



Mobile healthcare service planning in rural areas: A hybrid record to record travel algorithm

İlhami Akkuş¹, Ece Arzu Yıldız¹, İsmail Karaoğlan^{2*}, Fulya Altıparmak¹

¹Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Gazi University, 06570, Maltepe, Ankara, Türkiye

²Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Konya Technical University, 42250, Selçuklu, Konya, Türkiye

Highlights:

- Mobile Healthcare Service Routing and Scheduling problem is addressed.
- A mixed integer mathematical model and a hybrid metaheuristic based on Greedy Constructive Heuristic and Record-to-Record Travel Algorithm are proposed for the problem.
- A comparative study for the proposed methods conducted on the Ministry of Health's service plan in rural areas within Ankara.

Graphical/Tabular Abstract

The Ministry of Health in Türkiye provides mobile healthcare services to rural areas through 3400 health institutions and 7500 doctors, who serve 9 million people each month, working 8 hours per day. This study focuses on the mobile healthcare service routing and scheduling problem (MHS-RSP) in rural Türkiye. The objective is to optimize doctors' daily routes on a monthly basis, considering constraints such as working hours, route duration, minimum service time per visit, and dedicated doctor assignments to villages. A mixed-integer mathematical model is developed for MHS-RSP, which is a novel problem introduced in this study. To efficiently solve medium and large-sized problems, a hybrid heuristic algorithm named GCH-RRT is proposed. A comparative experimental study is conducted using mobile healthcare service data from Ankara Provincial Health Directorate to assess the performance of the mathematical model and GCH-RRT. Table A presents the comparative analysis of Mathematical Model and GCH-RRT. Performance criteria are the total distance in kilometers (km), the number of routes formed (R), the number of assigned family health centers (FHC), and the number of assigned doctors (D). Improvement percentage of the results found with the mathematical model compared to the real life application is shown with IY_{L-MM}^* and calculated as $IY_{L-MM} = Z_L - Z_{MM} / Z_L \times 100$. The improvement provided by the GCH - RRT compared to the real life application is shown with IY_{L-H} and calculated with $IY_{L-H} = Z_L - Z_H / Z_L \times 100$. The percent improvement was calculated for each performance measure separately. The proposed methods demonstrate significant improvements in the total distance of service delivery routes.

Table A. Comparative results of proposed methods and real life application

	Real Life Application – Mathematical Model				Real Life Application – GCH-RRT			
	IY_{L-MM}^{km}	IY_{L-MM}^R	IY_{L-MM}^{FHC}	IY_{L-MM}^D	IY_{L-H}^{km}	IY_{L-H}^R	IY_{L-H}^{FHC}	IY_{L-H}^D
Average Improvement	15.6	10.7	19.0	6.3	22.3	22.1	28.6	46.9
Percentage for 10 Districts								
Average Improvement	N/A	N/A	N/A	N/A	16.5	15.3	11.3	38.8
Percentage for 18 Districts								

Keywords:

- Healthcare logistics
- Mixed integer linear programming
- Multi-depot VRP
- Periodic VRP
- Metaheuristic algorithm

Article Info:

Research Article

Received: 13.12.2022

Accepted: 19.03.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1218090

Acknowledgement:

We would like to express gratitude to the directors and personnel of the Ankara Health Directorate for their cooperation.

Correspondence:

Author: İsmail Karaoğlan
e-mail:

ikaraoglan@ktun.edu.tr

phone: +90 332 205 1584

Purpose: The aim of the study is to introduce the MHS-RSP and propose a mathematical model and a metaheuristic algorithm for medium- and large-size instances.

Theory and Methods: A mixed integer mathematical model is presented for the problem. Besides mathematical model, a metaheuristic algorithm called GCH-RRT is developed for the larger size instances of the problem. GCH-RRT is a hybrid algorithm which combines Greedy Construction Heuristic and Record-to-Record Travel algorithm to find good quality solutions for the MHS-RSP.

Results: Performances of the mathematical model and metaheuristic algorithm are evaluated on real-life test instances. While the mathematical model finds solutions for 10 districts, the GCH-RRT finds solutions to all instances. Mathematical model's computational results have shown that, the service can be given with 10.7% fewer routes and 15.6% shorter total route length. GCH-RRT decreased the total route length by 22.3% and the number of routes by 22.1% for all districts.

Conclusion: MHS-RSP is defined in this study and a mixed integer mathematical model is proposed for the problem. MHS-RSP can be considered as Multi Depot Time Constrained Periodic Vehicle Routing problem. Since, VRP is in the NP-hard problem class, GSH-RCP is also an NP-Hard problem. Therefore, a hybrid algorithm based on Greedy Constructive Heuristic (GCH) and Record-to-Record Travel (RRT) metaheuristic was developed in order to find solutions to medium- and large-sized problems in a reasonable time. The comparative experimental analysis revealed that the proposed methods can provide better route plans than the Ministry of Health's practical plan. In the future, environmental considerations and work-load balancing considerations can be taken into account. Moreover, exact algorithms can be developed for finding optimal solutions to MHS-RSP.



Kırsal alanlarda gezici sağlık hizmeti planlaması: Karma kayıttan kayıta gezinti algoritması

İlhami Akkuş¹, Ece Arzu Yıldız¹, İsmail Karaoğlan^{2*}, Fulya Altıparmak¹

¹Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570, Maltepe, Ankara, Türkiye

²Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 42250, Selçuklu, Konya, Türkiye

ÖNEÇİKANLAR

- Türkiye’de kırsal bölgelerde Sağlık Bakanlığı tarafından sunulan Gezici Sağlık Hizmeti problemi ele alınmıştır
- Problem için karma tam sayılı bir matematiksel model ve karma bir metasezgisel algoritma önerilmiştir
- Önerilen yöntemlerin performansları, Sağlık Bakanlığı hizmet planı ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 13.12.2022

Kabul: 19.03.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1218090

Anahtar Kelimeler:

Sağlık hizmetleri lojistiği,
karma tamsayılı doğrusal
programlama,
çok depolu ARP,
periyodik ARP,
metasezgisel algoritma

ÖZ

Seyrek nüfuslu yerleşim yerlerinde kapsamlı sağlık tesisleri kurmanın ekonomik olarak sürdürülebilir olmaması ve devletlerin vatandaşlarının sağlık hizmetlerine eşit erişimini sağlamakla yükümlü olması sağlık hizmeti sunumunda farklı arayışlara neden olmuştur. Bu amaçla, Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı 3400 sağlık kuruluşu ve yaklaşık 7500 doktorla her ay yaklaşık 9 milyon kişiye gezici sağlık hizmeti (GSH) sunumu uygulaması ile hizmet vermektedir. Hizmet sunumu planlaması için kırsal yerleşim bölgelerine sağlık merkezi ve doktor atama, rotalama, çizelgeleme ihtiyacı doğmuştur. Bu çalışmada, GSH rotalama ve çizelgeleme problemi (GSH-RÇP) ele alınmıştır. GSH-RÇP’de amaç; çalışma saati, rota süresi, ziyaret başına minimum hizmet süresi, köylere her ay aynı doktorların hizmet sunması gibi kısıtlar altında, toplam alınan mesafeyi enazlayacak şekilde aylık periyotlarda doktorların günlük rotalarını belirlemektir. Problemin çözümü için öncelikle karma tamsayılı matematiksel model geliştirilmiştir. GSH-RÇP, NP-zor problemler sınıfında olan çok depolu zaman kısıtlı periyodik araç rotalama problemine eşdeğerdir. Bu nedenle, orta ve büyük boyutlu problemlere makul sürelerde çözüm bulabilmek amacıyla bir karma sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Ağgözlü çözüm kurucu sezgiseli ve Kayıttan Kayıta Gezinti metasezgiseline dayalı olan algoritma “AGS-KKG” olarak adlandırılmıştır. Matematiksel model ve AGS-KKG algoritmasının performansı Ankara mevcut hizmet planları ile karşılaştırılmalı incelenmiştir. Çalışma sonucunda mevcut planlara göre toplam alınan mesafede matematiksel model ile %15,6, AGS-KKG ile %22,3 iyileşme sağlanmıştır.

Mobile healthcare service planning in rural areas: A hybrid record to record travel algorithm

HIGHLIGHTS

- The problem of Mobile Healthcare Service offered by the Ministry of Health in rural areas in Turkey has been addressed
- A mixed integer mathematical model and a mixed metaheuristic algorithm are proposed for the problem
- The performances of proposed methods were compared to the Ministry of Health service plan

Article Info

Research Article

Received: 13.12.2022

Accepted: 19.03.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1218090

Keywords:

Healthcare logistics,
mixed integer linear
programming,
multi-depot VRP,
periodic VRP,
metaheuristic algorithm

ABSTRACT

Due to the economic infeasibility of establishing comprehensive healthcare facilities in sparsely populated areas and the responsibility of governments to ensure equal healthcare access for citizens, different approaches have been sought in healthcare service delivery. The Republic of Türkiye's Ministry of Health provides mobile healthcare services (MHS) to 9 million people monthly through 3400 healthcare facilities and 7500 doctors. This study focuses on the Mobile Healthcare Service Routing and Scheduling Problem (MHS-RSP). The objective of MHS-RSP is to determine the daily routes of doctors on a monthly basis to minimize total distance traveled, taking into account constraints such as working hours, route time, minimum service time per visit, and dedicated doctor assignments to villages. A mixed-integer mathematical model is developed to address the problem, which is NP-hard and equivalent to the multi-depot time-constrained periodic vehicle routing problem. To solve medium- and large-sized problems efficiently, a hybrid metaheuristic algorithm named "GCH-RRT" is introduced, based on greedy constructive heuristic (GCH) and record-to-record travel (RRT) metaheuristic. The performance of the mathematical model and the GCH-RRT algorithm is compared with existing service plans in Ankara, resulting in a 15.6% improvement with the mathematical model and a 22.3% improvement with the GCH-RRT algorithm in total distance traveled.

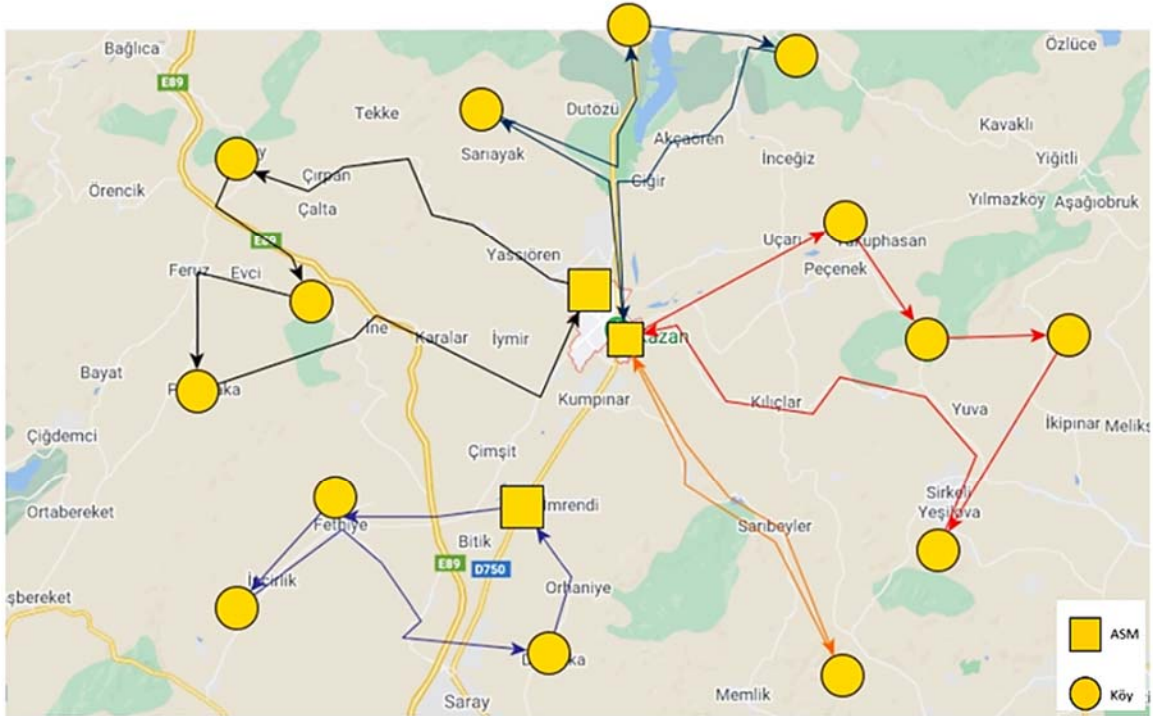
*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : ilhami.akkus@gazi.edu.tr , arzudemircan@gazi.edu.tr , *ikaraoglan@ktun.edu.tr, fulyaal@gazi.edu.tr / Tel: +90 332 205 1584

1. Giriş (Introduction)

Sağlık hizmetlerine erişilebilirliği artırmak ve tüm vatandaşların birinci basamak sağlık hizmetlerinden eşit şekilde yararlanmasını sağlamak amacıyla tüm dünyada gezici sağlık, evde sağlık, yerinde sağlık hizmetleri uygulanmaktadır. Kapsamlı çalışmalar, kırsal bölgelerde yer alan hastanelerin ve diğer hizmet sağlayıcıların karşılaştığı sorunları ortaya çıkarmış ve kırsal nüfusun birinci basamak sağlık hizmetlerine erişimde sıklıkla zorluklar yaşadığını ortaya koymuştur [1]. Sağlık hizmeti sunumunda yapılan sürdürülebilirlik çalışmaları ise sağlık tesislerinde verilen hizmetin yeterli olmadığını ve hizmetin bireylere ulaştırılması gerektiğini göstermiştir [2]. Çalışmalar, yaşlanan nüfusun sağlık hizmeti ihtiyaçlarını sağlık tesislerinde sunulan hizmetle karşılamakta zorlanacaklarını ortaya koymuştur. Ayrıca, kırsal alanda kurulan kapsamlı sağlık tesislerinin ekonomik olarak sürdürülebilir olmadığı ve alternatif hizmet modellerinin geliştirilmesi gerekliliği de ortaya çıkmıştır. Halk Sağlığı hizmetleri açısından kaynak niteliğinde kabul edilen Alma-Ata Bildirgesi'nde [2] herkesin temel sağlık hizmetlerine erişiminin olması, eşitlik, toplum katılımı, sektörler arası olma, teknolojinin uygunluğu ve uygun maliyetler gibi unsurlarla birlikte tanımlanmaktadır. Bu bileşenlerden sağlık hizmetlerine eşit erişimin yerel ekonomi üzerinde olumsuz bir etkisi vardır. Sağlık hizmetlerine erişimin artırılmasının tasarruf sağlamanın aksine maliyetleri artırdığı ve sağlık personeli planlamasını zorlaştırdığı bilinmektedir.

Sağlık hizmetlerine erişilebilirlik ile kırsal toplulukların sürdürülebilirliği arasında güçlü bir ilişki vardır. Kırsal sağlık hizmetlerinin sürdürülmesi ve iyileştirilmesi, kırsal toplulukların ekonomik olarak hayatta kalması ve insanların kırsal alanlarda yaşamaya devam etmesi için esastır. Kırsal sağlık hizmeti, birçok gelişmiş ülkede doktorlar veya doktorlar ve hemşireler tarafından verilmektedir. Bu hizmetin planlanmasında hastanelerden veya tıp merkezlerinden araçlarla kırsal yerleşimlere personel gönderilmekte ve sağlık hizmetine uygun yerlerde hizmet verilmektedir. Dünya'da

kırsal bölgelere sağlık hizmeti sunumu örneklerine bakıldığında Kanada'da gün geçtikçe kırsal nüfusun azaldığı ve gelir düzeylerinin düştüğü görülmüştür [3]. Bu nedenle coğrafi etkenler ile nüfus özellikleri dikkate alınarak kronik hastalığı olan bireylere kamunun da destek olduğu özel sağlık sigortaları aracılığıyla sağlık hizmeti sunulurken, temel sağlık hizmetleri ise aile hekimleri aracılığıyla yapılmaktadır [4]. ABD'de ise gezici sağlık hizmeti (GSH) ayrı ekipler tarafından sunulmaktadır. Temel sağlık hizmetleri kamu ve özel sağlık sigortaları tarafından karşılanmaktadır. Karmaşık hastalıkları olan vatandaşlar ise aile hekimlerince takip edilmekte ihtiyaç halinde özel sağlık sigortalarının finanse ettiği hastanelerde bu kişilere sağlık hizmeti verilmektedir [1]. Çin'de basit hastalıklar köy klinikleri ve kırsal hastaneler aracılığıyla tedavi edilmektedir. Kırsal sağlık hizmet sunumunda farklı bir ekip görevlidir ve görevlendirmeler il sağlık merkezlerinde yapılmaktadır. Kırsal sağlık hizmeti kapsamında tedavi edilemeyen karmaşık vakalarda ise hasta en yakın merkezi hastaneye sevk edilmektedir [5]. İran'da kırsal bölgelerde yeterli sayıda hekim olmaması nedeniyle kırsal sağlık hizmetlerine eşit erişim mümkün değildir. Finansman ve personel desteği ise özel sektör ve sağlık bilimleri eğitimi veren üniversitelerle iş birliği yapılarak gerçekleştirilmektedir [6]. Almanya'da kırsal sağlık hizmeti diğer ülkelerden farklı olarak sağlık çalışanının rotalanması şeklinde değil, her yerleşim yerinde pratisyen hekim görevlendirilerek yapılmaktadır. Pratisyen hekim veya aile hekimleri tarafından yönetilen sağlık hizmetleri vakasının karmaşık olması halinde merkezi hastanelere sevk edilmektedir [7]. Türkiye'de ise kırsal nüfusa sağlık hizmeti aile sağlığı merkezinde (ASM) görevli doktorlar ile sunulmaktadır. Yaklaşık 3400 ASM'de görevli 25000 doktorun yaklaşık %30'u 50000 köyde 9 milyonu aşkın kişiye GSH vermektedir. Süreç, İl Sağlık Müdürlükleri tarafından köylere doktor görevlendirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Doktorların hizmet sunum planları yılda en az iki kez güncellenmektedir. Köylerin ziyaret sıklıkları ve köylerde hizmete başlama saatleri ise aylık olarak belirlenmektedir. Şekil 1'de, Ankara'nın Kahramankazan ilçesi için örnek bir GSH rotası görülmektedir.



Şekil 1. Ankara-Kahramankazan ilçesi için GSH rotası örneği (A route plan example for MHS in Ankara-Kahramankazan district)

Bu çalışmada, Türkiye Cumhuriyeti (T.C.) Sağlık Bakanlığı tarafından kırsal alanlarda verilen GSH için rotalama ve çizelgeleme problemi ele alınmıştır. GSH Rotalama ve Çizelgeleme Problemi (GSH-RÇP) olarak adlandırılan problemde amaç, çalışma saati, rota süresi, ziyaret başına minimum hizmet süresi, köylere her ay aynı doktorların hizmet sunması gibi kısıtlar altında farklı ASM'de hizmet veren doktorların aylık periyotlar için günlük rotalarını toplam katedilen mesafeyi enazlayacak şekilde belirlemektir. Birden fazla ASM, zaman kısıtı ve bir aylık sürenin söz konusu olduğu GSH-RÇP, çok depolu zaman kısıtlı periyodik araç rotalama problemine (ÇD-ZK-PARP) eşdeğerdir. ÇD-ZK-ARP, periyot ve depo sayısı 1 alındığında ve zaman kısıtı kaldırıldığında araç rotalama problemine (ARP) indirgenmektedir. ARP, NP-zor problem olduğu için bu problemin çok daha genel hali olan ÇD-ZK-ARP ve dolayısıyla GSH-RÇP'de NP-zor problemidir. Problemin çözümü için öncelikle karma tamsayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel model ile sadece küçük boyutlu problemlere çözüm elde edilebildiği için orta ve büyük boyutlu problemlere makul sürelerde çözüm bulabilmek amacıyla bir karma sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Açgözlü çözüm kurucu sezgiseli ve Kayıttan Kayıta Gezinti metasezgiseline dayalı olan karma sezgisel algoritma "AGS-KKG" olarak adlandırılmıştır. Matematiksel model ve AGS-KKG algoritmasının performansı Ankara'daki 18 ilçenin verilerine dayalı olarak mevcut planlar ile karşılaştırmalı incelenmiştir. Matematiksel model, problemin zorluğundan dolayı 2 saatlik çalışma süresi içerisinde sadece 10 ilçe için çözüm bulabilmiştir. Bu 10 ilçe için mevcut planlara göre kullanılan rota sayısının %10,7 ve toplam katedilen mesafenin %15,6 azaldığı görülmüştür. Ayrıca, sırasıyla ASM ve doktor sayısında da %19 ve %6,3 azalma sağlanmıştır. Geliştirilen AGS-KKG ile 18 ilçenin tamamı için ortalama 6 saniye gibi çok kısa sürelerde çözümler elde edilmiştir. Mevcut planlara göre toplam katedilen mesafede %22,3, rota sayısında %22,1, GSH sunumu için atanan ASM sayısında %28,6 ve doktor sayısında ise %46,9 iyileşme sağlamıştır.

Çalışmanın içeriği şu şekildedir: İkinci bölümünde literatür taraması verilmiştir. Problem tanımı ve önerilen matematiksel model üçüncü bölümde, geliştirilen karma sezgisel algoritma (AGS-KKG) ise dördüncü bölümde sunulmuştur. Deneysel çalışmalar beşinci bölümde verilmiştir. Son olarak, sonuç ve gelecekteki çalışmalara yönelik öneriler altıncı bölümde yer almıştır.

2. Literatür Araştırması (Literature Review)

GSH-RÇP, temelde çok depolu zaman kısıtlı periyodik araç rotalama problemine (ÇD-ZK-PARP) eşdeğerdir. ÇD-ZK-PARP, literatürde ilk kez bu çalışma kapsamında ele alınmıştır. Dolayısıyla bu bölümde, problemin alt problemleri olan çok depolu ARP (ÇD-ARP) ve periyodik ARP (PARP) ile ilgili literatür taramasına yer verilmiştir. Bu problem sınıflarının yanı sıra her iki problemi de bünyesinde barındırabilen sağlık hizmeti rotalama problemlerinden biri olan evde sağlık hizmeti rotalama problemine de yine bu kısımda değinilmiştir. ÇD-ARP ve PARP'nin temeli olan ARP, Dantzig ve Ramser [8] tarafından 1959 yılında literatüre sunulmuştur. ARP, toplam katedilen mesafeyi enazlamak için müşterilere hizmet veren araç rotalarının bulunması ile ilgilidir. Gerçek hayatta karşılaşılan kapasiteli araçlar [9], heterojen araç filosu [10, 11], zaman penceresi [9], periyodik talepler [12, 13], çok depo [13-15] vb. özellikler problem kapsamında dikkate alınarak günümüze kadar ARP'nin çok sayıda varyantı üzerinde çalışılmıştır. ARP için literatür araştırması ve problemlerin sınıflandırılması Golden vd. [16] ve Zhang vd. [17] tarafından yapılmıştır.

Küreselleşme ve artan nüfusun etkisiyle birlikte ürün ve hizmet taleplerindeki artış lojistik operasyonlara duyulan ihtiyacı arttırmıştır. Bu durumun bir sonucu olarak daha karmaşık geniş kapsamlı lojistik ağ tasarımları ortaya çıkmış ve lojistik ağlar birden fazla depo

içermeye başlamıştır. Birden fazla depodan hizmetin verildiği lojistik ağlarda ortaya çıkan bir problem olan ÇD-ARP'de, her depodan bir araç filosu ile müşterilerin bir grubuna hizmet verilir. NP-zor problemler sınıfında yer alan ÇD-ARP'nin çözümü için literatürde daha çok sezgisel algoritmaların geliştirildiği görülmektedir. Montoya-Torres vd. [13], ÇD-ARP için bir literatür araştırması yaparak bu alanda yapılan çalışmalarını incelemişlerdir. Mancini [10], heterojen araçlı ÇD-ARP için karma tamsayılı matematiksel model geliştirmiş ve orta ve büyük boyutlu problemlere çözüm elde edilebilir için uyarlanabilir geniş komşuluk arama (UGKA) algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma önermiştir. Bae ve Moon [18], zaman pencereli ÇD-ARP için matematiksel model ve genetik algoritmaya dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Wang vd. [19], çok amaçlı zaman pencereli ÇD-ARP için iki aşamalı evrimsel algoritma tabanlı bir sezgisel algoritma önermişlerdir. Sezgisel algoritma, ilk aşamada uç çözümler bulmaya odaklanıp kabaca bir Pareto yüzey oluştururken ikinci aşamada bulunan çözümler genişletilmektedir. Araştırmacılar, algoritmanın performansını gerçek hayat verileri üzerinde incelemişlerdir. Li vd. [20], kapıdan kapiya tarım makineleri bakım problemi üzerinde çalışmış ve bu rotalama problemini zaman pencereli ÇD-ARP olarak ele almıştır. Problem için bir matematiksel model ve atış böceği algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma ve iki yeni komşuluk mekanizması geliştirmişlerdir. Karbon emisyonlarını dikkate alan bir diğer çalışma ise Wang vd. [21] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, ayrıca kaynak paylaşımı, zamana bağlı hız ve parçalı ceza fonksiyonu da dikkate alınmıştır. Problemin çözümü için Clarke-Wright tasarruf algoritması, süpürme algoritması ve kuş sürüsü eniyilemesi algoritmalarına dayalı bir karma sezgisel geliştirmişlerdir. Stodola [22], ÇD-ARP için karınca kolonisi eniyilemesi algoritmasına dayalı karma sezgisel algoritma önermiştir. Wang vd. [23], çok amaçlı, çok periyotlu ve kaynak paylaşımı ÇD-ARP üzerinde bir çalışma yapmıştır. Problemin çözümü için matematiksel model ve genetik algoritmalara dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Çözüm yaklaşımlarının performans analizinde Çin, Chongqing'deki bir lojistik firması verilerini kullanmışlardır. Sadati vd. [24], ÇD-ARP için esnek ve etkili değişken komşu arama tabanlı bir karma sezgisel algoritma önermişler ve algoritmanın performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Ayrıca, sezgisel algoritmanın açık-ARP ve zaman pencereli ARP için de kullanılabilirliği üzerinde bir çalışma yapmışlardır.

Lojistik faaliyetlerde belirli zaman aralıklarında belirli görevlerin yapılması gerekliliğinin yanı sıra uzun vadeli faaliyetler için de periyodik planlamaya ihtiyaç duyulmuştur. Michallet vd. [12], zaman kısıtlı PARP için karma tamsayılı programlama modeli ve çok başlangıçlı iteratif yerel arama algoritması (ÇB-IYA) önermişlerdir. Trautsamwieser ve Hirsch [25], sağlık personeli rotalama ve çizelgeleme problemini zaman pencereli PARP olarak ele almışlar ve problemin çözümü için kesin çözüm algoritması olan dal-fiyat-kesme algoritması geliştirmişlerdir. Rodriguez-Martin vd. [26], birkaç günlük planlama ufku ve sürücü tutarlılığı (her müşteriye özel bir sürücü ataması) dikkate alan ARP için tamsayılı doğrusal programlama modeli ve dal-kesme algoritması önermişlerdir. Chen vd. [27], PARP için kuş sürüsü eniyilemesi algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmişler ve algoritmanın performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Wang vd. [28], çok amaçlı, zaman pencereli ve hizmet seçimli PARP için karınca kolonisi eniyilemesine ve tavlama benzetimine dayalı bir karma sezgisel algoritma geliştirmiş ve deneysel çalışmalarla algoritmanın performansını analiz etmişlerdir. Öztöp vd. [29] dönemsel değişen talebe sahip heterojen PARP üzerinde çalışmışlardır. Problemin bir diğer özelliği ise müşterilerin varış saatlerinin zaman aralığında düzensiz olması ve güvenlik nedeniyle araçların beklemesine izin verilmemesidir. Problemin çözümü için karma tamsayılı doğrusal programlama ve kısıt programlama yöntemi kullanılmıştır.

Evde sağlık hizmeti rotalama problemi (ESHP), GSH kapsamı içerisinde ele alınan bir problem olup bu problem için kapsamlı literatür taramaları Zhang vd. [17], Cissé [30], ve Fikar ve Hirsch [31] tarafından yapılmıştır. Bu aşamada GSH-RÇP ile benzer özelliklere sahip olan çalışmalardan bahsetmek yerinde olacaktır. An vd. [32], evde sağlık hizmetlerinde hemşirelerin GSH verebilmesi problemini periyodik ARP (PARP) olarak tanımlamışlar ve problemin çözümü için iki aşamalı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Dengiz vd. [33] çalışmalarında, gün içerisinde araçların birden fazla kullanılabilirdiği, hastalara verilecek hizmetler arasındaki ilişkilerin ve hizmet çeşitlerinin dikkate alındığı çok turlu çok amaçlı ESHP'yi ele almışlardır. Probleme çözüm üretmek için ağırlıklı hedef programlama yaklaşımı kullanmışlardır. Geliştirilen modelin gerçek hayat problemleri üzerinde analizleri yapılmıştır. Koç ve Erdem [34]'in çalışması bu alandaki önemli çalışmalardan biridir. Çalışmada evde sağlık hizmeti sunumu sisteminde yeşil araç kullanımının getireceği fayda araştırılmıştır. Problem, zaman pencereli ÇD-ARP olarak tanımlanmıştır. Bu çalışma, sürdürülebilirliği dikkate alması nedeniyle aynı alandaki benzer çalışmalardan ayrılmaktadır. Problemin çözümü için karışık tamsayılı matematiksel model ve genetik algoritma ile değişken komşu iniş algoritmalarına dayalı bir karma sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Erdem vd. [35]'nin çalışmalarında ise [34]'den farklı olarak hızlı şarj teknolojisi dikkate alınmış ve probleme özgü uyarlamalı geniş komşu arama algoritması önerilmiştir. Literatürdeki problemler üzerinde oldukça kapsamlı karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Clapper vd. [36]'nın çalışması ise yakın zamanda yapılmış literatürde öne çıkan çalışmalardan biridir. Çalışmada ESHP'nin çözümü için bir model-tabanlı evrimsel algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın performansını gerçek hayat problemlerinin yanı sıra bu problemler temel alınarak türetilmiş çok sayıda test problemi üzerinde incelenmiştir. Belhor vd. [37], iki amacı dikkate alan çalışmalarında ise ESHP çözümü için literatürde sıklıkla kullanılan iki evrimsel algoritmadan (NSGA-II ve SPEA-2) faydalanmıştır. Probleme hastaya verilecek hizmetin gecikmesi ve toplam hizmet süresinin enküçülenmesi istenmektedir. Algoritmanın performansı literatürdeki test problemleri üzerinde test edilmiştir.

Literatür incelemesinde, ÇD-ZK-PARP'ın özel durumları olan ÇD-ARP ve PARP üzerinde sıklıkla çalışıldığı ve problemlerin çözümü için öncelikle matematiksel modelin geliştirildiği görülmüştür. Ancak, problemlerin NP-zor yapısından dolayı matematiksel model ile sadece küçük boyutlu problemlere çözüm üretilebilmiştir. Araştırmacılar, orta ve büyük boyutlu problemlere makul sürelerde uygun bir çözüm bulabilmek için metasezgisel algoritmalara dayalı yeni sezgisel algoritmalar geliştirmişlerdir. Bu nedenle bu çalışmada da GSH-RÇP için öncelikle bir matematiksel model geliştirilmiştir. Ayrıca, orta ve büyük boyutlu problemlere çözüm elde etmek amacıyla açgözlü çözüm kurucu sezgisel (AGS) ve kayıttan kayıta gezinti (KKG) metasezgiseline dayalı bir karma sezgisel algoritma geliştirilmiş ve AGS-KKG olarak adlandırılmıştır. Bu kapsamda yapılan ön çalışmalar uluslararası ve ulusal konferanslarda da [38, 39] sunulmuştur. Akkuş vd. [38]'de geliştirilen matematiksel model Ankara'da GSH verilen sadece 10 ilçe için uygulanmış ve ilk sonuçlar uluslararası bir konferansta tartışılmış ve bu sonuçları içeren makale bildiri kitabında basılmıştır. Akkuş vd. [39]'da ise AGS-KKG'nin basit versiyonu üzerinde yapılan deneysel çalışmanın sonuçları bir ulusal konferansta sunulmuş ve çalışmanın özeti bildiri özetleri kitabında basılmıştır. Bu çalışmada ise AGS-KKG üzerinde iyileştirmeler yapılmış ve hem matematiksel modelin hem de sezgisel algoritmanın performansı Ankara'da GSH verilen 18 ilçe üzerinde uygulama sonuçları ile karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve detaylı analizler yapılmıştır.

3. Problemin Tanımı ve Matematiksel Model (Definition of the Problem and Mathematical Model)

Bu bölümde, ele alınan GSH-RÇP'nin tanımı yapıldıktan sonra problemin çözümü için geliştirilen matematiksel model verilecektir.

3.1. GSH-RÇP Tanımı (Definition of the GSH-RÇP)

Bu çalışmada, T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından kırsal alanlarda verilen GSH için rotalama ve çizelgeleme problemi (GSH-RÇP) ele alınmıştır. Türkiye'de 973 ilçe, 18293 köy ve 32207 mahalle bulunmaktadır. T.C. Sağlık Bakanlığı, yaklaşık 3400 aile sağlığı merkezinde (ASM) bulunan 25000 doktordan 7500 doktor ile 50000 köyde 9 milyonu aşkın kişiye (Türkiye nüfusunun %9'una) GSH vermektedir. 81 il Sağlık Müdürlüğü sadece kendilerine bağlı ilçelerde GSH planlaması yapmakta ve doktorlar ya kendi araçları ile ya da il veya ilçe Sağlık Müdürlüklerince tahsis edilen araçlarla atandıkları köylere giderek hizmet vermektedir. GSH, sadece koruyucu sağlık hizmetleri ve birinci basamak sağlık hizmetlerinin tümünü içermektedir. Acil sağlık hizmetleri, ikinci ve üçüncü basamak tedavi hizmetleri GSH kapsamında değildir ve ihtiyaç duyulması durumunda bu hastalar hastanelere sevk edilebilmektedir.

İl Sağlık Müdürlükleri, ilgili ASM'lerden GSH sunulması için aylık çizelgeler oluşturmaktadır. Toplam katedilen mesafeyi enazlayacak şekilde oluşturulan bu aylık çizelgeler ile her gün ilgili ASM'den hangi doktorun hangi köylere, hangi sırada ve hangi saatte hizmet vereceği belirlenmektedir. Her köy için aylık hizmet süresi ve ziyaret sayısı bilinmektedir. Etkin bir sağlık hizmeti sunumu için bir köydeki hastaların aynı doktor tarafından izlenmesi istenmektedir. Bu nedenle her köye her ziyarette aynı doktor hizmet vermektedir. Benzer şekilde, köy halkının hizmet sunum günlerini benimsemesi için hizmet verilecek haftaların aynı günlerinde ve aynı saat aralığında aynı doktorun köyü ziyaret etmesi istenmektedir. Örneğin, ayda iki kere 60 dk hizmet verilecek bir köye ilk ziyaret dördüncü haftanın Çarşamba günü yapıldıysa ikinci ziyaret dördüncü haftanın yine Çarşamba günü yapılmalıdır. Sağlık hizmetinden enbüyük faydanın elde edilmesi için hizmetin verileceği günler ve saatleri halka duyurulmaktadır. Her gün her ASM'den bir ya da birkaç doktor kendilerine verilen plan dahilinde köylere hizmet vermektedir. Bu planda ilgili doktora atanan köylerin ziyaret sırası ve saati vardır. Bir ASM'de sadece bir doktor varsa, bu doktor haftada en fazla bir kez GSH vermektedir. Bir ASM'de birden fazla doktor varsa, bu durumda ASM'de hizmetin aksamaması için en az bir doktor merkezde kalırken diğer doktorlar GSH vermektedir. Doktorlar günde 8 saat çalışmakta olup gün sonunda ASM'ye geri dönmektedir. Tüm köylere T.C. Sağlık Bakanlığı Yönetmeliklerinde [40, 41] tanımlandığı şekilde nüfusa dayalı olarak belirlenen asgari sürelerde, sıklıkta ve periyotlarda, atanan doktor tarafından hizmet sunulması gerekmektedir. Aylık planlar, ilgili ay için çalışma günü sayısı dikkate alınarak yapılmaktadır.

İl Sağlık Müdürlüklerinde yetkili kişilerin tecrübesine dayalı olarak oluşturulan bu aylık plan ve çizelgeler, bu çalışma kapsamında GSH rotalama ve çizelgeleme problemi (GSH-RÇP) olarak adlandırılmıştır. Birden fazla ASM, zaman kısıtı ve bir aylık bir süreyi içeren GSH-RÇP, çok depolu, zaman kısıtlı, periyodik araç rotalama problemine (ÇD-ZK-PARP) eşdeğerdir. Literatürde ilk kez bu çalışmada ele alınan ÇD-ZK-PARP, periyot ve depo sayısı 1 olduğunda ve zaman kısıtı kaldırıldığında Araç Rotalama Problemine (ARP) indirgenmektedir. ARP, NP-zor problem sınıfındadır. ARP'nin genel hali olan ÇD-ZP-PARP ve dolayısıyla GSH-RÇP'de NP-zor problem sınıfında yer almaktadır. GSH-RÇP'nin çözümü için öncelikle bir karma tamsayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Bir sonraki bölümde bu matematiksel model verilecektir.

3.2. GSH-RÇP için Matematiksel Model (Mathematical Model for GSH-RÇP)

GSH-RÇP için geliştirilen karma tamsayılı matematiksel modelde kullanılan varsayımlar ve kısıtlar aşağıda verilmektedir.

Varsayımlar:

- Ziyaret süreleri ve sıklıklar hizmet verilecek köyün nüfusuna bağlıdır.
- Mesai süresi günlük 8 saattir (480 dk).
- Ayda 20 gün bulunduğu kabul edilmiştir. Yani, periyot genişliği 20 gündür oluşmaktadır.
- Her ziyaret sıklığı grubu için alternatif ziyaret kuralları vardır.

Kısıtlar:

- Her köy her ay belirlenen sıklıkta ziyaret edilmelidir.
- Köylere planlama periyodu boyunca her ziyarette aynı doktor gitmelidir.
- Bir köye doktorun her ziyareti haftanın aynı gün/günlerinde ve saatlerinde olmalıdır.
- Doktorlar ASM'den araçla rotaya başlamalı ve gün sonunda aynı ASM'ye dönmelidir.
- Birden fazla doktorun bulunduğu ASM'lerde, enaz bir doktor ASM'de kalmalıdır.
- Tek doktorlu ASM'lerde doktor, haftanın en fazla bir günü GSH vermelidir.

Michallet ve ark.'nın [12] modeline dayalı olarak geliştirilen matematiksel modelde kullanılan kümeler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda açıklanmıştır.

Kümeler:

- V : Dğümler
- V_j : Köyler
- V_H : Aile Sağlık Merkezleri (ASM)
- P : Periyotlar (Günler)
- M : Doktorlar

Parametreler:

- c_{ij} : i ve j düğümleri arasındaki mesafe (km)
- d_{ij} : i ve j düğümleri arasındaki seyahat süresi (dk)
- s_i : i düğümünün bir ziyaretteki hizmet alım süresi
- f_i : Bir planlama dönemindeki i düğümünün ziyaret sayısı
- r_i : i düğümünün ardışık ziyaretleri arasındaki periyot sayısı
- $(r_i = \lfloor \frac{|P|}{f_i} \rfloor)$
- m_h : h Aile Sağlık Merkezinde çalışan hekim sayısı
- M : Pozitif büyük bir sayı

Karar Değişkenleri:

- $x_{ij}^{mp} = \begin{cases} 1, & \text{eğer hekim } m \text{ } p \text{ periyodunda } i \text{ düğümünden} \\ & j \text{ düğümüne giderse} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$
- $z_{ih} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ köyü } h \text{ Aile Sağlık Merkezine atanmışsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$
- $w_{im} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ köyü } m \text{ hekimine atanmışsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$
- $t_{jp} = \text{periyot } p \text{ 'de } j \text{ köyüne varış zamanı (dk)}$

GSH-RÇP için karma tamsayı matematiksel model:

$$\text{Min } \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ij}^{mp} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i \in V} \sum_{m \in M} \sum_{p \in P} x_{ij}^{mp} = f_j \quad \forall j \in V_j \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{m \in M} x_{ij}^{mp} \leq 1 \quad \forall j \in V_j, \forall p \in P \quad (3)$$

$$\sum_{j \in V} x_{hj}^{mp} \leq 1 \quad \forall h \in V_H, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ij}^{mp} \leq w_{jm} \quad \forall j \in V_j, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (5)$$

$$\sum_{h \in H} z_{jh} = 1 \quad \forall j \in V_j \quad (6)$$

$$\sum_{m \in M} w_{jm} = 1 \quad \forall j \in V_j \quad (7)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ij}^{mp} = \sum_{i \in V} x_{ji}^{mp} \quad \forall j \in V_j, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (8)$$

$$\sum_{m \in M} x_{hi}^{mp} \leq z_{ih} \quad \forall i \in V_j, \forall h \in V_H, \forall p \in P \quad (9)$$

$$\sum_{m \in M} x_{ih}^{mp} \leq z_{ih} \quad \forall i \in V_j, \forall h \in V_H, \forall p \in P \quad (10)$$

$$\sum_{m \in M} x_{ih}^{mp} + z_{ih} + \sum_{h' \in M, h \neq h'} z_{jh'} \leq 2 \quad \forall i, j \in V_j, \forall h \in V_H, \forall p \in P \quad (11)$$

$$t_{jp} \geq t_{ip} + s_i + d_{ij} - M * (1 - x_{ij}^{mp}) \quad \forall i, j \in V_j, i \neq j, \forall p \in P, \forall m \in M \quad (12)$$

$$t_{jp} \geq d_{hj} - M * (2 - z_{jh} - x_{hj}^{mp}) \quad \forall h \in V_H, \forall j \in V_j, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (13)$$

$$t_{jp} \leq M * (\sum_{i \in V} \sum_{m \in M} x_{ij}^{mp}) \quad \forall j \in V_j, \forall p \in P \quad (14)$$

$$t_{jp} \leq 480 - s_j - d_{jh} + M * (2 - z_{jh} + x_{jh}^{mp}) \quad \forall h \in V_H, \forall j \in V_j, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (15)$$

$$t_{jp} = t_{j(p+r_j)} \quad \forall j \in V_j, \forall p \in P \quad (16)$$

$$\sum_{i \in V_j} \sum_{m \in M} x_{hi}^{mp} \leq m_h - 1 \quad m_h > 1 \text{ için} \quad (17)$$

$$\sum_{i \in V_j} \sum_{p \in P} x_{hi}^{1p} \leq \lfloor \frac{|P|}{5} \rfloor \quad m_h = 1 \text{ için} \quad (18)$$

$$x_{ij}^{mp} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V, \forall j \in V, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (19)$$

$$z_i^{mp} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (20)$$

$$t_{jp} \in R^+ \quad \forall j \in V, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (21)$$

Matematiksel modelde amaç fonksiyonu Eş. 1, toplam mesafeyi enküçükmektedir. Eş. 2 ile her köyün bir ayda tanımlanan ziyaret sayısı kadar ziyaret edilmesi gerektiği ifade edilir. Eş. 3 her köye her periyotta en fazla bir defa gidilebileceğini belirtmektedir. İl Sağlık Müdürlüğünce belirtilen ASM'lerdeki her doktorun bir periyotta en fazla bir tura çıkabildiği Eş. 4 ile verilmiştir. Eş. 5 her köye sadece kendisine atanan hekimin gitmesini, Eş. 6 her köyün mutlaka bir ASM'ye atanmasını, Eş. 7 her köyün mutlaka bir doktora atanmasını garanti etmektedir. Eş. 8 akış denge kısıtıdır ve her düğüm için giriş ve çıkış sayısını eşitler. Eş. 9-Eş. 11 uygun olmayan rotaları engellemektedir. Düğümlere varış zamanı ve alt tur eleme kısıtları Eş. 12-Eş. 15 ile sağlanmaktadır. Eş. 16 ile herhangi bir köye her ziyaretin, sıklığa dayalı olarak ay içerisinde haftanın aynı günü olması sağlanmaktadır. ASM'lerin sağlık hizmetine ara vermemesi, yani kapalı olmaması gerekmektedir. Bu amaçla, Eş. 17 birden fazla doktor çalışan ASM'lerde her periyotta en az 1 doktorun ASM'de kalmasını ifade eder. Eş. 18'de, yalnızca bir doktorun bulunduğu ASM'lerde doktorun haftada en fazla 1 defa GSH sunabileceği ifade edilmiştir. Son olarak, Eş. 19-Eş. 21 işaret kısıtlarını ifade etmektedir.

4. GSH-RÇP için Karma Kayıttan Kayıta Gezinti Algoritması (A Hybrid Record to Record Travel Algorithm for MHS-RSP)

GSH-RÇP, NP-zor problemler sınıfında yer almaktadır. Dolayısıyla, dal-sınır, dal-kesme ve dal-kesme-fiyat gibi kesin çözüm yöntemleri ile bu probleme eniyi çözümü bulma süresi problem boyutuna bağlı olarak üstel artış göstermektedir. Bölüm 2’de verilen literatür araştırmasından GSH-ÇRP’nin alt problemleri olan ve NP-zor problemler sınıfında yer alan ÇD-ARP ve PARP için tavlama benzetimi, genetik algoritmalar, karınca kolonisi eniyilemesi, değişken komşu iniş algoritması gibi farklı metasezgisel algoritmalara dayalı sezgisel algoritmaların geliştirildiği görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada da orta ve büyük boyutlu GSH-RÇP’nin çözümünü için Aç Göznlü Çözüm Kurucu Sezgisel ile Kayıttan Kayıda Gezinti metasezgiseline dayalı bir karma sezgisel algoritma geliştirilmiştir. AGS-KKG olarak adlandırılan bu algoritmada, aç göznlü çözüm kurucu sezgisel (AGS) ile probleme başlangıç çözümü elde edilirken, kayıttan kayıda gezinti (KKG) algoritması ile başlangıç çözümü iyileştirilmektedir.

Basit sezgisel algoritmalar sınıfında yer alan AGS ile bir probleme çözüm, ardışık işlemler ile kurulur. Dolayısıyla, AGS’de başlangıçta bir çözüm parçası seçilir ve tam bir çözüm elde edilinceye kadar ardışık olarak çözüme enbüyük katkısı olan çözüm parçası kısmi çözüme eklenir [42]. Tek çözüme dayalı metasezgisel algoritmalar sınıfında yer alan KKG, Dueck [14] tarafından geliştirilmiştir. Tavlama benzetimi algoritmasının deterministik versiyonu olan KKG de yerel eniyi çözümlere takılmayı önlemek için arama sırasında kötü çözümleri kontrollü olarak kabul eder. KKG, bir başlangıç çözümü ile başlar ve bu çözümü mevcut çözüm (s) olarak alır. Her iterasyonda mevcut çözümün (s) komşuluğunda bulunan komşu çözümü (s’), KAYIT değerinden en fazla D kadar kötü ise mevcut çözüm (s) olarak kabul eder. KAYIT, arama sırasında bulunan eniyi çözümün amaç fonksiyonu değeridir. Bulunan eniyi çözüm güncellendiğinde KAYIT da güncellenir. Bu nedenle KKG, dinamik kabul sınırına sahiptir. KKG’nin parametresi D ise bulunan eniyi çözümden izin verilen enbüyük sapma değerini gösterir. Büyük D değerleri aramada çeşitlendirmeyi artırırken, küçük D değerleri ise iyi çözümler etrafında yoğunlaşmayı sağlar. Literatürde KKG algoritması ARP’nin farklı türlerine uygulanmış ve iyi bir performans göstermiş olduğu görülmüştür[43-45]. Bu nedenle bu çalışmada da, AGS ve KKG algoritmalarına dayalı bir karma sezgisel algoritma geliştirilmiştir.

Bu bölümde, AGS-KKG’de kullanılan çözüm gösterimi, probleme özgü geliştirilen AGS, komşuluk yapıları detaylı olarak incelendikten sonra AGS-KKG algoritmasının adımları verilecektir.

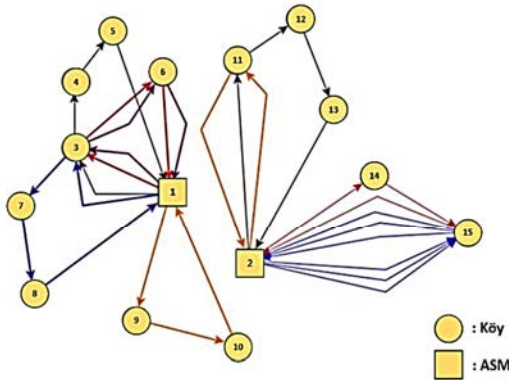
4.1. Çözüm Gösterimi (Solution Representation)

GSH-RÇP’de amaç, aylık katedilen toplam mesafenin enküçüklenmesi için ASM’lerde hizmet veren doktorların mesai, rota süresi, her ziyaretteki asgari hizmet süresi, köylere her zaman aynı doktorun atanması, vb. kısıtlar altında doktorlar için her gün kullanacakları rotaları ve çizelgeleri elde etmektir. Problemden planlama dönemi 1 ay olarak alınmıştır. 1 ay 20 iş günü (algoritma farklı değerler için de çalışabilecek esnekliktedir), her gün 1 periyot olarak kabul edilmiştir. Çözüm gösterimi için kullanılan diğer tanımlar aşağıda verilmektedir:

Hgün : Haftanın bir günü
Hafta(dönem) : Ayın bir haftası
Periyot : Ayın bir günü {1, 2, ..., 20},
 ((dönem – 1) × 5 + *Hgün*)

Bir rota bir dizi ile gösterilmiştir: [*Periyot*, *Hafta*, *Hgün*, *D*, *ASM*, *Köylü*, ..., *Köylü*, *ASM*]

Dizi elemanları sırasıyla periyot, hafta (dönem), haftanın günü (Hgün), Doktor (D), başlangıç ASM’si, ziyaret sırasına göre hizmet verilecek köyler ve başlangıç ASM’sidir. Çözüm gösteriminin somutlaştırılması amacıyla 2 ASM ve 13 köyden oluşan 15 düğümlük bir örnek problem oluşturulmuştur. Problemden her ASM’de birer doktor çalışmaktadır. Köylere yapılması gereken ziyaret sıklık sayıları ise şu şekildedir: 3 ve 15 nolu köyler için 4, 6 ve 11 nolu köyler için 2, diğer köyler için ise bu sayı 1’dir. Şekil 2’de problem için oluşturulan bir çözüme ait şebeke gösterimi (a) ve dizi gösterimi (b) verilmiştir. Köy ve ASM atamaları incelendiğinde Şekil 2a’dan 1 nolu ASM’ye 3-10 nolu köylerin atandığı, 2 nolu ASM’ye ise 11-15 nolu köylerin atandığı görülmektedir. Şekil 2b’de 1 nolu ASM’ye ait rotalardan Rota 1’e ait verilen dizi gösteriminde ([1,1,1,1,1,3,6,1]) ilk üç hücre rotanın atandığı periyot, hafta ve günü, dördüncü hücre atanan doktoru, son dört hücrenin ise rotayı ifade etmektedir. Bu durumda Rota 1’in 1. periyotta 1. haftanın 1. günü gerçekleştirileceği ilk üç hücreden görülmektedir. 4. hücre rotadaki köylere 1 nolu doktor tarafından hizmet götürüleceğini, 5. hücre ise bu hizmeti 1 nolu ASM’nin vereceğini göstermektedir. 5-8 nolu hücreler rotanın 1 nolu ASM’den başladığını 3 ve 6 nolu köylere hizmet verildikten sonra tekrar 1 nolu ASM’ye dönüldüğünü gösterir. Benzer şekilde aynı ASM ve D için oluşturulan Rota 4’de 4. haftanın 1. günü (16. Periyotta/ayın 16. günü) sırasıyla doktorun 3, 7 ve 8 nolu köyleri ziyaret edeceği görülmektedir.



a Örnek Çözüm Şebeke Gösterimi (An example
for Network Representation of Solution)

1 nolu ASM’ye ait rotalar	
Rota 1: [1,1,1,1,1,3,6,1]	Rota 3: [6,2,1,1,1,3,4,5,1]
Rota 2: [11,3,1,1,1,3,6,1]	Rota 4: [16,4,1,1,1,3,7,8,1]
	Rota 5: [2,1,2,1,1,9,10,1]
2 nolu ASM’ye ait rotalar	
Rota 1: [1,1,1,1,2,14,15,2]	Rota 4: [16,4,1,1,2,15,2]
Rota 2: [6,2,1,1,2,15,2]	Rota 5: [2,1,2,1,2,11,12,13,2]
Rota 3: [11,3,1,1,2,15,2]	Rota 6: [17,4,2,1,2,11,2]

b Dizi Gösterimi (Solution Representation)

Şekil 2. Örnek Problem (An Example)

4.2. Başlangıç Çözümünün Elde Edilmesi (Obtaining Initial Solution)

GSH-RÇP için başlangıç çözümünü üretmek amacıyla probleme özgü geliştirilen AGS algoritmasının adımları Şekil 3'te görülmektedir. Algoritmanın adımları şu şekilde özetlenebilir: İlk adımda kapasitesi yeterli olan ASM'lere en yakın mesafedeki köy(ler) "rota aday listesine" (*RAL*) eklenir. En yakın mesafeye sahip bir köy varsa bu köy, birden fazla köy var ise aday listedeki köylerden rastgele olarak seçilen köy rotaya eklenir. İkinci adımda rotaya eklenmiş olan son köye, gidilmesi gereken sefer sayısından daha az gidilmiş köyler arasında en yakın mesafedeki köy(ler) *RAL*'a eklenir. *RAL*'dan rastgele bir köy seçilir ve mesai kısıtı kontrol edilir. Mesai kısıtı sağlanıyor ise rotaya eklenir. Mesai kısıtı sağlandığı (yani 480 dakika aşılmadığı) sürece rotaya farklı köyler eklenmeye devam edilir. Mesai kısıtı sağlanmıyor ise (*RAL*)'daki köy(ler) silinir ve bu köyler hariç en yakın bir sonraki köy seçilir ve mesai kısıtı kontrol edilir. Yeni bir köy seçimi ve rotaya ekleme denemesi kt_{max} defa tekrarlanır. Bu çalışmada $kt_{max} = 3$ olarak alınmıştır. kt_{max} denemenin ardından yeni bir köy rotaya eklenememişse rota, ASM'ye dönülecek şekilde sonlandırılır. Rotalar oluşturulduktan sonra üçüncü adımda; rotalara D ataması yapılır. Her D, ayda en fazla 16 gün (periyot) GSH verebilmektedir. ASM'deki 1 numaralı D'den başlanarak kapasitesine ulaşınca kadar rotalara D ataması yapılır. Doktor atamasından sonra dördüncü adımda, rotadaki köylerin frekanslarına göre ilk haftanın ilk gününden başlanarak atama yapılır. Rotada frekansı 4 olan köy varsa, bu köyün bulunacağı diğer rotalar diğer haftalara atanacağından, tüm haftaları boş olan en büyük numaralı gün *Hgün* olarak atanır. Bu köyün ilk rotası birinci haftaya atanır. Rotada frekansı 2 olan köy var ise, aynı *Hgün* numarası boş olan "1. ve 3." veya "2. ve 4." hafta ikilisi seçilir. Boş olan *Hgün* numaralarından en küçük olanı ve bu *Hgün*'lere ait hafta numaraları seçilerek atama yapılır. Rotadaki köylerin tümünün frekansı bir ise, en küçük haftanın en küçük *Hgün*'e atanır. Rotanın periyodu hesaplanır ve rotaya atanır. Sonraki rotalar oluşturulurken dört (4) frekanslı köy(ler) var ise oluşturulan rota 3 defa çoğaltılır. *Hgün* numarası nihai rota ile aynı olacak şekilde atanır. Hafta numarası sırasıyla 2, 3, 4 olacak şekilde kopya rotalara atanır ve

periyot hesaplanır. Frekansı bir olan köyler tüm kopya rotalardan, iki olanlar ise ikinci ve dördüncü hafta rotalardan silinir. Son düğüm olan ASM de silindikten sonra bu rotalar açık rotalar haline dönüşür. İki (2) frekanslı köyler var ise, rota 1 defa çoğaltılır. *Hgün* numarası nihai rota ile aynı olacak şekilde atanır. Nihai rotanın hafta numarasına iki eklenerek hafta ataması yapılır ve periyot hesaplanır. Frekansı bir olan köyler ve son düğüm olan ASM kopya rotadan silinir ve rota açık hale getirilir. Bu işlemler eklenecek köy kalmayınca kadar devam eder. Tüm köyler eklenince çözüm başlangıç çözümü olarak alınır.

4.3. Komşuluk Yapıları (Neighborhood Mechanisms)

Tek çözüme dayalı metasezgisel algoritmalarda (tavlama benzetimi, tabu arama, iteratif yerel arama, kayıttan kayda gezinti, vb.) mevcut çözümden (*s*) komşu çözümü (*s'*) elde etmek için genellikle bir komşuluk mekanizması kullanılır [42]. Bu çalışmada geliştirilen AGS-KKG'de ise, arama uzayının farklı bölgelerinde arama yaparak daha iyi çözümlere ulaşabilmek amacıyla mevcut çözümden (*s*) komşu çözümler dört farklı komşuluk mekanizması ile üretilmiş ve bu çözümler arasından eniyi çözüm komşu çözüm (*s'*) olarak dikkate alınmıştır. AGS-KKG'de kullanılan rota-içi ve rotalar arası dört komşuluk mekanizması aşağıda açıklanmaktadır.

Rota İçi Yer Değiştirme (RIYD):

Bu komşuluk mekanizmada çözüm içerisindeki rotalardan rastgele bir rota *R* seçilir. Bu rota içerisindeki köylerden rastgele olarak seçilen bir köy *i*, amaç fonksiyonu değerinde en çok iyileşmeyi sağlayan aynı rotadaki köy *j* ile yer değiştirir.

Örneğin $R [1, 1, 1, 1, 1, 3, 4, 5, 1]$ rotasından rastgele olarak 4 nolu köy seçilmiş olsun, $i=4$
 $j=3$ için komşu rota 1: $[1, 1, 1, 1, 1, 4, 3, 5, 1]$
 $j=5$ için komşu rota 2: $[1, 1, 1, 1, 1, 3, 5, 4, 1]$
 Bu iki alternatif arasından en küçük amaç fonksiyonuna sahip olan komşu rota seçilir.

Begin

```

 $N_i \leftarrow$  Köyler Kümesi
 $N_H \leftarrow$  ASM'ler Kümesi
Kapasitesi yeterli olan ASM'ler ve yapılması gereken ziyaret sayısı tamamlanmamış köyler arasında en yakın  $ASM_k - Köy_i$  çift(ler)ini RAL kümesine ekle
if  $|RAL| = 1$  then ilk rotayı  $ASM_k - Köy_i$  çifti için oluştur
if  $|RAL| > 1$ , then rassal  $ASM_k - Köy_i$  çifti seç ve ilk rotayı oluştur
 $f_{Köy_i} = f_{Köy_i} + 1$ 
 $kt \leftarrow 0$ 
repeat
    Yapılması gereken ziyaret sayısı tamamlanmamış ise rotada en son gidilen köye en yakın,  $Köy_i - Köy_k$  çift(ler)ini bul ve RAL kümesine ekle
    If  $|RAL| = 1$ , then  $Köy_k$ 'yi seç
    If  $|RAL| > 1$  then  $Köy_k$ 'lerden birini rassal seç
    repeat
        if mesai kısıtı sağlanıyorsa then
            begin
                Köy k'yi rotaya ekle
                 $f_{Köy_k} = f_{Köy_k} + 1$ 
            end
            else  $kt = kt + 1$ 
        until  $kt = kt_{max}$ 
        if Rotada  $f_{Köy_i} > 1$  olan köy var ise then
            Rota çoğalt ve açık rotanın sonuna ilgili ASM'yi ekleyerek rotayı kapat
    until Eklenecek köy kalmayınca kadar
    Rotalara D, hafta(dönem), Hgün, periyot ata
 $s_0 \leftarrow$  Başlangıç çözümü olarak raporla
end
    
```

Şekil 3. AGS Adımları (GCH Steps)

Rotalar arası komşuluk arama mekanizmaları:

Rotalar arası komşuluk mekanizmalarında komşuluk yapısı uygulanmadan önce çözüm içerisindeki rotalardan rastgele bir rota R_1 seçilir. Bu rota içerisindeki ziyaret sıklığı 1 ($f_i=1$) olan köylerden yine rastgele olarak bir i köyü seçilir. Amaç fonksiyonu değerinde en çok iyileşmeyi ve mesai kısıdını sağlayan, bir R_2 ($R_1 \neq R_2$) rotası seçilir ve ilgili mekanizma uygulanır. Değişiklik yapıldıktan sonra rotaların ASM , D , $hafta$, $Hgün$ ve $periyot$ değerleri ilgili köyler için güncellenir. Bu çalışmada rotalar arası komşuluk mekanizması üç farklı şekilde kullanılmıştır.

• Rotalararası ekle (1-0) (RAE1-0):

Bu mekanizmada i köyü R_1 rotasından alınır, R_2 rotasında en çok iyileşmeyi sağlayacağı iki köy arasına eklenir. Eklemeden sonra sadece rotası değiştirilen Köy i için ASM , D , $hafta$, $Hgün$ ve $periyot$ değerleri güncellenir. Örneğin; Şekil 2’de verilen rotalardan 2 nolu ASM ’nin rotasında yer alan 14 nolu köy rastgele olarak seçilmiş olsun. Seçilen köy diğer rotaların tüm pozisyonlarına yerleştirilebileceği için toplam 32 (1 nolu ASM için 17 tane + 2 nolu ASM için 15 tane) farklı pozisyona eklenerek komşu çözümler üretilebilir. Örnek olarak ASM 1-Rota 1 ve ASM 2-Rota 1 için RAE1-0 mekanizması uygulanarak birer komşu üretilmiş, Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. RAE1-0 Uygulaması (RAE1-0 Application)

Mevcut Rota	Komşu Rota
[1,1,1,1,1,3,6,1]	[1,1,1,1,1,14,3,6,1]
[1,1,1,1,2,14,15,2]	[1,1,1,1,2,15,2]

• Rotalar arası yer değiştirme (1-1) (RAYD1-1):

R_1 rotasından rastgele olarak i köyü seçilir R_2 rotasından j köyü ($f_j=1$ olma şartıyla) seçilir. Bu iki köy yer değiştirilerek mesai kısıdını

sağlanıyorsa ve mevcut çözümü iyileştiriyorsa yeni bir çözüm oluşturulur. Tablo 2’de örnek RAYD1-1 uygulaması verilmiştir. Örnekte ASM 1-Rota 4’ten 7 nolu köy ve ASM 2-Rota 1’den 14 nolu köy rastgele olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. RAYD1-1 Uygulaması (RAYD1-1 Application)

Mevcut Rotalar	Komşu Rota
R_1 : [16,4,1,1,1,3,7,8,1]	$Yeni R_1$: [16,4,1,1,1,3,14,8,1]
R_2 : [1,1,1,1,2,14,15,2]	$Yeni R_2$: [1,1,1,1,2,7,15,2]

• Rotalar arası ekle (1-1) (RAE1-1):

Rastgele olarak R_1 rotasından i köyü, R_2 rotasından j köyü ($f_j=1$ olma şartıyla) seçilir. Bu i ve j köyleri diğer rotadaki tüm konumlara eklenir. Çalışma saati kısıdını sağlayan daha iyi bir çözüm bulunursa yeni komşu elde edilir. Tablo 3’te Şekil 2’de verilen çözümden ASM 1-Rota 4’ten 7 nolu köy ve ASM 2-Rota 1’den 14 nolu köy seçilmiş ve RAE1-1 mekanizması uygulanmıştır.

Tablo 3. RAE1-1 Uygulaması (RAE1-1 Application)

Mevcut Rotalar	Komşu Rotalar
R_1 : [16,4,1,1,1,3,7,8,1]	[16,4,1,1,1,14,3,8,1]
R_2 : [1,1,1,1,2,14,15,2]	[1,1,1,1,2,7,15,2]
	[16,4,1,1,1,3,14,8,1]
	[1,1,1,1,2,15,7,2]

4.4. AGS-KKG Algoritması (GCH-RRT Algorithm)

GSH-RÇP için geliştirilen AGS-KKG algoritmasının adımları Şekil 4’de verilmiştir. AGS-KKG’de, AGS ile başlangıç çözümü (s_0) elde edilir. Başlangıç çözümü (s_0), mevcut çözüm (s) ve bulunan eniyi çözüm (s_{eniyi}) olarak alınır. Ayrıca, bulunan eniyi çözümün amaç fonksiyonu ($f(s_{eniyi})$) değeri başlangıç “KAYIT” değeri olarak alınır. Her iterasyonda GSP-RÇP için tanımlanan dört komşuluk

Begin	
AGS ile başlangıç çözümünü (s_0) elde et ve $f(s_0)$ hesapla,	/*Başlangıç çözümü oluşturma*/
$s \leftarrow s_0$; $f(s) \leftarrow f(s_0)$	/*Başlangıç çözümünü mevcut çözüm olarak al*/
$s_{eniyi} \leftarrow s_0$; $f(s_{eniyi}) \leftarrow f(s_0)$	/*Başlangıç çözümünü eniyi çözümü başlangıç çözüm olarak al*/
$KAYIT \leftarrow f(s_0)$	/*KAYIT’a başlangıç değeri ata*/
$D \leftarrow KAYIT * 0,1$	/*D’ye başlangıç değeri ata*/
$k_{imp} \leftarrow 0$	/* k_{imp} ’e başlangıç değeri ata*/
Repeat	
$Set_{RAE1-0} \leftarrow \emptyset$, $Set_{RIYD} \leftarrow \emptyset$, $Set_{RAYD1-1} \leftarrow \emptyset$, $Set_{RAE1-1} \leftarrow \emptyset$	/*Mevcut çözümden komşu çözümleri üret*/
$RAE1-0$ mekanizması ile nk komşu üret ve Set_{RAE1-0} ’a ekle	
$RIYD$ mekanizması ile nk komşu üret ve Set_{RIYD} ’a ekle	
$RAYD1-1$ mekanizması ile nk komşu üret ve $Set_{RAYD1-1}$ ’a ekle	
$RAE1-1$ mekanizması ile nk komşu üret ve Set_{RAE1-1} ’a ekle	
$s' = \text{argmin}\{f(s') s' \in Set_{RAE1-0} \cup Set_{RIYD} \cup Set_{RAYD1-1} \cup Set_{RAE1-1}\}$	/*Komşu çözümler arasından s' seç*/
If $f(s') < KAYIT + D$ then $s \leftarrow s'$	/*Mevcut çözümü güncelle*/
If $f(s') < KAYIT$ then	/*KAYIT ve s_{eniyi} çözümü güncelle*/
begin	
$KAYIT \leftarrow f(s')$	
$s_{eniyi} \leftarrow s'$	
$f(s_{eniyi}) \leftarrow f(s')$	
$k_{imp} \leftarrow 0$	
end	
else $k_{imp} \leftarrow k_{imp} + 1$	
Until ($k_{imp} > k_{max}$)	
GSP-RÇP için çözümü raporla s_{eniyi} ve $f(s_{eniyi})$	/*Çözümü raporla*/
End	

Şekil 4. AGS-KKG Algoritması Adımları (Steps of GCH-RRT Algorithm)

mekanizmasının her birisi ile nk adet komşu çözüm (s'') üretilir ve komşuluk kümesine eklenir. Üretilen tüm komşular arasında “eniye iyileştirme kuralına” göre arama yapılarak eniye komşu çözüm, iterasyonun komşu çözümü (s') olarak alınır. $f(s') < KAYIT + D$ ise komşu çözüm (s') mevcut çözüm (s) olarak alınır (yani $s \leftarrow s'$). Aynı zamanda $f(s') < f(s_{eniye})$ ise bulunan eniye çözüm (s_{eniye}) ve KAYIT değeri güncellenir (yani $s_{eniye} \leftarrow s'$, $f(s_{eniye}) \leftarrow f(s')$ ve $KAYIT \leftarrow f(s')$). Güncelleme işlemlerinden sonra AGS-KKG algoritması bir sonraki iterasyona başlar ve mevcut çözümden (s) aramaya devam eder. Arama işlemi k_{max} iterasyon KAYIT değerinde güncelleme olmazsa sonlandırılır ve bulunan eniye çözüm (s_{eniye}) problemin çözümü olarak rapor edilir. Algoritmanın parametreleri olan nk , k_{max} ve D değerleri yapılan ön çalışmalar sonucunda belirlenmiş; $nk = 3$, $k_{max} = 10$ ve $D = KAYIT * 0,10$ olarak alınmıştır.

5. Deneysel Çalışma (Experimental Study)

Bu bölümde, GSH-RÇP için geliştirilen matematiksel model ve sezgisel algoritmanın (AGS-KKG) performansı Ankara İl Sağlık Müdürlüğü tarafından uygulanan planlar ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Matematiksel model GAMS (Versiyon 24.1.3) programlama dilinde, AGS-KKG ise C++ programlama dilinde Rad Studio XE8 kullanılarak kodlanmıştır. Deneysel çalışmalar i7-5200 Intel Core 3.2 GHz, 16 GB RAM özelliklerine sahip bilgisayar ortamında yapılmıştır. Bu bölümde Ankara İl Sağlık Müdürlüğünden elde edilen GSH'ne ait verilerin özellikleri sunulduktan sonra, matematiksel model ve AGS-KKG'nin performans analizi mevcut planlar ile karşılaştırılmalı yapılacaktır.

5.1. Uygulama Verileri (Application Data)

Ankara İl Sağlık Müdürlüğünden alınan bilgilere göre Ankara'da 25 ilçede 440 ASM ve 1723 doktor bulunmaktadır. GSH, merkez ilçeler

dışındaki 18 ilçede verilmektedir. Tablo 4'de 18 ilçe için demografik veriler ve sağlık hizmet sunucularına ait bilgiler verilmektedir. Tablo 4 incelendiğinde ilçelerdeki ASM sayısının 1 ile 41, doktor sayısının 1 ile 183, ilçe bazında hizmet sunulacak köy sayısının 2 ile 101, nüfusun ise 254 ile 13468 arasında değiştiği görülmektedir. Köylerdeki nüfus mevsimsel veya dönemsel olarak değişebilmekte ve doktorlar mevcut nüfusun tümüne ihtiyaç halinde hizmet sunmaktadır. Bu nedenle hizmet sunucular bölgenin demografik, sosyo-kültürel özelliklerini bilmeli ve buna göre değişen sağlık hizmet ihtiyacını karşılamalıdır.

T.C. Sağlık Bakanlığı, GSH planlamasında kişi başına düşen hizmet süresinin 1,2 dakika/ay (min/month) olması gerektiğini belirtmektedir. Bu durumda, 100 kişilik bir köyün toplam hizmet süresi 2 saattir ($100 \times 1,2 = 120$ dk).

Buna ek olarak, köylerin nüfus büyüklüğüne göre belirlenen minimum ziyaret sıklığı vardır. Tablo 5'te, köylerin nüfus büyüklüklerine göre ziyaret sıklıkları ve tek seferdeki hizmet süresi T.C. Sağlık Bakanlığının ilgili yönetmeliklerine [40, 41] ve TÜİK raporlarına [46] dayalı olarak verilmiştir.

5.2. Deneysel Analiz (Experimental Analysis)

Matematiksel modelin ve AGS-KKG'nin performansının Ankara İl Sağlık Müdürlüğü tarafından uygulanan planlar ile karşılaştırılmalı incelenmesinde toplam katedilen mesafe, toplam rota sayısı, atanan ASM sayısı ve atanan doktor sayısı performans ölçütleri olarak kullanılmıştır. Tablo 6'da performans ölçütlerini tanımlamakta kullanılan semboller ve açıklamaları verilmiştir.

$$İY_{U-M} = \frac{Z_U - Z_M}{Z_U} \times 100 \quad (22)$$

Tablo 4. İlçelere ilişkin genel bilgiler (General information on districts of Ankara)

İlçe	ASM Sayısı	D Sayısı	Nüfus	GSH Sunulan Köy Sayısı	GSH Nüfus
Akyurt	5	13	37456	6	1250
Ayaş	2	5	13686	13	2377
Bala	3	6	25780	40	7333
Beypazarı	4	17	48732	64	10104
Çamlıdere	1	3	8883	40	5904
Çubuk	10	32	91142	55	7604
Elmadağ	6	13	45122	9	1292
Evren	1	1	3045	9	1168
Gölbaşı	16	45	140649	27	3901
Güdül	1	4	8438	23	3851
Haymana	4	8	28922	68	12692
Kahramankazan	4	16	56736	11	1436
Kalecik	1	6	12941	50	6903
Kızılcahamam	3	9	27507	101	13468
Nallıhan	3	11	27434	76	10187
Polatlı	8	36	126623	67	11018
Sincan	41	183	549108	2	254
Şereflikoçhisar	3	11	33310	47	7302
Toplam	116	419	1285514	708	108044

Tablo 5. Köy nüfusuna göre bir ayda sunulacak hizmet süresi, ziyaret sıklıkları ve tek seferdeki hizmet süresi (Total service duration for a month, visit frequencies, and service duration per visit based on village population)

Nüfus	Bir Ayda Verilmesi Gereken Toplam Hizmet Süresi (dk) (a)	Hizmet Sıklığı (b)	Tek Seferdeki Hizmet Süresi (min) (a/b)
0-249	$nüfus \times 1,2$ dk	Ayda 1	$nüfus \times 1,2$
250-499	$nüfus \times 1,2$ dk	Ayda 2 (2 Haftada 1)	$(nüfus \times 1,2)/2$
500 ve üzeri	$nüfus \times 1,2$ dk	Ayda 4 (Haftada 1)	$(nüfus \times 1,2)/4$

$$\dot{Y}_{U-S} = \frac{Z_U - Z_S}{Z_U} \times 100 \quad (23)$$

Matematiksel model ve AGS-KKG ile bulunan sonuçların uygulamadaki plana göre sağladığı iyileşmeler sırasıyla \dot{Y}_{U-M} ve \dot{Y}_{U-S} ile gösterilmiş ve Eş. 22-Eş. 23 kullanılarak hesaplanmıştır. İyileşme yüzdesi her bir performans ölçütü için ayrı ayrı dikkate alınmıştır.

Tablo 7’de Ankara İl Sağlık Müdürlüğü tarafından 18 ilçede uygulanan mevcut plandaki, matematiksel model ile bulunan çözümlerdeki ve AGS-KKG ile elde edilen çözümlerdeki toplam katedilen mesafe, güzergâh sayısı, atanan ASM ve doktor sayıları verilmektedir. Analizler yapılırken periyot sayısı 20 işgünü olarak alınmıştır. Matematiksel modelin çalıştırılması için 2 saatlik süre sınırlaması yapılmıştır. Bu süre içerisinde matematiksel model, sadece Sincan ilçesi için eniyi çözüme ulaşmış ve diğer 9 ilçe için uygun bir çözüm bulabilmiştir. Problemin NP-zor yapısından dolayı 8 ilçeye 2 saatlik süre içerisinde matematiksel model ile herhangi bir çözüm elde edilememiştir. Bu ilçeler incelendiğinde köy sayısının 27 ile 101 arasında değiştiği Tablo 4’ten görülebilir. 2 saat içerisinde çözüm bulunan ilçelerin GSH sunulan nüfus sayısına bakıldığında

çoğunluğunun çözüm bulunamayan ilçelere kıyasla daha az nüfusa sahip olduğu görülebilir. Tablo 7 incelendiğinde, uygulamadaki plana göre matematiksel model ile 9 ilçede toplam katedilen mesafe açısından bir iyileşme sağlanırken sadece 1 ilçede aynı sonuca ulaşılmıştır. Toplam katedilen mesafede enbüyük iyileşme 575 km ile GSH’nin yoğun olarak sunulduğu Kalecik ilçesinde elde edilmiştir. Dolayısıyla, matematiksel model ile çözüm bulunan 10 ilçe için toplam katedilen mesafe 1239 km azalmıştır. İlçelerde GSH veren rota sayılarına bakıldığında en büyük iyileştirmenin Şereflikoçhisar için elde edildiği ve rota sayısının 36’dan 27’ye düştüğü görülmüştür. Yine aynı ilçede GSH sunan ASM sayısı da 3’ten 1’e düşmüştür. GSH sunan doktor sayıları incelendiğinde ise en fazla iyileştirmenin Ayaş ilçesinde olduğu gözlenmiştir. Uygulamada 3 doktor ile hizmet sağlanırken, matematiksel modelin çözümünde ise 1 doktor ile hizmet verilmektedir.

Tablo 7’de verilen AGS-KKG sonuçları incelendiğinde matematiksel modelin aksine tüm ilçeler için çözüme ulaşıldığı görülmektedir. AGS-KKG için çözüm süresi oldukça kısa (< 10 saniye) olduğu için tabloda verilmemiştir. AGS-KKG sonuçları uygulamadaki planlar ile karşılaştırıldığında, AGS-KKG ile toplam katedilen mesafe açısından 17 ilçede iyileşme sağlanmıştır. Sadece Sincan ilçesinde aynı

Tablo 6. Sembol Açıklamaları (Definitions)

Sembol	Açıklama
Z	Çözüm amaç fonksiyonu değeri
Z_U^{km}	Ankara İl Sağlık Müdürlüğü’nün uyguladığı planın toplam mesafe (km) verisi
Z_U^R	Ankara İl Sağlık Müdürlüğü’nün uyguladığı planın rota sayısı (R)
Z_U^{ASM}	Ankara İl Sağlık Müdürlüğü’nün uyguladığı planda köylere atanan Aile Sağlık Merkezi (ASM) sayısı
Z_U^D	Ankara İl Sağlık Müdürlüğü’nün uyguladığı planda GSH sunan doktor (D) sayısı
Z_M^{km}	Matematiksel model ile bulunan toplam mesafe (km)
Z_M^R	Matematiksel model ile bulunan rota sayısı (R)
Z_M^{ASM}	Matematiksel model ile bulunan köylere atanan Aile Sağlık Merkezi (ASM) sayısı
Z_M^D	Matematiksel model ile bulunan GSH sunan doktor (D) sayısı
Z_S^{km}	Sezgisel algoritma ile bulunan toplam mesafe (km)
Z_S^R	Sezgisel algoritma ile bulunan rota sayısı (R)
Z_S^{ASM}	Sezgisel algoritma ile bulunan köylere atanan Aile Sağlık Merkezi (ASM) sayısı
Z_S^D	Sezgisel algoritma ile bulunan GSH sunan doktor (D) sayısı

Tablo 7. Uygulamadaki Plan, Matematiksel Model ve AGS-KKG Sonuç Tablosu (Real Life Application, Mathematical Model, GCH-RRT Results)

İlçe	Uygulamadaki Plan				Matematiksel model				AGS-KKG			
	Z_U^{km}	Z_U^R	Z_U^{ASM}	Z_U^D	Z_M^{km}	Z_M^R	Z_M^{ASM}	Z_M^D	Z_S^{km}	Z_S^R	Z_S^{ASM}	Z_S^D
Akyurt	205	5	2	2	180	5	2	2	180	5	1	1
Ayaş	497	9	2	3	442	8	1	1	381	9	1	1
Bala	1539	35	3	4	-	-	-	-	1239	27	3	3
Beypazarı	2420	44	4	8	-	-	-	-	2055	38	4	4
Çamlıdere	529	29	1	3	480	22	1	3	450	21	1	2
Çubuk	1420	18	5	8	-	-	-	-	1212	26	4	4
Elmadağ	405	16	5	5	374	15	4	4	366	5	3	3
Evren	155	4	1	1	147	4	1	1	147	4	1	1
Gölbaşı	680	16	7	7	-	-	-	-	492	15	6	6
Güdül	679	10	1	2	592	13	1	4	559	13	1	1
Haymana	2324	50	3	6	-	-	-	-	2212	46	4	4
Kahramankazan	429	6	4	4	392	5	4	4	322	6	2	2
Kalecik	2499	33	1	6	1924	33	1	6	1774	25	1	2
Kızılcahamam	2808	58	2	6	-	-	-	-	2527	50	3	4
Nallıhan	3079	52	2	6	-	-	-	-	2557	39	2	4
Polatlı	2875	49	6	8	-	-	-	-	2487	42	6	6
Sincan	52	1	1	1	52	1	1	1	52	1	1	1
Şereflikoçhisar	2470	36	3	5	2098	27	1	4	1923	27	3	3
Toplam (10 ilçe)	7920	149	21	32	6681	133	17	30	6154	116	15	17
Toplam (18 ilçe)	25065	471	53	85	-	-	-	-	20935	399	47	52

Tablo 8. Uygulamadaki Plana Göre Matematiksel Model ve AGS-KKG ile Elde Edilen İyileşme Yüzdeleri (Improvement Percentages of Mathematical Model and GCH-RRT based on Real Life Application)

İlçe	Uygulamadaki Plan – Matematiksel Model				Uygulamadaki Plan – AGS-KKG			
	\dot{Y}_{U-M}^{km}	\dot{Y}_{U-M}^R	\dot{Y}_{U-M}^{ASM}	\dot{Y}_{U-M}^D	\dot{Y}_{U-S}^{km}	\dot{Y}_{U-S}^R	\dot{Y}_{U-S}^{ASM}	\dot{Y}_{U-S}^D
Akyurt	12,2	0,0	0,0	0,0	12,2	0,0	50,0	50,0
Ayaş	11,1	11,1	50,0	66,7	23,3	0,0	50,0	66,7
Bala	-	-	-	-	19,5	22,9	0,0	25,0
Beypazarı	-	-	-	-	15,1	13,6	0,0	50,0
Çamlıdere	9,3	24,1	0,0	0,0	14,9	27,6	0,0	33,3
Çubuk	-	-	-	-	14,6	-44,4	20,0	50,0
Elmadağ	7,7	6,3	20,0	20,0	9,6	68,8	40,0	40,0
Evren	5,2	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0	0,0	0,0
Gölbaşı	-	-	-	-	27,6	6,3	14,3	14,3
Güdül	12,8	-30,0	0,0	-100,0	17,7	-30,0	0,0	50,0
Haymana	-	-	-	-	4,8	8,0	-33,3	33,3
Kahramankazan	8,6	16,7	0,0	0,0	24,9	0,0	50,0	50,0
Kalecik	23,0	0,0	0,0	0,0	29,0	24,2	0,0	66,7
Kızılcahamam	-	-	-	-	10,0	13,8	-50,0	33,3
Nallıhan	-	-	-	-	17,0	25,0	0,0	33,3
Polatlı	-	-	-	-	13,5	14,3	0,0	25,0
Sincan	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Şereflikoçhisar	15,1	25,0	66,7	20,0	22,1	25,0	0,0	40,0
Ortalama İY (10 ilçe)	15,6	10,7	19,0	6,3	22,3	22,1	28,6	46,9
Ortalama İY (18 ilçe)					16,5	15,3	11,3	38,8

katedilen mesafeye ulaşılmıştır. Bu durumun sebebi ise ilçe içerisinde sadece 1 köye GSH verilmesidir. Bulunan çözüm problemin tek çözümü olduğu için iyileşme olmaması beklenen bir durumdur.

İlçeler bazında AGS-KKG ile elde edilen iyileşmeler incelendiğinde ise katedilen mesafe açısından en büyük iyileşmenin 725 km ile Kalecik ilçesinde olduğu Tablo 7’den görülmektedir. Benzer şekilde, rota sayısında en büyük düşüş Nallıhan ilçesinde görülmüş ve uygulamada 52 rota ile GSH verilirken AGS-KKG ile rota sayısı 39’a düşmüştür. ASM sayıları incelendiğinde ise en büyük iyileştirme Elmadağ ve Kahramankazan’da sağlanmış ve GSH sunan ASM sayısı 2 azalmıştır. Beypazarı, Çubuk ve Kalecik GSH sunan doktor sayısında en büyük azalmanın olduğu ilçeler olup, bu ilçelerde doktor sayısı 4’er azalmıştır. AGS-KKG ile matematiksel modelin çözüm bulduğu 10 ilçede toplam katedilen mesafe 1766 km azalmış, dolayısıyla matematiksel modele göre 527 km daha iyileşme sağlanmıştır. 18 ilçe için sonuçlar değerlendirildiğinde ise toplam katedilen mesafede 4130 km iyileşme olduğu görülmüştür.

GSH-RÇP için mevcut uygulama, önerilen matematiksel model ve AGS-KKG ile bulunan çözümler rota sayısı, atanan ASM sayısı, D sayısı açısından değerlendirildiğinde şu sonuçlar elde edilmiştir: 10 ilçe dikkate alındığında mevcut plana göre 149 rota ile 21 ASM’den 32 doktor 7920 km yol katederken, matematiksel model ile 133 rota ile 17 ASM’den 30 doktor 6681 km yol katetmektedir. AGS-KKG ile ise 116 rota ile 15 ASM’den 17 doktor 6154 km yol katetmektedir. Bu sonuçlar, 10 ilçe için iyi çözümlerin AGS-KKG ile üretildiğini göstermektedir. Tablo 7’de verilen tüm ilçeler dikkate alındığında mevcut plana göre 18 ilçede, 471 rota ile 53 ASM’den 85 doktor 25065 km yol katetmektedir. AGS-KKG sonuçlarına göre ise 18 ilçede 399 rota ile 47 ASM’den 52 doktor 20935 km yol katetmektedir. Bu çalışmada önerilen çözüm yaklaşımları ile daha az yol katedilerek sağlık hizmeti götürülmesinin yanı sıra GSH sunacak ASM sayısı ve görevli doktor sayısı da azaltılmıştır. Tüm ilçeler için iyi çözümlere AGS-KKG algoritması ile ulaşılmıştır.

Tablo 8’de ilgili performans ölçütleri için matematiksel modelin ve AGS-KKG’nin uygulamaya göre iyileşme yüzdeleri (mesafe (\dot{Y}_{U-M}^{km}), güzergâh sayısı (\dot{Y}_{U-M}^{GS}), gezici sağlık hizmeti sunan ASM sayısı (\dot{Y}_{U-M}^{ASM}) ve GSH sunan Doktor Sayısı (\dot{Y}_{U-M}^D)) için verilmiştir. Matematiksel model ile çözüm bulunan 10 ilçede gerçekleşen ortalama İY değerleri dikkate alındığında, mevcut plana göre ortalama %15,6 daha az mesafe katedilerek %10,7 daha az sayıda rota ile %19 daha az sayıda ASM’nin ve %6,3 daha az sayıda doktorun hizmet sunduğu görülmektedir. Bu 10 ilçe için AGS-KKG ile uygulamadaki plana göre elde edilen İY değerleri ise ortalama %22,3 daha az mesafe katedildiğini, %22,1 daha az sayıda rotayla %28,6 daha az sayıda ASM ile ve %46,9 daha az sayıda doktorla hizmet verilebileceğini göstermektedir.

İlçeler özelinde İY değerleri incelendiğinde katedilen toplam mesafede en büyük iyileştirmenin Kalecik ilçesinde %29 olarak AGS-KKG ile elde edildiği görülmüştür. Rota sayısındaki en büyük İY değeri ise yine AGS-KKG ile Elmadağ için %68,8 olarak elde edilmiştir. Doktor sayısında en büyük İY değerine (%66,7) Ayaş ve Kalecik’te ulaşıldığı, Ayaş için her iki çözüm yöntemiyle de aynı İY değerine ulaşılrken, Kalecik için bu değere AGS-KKG ile ulaşıldığı görülmüştür. ASM sayısındaki İY değerleri incelendiğinde Şereflikoçhisar ilçesi için %66,7 oranında iyileşmenin matematiksel model ile elde edildiği gözlenmiştir.

Son olarak Tablo 8’den matematiksel model ile AGS-KKG karşılaştırıldığında, AGS-KKG ile ortalama 6 saniye gibi oldukça kısa süreler içerisinde tüm ilçelere çözüm bulunurken matematiksel modele göre 10 ilçe için ortalama %7,9 daha az mesafe katedilmiş, %12,8 daha az sayıda rota ile %11,8 daha az sayıda ASM’den, %43,3 daha az sayıda doktor ile hizmet verilmiştir. Tüm ilçeler için ise AGS-KKG ile uygulamadaki plana göre ortalama %16,5 daha az mesafe katedildiği, %15,3 daha az sayıda rota ile %11,3 daha az sayıda ASM seçilerek, %38,8 daha az sayıda doktor ile hizmet verdiği görülmektedir.

6. Sonuçlar (Conclusion)

Son yıllarda sağlık alanındaki planlama problemlerinde etkin çözüm yöntemlerinin kullanımına olan ihtiyaç artmıştır. Bu çalışmada T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından sunulan gezici sağlık hizmeti rotalama ve çizelgeleme problemi (GSH-RÇP) ele alınmıştır. Literatürde ilk kez bu çalışma kapsamında tanımlanan GSH-RÇP için öncelikle karma tamsayılı matematiksel model geliştirilmiştir. GSH-RÇP, NP-zor problemler sınıfında olması nedeniyle orta ve büyük boyutlu problemlere makul sürelerde çözüm bulabilmek amacıyla ağözlü çözüm kurucu sezgisel (AGS) ve kayıttan kayda gezinti (KKG) metasezgiseline dayalı karma sezgisel algoritma geliştirilmiştir. AGS-KKG olarak adlandırılan algoritmada başlangıç çözümü AGS ile elde edildikten sonra KKG ile iyileştirilmektedir. Literatürden farklı olarak AGS-KKG'nin her iterasyonunda çeşitliliği arttırmak amacıyla dört farklı komşuluk mekanizması ile üretilen komşu çözümler arasından "eniye iyileştirme" kuralına göre arama yapılmaktadır. GSH-RÇP için geliştirilen matematiksel modelin ve AGS-KKG'nin performansını analiz etmek için Ankara İl Sağlık Müdürlüğünden alınan GSH verileri ile deneysel bir çalışma yapılmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Problemin zorluğundan dolayı matematiksel model ile Ankara'da GSH sunulan 18 ilçenin 10'unda 2 saatlik çalışma süresi sonunda çözüm bulunabilmiştir. Ankara İl Sağlık Müdürlüğünün kullandığı sağlık hizmeti sunumu planı ile matematiksel modelin çözümü kıyaslandığında %10,7 daha az sayıda rotayla hizmetin götürülebildiği ve oluşturulan rotalarda toplam katedilen mesafenin uygulamadaki plandan %15,6 daha kısa olduğu görülmüştür. Ayrıca, sırasıyla ASM ve doktor sayısında da %19 ve %6,3'lük azalma sağlanmıştır. Geliştirilen AGS-KKG ile de 18 ilçenin tamamı için oldukça tatmin edici çözümler elde edilmiştir. GSH sunumu için belirlenen rotalarda katedilen toplam mesafede uygulamadaki plana kıyasla 1766 km azalma sağlanmıştır. Dolayısıyla AGS-KKG, toplam katedilen mesafede %22,3, rota sayısında %22,1, GSH sunumu için atanan ASM sayısında %28,6 ve doktor sayısında ise %46,9 iyileşme sağlamıştır.

Gelecekteki çalışmalarda ASM ve doktorlar üzerindeki hizmet yükünün dengelenmesi, çevre duyarlılığı açısından karbon emisyonlarının değerlendirmeye alınması gibi durumların probleme dâhil edilmesi ile GSH sunumu planlamasına günümüz koşullarında daha sürdürülebilir çözümlerin bulunabileceği öngörülmektedir. Ayrıca, GSH-RÇP için eniyi çözümleri elde edebilmek amacıyla dal-kesme, dal-kesme-fiyat gibi kesin çözüm algoritmaları geliştirilebilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Ankara İl Sağlık Müdürlüğü yöneticilerine ve çalışanlarına iş birliklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar (References)

1. Rural Health Information Hub. Healthcare Access in Rural Communities. <https://www.ruralhealthinfo.org/topics/healthcare-access>. Erişim Tarihi: Mart 1, 2021.
2. Soyluoğlu S.B. Çağdaş Sağlık Anlayışı. <http://bilheal.bilkent.edu.tr/aykonu/Ay2003/kasim03/cagdassaglik.html>. Erişim Tarihi: Şubat 2021.
3. Bollman, B. R. Understanding Rural Canada: Implications for Rural Development Policy and Rural Planning Policy. <https://2018.icrps.org/wp-content/uploads/sites/4/2018/06/Reimer-Bollman-2010-Understanding-Rural-Canada.pdf>. Erişim Tarihi: Haziran 2020.
4. Wilson, C. R., Rourke, J., Oandasan, I. F., Bosco, C., Progress made on access to rural healthcare in Canada, *Can J Rural Med* 25 (1), 14-19, 2020.

5. Lee, C. Tong, A. and Wang M. Chinese Healthcare: The Rural Reality. <https://www.coresponsibility.com/chinese-healthcare-the-rural-reality/>. Erişim Tarihi 18 Nisan 2020.
6. Lahooti, H., Rod, K., Kangarlu A., Healthcare Delivery to the rural area in Iran, *American Journal of Biomedical Science & Research*, 3 (5), 426-430, 2019.
7. Holst, J., Rethinking Medical Training in Germany Towards Rural Health Care. *Primary Health Care*, 5 (194), 2015.
8. Dantzig G.B., Ramser, J. H., The Truck Dispatching Problem, *Management Science*, 6 (1), 80-91, 1959.
9. Makan, A., Malamis, D., Assobhei, O., Loizidou, M., Mountadar, M., Solid Waste Management: Case of Collection and Vehicle Routing Problem in The City of Azemmour, Morocco, *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 6 (4), 247-255, 2011.
10. Mancini, S., A Real-Life Multi Depot Multi Period Vehicle Routing Problem with a Heterogeneous Fleet: Formulation and Adaptive Large Neighborhood Search Based Matheuristic, *Transportation Research Part C*, 70, 100-112, 2016.
11. Keçeci B., Altıparmak Baykoç F., Kara İ., Heterogeneous vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery: Mathematical formulations and a heuristic algorithm, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (2), 185-195, 2015.
12. Michallet, J., Prins, C., Amodeo, L., Yalaoui, F., Vitry, G., Multi-Start Iterated Local Search for the Periodic Vehicle Routing Problem with Time Windows and Time Spread Constraints on Services, *Computers and Operations Research*, 41, 196-207, 2014.
13. Montoya-Torres, J. R., Franco, J. L., Isaza, S. N., Jiménez, H. F., & Herazo-Padilla, N., A Literature Review of The Vehicle Routing Problem with Multiple Depots, *Computers and Industrial Engineering*, 79, 115-129, 2015.
14. Dueck, G., New optimization heuristics: The great deluge algorithm and the record-to-record travel, *Journal of Computational physics*, 104 (1), 86-92, 1993.
15. Ge, X., Jin, Y., Zhang, L., Genetic-based algorithms for cash-in-transit multi depot vehicle routing problems: economic and environmental optimization, *Environment, Development and Sustainability*, 25 (1), 557-586, 2023.
16. Golden, B. L., Raghavan, S., Wasil, E. A. *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. Springer, 2008.
17. Zhang, H., Ge, H., Yang, J., Review of Vehicle Routing Problems: Models, Classification and Solving Algorithms, *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29, 195-221, 2022.
18. Bae, H., Moon, I. Multi-depot vehicle routing problem with time windows considering delivery and installation vehicles, *Appl Math Model*, 40 (13-14), 6536-6549, 2016.
19. Wang, J. H., Weng, T. Y., Zhang, Q. F., A Two-Stage Multiobjective Evolutionary Algorithm for Multiobjective Multidepot Vehicle Routing Problem With Time Windows, *IEEE Transactions on Cybernetics*, 49 (7), 2467-2478, 2019.
20. Li, J., Li, T., Yu, Y., Zhang, Z., Pardalos, P. M., Zhang, Y., Ma, Y., Discrete firefly algorithm with compound neighborhoods for asymmetric multi-depot vehicle routing problem in the maintenance of farm machinery, *Appl Soft Comput*, 81, 105460, 2019.
21. Wang, Y., Assogba, K., Fan, J. X., Xu, M. Z., Liu, Y., Wang, H. Z., Multi-depot green vehicle routing problem with shared transportation resource: Integration of time-dependent speed and piecewise penalty cost, *J Clean Prod*, 232, 12-29, 2019.
22. Stodola, P., Hybrid ant colony optimization algorithm applied to the multi-depot vehicle routing problem, *Nat Comput*, 19 (2), 463-475, 2020.
23. Wang, Y., Li, Q., Guan, X. Y., Xu, M. Z., Liu, Y., Wang, H. Z., Two-echelon collaborative multi-depot multi-period vehicle routing problem, *Expert Syst Appl*, 167, 2021.
24. Sadati, M. E. H., Catay, B., Aksen, An efficient variable neighborhood search with tabu shaking for a class of multi-depot vehicle routing problems, *Comput Oper Res*, 133, 2021.
25. Trautsamwieser, A., Hirsch, P., A Branch-Price-and-Cut Approach for Solving the Medium-Term Home Health Care Planning Problem, *Networks*, 64 (3), 143-159, 2014.
26. Rodriguez-Martin, I., Salazar-Gonzalez, J. J., Yaman, H., The periodic vehicle routing problem with driver consistency, *European Journal of Operational Research*, 273 (2), 575-584, 2019.

27. Chen, R. M., Shen, Y. M., Hong, W. Z., Neural-like encoding particle swarm optimization for periodic vehicle routing problems, *Expert Syst Appl*, 138, 112833, 2019.
28. Wang, Y., Wang, L., Chen, G.C., Cai, Z.Q., Zhou, Y.Q., Xing, L.N., An Improved Ant Colony Optimization algorithm to the Periodic Vehicle Routing Problem with Time Window and Service Choice, *Swarm Evol Comput*, 55, 100675, 2020.
29. Oztop, H., Kizilay, D., Cil, Z. A., Mathematical models for the periodic vehicle routing problem with time windows and time spread constraints, *IJOCTA*, 11 (1),10-23, 2021.
30. 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, 1-22, 2017.
31. Fikar C., Hirsch, P., Home health care routing and scheduling: A review," *Comput Oper Res*, 77, 86-95, 2017.
32. An, Y. J., Kim, Y. D., Jeong, B. J., Kim, S. D., Scheduling healthcare services in a home healthcare system, *J Oper Res Soc*, 63 (11), 1589-1599, 2012.
33. Dengiz A.O., Atalay K.D., Altıparmak F., A goal programming approach for multi objective, multi-trips and time window routing problem in home health care service, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (4), 2167-2181, 2021.
34. Erdem M., Koç, Ç., Analysis of electric vehicles in home health care routing problem, *J Clean Prod*, 234, 1471-1483, 2019.
35. Erdem, M., Koç, Ç., Yucel, E., The electric home health care routing and scheduling problem with time windows and fast chargers, *Comput Ind Eng*, 172, 2022.
36. Clapper, Y., Berkhout, J., Bekker, R., Moeke, D., A model-based evolutionary algorithm for home health care scheduling, *Comput Oper Res*, 150, 106081, 2023.
37. Belhor, M., El-Amraoui, A., Jemai, A., Delmotte, F., Multi-objective evolutionary approach based on K-means clustering for home health care routing and scheduling problem, *Expert Syst Appl*, 213, 119035, 2023.
38. Akkuş, İ., Yıldız, E. A., Karaoğlan, İ., Altıparmak, F., A Mobile Healthcare Service Routing and Scheduling Problem in Rural Areas, in *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Management Science and Engineering Management*, Cham, J., Springer, Editörler: Xu, F. P. García Márquez, M. H. Ali Hassan, G. Duca, A. Hajiyeve, and F. Altıparmak, 125-136, 2021.
39. Akkuş, İ., Yıldız, E. A., Karaoğlan, İ., Altıparmak, F., Gezici Sağlık Hizmeti Veren Araçların Rotalanması ve Hekim Çizelgeleme Problemi: Ankara İli Uygulaması, Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi (YA/EM 40), İstanbul, Türkiye, 04 - 07 Temmuz 2021.
40. Resmî Gazete. Yönetmelik: Aile Hekimliği Uygulama Yönetmeliği. Başlık: Gezici ve yerinde sağlık hizmetlerinin yürütülmesi Paragraf 3 Madde 6. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=17051&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>. Yayın Tarihi: 25.01.2013.
41. Resmî Gazete. Yönetmelik: Aile Hekimliği Ödeme ve Sözleşme Yönetmeliği <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/3.5.20101237.pdf>. Yayın Tarihi: 03.05.2010.
42. Talbi, E.G., *Metaheuristics: from design to implementation*, John Wiley & Sons, 2009.
43. Li, F., Golden, B. Wasil, E., The open vehicle routing problem: Algorithms, large-scale test problems, and computational results, *Comput Oper Res*, 34 (10), 2918-2930, 2007.
44. Ramadhan, F., Imran, A., Rizana, A.F., Threshold based algorithms for the multi-product multi-period inventory routing problem, *J. Eng. Sci. Technol.*, 14 (5), 2703-2715, 2019.
45. Hou, Y.E., Dang, L., Dong, W., and Kong, Y., A metaheuristic algorithm for routing school buses with mixed load, *IEEE Access*, 8, 158293-158305, 2020.
46. TÜİK. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları 2020. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210#:~:text=T%C3%BCrkiye%20n%C3%BCfusu%2083%20milyon%20614%20bin%20362%20ki%C5%9Fi%20oldu&text=Di%C4%9Fer%20bir%20ifadeye%20toplam%20n%C3%BCfusun,333%20bin%20410%20ki%C5%9Fi%20oldu>. Erişim Tarihi: Eylül 2021.