir yaklaşımdır. Oddoye vd. [28], ESH için ağırlıklı HP yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmalarında, hemşire ve doktorlar için bekleyen hasta sayısı, sistemde bekleyen toplam hasta sayısı ve toplam bekleme zamanları ile yatak sayısı olmak üzere beş farklı amaç dikkate alınarak farklı ağırlık kombinasyonları için HP ile çözümler üretilmiştir. Demir vd. [29], amaçlardan birisinin karbon emisyonunun enazlanması olan çok amaçlı yeşil ARP için adaptif yerel arama algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmiştir. Kumar vd. [30] ise toplam taşıma maliyetlerinin ve karbon salınımının enküçüklenmesi için çok amaçlı atık rotalama problemini ele almışlar ve problemin çözümü için parçacık sürü algoritması temelli bir sezgisel algoritma önermişlerdir. ESH problemini, Fard vd.

[31] yeşil tedarik zinciri problemi olarak ele almış ve epsilon kısıt yönetimini kullanarak iki amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, Ankara'da ESH veren bir Devlet Hastanesinin ilgili biriminde yapılan incelemelere dayalı olarak ESHRP tanımlanmıştır. ESHRP, rotalamada kullanılan benzinli araçların yarattığı karbon emisyonunun enküçüklenmesi ve ardışık ve eş zamanlı olarak hastalara verilecek hizmet sayısının enbüyüklenmesi amaçları ile ilk kez bu çalışmada çok turlu, çok amaçlı ve zaman pencereli olarak ele alınmış ve çözümünde ağırlıklı HP yöntemi kullanılmıştır.

### 3. PROBLEM TANIMI VE HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI (PROBLEM DEFINITION AND GOAL PROGRAMMING APPROACH)

Bu bölümde, incelenen sağlık sistemi ve bu sistemdeki problem tanımlandıktan sonra, problemin çok amaçlı matematiksel modeli ve çözümü için hedef programlama yaklaşımı verilecektir.

#### 3.1. Problem Tanımı (Problem Definition)

Bu çalışmada ele alınan problem, Ankara'da ESH veren hastaneler arasından seçilen bir Devlet Hastanesinin ilgili biriminin incelenmesine dayalı olarak ortaya çıkmıştır. Hastanede 2011 yılından beri ESH verilmekte olup bugüne kadar toplam 3816 hastaya hizmet ulaştırılmıştır. Hastane bünyesindeki sağlık personelinin ESH için görevlendirilmiş ekipler benzinli araçlar ile hizmet vermektedir. Söz konusu ekipte doktor, hemşire, fizyoterapist, diyetisyen gibi farklı branşlardan sağlık personelleri bulunmaktadır. Bir yada birden fazla hizmet talebi olan hastalar, hastanenin ESH birimine hem Sağlık Bakanlığı'nın genel çağrı merkezine yaptıkları başvuru sonucunda merkezi sistem aracılığıyla hem de doğrudan hastaneye başvurarak ulaşabilmektedir. Hastane tarafından verilen hizmetler arasında muayene, tahlil için örnek alma (kan, idrar, gayta, boğaz kültürü vs.), diyet programı oluşturulması ve fizyoterapi hizmeti vb. hizmetler bulunmaktadır. Hasta grupları ise yaşlı ve/veya yatalak hasta olmak üzere, kanser, alzheimer, demans, KOAH, ALS, epilepsi hastaları gibi belirli hastalığa sahip çeşitli yaş gruplarından hastalar ve hamilelerden oluşmaktadır. Sağlık personelinin ESH için çalışma saatleri 8:30-17:00 arasındadır. Hastanede ESH için kullanılan araç ve ekip kısıtlı sayıda olduğu için araçlar gün içerisinde birden fazla tur yapmakta ve en fazla 6 araç ile ESH verilmektedir. Hizmet süresi, hizmet tipine göre farklı olup 3-30 dakika arasındadır. Hastanın ihtiyacına ve talebine göre sağlık personeli hastaya vereceği hizmeti eş zamanlı olarak yada ardışık olarak vermektedir. Belirli bir gündeki rota planı ESH biriminde görevli eleman tarafından, öncelik durumuna (kan alınması vb. bir durum söz konusu ise), zaman pencerelerine ve hastalar arası seyahat mesafeleri dikkate alınarak belirlenmektedir. Ayrıca, hastalardan alınan tahlillerin belirli sürelerde hastaneye ulaştırılması gerekmektedir. ESH'de, hasta memnuniyeti önemli bir kriterdir. Bu nedenle, yönetim günde enaz bir ekibin ESH

vermesini ve gelen talebin enaz %50'sinin karşılanmasını istemektedir. Ancak, hedeflenen talebin karşılanması için hizmet veren ekip sayısı ve bu ekiplerin yaptıkları tur sayıları birden fazla olabilir. ESH genel olarak acil olmayan hizmetlerdir. Bu durum, rotalama yapılırken hizmet kalitesi ve çevresel faktörlerin birlikte dikkate alınmasına imkan vermektedir. Dolayısıyla, çalışma kapsamında ele alınan problem çok amaçlı, çok turlu, zaman pencereli ESHRP (ÇTZP-ESHRP) olarak tanımlanmıştır. Problemin amaçları; araçların ürettiği toplam karbon emisyonunun enküçüklenmesi ve karşılanan hasta taleplerinin enbüyüklenmesidir. Hastalara hizmet verilen araçlar ile daha fazla hastanın talebinin karşılanabilmesi daha fazla karbon emisyonuna sebep olacağı için bu iki amaç çelişmektedir. Çok amaçlı ÇTZP-ESHRP'nin çözümü için hedef programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yönüyle bu çalışma, iki amaçlı çok turlu, zaman pencereli ESHRP (ÇTZP-ESHRP)'nin çözümü için çok amaçlı programlama yöntemlerinden ağırlıklı HP yöntemini kullanan ilk çalışmadır.

#### 3.2. Çok Amaçlı ÇTZP-ESHRP için Matematiksel Model (Mathematical Model for Multi-objective MT-HHCGRP)

Çok amaçlı ÇTZP-ESHRP için matematiksel modelin geliştirilmesinde, Anaya-Arenas vd.'nin [23] biomedikal ürünlerin taşınması problemi için önerilen matematiksel modeli temel alınmıştır.

Çok amaçlı ÇTZP-ESHRP bir şebeke olarak şu şekilde tanımlanabilir.  $G = (N, A)$  tam bağlı bir şebeke olsun. Burada  $N = \{0, \dots, n+1\}$  düğümler kümesini ifade etmektedir. Düğüm kümesindeki  $\{0, n+1\}$  düğümleri hastaneyi (deponu) gösterirken,  $\{1, \dots, n\}$  düğümleri ise hizmet verilecek hastaların oluşturduğu düğümleri temsil etmektedir. Şebekede,  $t_{ij}$  ile  $(i, j)$  düğümleri arasındaki seyahat süresi ifade edilmektedir. Hastanede başlangıçta benzinli  $K$  adet özdeş araç bulunmaktadır. Herbir aracın en fazla  $R$  adet rotası vardır ve her rota depo olarak belirtilen hastanede başlar ve hastanede biter. Araçlar tüm rotalarını  $T_k$  mesai süresi olan 8.5 saatlik süre içinde tamamlamalıdır. Araçlardaki sağlık personelleri tarafından ziyaret edilen her düğümde (hastada), hizmet tipine göre değişkenlik gösteren ve  $h_{siq}$  olarak ifade edilen bir hizmet süresi geçmektedir. Hasta ziyaretleri,  $[a_{jq}, b_{jq}]$  ile gösterilen ilgili hasta için belirlenen ve hasta talebine göre değişen en erken ve en geç ziyaret süreleri arasında gerçekleştirilmektedir.  $Q_i$  hastaların talebini göstermektedir.

#### Problemin varsayımları:

- Dört farklı tipte sağlık personeli bulunmaktadır.
- Her hasta, talep edilen hizmeti verebilecek sağlık personeli tarafından ziyaret edilmektedir.
- Hasta sayıları ve bu hastalara verilecek hizmet sayısı, süreleri ve zaman pencereleri bilinmektedir.
- Düğümler arası seyahat süreleri bilinmektedir.
- Araçların ortalama hızı ve araçların km başına ürettiği karbon emisyonu miktarı bilinmektedir.

**Problemin kısıtları:**

- Sağlık personellerinin rotaları hastanede başlar ve hastanede biter.
- Her hasta en fazla talep sayısı kadar ziyaret edilmelidir.
- Günde gelen hasta talebinin en az %50'si karşılanmalıdır.
- Herbir aracın tüm rotalarının tamamlanma süresi belirlenen mesai süresini ( $T_k$ ) geçmemelidir.
- Verilen hizmet tipine göre değişmek üzere, hizmet süreleri belirlidir.
- Her hastaya zaman penceresi içerisinde hizmet verilmelidir.

Bu varsayımlar ve kısıtlar doğrultusunda çok amaçlı ÇTZP-ESHBP, tanımlanan şebeke üzerinde kısıtları sağlayan, karşılanan hasta talebinin en fazla olduğu ve asgari karbon emisyonunu üreten rotaları elde etmek olarak tanımlanabilir. Matematiksel modelde kullanılan kümeler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda verilmiştir.

**Kümeler**

N : Düşümler kümesi

**Parametreler**

- K : Araçların sayısı
- R : Rotaların sayısı
- Q : Tüm hastaların toplam hizmet talebi
- $t_{ij}$  :  $i$  ve  $j$  düşümleri arası seyahat süresi (dk.)
- $hs_{iq}$  :  $i$ . hasta için  $q$ . Talebin hizmet süresi (dk.)
- CCF : Karbon emisyonu dönüşüm faktörü (kg CO<sub>2</sub>/km)
- DMR : Hasta talebi karşılanma yüzdesi
- $T_k$  :  $k$ . Araç için rota süresi (dk.)
- V : Aracın ortalama hızı (km/dk)
- $Q_i$  :  $i$ . hastanın hizmet talep sayısı
- $[a_{iq}, b_{jq}]$  :  $j$ . hasta için  $q$ . talebin zaman penceresi

**Karar Değişkenleri**

- $x_{ijkr}$  = 1,  $i$ . düşümden  $j$ . düşüme  $k$ . araçla  $r$ . rotada geçiliyorsa; 0. diğer durumlarda
- $y_{jqkr}$  = 1,  $j$ . hastanın  $q$ . talebi  $k$ . araçla  $r$ . rotada karşılanıyorsa; 0. diğer durumlarda
- $u_{ikr}$  =  $i$ . hastanın  $k$ . araçla  $r$ . rotadaki ziyaret zamanı

Çok amaçlı ÇTZP-ESHBP için matematiksel model:

**Amaç Fonksiyonu**

$$Enk \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^{n+1} \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R t_{ij} x_{ijkr} * V * CCF \quad (1)$$

$$Enb \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^{Q_j} \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R y_{jqkr} \quad (2)$$

**Kısıtlar**

$$\sum_{i=0}^n x_{ijkr} - \sum_{l=1}^{n+1} x_{ilkr} = 0 \quad (3)$$

$$\forall j = 1, l, \dots, n; k = 1 \dots, K; r = 1 \dots, R$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jkr} \leq 1 \quad (4)$$

$$\forall k = 1 \dots, K; r = 1 \dots, R$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jkr} - \sum_{j=1}^n x_{j(n+1)kr} = 0 \quad (5)$$

$$\forall k = 1 \dots, K; r = 1 \dots, R$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jkr} - \sum_{j=1}^n x_{0jk(r-1)} \leq 0 \quad (6)$$

$$\forall k = 1 \dots, K; r = 2 \dots, R$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R y_{jqkr} \leq 1 \quad (7)$$

$$\forall j = 1 \dots, n; q = 1, \dots, Q_i$$

$$\sum_{q=1}^{Q_j} y_{jqkr} - \sum_{i=1}^n x_{ijkr} = 0 \quad (8)$$

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

$$u_{ikr} + hs_{iq} * y_{iqkr} + t_{ij} - u_{jkr} \leq T_k (1 - x_{ijkr}) \quad (9)$$

$$\forall i = 0, \dots, n; j = 1, \dots, n + 1; q = 1, \dots, Q_i; k = 1 \dots, K;$$

$$r = 1 \dots, R$$

$$a_{jq} - T_k (1 - y_{jqkr}) \leq u_{jkr} \leq b_{jq} + T_k (1 - y_{jqkr}) \quad (10)$$

$$\forall j = 1, \dots, n; q = 1, \dots, Q_i; k = 1 \dots, K; r = 1 \dots, R$$

$$u_{0kr} \geq u_{(n+1)k(r-1)} \quad (11)$$

$$\forall k = 1 \dots, K; r = 2 \dots, R$$

$$u_{(n+1)kr} - u_{0k1} \leq T_k \quad (12)$$

$$\forall k = 1 \dots, K; r = 1 \dots, R$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk1} - \sum_{j=1}^n x_{0j(k-1)1} \leq 0 \quad (13)$$

$$\forall k = 2 \dots, K$$

$$\sum_{r=1}^R y_{iqkr} - \sum_{i=1}^{j-1} \sum_{l=1}^{Q_j} \sum_{r=1}^R y_{il(k-1)r} -$$

$$\sum_{l=1}^{q-1} \sum_{r=1}^R y_{jl(k-1)r} \leq 0 \quad (14)$$

$$\forall j = 1, \dots, n; q = 1, \dots, Q_j; k = 2 \dots, K$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^{Q_j} \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R y_{iqkr} \geq Q * DMR \quad (15)$$

$$x_{ijkr}, y_{jqkr} \in \{0, 1\}, u_{ikr} \geq 0 \quad (16)$$

$$\forall i = 0, \dots, n; j = 1, \dots, n + 1; k = 1 \dots, K; r = 1 \dots, R$$

Çok amaçlı doğrusal programlama modelinde, (1) numaralı eşitlik ile tüm araçların ürettikleri karbon emisyonu enküçüklenmektedir. (1) numaralı eşitlik incelendiğinde herbir aracın ürettiği karbon emisyonu, aracın seyahat süresine, hızına ve karbon emisyon dönüşüm faktörüne dayalı olarak hesaplanmaktadır. (2) numaralı eşitlik ile tüm rotalarda hizmet verilen toplam talep sayısının enbüyüklenmesi amaçlanmaktadır. Kısıt (3), akışların korunumunu sağlamak için girilen düşümden çıkılmasını garanti etmektedir. Kısıt (4) ve (5), tüm araçlar için başlayan her rotanın depo olarak kabul edilen hastanede başlamasını

ve hastanede sonlanmasını sağlamaktadır. Kısıt (6), araçların rota sırasını düzenlemektedir. Kısıt (7) ve (8), birlikte çalışarak eğer hasta ziyaret edilmiş ise ilgili düğümdeki hastanın talebinin yerine getirilmesini sağlamaktadır. Kısıt grubu (9)-(12) ise zaman ile ilgili kısıtlardır. Kısıt (9), hem hastaların ziyaret zamanları arasındaki ilişkiyi sağlamakta hem de alt tur engellemesi için kullanılmaktadır. Kısıt (10), hastaların ziyaret zamanlarının belirlenen zaman penceresi içinde olmasını sağlamaktadır. Kısıt (11), herhangi bir aracın birbirini takip eden iki rotasının başlangıç ve bitiş zamanlarının arasındaki ilişkiyi sağlamaktadır. Herbir aracın rota uzunluklarının, belirlenen rota süresini geçmemesi kısıt (12) ile garanti edilmektedir. Kısıt (13), yeni bir  $k$  aracının tura başlamasının ancak kendisinden önce tura başlayan  $k-1$  aracının olması durumunda gerçekleşmesini sağlar. Kısıt (14),  $j$ . düğümdeki hastanın  $q$ . talebinin  $k$ . aracın herhangi bir rotasında gerçekleştiriliyorsa  $k-1$  aracı bu düğümde daha önceki bir hastanın ( $i$ ) talebinin karşılanmasını ( $i < j$ ) ya da daha önceki talebinin ( $l$ ) karşılanmasını ( $l < q$ ) sağlamaktadır. Kısıt (15), karşılanan hasta talebinin en az toplam talebin belirlenen yüzdesi (yani  $Q * DMR$ ) kadar olmasını garanti etmektedir. Kısıt (16), karar değişkenlerinin alabileceği değerleri göstermektedir.

### 3.3. Çok Amaçlı ÇTZP-ESHYP için Hedef Programlama (Goal Programming for Multi-objective MT-HHCGRP)

Bu çalışmada, çok amaçlı ÇTZP-ESHYP'nin çözümü için hedef programlama (HP) yaklaşımı kullanılmıştır. Charnes ve Cooper [32] tarafından önerilen HP, günümüzde çok amaçlı karar verme problemlerinin çözümü için temel matematiksel programlama yöntemi olarak dikkate alınmaktadır. HP'de çözüm yaklaşımları Ardışık HP ve Ağırlıklı HP olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ardışık HP'de amaçlar önem derecelerine göre ardışık olarak eniyelenir. Bu yaklaşımdaki temel fikir, ilk öncelikli hedefin sonraki öncelik seviyeli hedeften önce karşılanmasıdır. Ağırlıklı HP'de ise öncelikle amaçların önem ağırlıkları belirlenir ve bu ağırlıklar dikkate alınarak amaçlar eşzamanlı eniyelenmeye çalışılır [33]. Bu yaklaşımda ağırlıklandırılmalar karar vericiye dayalı olabileceği gibi, farklı ağırlıklandırılmalar ile elde edilen senaryoların bir bütün olarak değerlendirilmesi şeklinde olabilir. Bu çalışmada çok amaçlı ÇTZP-ESHYP için Ağırlıklı HP yöntemi kullanılmıştır. Karar vericinin değerlendirebileceği tüm olası senaryo sonuçlarını elde edebilmek amacıyla ağırlıklandırılmalar için farklı kombinasyonlar kullanılmıştır.

Çok amaçlı ÇTZP-ESHYP için Ağırlıklı HP modeli, parametre ve karar değişkenleri tanımlandıktan sonra aşağıda verilmektedir.

#### Parametreler

- $w_1$  : Birinci amaçtan istenmeyen yönde oransal sapma ağırlığı  
 $w_2$  : İkinci amaçtan istenmeyen yönde oransal sapma ağırlığı  
 $f_1$  : Birinci amaç için hedef değer

- $f_2$  : İkinci amaç için hedef değer

#### Karar Değişkenleri

- $d_1^+$  : Birinci amaç fonksiyonu değerinin  $f_1$  hedefinden pozitif sapma miktarı  
 $d_2^-$  : İkinci amaç fonksiyonu değerinin  $f_2$  hedefinden negatif sapma miktarı

Ağırlıklı HP modeli:

Amaç fonksiyonu

$$Enk w_1 \left( \frac{d_1^+}{f_1} \right) + w_2 \left( \frac{d_2^-}{f_2} \right) \quad (17)$$

Kısıtlar

(3)-(16)

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^{n+1} \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R t_{ij} x_{ijk} * V * CCF - d_1^+ = f_1 \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^{Q_j} \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R y_{iqkr} + d_2^- = f_2 \quad (19)$$

$$d_1^+, d_2^- \geq 0 \quad (20)$$

Modeldeki, amaç fonksiyonu (17), HP modelinin amaç fonksiyonu olup normalize edilmiş pozitif ve negatif sapmaların ağırlıklandırılmış toplamını enküçükmektedir. Kısıt (18), karbon emisyonu hedef kısıtı olup tüm araçların ürettikleri karbon emisyonunun en fazla belirlenen  $f_1$  değeri kadar olmasını sağlamaktadır. Kısıt (19), hasta talebi hedef kısıtı olup tüm rotalardaki toplam hizmet verilen hasta sayısının en az  $f_2$  kadar olmasını sağlamaktadır. Kısıt (20), karar değişkenlerinin alabileceği değerleri göstermektedir.

## 4. DENEYSEL SONUÇLAR (COMPUTATIONAL RESULTS)

Çok amaçlı ÇTZP-ESHYP için ağırlıklı HP çözüm yaklaşımı, hastaneden elde edilen verilere dayalı oluşturulan test problemlerine uygulanmıştır. Bu bölümde, hastaneden elde edilen veri ve bilgilere dayalı olarak rassal üretilen test problemleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, test problemlerinin ağırlıklı HP yaklaşımı ile çözümüne ilişkin sayısal sonuçlar incelenmiştir. Test problemlerinin çözümünde iki farklı senaryo analizi kullanılmıştır. Birinci senaryo analizinde amaçların farklı ağırlık kombinasyonlarının, ikinci senaryo analizinde ise en az karşılanması gereken hasta talebinin çözümler üzerindeki etkisi incelenmiştir.

### 4.1. Test Problemleri (Test Problems)

Hastanenin ESH biriminden test problemlerindeki hastalara ilişkin temel bilgiler alınmıştır. Toplam 80 hastanın adres bilgileri kullanılarak hastaların bulunduğu koordinatların enlem ve boylamları Google Maps programı ile belirlenmiştir. Belirlenen bu koordinatlar ile test problemlerindeki düğümler arası seyahat süresi matrisleri

oluşturulmuştur. ESH kapsamında bir günde yaklaşık olarak ortalama 10 - 15 hastaya en fazla 6 araç ile hizmet verilmekte olup, hastalar kan alımı, muayene, diyet programı oluşturma ve fizyoterapi olmak üzere dört farklı hizmet talep edebilmektedir. Hastaların büyük bir kısmı sadece tek hizmet talep ederken, ardışık yada eş zamanlı olarak iki yada üç hizmet talep eden hastalarda söz konusu olabilmektedir. Hastaların talep ettikleri hizmet sayıları, hizmet tipleri, bu hizmetlerin süreleri ve zaman pencereleri gibi parametre değerleri hastanenin ilgili birimi tarafından paylaşılmamıştır. Bu nedenle bu değerler, yapılan ön görüşmelere dayalı olarak gerçeğe uygun şekilde düzgün dağılımdan rassal olarak üretilmiştir. Ağırlıklı HP yaklaşımı, 3 farklı boyuttaki test probleminin çözümü için kullanılmıştır. Test problemlerinde bir günde hizmet verilen hasta sayısı dikkate alınmış ve gerçeğe uygun olarak 10, 15 ve 20 hastadan oluşan problemler elde edilmiştir. Hastaların %60'ı tek hizmet, %30'u çift hizmet ve geriye kalan %10'u ise üç hizmet talep ettiği kabul edilmiştir. Tablo 1'de test problemleri için sırasıyla hasta sayısı, tek, iki ve üç hizmet alan hasta sayıları, toplam talep sayısı ve araç sayısı gösterilmektedir. Her hasta sayısı için 5 farklı test problemi olmak üzere toplamda 15 test problemi üretilmiştir. Her test problemi için hastalar 80 hasta arasından rassal seçilmiş ve hizmet tipleri bu hastalara rassal atanmıştır. Hastanenin ESH vermek için kullandığı araçlar benzinle çalışan homojen araçlar olup, hızları 70 km/sa (1,17 km/dk)'tir. Bu araçların ürettiği karbon miktarları ise aracın katettiği mesafe üzerinden hesaplanmakta olup CCF değeri olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan her benzinli araç için CCF değeri, Reichmuth vd. [34] tarafından yapılan çalışmaya uygun olarak 0,16 kg CO<sub>2</sub>/km olarak alınmıştır. Araç sayılarının problemdeki hasta sayısına göre belirlendiği kabul edilmiş ve Tablo 1'de görüldüğü gibi 15 hasta için en fazla 3 araçla hizmet verilirken 20 hasta için en fazla 6 araçla hizmet verilmektedir. Hastalara verilecek hizmetler eş zamanlı yapılabiliyorsa (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. Diyetisyenin kan tahlilinin sonucuna göre diyet programını hazırlaması bu duruma örnek olarak verilebilir. Bu nedenle, kan alımına dayalı yapılan ardışık iki hizmet arasında enaz 60 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 problemlerinin üretiminde kullanılan hizmet sayısı, hizmet tipi ve hizmet süreleri Tablo 2'de verilmektedir. Buna göre her test probleminde hizmet süreleri; kan alımı için [3-8], muayene için [5-15], diyet programı oluşturmak için [10-20] ve fizyoterapi hizmeti vermek için [20-30] dakika arasında düzgün dağılımdan rassal olarak üretilmiştir. Hizmet tanımı sütununda görüldüğü gibi, birden fazla hizmet söz konusu olduğunda bu hizmetler eş zamanlı yapılıyorsa (+), ardışık yapılıyor ise (,) ile gösterilmiştir. Hizmet tipine göre zaman pencereleri hastanenin ESH birimi tarafından belirlenmektedir. Dolayısıyla, her bir hastaya istediği hizmet tipine göre verilecek hizmet ile ilgili zaman aralığı bildirilmektedir.

**Tablo 1.** Test Problemlerinin Özellikleri  
(Features of the Test Problems)

Hasta Sayısı	Hizmet Tipine Göre Hasta Sayısı			Toplam Talep Sayısı	Araç sayısı
	Tek Hizmet	İki Hizmet	Üç Hizmet		
10	6	3	1	15	3
15	9	4	2	23	5
20	12	6	2	30	6

Tablo 2'den görüldüğü gibi kan alımı sabah ilk 2 saat içerisinde gerçekleştirildiğinden dolayı zaman penceresi [0,120] olarak belirlenmiştir. Sadece muayene günün herhangi bir saatinde yapılabileceği için zaman penceresi [0, 510] olarak tanımlanmışken, kan alımı ve muayene hizmeti birlikte verildiğinde zaman penceresi [0, 120] olarak tanımlanmaktadır. Test problemleri için hedef değerlerin bulunması amacıyla çok amaçlı ÇTZP-ESH, her bir

**Tablo 2.** Test Problemlerinde Kullanılan Parametre Değerleri (Parameters of the Test Problems)

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



amacın ayrı ayrı ele alındığı tek amaçlı ÇT-ESHRP'ye indirgenmiştir. Birinci amaç için hedef değer ( $f_1$ ), ÇT-ESHRP'nin tek amaçlı olarak 3 saat koşturulması ile elde edilmiştir. İkinci amaç için hedef değer ( $f_2$ ) ise ilgili test problemindeki hastaların toplam talep sayısı olarak alınmıştır.

Performans ölçütü olarak "Optimallik açığı" (OA) ve çözüm zamanı (ÇZ) kullanılmıştır. Bu değer, matematiksel modelin CPLEX çözücüsü ile 3 saat koşumu sonucunda elde edilen çözümün amaç fonksiyonu değeri ( $Z^*$ ) ile ilgili iterasyona kadar tespit edilen güncel alt sınır değeri ( $Z^{SINIR}$ ) arasındaki farkın, güncel alt sınır değerine ( $Z^{SINIR}$ ) oranı ile

hesaplanmaktadır. Bu değer,  $Z^*$  değerinin eniyi çözüme yüzde cinsinden en fazla ne kadar uzak olabileceğini göstermektedir. %OA değerini hesaplamak için kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir (Eş. 21).

$$\%OA = \left( \frac{Z^* - Z^{SINIR}}{Z^{SINIR}} \right) \times 100 \quad (21)$$

Ağırlıklı HP modeli, IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.6.1 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. Test

**Tablo 3.**  $n = 10$  için Test Problemi Sonuçları (Results of test problems for  $n=10$ )

$w_1$	$w_2$	TP	$f_1$	$f_2$	Z	$d_1^+$	$d_2^-$	OA(%)	ÇZ (sn)	AS	RS
0	1	1	4,12	13	0,00	16,01	0	0	0,71	2	4
		2	4,68	12	0,00	29,58	0	0	0,60	3	5
		3	3,74	12	0,00	17,03	0	0	0,71	3	5
		4	4,49	13	0,00	35,75	0	0	0,71	3	5
		5	5,62	12	0,00	19,66	0	0	0,56	3	5
		<i>Ortalama</i>			0,00	23,61	0	0	0,66	2,8	4,8
0,1	0,9	1	4,12	13	0,22	9,17	0	0	406,15	1	2
		2	4,68	12	0,26	8,42	1	0	20,19	1	2
		3	3,74	12	0,23	8,61	0	0	334,07	1	2
		4	4,49	13	0,27	2,62	3	0	345,77	2	2
		5	5,62	12	0,13	7,30	0	0	2494,49	2	2
		<i>Ortalama</i>			0,22	7,22	1	0	720,13	1,4	2
0,3	0,7	1	4,12	13	0,31	0,56	5	0	8,54	1	1
		2	4,68	12	0,35	0,00	6	0	5,84	1	1
		3	3,74	12	0,35	0,00	6	0	11,63	1	1
		4	4,49	13	0,32	0,00	6	0	64,48	1	1
		5	5,62	12	0,27	1,68	3	0	60,93	1	1
		<i>Ortalama</i>			0,32	0,45	5	0	30,28	1	1
0,5	0,5	1	4,12	13	0,23	0,00	6	0	12,21	1	1
		2	4,68	12	0,25	0,00	6	0	2,91	1	1
		3	3,74	12	0,25	0,00	6	0	9,55	1	1
		4	4,49	13	0,23	0,00	6	0	16,17	1	1
		5	5,62	12	0,24	0,37	5	0	41,08	1	1
		<i>Ortalama</i>			0,24	0,07	6	0	16,38	1	1
0,7	0,3	1	4,12	13	0,14	0,00	6	0	3,75	1	1
		2	4,68	12	0,15	0,00	6	0	2,59	1	1
		3	3,74	12	0,15	0,00	6	0	9,40	1	1
		4	4,49	13	0,14	0,00	6	0	15,43	1	1
		5	5,62	12	0,15	0,00	6	0	69,44	1	1
		<i>Ortalama</i>			0,15	0,00	6	0	20,12	1	1
0,9	0,1	1	4,12	13	0,05	0,00	6	0	14,69	1	1
		2	4,68	12	0,05	0,00	6	0	2,04	1	1
		3	3,74	12	0,05	0,00	6	0	11,40	1	1
		4	4,49	13	0,05	0,00	6	0	12,43	1	1
		5	5,62	12	0,05	0,00	6	0	56,47	1	1
		<i>Ortalama</i>			0,05	0,00	6	0	19,41	1	1
1	0	1	4,12	13	0,00	0,00	6	0	18,96	1	1
		2	4,68	12	0,00	0,00	6	0	2,87	1	1
		3	3,74	12	0,00	0,00	6	0	3,13	1	1
		4	4,49	13	0,00	0,00	6	0	2,58	1	1
		5	5,62	12	0,00	0,00	6	0	4,41	1	1
		<i>Ortalama</i>			0,00	0,00	6	0	6,39	1	1

problemleri için çözüm süresini belirlemek amacıyla ön denemeler yapılmış ve %OA değeri incelenmiştir. 10, 15 ve 20 hastalı problemler üzerinde yapılan incelemelerde 3 saatten sonra %OA değerinde azalmanın çok yavaşladığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, çözüm süresi 3 saat (10800 sn.) ile sınırlandırılmıştır.

#### 4.2. Sayısal Sonuçlar (Computational Results)

Ağırlıklı HP yaklaşımı ile çok amaçlı ÇTZP-ESHRP'nin çözümü için iki farklı senaryo kullanılmıştır. Birinci senaryoda ağırlık HP'de kullanılan ağırlık kombinasyonlarının, ikinci senaryoda ise hizmet verilmesi gereken enaz hasta talebi yüzdesinin çözümler ve performans ölçütleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu bölümde bu senaryolara göre elde edilen sayısal sonuçlar analiz edilecektir.

##### 4.2.1. Senaryo Analizi I: Ağırlık Kombinasyonlarının Etkisi (Scenario Analysis I: Effect the combinations of weights)

Bu analizde, amaçların istenmeyen yönde oransal sapmaları için 0 - 1 arasında değişen farklı ağırlık kombinasyonlarının çözümler ve performans ölçütleri üzerindeki etkisi incelenmektedir. 0 - 1 ve 1 - 0 iki kombinasyonun yanısıra birinci amacın oransal sapması için ağırlık değeri 0,1 - 0,9 arasında 0,20 arttırılırken, ikinci amaç için bu değer 0,9 - 0,1 arasında 0,20 azaltılmak suretiyle toplam 7 farklı ağırlık kombinasyonu dikkate alınmıştır. 10, 15 ve 20 hastadan oluşan test problemleri herbir ağırlık kombinasyonu için çözülmüştür. Hasta sayısı 10 için sonuçlar Tablo 3'de verilmektedir. Tablo 3'deki sütunlar sırasıyla birinci ve ikinci amacın oransal sapma ağırlık değerini ( $w_1$ ,  $w_2$ ), test problemini (TP), birinci ve ikinci hedef değerini ( $f_1$  ve  $f_2$ ), amaç fonksiyonu değerini ( $Z$ ), pozitif sapmayı ( $d_1^+$ ), negatif sapmayı ( $d_2^-$ ), %OA değerini, çözüm zamanını (ÇZ), kullanılan araç sayısını (AS) ve oluşan toplam rota sayısını (RS) göstermektedir. Tablo 3 incelendiğinde, tüm ağırlık kombinasyonlarında test problemleri için %OA değerinin 0 olduğu, yani eniyi çözümlerin elde edildiği görülmektedir. Endüyük ve enyüksük ortalama çözüm zamanları 0,66 sn ve 720,13 sn olup, bu değerler sırasıyla  $w_1 = 0$  ve  $w_2 = 1$  ile  $w_1 = 0,1$  ve  $w_2 = 0,9$  ağırlık kombinasyonları için elde edilmiştir. Birinci ve ikinci amacın oransal sapma ağırlık değerleri sırasıyla 0 ve 1 ( $w_1 = 0$  ve  $w_2 = 1$ ) olduğunda problem, karşılanacak hasta taleplerinin enbüyüklediği tek amaçlı bir probleme dönüşmektedir. Eniyi çözümün elde edildiği 5 test probleminde de ikinci amaç için hedefe ulaşıldığı ve dolayısıyla hedeften sapma değerinin 0 ( $d_2^- = 0$ ) olduğu görülmektedir. Birinci amaç için hedeften sapma değerleri ( $d_1^+$ ) 16,01 - 35,75 aralığında olup, ortalaması 23,62'dir. Beklenildiği gibi birinci amaç için enbüyük hedeften sapma değerleri, çok amaçlı ÇTZP-ESHRP probleminin tek amaçlı probleme dönüştüğü  $w_1 = 0$  ve  $w_2 = 1$  ağırlık kombinasyonunda gözlemlenmektedir. Bu ağırlık kombinasyonu için elde edilen çözümlerde kullanılan araç sayısı 2 ile 3 arasında değişirken rota sayısının 4 ile 5 arasında değişmesi, her aracın bir günde en az 1 tur yaptığını göstermektedir.  $w_1 = 0,1$  ve  $w_2 = 0,9$  ağırlık

kombinasyonunda birinci amaç için hedeften sapma değerleri ( $d_1^+$ ) 2,62 - 9,17 aralığında olup, ortalama 7,23 ile bir önceki ağırlık kombinasyonundaki değere (ortalama 23,62) göre azalmaktadır. Test problem 2 ve 4'de ikinci amaç için hedeften sapma ( $d_2^- > 0$ ) söz konusudur. Test problem 2 için  $d_2^- = 1$  iken, test problem 4 için  $d_2^- = 3$ 'dür. Bu durum, karbon emisyonunun enküçüklenebilmesi için bazı hastaların taleplerinin karşılanamadığını göstermektedir. Bir önceki ağırlık kombinasyonuna göre çözümlerdeki araç sayısının ve rota sayısının (1 yada 2 araç ve 2 rota) azalması da karbon emisyonunun enküçüklenmeye çalışılmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak,  $w_1 = 0,1$  ve  $w_2 = 0,9$  ağırlık kombinasyonu ile çözüm zamanı açısından (ortalama 720,13 sn) problemler zorlaşmaktadır. Birinci amaç için oransal sapma ağırlık değeri 0,3 yada daha fazla ( $w_1 \geq 0,3$ ) olduğu tüm ağırlık kombinasyonları için çözülen toplam 25 test probleminde araç ve rota sayısı 1'e düşmektedir. Bu durum karbon emisyonunu azaltmak amacıyla araç sayısının azaldığını ve 22 test probleminin çözümünde hasta taleplerinin alt sınırdaki (yani toplam hasta talebinin sadece %50'sinin) karşılanırken karbon emisyon değerinin hedef değere ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla, bu problemler için  $d_1^+ = 0$  ve  $d_2^- = 6$ 'dır.  $w_1 = 0,3$  ve  $w_2 = 0,7$  ağırlık kombinasyonunda iki problem için  $d_1^+ \leq 1,68$  iken  $d_2^- \geq 3$ ,  $w_1 = 0,5$  ve  $w_2 = 0,5$  ağırlık kombinasyonunda ise sadece bir problemde  $d_1^+ = 0,37$  ve  $d_2^- = 5$  olmaktadır. Ayrıca,  $w_1 \geq 0,3$  ve  $w_2 \leq 0,7$  olduğu son 5 ağırlık kombinasyonu için ortalama çözüm zamanlarının azalmakta olup 6,39 sn ile 30,28 sn arasında değişmektedir.  $w_1 = 1$  ve  $w_2 = 0$  kombinasyonu için problem tek amaçlı hale dönüşmekte ve çözümünün çok daha kolay olduğu (ortalama 6,39 sn ile) görülmektedir.

Hasta sayısı 15 için sonuçlar Tablo 4'da verilmektedir. Tablo 4'daki sütunların açıklaması Tablo 3'de olduğu gibidir. Tablo 4'dan  $w_1 = 0$  ve  $w_2 = 1$  olduğunda hasta sayısı 10 için elde edilen sonuçlara benzer şekilde  $d_2^- = 0$  olup, ikinci amacın hedef değerine ulaşılmış yani tüm hasta talepleri karşılanmıştır. Ancak, birinci amaç için hedeften sapma değerleri ise ( $d_1^+$ ) 29,02 - 51,67 aralığında olup, ortalaması 36,02 ile diğer ağırlık kombinasyonlarına göre enyüksük değerdedir. Karbon emisyon değerlerindeki artış, tüm hasta taleplerinin karşılanabilmesi için kullanılan araç sayısı (3 - 5 arasında) ve yapılan rota sayısı (5 - 8 arasında) ile açıklanabilir.  $w_1 = 0$  ve  $w_2 = 1$  için çok amaçlı ÇTZP-ESHRP tek amaçlı ÇTZP-ESHRP'ne dönüşmekte ve sadece hasta taleplerinin karşılanması hedeflenmektedir. Dolayısıyla karbon emisyon değerlerinde büyük sapmalar beklenen bir sonuçtur.  $w_1 = 0,1$  ve  $w_2 = 0,9$  kombinasyonu için ikinci amacın hedeften sapma değeri ( $d_2^-$ ) ortalaması 1 iken, birinci hedeften sapma değeri ( $d_1^+$ ) ortalama 11,91 ile yaklaşık %67 azalmıştır.  $w_1 = 0$  ve  $w_2 = 1$  kombinasyonuna göre bu kombinasyonda daha az araç (ortalama 2) ile daha az rotanın (ortalama 2,2) yapılması da karbon emisyonundaki düşüşün en önemli göstergesidir.  $w_1 = 0,3$  ve  $w_2 = 0,7$  için ortalama  $d_2^- = 8$  ile karşılanamayan talep sayısı hızla artarken test problem 1 ve 3 için karbon emisyon değerinde hedefe ulaşılmış, ortalama  $d_1^+ = 0,56$  ile diğer test problemlerinde ise hedefe çok yaklaşılmıştır. Dolayısıyla, 5 test probleminde

**Tablo 4.** n= 15 için Test Problemi Sonuçları (Results of test problems for n=15)

$w_1$	$w_2$	TP	$f_1$	$f_2$	Z	$d_1^+$	$d_2^-$	OA(%)	ÇZ (sn)	AS	RS
0	1	1	5,62	18	0,00	35,57	0	0,00	11,29	3	6
		2	8,24	19	0,00	51,67	0	0,00	7,84	5	8
		3	4,31	18	0,00	30,51	0	0,00	5,18	5	8
		4	5,62	19	0,00	33,32	0	0,00	4,08	4	6
		5	5,99	19	0,00	29,02	0	0,00	2,92	3	5
<i>Ortalama</i>					0,00	36,02	0	0,00	6,26	4	6,6
0,1	0,9	1	5,62	18	0,30	13,85	1	23,79	10800,00	2	3
		2	8,24	19	0,25	17,03	1	10,67	10800,00	2	2
		3	4,31	18	0,25	6,55	2	0,00	2648,90	2	2
		4	5,62	19	0,27	12,35	1	5,54	10800,00	2	2
		5	5,99	19	0,21	9,73	1	9,38	10800,00	2	2
<i>Ortalama</i>					0,26	11,91	1	9,88	9169,80	2	2,2
0,3	0,7	1	5,62	18	0,35	0,00	9	15,82	10800,00	1	1
		2	8,24	19	0,34	1,12	8	12,19	10800,00	1	2
		3	4,31	18	0,35	0,00	9	0,00	2693,10	1	1
		4	5,62	19	0,33	0,56	8	0,00	3165,30	1	2
		5	5,99	19	0,31	1,12	7	8,95	10800,00	1	2
<i>Ortalama</i>					0,34	0,56	8	7,39	7651,70	1	1,6
0,5	0,5	1	5,62	18	0,25	0,00	9	0,00	9374,60	1	1
		2	8,24	19	0,24	0,00	9	4,44	10800,00	1	1
		3	4,31	18	0,25	0,00	9	0,00	1636,80	1	1
		4	5,62	19	0,24	0,00	9	0,00	3739,10	1	2
		5	5,99	19	0,24	0,00	9	11,11	10800,00	2	2
<i>Ortalama</i>					0,24	0,00	9	3,11	7270,10	1,2	1,4
0,7	0,3	1	5,62	18	0,15	0,00	9	12,17	10800,00	1	1
		2	8,24	19	0,16	0,19	9	14,14	10800,00	2	2
		3	4,31	18	0,15	0,00	9	0,00	573,23	1	1
		4	5,62	19	0,14	0,00	9	0,00	1610,40	2	2
		5	5,99	19	0,14	0,00	9	0,00	5523,90	1	2
<i>Ortalama</i>					0,15	0,04	9	5,26	5861,50	1,4	1,6
0,9	0,1	1	5,62	18	0,05	0,00	9	11,11	10800,00	1	1
		2	8,24	19	0,07	0,19	9	35,13	10800,00	2	2
		3	4,31	18	0,05	0,00	9	0,00	560,83	1	1
		4	5,62	19	0,05	0,00	9	0,00	2174,20	1	2
		5	5,99	19	0,05	0,00	9	0,00	10237	2	2
<i>Ortalama</i>					0,05	0,04	9	9,25	6914,50	1,4	1,6
1	0	1	5,62	18	0,00	0,00	9	0,00	1876,10	1	1
		2	8,24	19	0,00	0,00	9	0,00	1297,10	1	1
		3	4,31	18	0,00	0,00	9	0,00	2947,30	1	1
		4	5,62	19	0,00	0,00	9	0,00	15,35	2	2
		5	5,99	19	0,00	0,00	9	0,00	797,55	1	2
<i>Ortalama</i>					0,00	0,00	9	0,00	1386,70	1,2	1,4

enfazla 2 rotaya sahip 1 aracın kullanılması ile bu sapma değerlerinin elde edildiği görülmektedir.  $w_1 \geq 0,5$  ve  $w_2 \leq 0,5$  olduğu son 4 ağırlık kombinasyonundaki 20 test probleminin 18'inde birinci amaç için  $d_1^+ = 0$  olup hedeflenen emisyon değerine ulaşılrken hasta taleplerinin %50'si karşılanmaktadır. Bu durumda ikinci amaç için  $d_2^- = 9$  ile hedeften enyüksek sapma değerine ulaşılmaktadır. 20 test problem için araç ve rota sayıları incelendiğinde 15 test probleminde sadece 1 aracın 1 rota ile hasta taleplerinin %50'sini karşılayarak hedeflenen karbon emisyon değerine ulaşıldığı görülmektedir.  $w_1 = 0$  ve  $w_2 = 1$  ile  $w_1 = 1$  ve  $w_2 = 0$  olduğu kombinasyonlar için yani çok amaçlı ÇTZP-ESHDP'nin tek amaçlı problem dönüştüğü iki durumda da

tüm test problemleri için makul zamanlarda (sırasıyla ortalama 6,26 sn ve 1386,70 sn) eniyi çözüme ulaşılmaktadır. Diğer ağırlık kombinasyonlarındaki 25 test probleminin yarısında eniyi çözüme ulaşılrken diğer yarısında ortalama %OA değerlerinin %3,11-%9,88 arasında olduğu görülmektedir. Bu 25 test problemi için ortalama çözüm zamanı 5861 sn ile 9170 sn arasında olup 10 hastalı problemlere göre çok daha fazladır. Problemin NP-zor yapısından dolayı çözüm zamanlarındaki artış beklenen bir durumdur.

Tablo 5'da hasta sayısı 20 için sonuçlar verilmektedir. Tablo 5 incelendiğinde hasta sayısı 10 ve 15 için elde edilen

**Tablo 5.** n= 20 için Test Problemi Sonuçları (Results of test problems for n=20)

$w_1$	$w_2$	TP	$f_1$	$f_2$	Z	$d_1^+$	$d_2^-$	OA(%)	ÇZ (sn)	AS	RS
		1	5,05	25	0,00	49,0 5	0	0,00	13,30	6	13
		2	5,62	25	0,00	41,1 8	0	0,00	18,91	6	11
0	1	3	7,30	26	0,00	35,1 9	0	0,00	23,02	5	9
		4	5,80	25	0,00	54,2 9	0	0,00	14,50	6	12
		5	7,67	27	0,00	57,0 9	0	0,00	30,66	6	10
<i>Ortalama</i>					0,00	47,3 6	0	0,00	20,08	5,8	11
		1	5,05	25	0,28	8,42	3	21,57	10800,00	3	3
		2	5,62	25	0,24	9,17	2	35,13	10800,00	2	3
0,1	0,9	3	7,30	26	0,14	9,92	0	29,96	10800,00	2	2
		4	5,80	25	0,33	6,36	6	14,78	10800,00	2	2
		5	7,67	27	0,29	11,6 1	4	35,60	10800,00	2	3
<i>Ortalama</i>					0,25	9,09	3	27,41	10800,00	2,2	2,6
		1	5,05	25	0,34	0,00	12	17,90	10800,00	1	1
		2	5,62	25	0,33	0,37	11	45,54	10800,00	2	2
0,3	0,7	3	7,30	26	0,33	0,75	11	36,78	10800,00	1	1
		4	5,80	25	0,34	0,00	12	16,53	10800,00	1	1
		5	7,67	27	0,34	0,00	13	25,20	10800,00	1	2
<i>Ortalama</i>					0,33	0,22	12	28,39	10800,00	1,2	1,4
		1	5,05	25	0,24	0,00	12	16,47	10800,00	1	1
		2	5,62	25	0,24	0,00	12	46,87	10800,00	1	1
0,5	0,5	3	7,30	26	0,22	0,19	11	31,43	10800,00	1	1
		4	5,80	25	0,24	0,00	12	16,49	10800,00	1	1
		5	7,67	27	0,25	0,19	13	26,79	10800,00	2	2
<i>Ortalama</i>					0,24	0,07	12	27,61	10800,00	1,2	1,2
		1	5,05	25	0,14	0,00	12	16,67	10800,00	1	1
		2	5,62	25	0,14	0,00	12	42,21	10800,00	1	1
0,7	0,3	3	7,30	26	0,14	0,00	12	29,35	10800,00	1	1
		4	5,80	25	0,14	0,00	12	16,67	10800,00	1	1
		5	7,67	27	0,25	1,12	13	54,99	10800,00	3	3
<i>Ortalama</i>					0,16	0,22	12	31,98	10800,00	1,4	1,4
		1	5,05	25	0,05	0,00	12	16,67	10800,00	1	1
		2	5,62	25	0,05	0,00	12	50,00	10800,00	1	1
0,9	0,1	3	7,30	26	0,05	0,00	13	38,46	10800,00	1	1
		4	5,80	25	0,05	0,00	12	16,67	10800,00	1	1
		5	7,67	27	0,07	0,19	13	47,16	10800,00	2	2
<i>Ortalama</i>					0,05	0,04	12	33,79	10800,00	1,2	1,2
		1	5,05	25	0,00	0,00	12	0,00	5134,90	1	1
		2	5,62	25	0,00	0,00	12	0,00	459,59	1	1
1	0	3	7,30	26	0,00	0,00	13	0,00	464,58	2	2
		4	5,80	25	0,00	0,00	12	0,00	135,67	1	1
		5	7,67	27	0,00	0,00	13	0,00	459,84	2	2
<i>Ortalama</i>					0,00	0,00	12	0,00	1330,90	1,4	1,4

sonuçlara benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir. Çok amaçlı ÇTZP-ESHDP'nin tek amaçlı problemlere dönüştüğü  $w_1 = 0$  ve  $w_2 = 1$  ile  $w_1 = 1$  ve  $w_2 = 0$  kombinasyonları için eniyi çözümler makul zamanlarda (ortalama 20,08 sn ve 1330,90 sn) elde edilmektedir. Ancak, diğer ağırlık kombinasyonlarındaki 25 test problem için 3 saatlik sürede

eniyi çözümlere ulaşılamamıştır. Bu problemler için ortalama %OA değeri %27,41 ile %33,79 arasında değişmektedir. İlk iki problem büyüklüğünde olduğu gibi  $w_1 = 0$  ve  $w_2 = 1$  kombinasyonunda birinci amaç için hedeften enbüyük sapma (ortalama  $d_1^+ = 47,36$ ) gözlemlenirken ikinci amaç için  $d_2^- = 0$  olup hedefe ulaşılmaktadır. Bu

**Tablo 6.** n=15 için DMR'nin Etkisi (The effect of DMR on n = 15)

$w_1$	$w_2$	TP	$f_1$	$f_2$	Z	$d_1^+$	$d_2^-$	OA(%)	ÇZ (sn)	AS	RS
		50	5,62	19	0,24	0,00	9	0,00	3739,11	1	2
		60	7,49	19	0,18	0,00	7	0,00	301,13	2	2
0,5	0,5	70	10,30	19	0,13	0,00	5	20,02	10800,00	2	2
		80	13,67	19	0,08	0,00	3	0,00	1639,83	2	2
		90	17,97	19	0,03	0,19	1	68,14	10800,00	2	2
		<i>Ortalama</i>	11,01	19	0,13	0,04	5	17,63	5456,01	1,8	2

kombinasyonda tüm hasta taleplerinin karşılanması için günde 5 - 6 araç birden fazla tur yapmakta olup rota sayısı 9 - 13 arasında değişmektedir.  $w_1 \geq 0,3$  ve  $w_2 \leq 0,7$  olduğu kombinasyonlar için de hasta sayısının 10 ve 15 olduğu durumlara benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Bu ağırlıklık kombinasyonlarında 19 test problem için karbon emisyonu ile ilgili hedef değere ulaşılırken ( $d_1^+ = 0$ ), 6 test problemde hedeften sapma değerinin  $0,19 - 1,12$  arasında olup 0'a çok yakın olduğu görülmektedir. 25 test probleminin tümünde hasta taleplerinin ancak %50'si karşılanabilmekte ve ortalama  $d_2^- = 12$  ile ikinci amaç için hedeften enbüyük sapma değerine ulaşılmaktadır. Bu problemler için günde 1 yada 2 araç kullanıldığı ve her araç ile 1 tur yapıldığı görülmektedir.

3 problem büyüklüğü için yapılan değerlendirmelere dayalı olarak: i) karbon emisyon değerinin hedefe yada çok yakın bir değere ulaşması ( $d_1^+ < 2$ ) için  $w_1 \geq 0,3$ , ii) hasta taleplerinin %50'den fazlasının karşılanabilmesi ( $d_2^- < THT * 0,50$ ) için ise  $w_2 \leq 0,9$  olması gerektiği sonucu çıkmaktadır. Dolayısıyla, karar verici problemin çözümünde uzlaşma bir çözüm elde etmek için bu değerlendirmeler ışığında bir ağırlık kombinasyonu belirleyebilir.

#### 4.2.2. Senaryo Analizi II: Hasta Talebi Karşılama Yüzdesinin Etkisi

(Scenario Analysis II: Effect the percentage of satisfying the patient demand)

ESH'de, hasta memnuniyeti önemli bir kriter olduğundan dolayı çalışmanın yapıldığı hastane yönetimi günde en az bir ekibin bu hizmeti vermesini ve gelen talebin enaz %50'sinin karşılanmasını istemektedir. İkinci senaryo analizinde amaç, hasta talebi karşılama yüzdesindeki (DMR) artışın kaynak kullanımı üzerindeki etkisini incelemektir. Bu inceleme, hasta sayısı 15 olduğunda üretilen test problemleri arasından seçilen TP 4 üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hasta talebi karşılama yüzdesinin 5 farklı değeri (DMR = 50, 60, 70, 80 ve 90) için TP4'ün ağırlıklı HP ile  $w_1 = 0,5$  ve  $w_2 = 0,5$  kombinasyonunda çözümleri elde edilmiştir. Tablo 6'de sayısal sonuçlar verilmektedir. Tablo 6'deki 3. sütun DMR değerini göstermek üzere diğer sütunların tanımı Tablo 3 – Tablo 5 ile aynıdır. Tablo 6 incelendiğinde, gelen talebin enaz %50'sinin karşılanması istendiğinde 1 araç 2 tur yaparak hizmet verirken DMR > 50 için hizmet verilecek talep sayısı da arttığından dolayı 2 araç ile hastalara hizmet verildiği görülmektedir.  $w_1 = 0,5$  ve  $w_2 = 0,5$  kombinasyonunda yine ilk dört DMR için karbon emisyonunda hedefe ulaşılırken ( $d_1^+ = 0$ ), son DMR'de ise  $d_1^+ = 0,19$  değeri ile hedefe çok yakın olduğu görülmektedir. Karşılanan talebin hedeften sapma değeri ( $d_2^-$ ) 1 ile 9

arasında olup DMR arttıkça  $d_2^-$ 'nin azaldığı görülmektedir. DMR arttıkça karşılanan enaz talebin değeri de arttığından dolayı  $d_2^-$ 'deki azalma beklenen bir sonuçtur. Çözüm süreleri ile DMR oranları arasında belirgin bir ilişki görülmezken, sadece 2 problem için eniyi çözüme ulaşamadığı dolayısıyla ortalama %OA değerinin 17,60 olduğu görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Sağlık hizmetinin yapısını etkileyen ve değiştiren faktörlerin başında dünyayı tehdit eden salgın hastalıklar, nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler bulunmaktadır. Sağlık hizmetlerinin yapısındaki değişiklikler bu hizmetlerin evde verilebilmesini mümkün kılmakta ve ESH kavramının yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Hizmetin verilmesinde kullanılan kaynaklardan araç sayısı ve bu araçlardaki hastalara hizmet verecek ekip sayısı kısıtlıdır. ESH'nin hastalara ulaştırılması için araçların rotalanmasını amaçlayan ESHRP, sınırlı bu kaynakların iyi yönetilerek verimliliğin artırılmasını sağlayabilir. Bunun yanı sıra hayatımızı etkileyen her alanda çevresel etkilerin azaltılması sağlık sektöründe etkilemekte ve dolayısıyla ESHRP'de karbon salınımının da enküçüklenmesi önem taşımaktadır. Hasta memnuniyetini artırmak ve araçların çevresel etkilerini azaltmak amacıyla bu çalışmada problem; çok amaçlı, çok turlu, zaman pencereli ESHRP (ÇTZP-ESH) olarak tanımlanmış ve problemin çözümü için ağırlıklı hedef programlama (HP) modeli önerilmiştir. Ankara'da hizmet veren bir hastaneden elde edilen veri ve bilgilere dayalı olarak 10, 15 ve 20 hastalı test problemleri rassal üretilmiş ve senaryo analizleri ile elde edilen çözümler karar alma sürecine yön verecek şekilde değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında iki farklı senaryo dikkate alınmıştır. Birinci senaryoda ağırlık HP'de kullanılan ağırlık kombinasyonlarının, ikinci senaryoda ise hizmet verilmesi gereken enaz hasta talebi yüzdesinin çözümler ve performans ölçütleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Birinci senaryo analizi ile karbon emisyonunun hedef değere yakınsaması için  $w_1 \geq 0,3$ , hasta taleplerinin %50'den fazlasının karşılanabilmesi için ise  $w_2 \leq 0,9$  olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. İkinci senaryo analizi ile de beklenildiği gibi hasta talebi karşılama yüzdesindeki artışın kaynak kullanımı da arttırdığı görülmüştür.

Bu çalışmanın devamında çok amaçlı ÇT-ESHYARP'nin çözümü için ağırlık toplam,  $\epsilon$ -kısıt yaklaşımı gibi diğer çok amaçlı çözüm yöntemleri kullanılabilir. Ayrıca, problemin NP-zor yapısından dolayı orta ve büyük boyutlu ( $n > 20$ ) problemlerin çözümü için çözüm kurucu gibi basit

algoritmaların yanısıra tavlama benzetimi, tabu arama, genetik algoritmalar gibi metasezgisel algoritmalara dayalı sezgisel algoritmalar geliştirilebilir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Resmi gazete. Sağlık Bakanlığı ve Bağlı Kuruluşlar Tarafından Evde Sağlık Hizmetlerinin Sunulmasına Dair Yönetmelik. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/02/20150227-14.html>. Yayın tarihi Şubat 27, 2015. Erişim tarihi Nisan 12, 2020.
2. Begur S. V., Miller D. M., Weaver J. R., An Integrated Spatial DSS for Scheduling and Routing Home-Health-Care Nurses, *INFORMS Journal on Applied Analytics*, 27 (4), 35–48, 1997.
3. Cissé M., Yalçındağ S., Kergosien Y., Şahin E., Lenté C., Matta A., OR problems related to Home Health Care: A review of relevant routing and scheduling problems, *Operations Research for Health Care*, 13–14, 1–22, 2017.
4. Fikar C., Hirsch P., Home health care routing and scheduling: A review, *Computers & Operations Research* 77, 86–95, 2017.
5. Paraskevopoulos D.C., Laporte G., Repoussis P.P., Tarantilis C.D., Resource constrained routing and scheduling: Review and research prospects, *Eur. J. Oper. Res.*, 263 (3), 737–754, 2017.
6. Akjiratikarl C., Yenradee P., Drake P.R., PSO-based algorithm for home care worker scheduling in the UK, *Computers & Industrial Engineering* 53 (4), 559–583, 2007.
7. Bertel S., Fahle T., A hybrid setup for a hybrid scenario: combining heuristics for the home health care problem, *Computers & Operations Research* 33 (10), 2866–2890, 2006.
8. Braekers K., Hartl R.F., Parragh S. N., Tricoire F., A bi-objective home care scheduling problem: Analyzing the trade-off between costs and client inconvenience, *Eur. J. Oper. Res.*, 248 (2), 428–443, 2016.
9. Trautsamwieser A., Hirsch P., Optimization of daily scheduling for home health care services, *J. Appl. Oper. Res.*, 3(3), 124–136, 2011.
10. Maya Duque P. A., Castro M., Sörensen K., Goos P., Home care service planning. The case of Landelijke Thuiszorg, *Eur. J. Oper. Res.*, 243 (1), 292–301, 2015.
11. Eveborn P., Flisberg P., Rönnqvist M., Laps Care—an operational system for staff planning of home care, *Eur. J. Oper. Res.*, 171 (3), 962–976, 2006.
12. Bredström D., Rönnqvist M., Combined vehicle routing and scheduling with temporal precedence and synchronization constraints. *Eur. J. Oper. Res.*, 191 (1), 19–31, 2008.
13. Mankowska D.S., Meisel F., Bierwirth C., The home health care routing and scheduling problem with interdependent services, *Health Care Management Science*, 17 (1), 15–30, 2014.
14. Rasmussen M. S., Justesen T., Dohn A., Larsen J., The Home Care Crew Scheduling Problem: Preference-based visit clustering and temporal dependencies, *Eur. J. Oper. Res.*, 219 (3), 598–610, 2012.
15. Wirmitzer J., Heckmann I., Meyer A., Nickel S., Patient-based nurse rostering in home care, *Oper. Res. Health Care*, 8, 91–102, 2016.
16. Liu R., Yuan B., Jiang Z., Mathematical model and exact algorithm for the home care worker scheduling and routing problem with lunch break requirements, *Int. J. Prod. Res.*, 55, 558 - 575, 2017.
17. Hiermann G., Prandtstetter M., Rendl A., Puchinger J., Raidl G. R., Metaheuristics for solving a multimodal home-healthcare scheduling problem, *Central European Journal of Operations Research*, 23 (1), 89–113, 2015.
18. Erdem M., Koç Ç., Analysis of electric vehicles in home health care routing problem. *J. Cleaner Prod.*, 234, 1471–1483, 2019.
19. Nikzad E., Bashiri M., Abbasi B., A matheuristic algorithm for stochastic home health care planning, *Eur. J. Oper. Res.*, 288 (3), 753–774, 2021.
20. Grenouilleau F., Legrain A., Lahrichi N., Rousseau L.M., A set partitioning heuristic for the home health care routing and scheduling problem, *Eur. J. Oper. Res.*, 275 (1), 295–303, 2019.
21. Ren Y., Dessouky M., Ordóñez F., The multi-shift vehicle routing problem with overtime, *Computers & Operations Research*, 37 (11), 1987–1998, 2010.
22. Zhang Z., Liu M., Lim A., A memetic algorithm for the patient transportation problem, *Omega* 54, 60–71, 2015.
23. Anaya-Arenas A.M., Chabot T., Renaud J., Ruiz A., Biomedical sample transportation in the province of Quebec: a case study, *Int. J. Prod. Res.*, 54 (2), 602–615, 2016.
24. Tirkolaee E. B., Mardani A., Dashtian Z., Soltani M., Weber G.W., A novel hybrid method using fuzzy decision making and multi-objective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design, *J. Cleaner Prod.*, 250, 119517 , 2020.
25. Çavdur F., Sebatli A., Küçük M. K., A group-decision making and goal programming-based solution approach for the student project team formation problem, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1), 505–522 , 2019.
26. Ecer B., Kabak M., Dağdeviren M., Goal programming model for bi-objective inverse multiple criteria sorting problem, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(4), 1729–1736, 2020.
27. Kınay Ö. B., Saldanha-da-Gama F., Kara, B. Y., On multi-criteria chance-constrained capacitated single-source discrete facility location problems, *Omega*, 83, 107–122, 2019.
28. Oddoye J. P., Jones D. F., Tamiz M., Schmidt P., Combining simulation and goal programming for healthcare planning in a medical assessment unit, *Eur. J. Oper. Res.*, 193(1), 250–261, 2009.
29. Demir E., Bektaş T., Laporte G., The bi-objective Pollution-Routing Problem, *Eur. J. Oper. Res.*, 232 (3), 464–478, 2014.
30. Kumar R. S., Kondapaneni K., Dixit V., Goswami A., Thakur L.S., Tiwari M.K., Multi-objective modeling of production and pollution routing problem with time

- window: A self-learning particle swarm optimization approach, *Computers & Industrial Engineering*, 99, 29–40, 2016.
31. Fathollahi-Fard A. M., Govindan K., Hajiaghaei-Keshteli M., Ahmadi A., A green home health care supply chain: New modified simulated annealing algorithms, *J. Cleaner Prod.*, 240, 118200, 2019.
  32. Charnes A., Cooper W.W., *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*. *Manage. Sci.*, 4 (1), 38–91, 1957.
  33. Baykasoğlu A., Multi-rule Multi-objective Simulated Annealing Algorithm for Straight and U Type Assembly Line Balancing Problems, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17 (2), 217–232, 2006.
  34. Reichmuth D. S., Lutz A. E., Manley D. K., Keller J. O., Comparison of the technical potential for hydrogen, battery electric, and conventional light-duty vehicles to reduce greenhouse gas emissions and petroleum consumption in the United States, *Int. J. Hydrogen Energy*, 38 (2), 1200–1208, 2013.

