



**GEZİCİ SAĞLIK HİZMETİ ROTALAMA VE ÇİZELGELEME
PROBLEMİ: ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI**

İlhami AKKUŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İlhami AKKUŞ

06/07/2021

GEZİCİ SAĞLIK HİZMETİ ROTALAMA VE ÇİZELGELEME PROBLEMİ: ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

(Yüksek Lisans Tezi)

İlhami AKKKUŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2021

ÖZET

Sanayi devrimi sonrası insanların kentlere göç etmesi, kırsal kesimin kamusal hizmetlerden istenilen seviyede faydalanamaması, halkın refahının artırılabilmesi için kamusal hizmetlerin her yere götürülmesi gerekliliğini ortaya çıkartmıştır. Son 60 yılda herkesin sağlık hizmetine eşit olarak erişebildiği sağlık politikaları geliştirilmiştir. Her yerleşim yerine bir hastane açılması mümkün olmadığından gezici sağlık hizmeti (GSH) modelleri ile halkın temel sağlık hizmetlerine erişimi sağlanmaya çalışılmaktadır. Türkiye’de GSH yaklaşık 3400 aile sağlığı merkezinde (ASM) bulunan ~7500 aile hekimi (AH) tarafından sunulmaktadır. AH’ler günde 8 saat çalışarak ayda ~9 milyon kişiye GSH sunmaktadır. Bu tezin amacı ülkemizde kırsal bölgeler için verilen GSH’yi eniyilemektir. Bu nedenle, farklı ASM’lerde hizmet veren AH’lerin aylık olarak, mesai, rota süresi, her ziyaretteki asgari hizmet süresi, köylere her zaman aynı AH’nin atanması, vb. kısıtlar altında; her gün kullanacakları rotalarda aylık kat edilen mesafenin enküçüklenmesi problemi ele alınmıştır. GSH Rotalama ve Çizelgeleme Problemi (GSHRÇP) olarak tanımlanan problem, birden fazla ASM, zaman kısıtı ve bir aylık bir süre söz konusu olduğundan dolayı çok depolu, zaman kısıtlı, periyodik araç rotalama problemine (Çd-ZK-PARP) eşdeğerdir. GSHRÇP’nin çözümü için öncelikle matematiksel model geliştirilmiştir. Ancak, GSHRÇP NP-zor problemler sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle, orta ve büyüklü boyutlu problemlere makul sürelerde iyi çözümler üretebilmek amacıyla açgözlü sezgisel algoritma (AGS) ve açgözlü rassallaştırılmış adaptif arama algoritması (ARAAP) ve kayıttan kayda gezinti (KKG) algoritmasına dayalı iki karma sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Bu karma algoritmalar, başlangıç çözümünü oluşturma açısından farklı olup ARAAP_KK ve ARAAP(K)-KK olarak adlandırılmıştır. Geliştirilen matematiksel model ve sezgisel algoritmaların performansı, T.C. Sağlık Bakanlığı’ndan Ankara’daki 18 ilçe elde edilen GSH verileri üzerinde değerlendirilmiştir. Matematiksel model ile mevcut duruma göre 10 ilçede aylık katedilen rota uzunluğu ortalama %15,6 iyileştirilmiştir. Üç sezgisel algoritma arasında en iyi performansı gösteren ARAAP_KK ile aynı 10 ilçede mevcut duruma göre %22,3, Ankara genelinde ise %16,5 seviyesinde bir iyileşme sağlanmıştır.

Bilim Kodu : 90615

Anahtar Kelimeler : Araç Rotalama Problemi, Çok depolu ARP, Gezici/Mobil Sağlık Hizmeti, GSH, Periyodik ARP, Sağlık Hizmet Lojistiği, Zaman Kısıtlı ARP, VRP

Sayfa Adedi : 69

Danışman : Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK

MOBILE HEALTHCARE SERVICE ROUTING AND SCHEDULING PROBLEM: SOLUTION APPROACHES

(M. Sc. Thesis)

İlhami AKKUŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2021

ABSTRACT

After the industrial revolution, population migration from village to city, rural poverty and inequities in healthcare access have made it necessary for governments to provide public services everywhere and to change the health policy in order to improve people's wellbeing. It is not possible to build a hospital in every village, especially sparsely populated settlements. On the other hand, governments, must ensure that people have equal access to healthcare services. To tackle this issue, Ministry of Health of Turkey has enforced to give mobile healthcare services (MHS) in rural areas by approximately 7.5 thousand doctors located in approx. 3.4 thousand medical centers. These doctors work 8 hours a day and give MHS to approx. 9 million people each month. This study considers Turkish rural healthcare delivery system as a Multi-depot Time Constrained Periodic Vehicle Routing Problem (md-TCPVRP) and presents a mixed-integer linear programming formulation and heuristic algorithm for the problem. The goal is to determine the doctors' daily routes for each month. Objective is minimizing the total route distance under some constraints, such as maximum workhours, route duration, minimum service time per visit, assigning dedicated doctors to villages. To solve this problem firstly a mathematical model is developed. In order to investigate the performance of the mathematical model and heuristic algorithms computational experiments are carried. Md-TCPVRP, on the other hand, belongs to the class of NP-hard problems. As a result, two hybrid heuristic algorithms based on greedy heuristic algorithm, greedy randomized adaptive search algorithm, and record-to-record travel (RRT) are developed to produce good solutions to medium and large sized problems in reasonable time. These hybrid algorithms are different in terms of creating the initial solution and are named ARAAP_KK and ARAAP(K)-KK. The performance of the developed mathematical model and heuristic algorithms are compared using MHS data from 18 districts in Ankara obtained from the T.C. Ministry of Health. The mathematical model improved the monthly route length in ten districts by an average of 15.6% over the current real life application. ARAAP_KK, which performed the best of the three heuristic algorithms, resulted in a 22.3% improvement in the same 10 districts compared to the current real life application, and a 16.5% improvement in 18 districts of Ankara.

Science Code : 90615

Key Words : Healthcare Logistics, Mobile Healthcare, Vehicle Routing Problem, VRP, multi-depot, periodic VRP, time constrained VRP, VRP-TW

Page Number : 69

Supervisor : Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında değerli yardım ve katkılarını hiçbir zaman esirgemeyerek beni yönlendiren, gelecekte de akademik çalışmalarımda örnek alacağım tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca birikim ve tecrübeleriyle çalışmamıza destek olan Sayın Prof. Dr. İsmail KARAOĞLAN'a teşekkürü borç bilirim. Tez çalışması sürecinde tanıştığımız, başından sonuna kadar bana destek olan Sayın Dr. Ece Arzu YILDIZ hocama ve algoritma kodlamasındaki desteklerini sunan iş arkadaşım Süleyman DALDAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. GEZİCİ SAĞLIK HİZMETİ	5
2.1. Dünya	8
2.2. Türkiye	9
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	13
3.1. Çok Depolu ARP için Literatür Araştırması	13
3.2. Zaman Pencere/Kısıtlı ARP için Literatür Araştırması.....	18
3.3. Periyodik ARP.....	21
4. GEZİCİ SAĞLIK HİZMETİ ROTALAMA PROBLEMİ	23
4.1. GSHRÇP Tanımı	23
4.2. GSHRÇP için Matematiksel Model	26
5. GSHRÇP İÇİN SEZGİSEL ALGORİTMALAR	29
5.1. AGS, ARAAP ve KKG Algoritmaları için Genel Bilgiler.....	30
5.1.1. Açgözlü sezgisel (AGS) algoritma.....	30
5.1.2. Açgözlü rassal adaptif arama prosedürü (ARAAP)	30
5.1.3. Kayıttan kayda gezinti algoritması (KKGGA).....	32
5.2. GSHRÇP için AGS Algoritması	33
5.2.1. Çözüm gösterimi	33

	Sayfa
5.2.2. AGS algoritması.....	36
5.3. GSHRÇP için ARAAP_KK algoritması	39
5.3.1. Çözüm gösterimi	40
5.3.2. Başlangıç çözümünün üretimi	40
5.3.3. Kayıttan kayda gezinti (KKG1) algoritması	40
5.4. GSHRÇP için ARAAP(K)_KK Algoritması.....	45
6. DENEYSEL ANALİZ.....	47
6.1. Test Problemi.....	47
6.2. Matematiksel Model için Sayısal Analiz.....	49
6.3. Sezgisel Algoritmalar için Sayısal Analizler.....	53
6.3.1. Sezgisel algoritmaların karşılaştırılması	53
6.3.2. ARAAP_KK ile matematiksel model ve gerçek hayat uygulama karşılaştırması.....	54
6.4. Değerlendirme	59
7. SONUÇ.....	61
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	69

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çd-ARP için literatür araştırması özeti.....	17
Çizelge 3.2. Zaman pencere/kısıtlı ARP için literatür araştırması özeti.....	20
Çizelge 3.3. Periyodik ARP için literatür araştırması özeti	22
Çizelge 5.1. Rotalar arası ekle (1-0) komşuluklar	42
Çizelge 5.2. Rotalar arası yer değiştirme (1-1)	42
Çizelge 5.3. Rotalar-arası ekle (1-1) komşuluklar	43
Çizelge 6.1. Ankara ili için GSH hakkında özet sayısal bilgiler	48
Çizelge 6.2. Yerleşim yerine sunulacak hizmet süresi ve ziyaret sıklıkları.....	49
Çizelge 6.3. Gerçek hayat ve matematiksel model sonuçlarının karşılaştırması	51
Çizelge 6.4. Çalışma süresinin matematiksel modelin çözüm kalitesine etkisi.....	52
Çizelge 6.5. Sezgisel algoritmalar ile elde edilen sonuçlar	54
Çizelge 6.6. Gerçek hayat uygulaması, matematiksel model, sezgisel algoritma sonuçları...	56
Çizelge 6.7. Matematiksel model ve ARAAP_KK ile elde edilen iyileşme oranları ...	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kırsal sağlık hizmeti planlamasına etki eden faktörler.....	7
Şekil 4.1. Türkiye mülki idare bölümleri envanteri	23
Şekil 5.1. AGS algoritmasının adımları.....	30
Şekil 5.2. Açgözlü rassallaştırılmış adaptif arama prosedürü şablonu	31
Şekil 5.3. Y-AGS algoritma adımları	32
Şekil 5.4. KKG algoritmasının adımları	33
Şekil 5.5. Çözümün şebeke gösterimi.....	35
Şekil 5.6. Çözümün dizi gösterimi.....	35
Şekil 5.7. AGS algoritmasının adımları.....	38
Şekil 5.8. ARAAP-KK algoritmasının adımları	39
Şekil 5.9. KKG1 algoritmasının adımları	44

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu tez çalışmasında kullanılan simgeler ve kısaltmalar ile açıklamaları aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
c_{ij}	i ve j düğümleri arası mesafe
d_{ij}	i ve j düğümleri arası seyahat süresi
D	Kayıttan kayda algoritmasının kabul sınırı, kayıttan sapma değeri
s_i	Bir ziyarette i düğümündeki hizmet süresi
f_i	Belirlenen p periyotlarında i düğümünün ziyaret sıklığı
r_i	i köyünün ziyaretleri arasındaki periyot sayısı
m_h	h aile sağlığı merkezindeki hekimlerin sayısı
BIGM	Büyük bir sayısı
Z	Amaç fonksiyonu (katedilen mesafe)

Kısaltmalar	Açıklamalar
ADNKS	Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi
AGKA	Adaptif geniş komşu arama
AH	Aile hekimi (doktor)
AHB	Aile hekimliği birimi
ARAAP	Açgözlü rassal adaptif arama prosedürü (ing: GRASP)
ARAAP_KK	ARAAP ve kayıttan kayda gezinti algoritması
ARAAP(K)	ARAAP Kardinalite başlangıç çözümü algoritması
ARAAP(K)_KK	ARAAP Kardinal BÇ ve kayıttan kayda gezinti algoritması
ARP	Araç rotalama problemi (ingilizce: VRP)
AGS	Açgözlü sezgisel (ing. GREEDY)
ASM	Aile sağlığı merkezi
BÇ	Başlangıç çözümü
BTARP	Bölünmüş talepli araç rotalama problemi
Çd-ARP	Çok depolu araç rotalama problemi
Çd-BD-ARP	Çok depolu, bölünmüş dağıtım aracı rotalama problemi

Kısaltmalar	Açıklamalar
Çd-KARP	Çok depolu kapasiteli araç rotalama problemi
Çd-PARP	Çok depolu periyodik araç rotalama problemi
Çd-ZK-PARP	Çok depolu zaman kısıtlı periyodik araç rotalama problemi
Çd-ZP-ARP	Çok depolu zaman pencereci araç rotalama problemi
ÇS	Çözüm süresi
DKA	Değişken komşu arama
EİÇ	En iyi çözüm
ETDARP	Eşzamanlı topla dağıt araç rotalama problemi
EYK	En yakın komşu
GHU	Gerçek hayat uygulaması
GRASP	Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (Tr: ARAAP)
GREEDY	Açgözlü sezgisel algoritma (İngilizce)
GSH	Gezici sağlık hizmeti
GSHRÇP	GSH Rotalama ve çizelgeleme problemi
HFARP	Heterojen filo araç rotalama problemi
İYA	İteratif yerel arama
KAL	Kısıtlı aday listesi
KARP	Kapasiteli araç rotalama problemi
KKGA	Kayıttan kayda gezinti algoritması
MM	Matematiksel model
NP-hard	Non-deterministic polynomial-time (Tr: NP-Zor)
PARP	Periyodik araç rotalama problemi
RAE10	Rotalar-arası ekle
RAL	Rota aday listesi
RAYD11	Rotalar arası yer değiştirme (1-1)
RAE11	Rotalar-arası ekle (1-1)
RIYD	Rota-içi yer değiştirme
S-Çd-ARP	Sanal çok depolu araç rotalama problemi
TDARP	Topla-dağıt araç rotalama problemi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
Y-AGS	Yarı açgözlü rassal sezgisel

Kısaltmalar	Açıklamalar
ZKARP	Zaman kısıtlı araç rotalama problemi
ZPARP	Zaman pencereci araç rotalama problemi
ZPPARP	Zaman pencereci periyodik araç rotalama problemi

1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılın başında yapılan sağlık alanındaki tüm çalışmalar sağlık merkezlerinde sunulan hizmetin yaşlanan nüfusun sağlık hizmet ihtiyacını karşılamakta zorlanacağı, ekonomik olarak sürdürülebilir olmadığı ve alternatif hizmet modellerinin geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu nedenle kırsal nüfusa sağlık hizmet sunum modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin sürdürülebilirliği yerel ve merkezi hükümetlerin, sağlık idarecilerinin, uygulayıcıların etkileşimi ve halkın katılımı ile mümkündür. Sistemin hizmet alıcılar ve hizmet sunucularının bütüncül bir yapıda değerlendirilmesi şarttır. Halkın hizmet ihtiyacı temel alınmakta, bu ihtiyacın devlet tarafından nasıl karşılanacağı planlanmalıdır. Bu tür iki yönlü yönetim ancak tüm bileşenlerin katılımıyla mümkündür. Sağlık hizmet planları doğrudan devlet eliyle yapılabileceği gibi, kamu hizmetlerinin yetersiz kaldığı yerlerde hizmete özel sektör katılımı gerekebilmektedir. Bazı ülke örneklerinde özel sektörün finansal, insan kaynakları ve alt yapı hizmetleri alanlarında sisteme katkı sağladığı, bazı ülkelerde ise hizmetin büyük bir kısmına dâhil olduğu görülmüştür.

Alma-Ata Bildirgesi'nde [1] kırsal sağlık hizmeti, sağlık hizmetine eşit erişim gibi temel fikirler uluslararası bir yapıda katılımcı ülkeler tarafından kabul edilmiştir. Bu bildiri halk sağlığı hizmetleri açısından kaynak niteliğinde kabul görmektedir. Bildirgede, herkesin temel sağlık hizmetlerine erişiminin olması gerektiği, hakkaniyet, topluluk katılımı, toplumun hizmet planlamasına dâhil olması, sektörler arası olma, teknolojinin uygunluğu ve karşılanabilir maliyetler bileşenleri ile birlikte tanımlanmıştır. Kırsal hizmetlerin azalmasının yerel ekonomi üzerinde önemli olumsuz etkileri olabileceği ve genellikle tasarruf gerçekleştiremeyeceği, aksine maliyetleri artırabileceği ve sağlık personeli planlama çabalarını daha da karmaşıklatacağı düşünülmektedir [2].

Sağlık hizmetlerine erişilebilirlik ile kırsal toplulukların sürdürülebilirliği arasında güçlü bir bağlantı vardır. Kırsal sağlık hizmetlerinin sürdürülmesi ve geliştirilmesi, kırsal toplulukların ekonomik olarak hayatta kalmasını sağlaması açısından ve insanların orada yaşamaya devam edebilmesi için son derece önemlidir. Bu nedenle kırsal nüfusa sağlık hizmetinin götürülmesi gerekmektedir. Bu hizmet birçok gelişmiş ülkede aile hekimleri aracılığıyla sunulurken bazılarında ise toplum sağlığı hekimleri ve hemşireleri aracılığıyla yürütülmektedir. Kırsal bölgelere hizmet sunumunun merkezlerden yerleşim yerlerine

araçlarla personellerin gönderilmesi ve sağlık hizmetine uygun yerlerde hizmet sunulması şeklinde yürütülmektedir. Bu tür hizmetlerin sunulması için ülkemizde; gezici sağlık hizmeti (GSH), mobil sağlık hizmeti (MSH), yerinde sağlık hizmeti (YSH) gibi farklı hizmet modelleri geliştirilmiş olup, tanımlarında farklılıklar olsa da hepsi için ortak amaç sağlık hizmetinin sağlık tesislerinin dışında, diğer bir deyişle halkın hizmete erişebileceği yerde sunulmasıdır.

GSH'nin yönetimi iki yönlüdür. Hizmet alımı ve hizmet sunumu doğru şekilde birleştirilmelidir. Halkın hizmet ihtiyacı temel alınmakta, bu ihtiyacın devlet tarafından nasıl karşılanacağı planlanmalıdır. Bu tür iki yönlü yönetim ancak tüm bileşenlerin katılımıyla mümkündür. Sağlık hizmet planları doğrudan devlet eliyle yapılabileceği gibi, kamu hizmetlerinin yetersiz kaldığı yerlerde hizmete özel sektör katılımı gerekebilmektedir. Bazı ülke örneklerinde özel sektörün finansal, insan kaynakları ve alt yapı hizmetleri alanlarında sisteme katkı sağladığı, bazı ülkelerde ise hizmetin büyük bir kısmına dâhil olduğu görülmüştür.

Ülkemizde GSH, kamu destekli yaklaşık 3400 aile sağlığı merkezinde (ASM) bulunan ~7500 aile hekimi (AH) tarafından sunulmaktadır. AH'ler günde 8 saat çalışarak ayda ~9 milyon kişiye hizmet sunmaktadır. Bu tezin amacı ülkemizde kırsal bölgeler için verilen GSH'ni eniyilemektir. Bu nedenle, farklı ASM'de hizmet veren AH'lerin aylık olarak, mesai, rota süresi, her ziyaretteki asgari hizmet süresi, köylere her zaman aynı AH'nin atanması, vb. kısıtlar altında; her gün kullanacakları rotalarda aylık kat edilen mesafenin enküçüklenmesi problemi ele alınmıştır. GSH Rotalama ve Çizelgeleme Problemi (GHSRÇP) olarak tanımlanan problem, birden fazla ASM, zaman kısıtı ve bir aylık bir süre söz konusu olduğundan dolayı çok depolu, zaman kısıtlı, periyodik araç rotalama problemine (Çd-ZK-PARP) eşdeğerdir. Literatüre ilk kez bu tezde sunulan Çd-ZK-PARP, periyot ve depo sayısı 1 olduğunda ve zaman kısıtı kaldırıldığında Araç Rotalama Problemine (ARP) indirgenmektedir. ARP, NP-zor problem sınıfında olduğu için bu problemin daha genel bir hali olan ÇD-ZP-PARP ve dolayısıyla GSH Rotalama ve Çizelgeleme Probleminde (GHSRÇP) NP-zor problem sınıfında yer almaktadır. Tez kapsamında GSHRÇP'nin çözümü için öncelikle karma tamsayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel model ile sadece küçük boyutlu problemler için çözüm elde edilebildiği için orta ve büyüklü boyutlu problemlere makul sürelerde iyi çözümler üretebilmek amacıyla üç sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Birinci algoritma basit sezgisel

algoritmalar sınıfında yer alan açgözlü sezgisel algoritmaya (AGS) dayalı olarak geliştirilmiştir. Diğer iki algoritma ise açgözlü rassallaştırılmış adaptif arama algoritması (ARAAP) ve kayıttan kayda gezinti (KKG) algoritmasına dayalı geliştirilen karma sezgisel algoritmalar. Bu karma algoritmalar, başlangıç çözümünü oluşturma açısından farklı olup ARAAP_KK ve ARAAP(K)-KK olarak adlandırılmıştır. Geliştirilen matematiksel model ve sezgisel algoritmaların performansı, T.C. Sağlık Bakanlığı'ndan Ankara'daki 18 ilçe elde edilen GSH verileri üzerinde değerlendirilmiştir. Matematiksel model, 2, 4 ve 8 saat çalıştırıldığında mevcut duruma göre 10 ilçede aylık kat edilen rota uzunluğu sırasıyla ortalama %6, %6,6 ve %15,6 iyileştirilmiştir. ARAAP_KK ise aynı 10 ilçede mevcut duruma göre %22,3, Ankara genelinde ise %16,5 seviyesinde bir iyileşme sağlanmıştır. Ayrıca, duyarlılık analizi ile ARAAP_KK'nin performansında etkili olan parametreler ve algoritma özellikleri incelenmiştir.

Bu tez çalışması yedi bölümden oluşmaktadır. Bölümler aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

İkinci bölümde, gezici hizmetlerle ilgili bilgiler verilmiş, ülkemizde ve dünyada uygulanan gezici sağlık hizmetleri modellerinden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, araç rotalama problemleri ve tez kapsamında dikkate alınan türleri ile ilgili literatür araştırması sunulmuştur.

Dördüncü bölümde gezici sağlık hizmeti rotalama problemi tanımı yapılmış ve önerilen matematiksel modelin detayları verilmiştir.

Beşinci bölümde problem için geliştirilen sezgisel çözüm yaklaşımı, kullanılan açgözlü sezgisel algoritma, açgözlü rassallaştırılmış adaptif arama prosedürü, kayıttan kayda gezinti algoritması hakkında genel ve probleme özgü bilgiler verilmiştir.

Altıncı bölümde deneysel analizler yapılmış; çözüm için geliştirilen matematiksel model ve sezgisel algoritmaların sonuçları değerlendirilmiş, duyarlılık analizi yapılmıştır.

Yedinci sonuç bölümünde tez kapsamında yapılan çalışmalar ile ilgili genel değerlendirmeler sunulduktan sonra gelecekteki yapılabilecek çalışmalara ışık tutacak bilgiler sunulmuştur.

2. GEZİCİ SAĞLIK HİZMETİ

Kırsal topluluklar, kaliteli sağlık hizmetlerine erişimi sürdürmek için uzun süre mücadele etmişlerdir. Sağlık hizmetine erişebilmek için köy sağlık evleri veya ilçe devlet hastanelerine başvurmak durumunda kalmışlar, koruyucu sağlık hizmetlerinden mahrum kaldıkları gibi tedavi hizmetlerinden de önemli ölçüde uzak kalmışlardır. Sağlık hizmetlerine erişilebilirliğin artırılması ve bütün vatandaşların birinci basamak sağlık hizmetlerinden eşit şekilde yararlanması amacıyla dünyada gezici sağlık hizmeti (GSH), mobil sağlık hizmeti (MSH), evde sağlık hizmeti (ESH), yerinde sağlık hizmeti (YSH) gibi sağlık hizmetini hastalara/kişilere götüren hizmet türleri uygulanmaktadır. Kapsamlı literatür çalışmaları, kırsal hastanelerin ve diğer hizmet sağlayıcıların karşılaştığı sorunları ortaya koymuş ve kırsal nüfusun genellikle temel sağlık hizmetlerine erişemediğini öne sürmüştür [3].

Tıbbi teknolojinin gelişmesiyle yaşam süresi uzamış, yaşlı nüfus artmış buna bağlı olarak kronik hastalıklar artmış ve bakım ihtiyacı duyan birey sayısı da artarken bireylerin yaşam kalitesi beklentisi yükselmiştir. Bunların neticesinde sağlık harcamaları artmış ve geleneksel bakım kavramı değişmiştir. Ayrıca kırsal alanlarda azalan nüfus, ekonomik durgunluk, hekimlerin ve diğer sağlık profesyonellerinin yetersizliği, orantısız sayıda yaşlı, yoksul ve yüksek kronik hastalık oranları dâhil olmak üzere çeşitli unsurlar 19. yüzyılın sonundaki sağlık reformlarının temel unsuru olmuş, kırsalda sağlık hizmet sunum modellerinin şekillenmesine katkıda bulunmuştur.

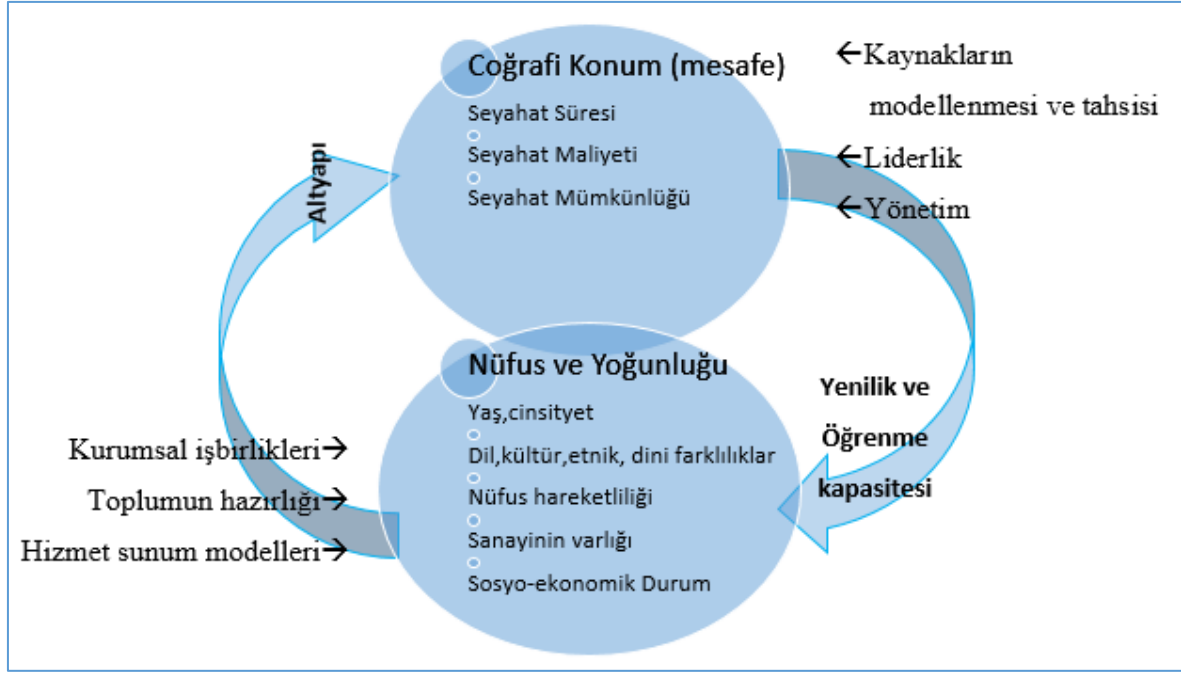
Son yıllarda sağlık alanında artan maliyetler ve ekonomik sürdürülebilirlik çalışmaları sağlık tesislerinde sunulan hizmetin yeterli olmadığını göstermiş, hizmetin kişilere götürülmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Kişiyi götürülecek hizmetler koruyucu sağlık hizmetleri, sağlığın korunması, hastalıkların önlenmesi olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır [4, 5]. Birincil koruma, kişisel veya toplumsal düzeyde sağlığı geliştirmek için aşılama, beslenme, çevre temizliği, fiziksel ve duygusal yönden iyilik hali için gereken önlemleri kapsamaktadır. İkincil koruma, kişisel ve toplumsal düzeyde erken tanı ve tedavi önlemlerini içerirken üçüncül koruma, hastalığa bağlı oluşabilecek sakatlıkların en aza indirilmesi, hastanın yeni duruma uyumunun sağlanarak yaşam kalitesinin artırılması için alınması gereken önlemleri ifade eder. Aynı bakış açısına göre koruyucu sağlık hizmeti kişiye ve çevreye yönelik olarak iki grupta ele alınır. Çevreye yönelik hizmetler; çevrede sağlığı olumsuz etkileyen etkenleri yok etme ya da bu etkenlerin kişilere etkilerini önlemeyi kapsar.

Kişiye y6nelik koruyucu sağlık hizmetleri ise hekim, hemşire gibi sağlık çalışanlarının yaptığı işlemleri ifade eder.

Temel sağlık hizmetleri ve bu hizmete ulaşım için gerekli şartlar Birleşmiş Milletler İnsan Hakları Evrensel Beyannamesi'nde [6] sağlık hizmetinin bütüncül bir şekilde tüm insanlara ulaştırılması, sağlık hizmetlerine eşit erişim hakkı gibi temel hak ve hürriyetler kapsamında tanımlanmıştır. Herkesin ailesi ile birlikte iyilik hali olarak da tanımlanan sağlık hakkı Avrupa Sosyal şartı'nda [7] ulaşılması gereken temel haklar arasında yer almıştır. Ülkemiz temel insan hakları ve özgürlükleri ile ilgili bu iki metnin taraf ülkelerinden birisi olmuş, bu kapsamda diğer taraf ülkeler gibi üzerine düşen sağlık hizmetinin vatandaşlara ulaştırılması konusunda çalışmalar yapmıştır. Sağlık hizmetinin herkese eşit sunulması kapsamında hem devletler, hem de halkın birlikte aksiyon alması bu anlamda önem arz etmektedir.

Devletler açısından sağlık hizmetinin kırsal toplumlara erişimi için yönetim unsurları şekil 2.1'de özetlenmiştir. Kırsal bölgelere hizmet sunumunun merkezlerden yerleşim yerlerine araçlarla personellerin gönderilmesi ve sağlık hizmetine uygun yerlerde hizmet sunulması şeklinde yürütölmektedir.

Yönetim ve planlamada sağlık personelinin hizmet sunacağı yerleşim yerinin demografik, sosyoköltürel, sosyoekonomik ve sağlık profilini önceden bilmesi hizmetin yerelleştirilmesini gerektirmektedir. Ülkemizde bu durum aile hekimliği sisteminin önemli bir bileşeni olarak tanımlanmıştır. Halkın sağlık hizmeti alışkanlıkları, hizmet planları ve takvimi, hizmet sunulacak yer, önemli yönetişim unsurlarıdır. şekil 1.1'de kırsal sağlık hizmeti planlamasına etki eden faktörler ve bu faktörlerin ilişkilerini gösteren bir görsel verilmiştir. şekil 2.1'de coğrafi özelliklerin ve nüfusun GSH yönetişiminin önemli bileşenleri olduğu görölmektedir. Planlama için, kaynakların modellenmesi ve tahsisi, liderlik ve yönetim coğrafi aından; kurumsal işbirlikleri ve toplumun hazırlığı ile hizmet sunum modelleri nüfusun hizmet tercihleri açısından önem arz etmektedir. Altyapı ile yenilik ve öğrenme kapasitesi ise hem coğrafi hem de nüfusa ilişkin planlamada göz önünde bulundurulacak temel ortak bileşenleridir.



Şekil 2.1. Kırsal sağlık hizmeti planlamasına etki eden faktörler [8]

İki yönlü gezici sağlık hizmet planlamasının hizmet alım tarafında halk, hizmet sunumu tarafında sağlık idarecileri ve sağlık hizmet sunucuları bulunmaktadır. Halkın yaşadığı yer, köylerin nüfus ve nüfus yoğunluğu, nüfus hareketliliği, yerleşim yerindeki sanayinin varlığı ve sosyoekonomik durum ile yaş, cinsiyet, dil, kültür, etnik yapı, dini farklılıklar, hizmet alıcıların genel özellikleridir ve önemli yönetim bileşenleridir. Sağlık yöneticilerinin hizmet planlamasında karşılarındaki en önemli problem coğrafi konumdur. Hizmet sunucuların köylere seyahat süresi, seyahatin maliyeti, seyahatin uygunluğu coğrafi açıdan karşılaşılan problemlerdir. Coğrafi konum, altyapı hizmetleri unsurundan beslenmekle birlikte kaynakların modellenmesi ve tahsisi, yönetim ve liderlik gerektiren yönetim bileşenlerini içerir. Nüfus ve nüfus yoğunluğu, yenilik ve öğrenme kapasitesine bağlı olarak, kurumsal işbirlikleri, toplumun hizmete hazırlanması ve hizmet sunum modelleri bileşenlerini içerisinde barındırmaktadır.

Kırsal nüfusun sağlık hizmetlerine ulaşmasını sağlamak yerine, sağlık hizmetlerinin onlara götürülmesi daha önemli olduğu için 21. Yüzyılda gelişmiş ülkeler tarafından benimsenmiştir. Ülkemizde, kırsalda yaşayan yerel halk ve göçmenlerin sağlık hizmetlerine daha kolay ulaşabilmesi ve koruyucu sağlık hizmetlerine yönelik talebin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu kısımda Dünya’da ve ülkemizde GSH uygulamalarına değinilecektir.

2.1. Dünya

Koruyucu sağlık hizmetleri kapsamında halkın sağlık tesisine başvurusu temel sağlık hizmeti planlaması açısından önemli bir fırsattır. Zira başvuran kişiye gerekli koruyucu veya tedavi edici sağlık hizmeti sunulabilmektedir. Sunulan bu hizmetin yönetimi, maliyeti, iş yükü hesaplanarak planlama yapılabilir. Fakat sağlık tesisine gelmeyen kişilerin hastalık risklerini, sağlık sistemine ne zaman ne kadar yük getirebileceklerini, en önemlisi bu kişilerin sağlıklı yaşamlarının sürdürölmesine katkı sağlanması mümkün olamamaktadır. Temel sağlık hizmetlerinin yönetiminde dünyada farklı uygulamalar mevcuttur. Sağlıkta iyilik halinin korunması ve koruyucu sağlık hizmetleri temel sağlık hizmetlerinin en önemli bileşenleridir. Bu bileşenlerin en önemli alt kümesi olan kırsal sağlık hizmetlerinin yönetimi ile ilgili dünyadaki örnekler incelenmiş ve aşağıda sunulmuştur.

Kanada'da gün geğtikçe kırsal nüfus azalmakta ve gelir düzeyleri düşmektedir [9]. Bu nedenle hizmet sunumu coğrafi etkenler ve mesafe ile nüfus özellikleri göz önünde bulundurularak kronik hastalığı olan bireylere kamusal finansmanın da destek olduğu özel sağlık sigortaları aracılığıyla sağlanırken, temel sağlık hizmetleri ise aile hekimleri aracılığıyla kamusal finansman ve sağlık sigortalarının standart hizmetlerine dâhil olmak suretiyle yapılmaktadır [10].

ABD'de GSH için bu alanda çalışan ayrı ekipler oluşturulmuştur. Temel sağlık hizmetleri kamu ve özel sağlık sigortaları tarafından finanse edilmektedir. Karmaşık hastalıkları olan vatandaşların sağlık durumları aile hekimlerince takip edilmekte ihtiyaç halinde özel sağlık sigortalarının finanse ettiği hastanelerde bu kişilere sağlık hizmeti verilmektedir [3].

Avustralya ve Arjantin kırsal sağlık hizmetini birbirleri ile benzer şekilde ve çok sektörlü olarak yönetmektedir. İş gücü planlaması, pratisyen hekim, ebe, hemşire ve diğer sağlık çalışanları dâhil olmak üzere kırsal sağlık profesyonellerinin eğitimi, işe alımı, elde tutulması ve sürekli mesleki gelişimi iki ülke arasındaki ikili anlaşma gereği beraber yürütölmemektedir. Kırsal bölgelerde sağlık hizmetlerini izlemek ve sunmak için taşınabilir cihazlar kullanılarak sağlık çalışanları ve hastanelerle bilgi sistemleri aracılığıyla bilgi paylaşılarak gezici sağlık hizmeti ihtiyacı planlamakta ve ihtiyaca binaen uygun sağlık çalışanını araç ile gereken noktaya transfer etmektedir [11].

Çin’de basit hastalıklar köy klinikleri ve kırsal hastaneler aracılığıyla tedavi edilmektedir. Bu sağlık tesislerinin planlaması bölgesel yapılmaktadır. Karmaşık vakalarda ise hasta en yakın merkezi hastaneye sevk edilmektedir. Bu ülkede hastanın sevk edildiği durumda farklı bir ekip görev yaparken kırsal sağlık hizmet sunumunda farklı bir ekip görevlidir. Bu görevlendirmeler il sağlık merkezlerinde yapılmaktadır. Kırsal kesimde kişi başı düşen sağlık çalışanı sayısının düşük olması, kırsal sağlık hizmeti planlamasının başlıca kısıtlarından biridir [12].

Almanya’da kırsal sağlık hizmeti sağlık çalışanının rotalanması şeklinde değil, her yerleşim yerinde pratisyen hekim planlanması şeklinde yapılmaktadır. Pratisyen hekim veya aile hekimleri tarafından yönetilen sağlık hizmetleri vakanın karmaşık olması halinde merkezi hastanelere sevk edilmektedir. Sevk ise acil olması durumunda 112 tarafından, aksi halde kişinin kendi imkânları ile yapılmaktadır [13].

İran’da kırsal sağlık hizmetlerine kırsaldaki kısıtlı hekim sayısı nedeniyle eşit erişim mümkün olmadığı için finansman ve personel desteği; ilaç endüstrileri, özel sektörler, sağlık profesyoneli eğiten üniversitelerle iş birliği yapılarak sağlanmaktadır [14].

Kırsal sağlık hizmetlerinin temel bileşeni sağlık çalışan ihtiyacının doğru planlaması, kırsal yerleşim yerlerine kolay erişimi ve yerleşim yerinin sosyokültürel durumu ve koruyucu sağlık hizmetlerine katılımıdır. Seyahat süresi, ulaşım maliyetleri, nüfus dalgalanmaları ve belirli endüstrilerin bölgesel dağılımı gibi faktörler kırsal toplulukların yaşam kaliteleri arasında farklılık oluşturabilir.

2.2. Türkiye

Ülkemizde kırsal nüfusa sağlık hizmeti aile hekimleri aracılığıyla sunulmaktadır. Toplum sağlığı hekimleri ve hemşireleri tarafından ise çevre sağlığı hizmetleri, gezici nüfusa verilen hizmetler gibi aile hekimliğini destekleyici bazı hizmetler sunulmaktadır. Ülke genelinde yaklaşık 8 bin aile sağlığı merkezinde yer alan ~25 bin aile hekimi arasından seçilen yaklaşık ~7 500 aile hekimi tarafından ~50 bin yerleşim yerinde yaşayan ~9 milyon vatandaşa hizmet sunulmaktadır. Süreç il sağlık müdürlükleri tarafından aile hekimlerinin yerleşim yerlerine atanması şeklinde planlanmaktadır. Aile hekimi ve yerleşim yeri (köy) atanması yılda en az

2 defa olmak üzere güncellenmekte ve aile hekiminin köye nasıl, ne sıklıkta ne zaman gideceği konusunda aylık planlar yapılmaktadır.

Sağlıkta Dönüşüm Programı ile aile hekimliği sisteminin tüm yurttan uygulanmaya başlanması kararı alınmıştır. Aile Hekimliği Kanunu'nda [15] aile hekimliği hizmeti kişiye yönelik koruyucu sağlık hizmetleri ile birinci basamak teşhis, tedavi ve rehabilite edici sağlık hizmetlerini yaş, cinsiyet ve hastalık ayrımı yapmaksızın her kişiye kapsamlı ve devamlı olarak belli bir mekânda ve gerektiği ölçüde GSH şeklinde verilmesi olarak tanımlanmıştır. 2010 yılında yayımlanan Aile Hekimliği Uygulama Yönetmeliği ve Aile Hekimliği Ödeme ve Sözleşme Yönetmeliği'nde GSH tanımlanmış, günümüze kadar güncellemeler yapılmıştır. Mevzuatın 2015 yılında yapılan güncellemesi halen yürürlüktedir.

Ülkemizin onuncu kalkınma planında yer alan, sağlık hizmetinin en önemli unsurları, erişimde eşit haklara sahip olunması, kalite, finansman, sürdürülebilirlik olarak tanımlanmıştır [16].

Aile hekimliği sistemi koruyucu sağlık hizmetinin temel uygulaması olarak oluşturulmuştur. Bu kapsamda T.C. Sağlık Bakanlığı'na;

- Sağlık hizmetine ulaşımın zor olduğu belde, köy, mezra, uzak mahalleler ve benzeri yerleşim yerlerine “*gezici sağlık hizmeti*”,
- Cezaevi, çocuk ıslahevi, huzurevi, korunmaya muhtaç çocukların barındığı çocuk yuvaları ve yetiştirme yurtları gibi özellik arz eden toplu yaşama alanlarından oluşan yerlere “*yerinde sağlık hizmeti*”,
- Toplum sağlığı hizmetleri kapsamında; sağlık hizmetine ulaşımın zor olduğu belde, köy, mezra, uzak mahalleler ve benzeri yerleşim yerlerine koruyucu sağlık hizmetlerinin ulaşılabilirliğini, sürdürülebilirliğini ve etkinliğini sağlamak amacıyla; “*mobil sağlık hizmeti*”,
- İhtiyacı olan bireylerin muayene, tetkik, tahlil, tedavi, tıbbi bakım ve rehabilitasyonlarının evinde ve aile ortamında yapılması; “*evde sağlık hizmeti*”

Sunulmaktadır [17].

Aile hekimlerinin GSH sunacakları bölgelerdeki yerleşim birimlerine bir plan dâhilinde periyodik aralıklarla ulaşmaları ve hizmet vermeleri 2015 yılındaki mevzuat değişikliği ile sağlanmıştır. GSH ile ilgili kuralları içeren bu mevzuat günümüzde halen yürürlüktedir.

Türkiye’de 973 ilçe bulunmakta ve GSHRÇP her ilçe için kendi içerisinde değerlendirilmektedir. Ülkemizde bin nüfuslu ilçeler bulunduğu gibi, bir milyona yakın nüfuslu ilçeler de bulunmaktadır. Bu durumun neticesi olarak ASM sayıları, düğüm sayıları, kapasite ve hizmet ihtiyaçlarına göre çok değişken büyüklüklerde problemlerin çözümüne ihtiyaç duyulmaktadır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gezici sağlık hizmetlerinin günümüzde birden fazla hizmetin birleşimi şeklinde tasarlanması zorunluluğu hizmet planlamasının karmaşıklaşmasına, zorlaşmasına neden olmuştur. Maliyetler, personel ve işgücü planlamaları, lojistik zorluklar problemin genel ilgi alanını ve çözülmesi gereken zorlukları kapsamaktadır. Tez kapsamında ele alınan GSHRÇP’de her ilçede farklı yerlerde farklı sayıda ASM bulunmaktadır. Bu nedenle problem çok depoludur. Aylık AH çalışma planları ile her köye belirli gün ve saatlerde hizmet sunulmakta olduğu için dönemseldir (periyodiktir). Hizmet sunumunda AH’nin mesai süresinin aşılmaması gerekliliği problemi zaman kısıtlı yapmaktadır. Dolayısıyla GSHRÇP, çok depolu, zaman kısıtlı periyodik ARP’ne (Çd-ZPARP) eşdeğer olup literatürde ilk kez bu tez kapsamında tanımlanmıştır. Bu nedenle, problemin alt problemi niteliğinde olan problemler için literatür taraması verilmiştir. Problemin özelliklerinden dolayı bu bölümde çok depolu ARP (Çd-ARP), zaman pencereli ARP (ZPARP) ve periyodik ARP (PARP) ile ilgili literatür araştırmalarına yer verilmiştir.

ARP, Dantzig ve Ramser (1959) tarafından literatüre tanıtıldıktan sonra hem lojistikteki öneminden dolayı hem de problemin zorluğundan dolayı üzerinde en çok çalışılan problemlerden birisidir. Gerçek hayattaki uygulamaları yansıtmak amacıyla müşterileri ziyaret etme zaman aralığı, periyodik talepler, heterojen araç filosu, talepleri karşılayacak birden fazla depo, vb. özelliklere sahip çalışmalarla ilgili literatür araştırması Toth ve Vigo (2002) [18] ile Golden ve diğerleri (2008) [19] tarafından yapılmıştır.

3.1. Çok Depolu ARP için Literatür Araştırması

Lojistik operasyonların artması, lojistik süreç ve görevlerde birden fazla depo kullanma zorunluğu doğurmuştur. Çok depolu ARP’de (Çd-ARP) araçlar talep düğümleri alt kümesine hizmet götürürler ve araç rotaya bir depodan başlar ve aynı depoya geri döner. Yapılan literatür taraması sonucunda problemin NP-Zor problem olmasından dolayı çok sayıda çalışmanın Çd-ARP ile ilgili sezgisel çözüm yaklaşımlarına odaklandığı, son yıllarda metasezgisel algoritmaların da kullanıldığı görülmüştür. Literatürde bulunan önemli çalışmalardan bir kısmı aşağıda özetlenmiştir.

Polacek, Hartl ve Doerner (2004) çok depolu, zaman pencereli ARP (Çd- ZP-ARP) için değişken komşu arama (DKA) algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir [20]. Geliştirilen algoritmanın çözüm kalitesi ve çözüm süresi açısından literatürde önerilen Tabu arama ile rekabet edebildiği gösterilmiştir.

Mingozzi(2005) periyodik ARP, çok depolu ARP ve tek depolu kapasiteli ARP içeren homojen filolu, kapasiteli, mesafe, araç sayısı ve ziyaret kısıtlı ARP için doğrusal programlamaya dayalı bir matematiksel model geliştirmişlerdir [21].

Eveborn, Flisberg, Rönnqvist (2006) İsveç'in Stokholm şehrinde belediyeler tarafından organize edilen ev hizmetlerini çok depolu ve zaman pencereli rotalama ve çizelgeleme problemi olarak ele almışlar, çözüm için geliştirilen matematiksel modelde küme bölümlene yöntemi kullanmışlar, tekrarlayan eşleşme (full-repeated matching) algoritması geliştirmişlerdir [22]. İnsan eliyle yapılan plana göre daha az maliyetle, daha az yönetim eforu harcanarak maliyetlerin düşürüldüğünü göstermişlerdir. Sonuçlara göre planlama için harcanan süre bölgelere göre değişmekle birlikte %18 ila %26 azalmış, rota süreleri %22 azalarak rota kalitesi artırılmış, bu sayede müşteri memnuniyetinin artırıldığı gösterilmiştir.

Imran, Salhi ve Wassan (2008) heterojen filolu Çd-ARP için DKA algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir [23]. Algoritmada başlangıç çözümü Dijkstra algoritması ve Gillet ve Miller'in (1974) süpürme algoritmasına dayalı olarak üretilmektedir [24]. Çeşitlendirme prosedürünün kullanıldığı DKA'da, her araç için yük ve mesafe kısıtı olan orta ve büyük ölçekli problemlerde kaliteli çözüm üretebildiği yapılan deneysel analiz ile gösterilmiştir.

Yu, Yang ve Xie (2010) Çd-ARP için karınca kolonisi eniyilemesine (KKE) dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir [25]. Problemde öncelikle sanal bir merkez depo tanımlanmış ve diğer depoların merkezine konumlandırılmıştır. Bu şekilde problem, ARP'ye dönüştürülmüş ve sanal Çd-ARP (S-Çd-ARP) olarak tanımlanmıştır. S-Çd-ARP için geliştirilen algoritmanın performansı, 23 test problemi üzerinde literatürdeki diğer KKE algoritmaları ile karşılaştırmalı incelenmiştir.

Gulczynski, Golden ve Wasil (2011) bölünmüş dağıtımli Çd-ARP (Çd-BD-ARP) için tamsayıli programlama tabanlı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir [26]. Gerçek hayat

uygulamalarından yola çıkılan makalede çöp toplama ve stok dağıtım problemleri birleştirilerek, tek depolu ve Çd-ARP için geliştirilen algoritma ile çözüm elde edilmiştir.

Contardo ve Martinelli (2014) Çd-ARP için kapasite ve rota uzunluğu kısıtları altında bir kesin çözüm yöntemi önermişlerdir [27]. Bu yöntem, araç akışı (vehicle-flow) formülasyonu ile hesaplanan alt sınır, kötü sonuçları ortadan kaldırmak için kullanılırken, küme bölümleme (set-partitioning) formülasyonuna dayalı bir dal-kesme-fiyat algoritmasıdır.

Çd-ARP ile ilgili 1988 ve 2014 yılları arasında yayınlanan makaleleri inceleyerek kapsamlı bir literatür çalışması, Montoya-Torres, Franco, Isaza, Jimenez, Herazo-Padilla (2015) tarafından yapılmıştır [28]. Literatürdeki çalışmalar kısıtlara ve kullanılan çözüm metotlarına göre inceleyerek çalışmaların %26'sının zaman penceresi, %21'inin heterojen akış, %38'inin kapasite, %12'sinin periyodiklik, %11'inin toplama ve dağıtım kısıtlarını içerdiğini; çözüm metotlarının ise %31'inin kesin metotlar, %45'inin sezgisel algoritmalar, %57'sinin de meta sezgisel algoritmalar olduğunu ortaya koymuşlardır.

Eurostat'a göre, 2013 yılında Avrupa Birliği'ndeki karayolu taşımacılığı planlarının bilgisayarla yapılmadığı ve bu nedenle 667 897 000 tanesinde (tüm araç yolculuklarının %38'i) herhangi bir yük taşımadığı ifade edilmektedir. Christie ve James (2006) bilgisayar tarafından oluşturulan rota planları ile yakıt ve sera gazı emisyonlarında %40'a kadar tasarruf sağlanabileceğini iddia etmektedir [29]. Reiners (2015), doktora tezinde çok depolu bölünmüş dağıtım ARP'yi (Çd-ARP) ele almıştır. Probleme tavlama benzetimi, DKA ve kısıt programlama temeline dayalı bir sezgisel algoritma geliştirmiştir [30]. Tezdeki amacı boş kamyon turlarının sayısının yanı sıra kamyonların kapasitesinden az yüklerle oluşturulan turların azaltılmasıdır.

Mirabi, Shokri ve Sadeghieh (2016) çok depolu zaman kısıtlı ARP için taşıma maliyetini, seyahat mesafesini, zaman penceresinin dışındaki varış cezalandırmasını azaltan matematiksel model ve genetik algoritma önermişlerdir[31]. Algoritma sonuçları bulanık C-means ve K-means algoritmalarıyla karşılaştırılarak daha sağlam ve efektif olduğu gösterilmiştir.

Mancini (2016) heterojen filolu, çok depolu, çok periyotlu araç rotalama problemine (Çd-ÇPARP) karma tamsayılı programlama formülasyonu ve farklı imha (destroy) operatörleri

içeren adaptif geniş komşu arama (AGKA) sezgiseli temelli bir matsezgisel sunmuştur [32]. Tez kapsamında incelenen problemde temel farkı, düğümlerde hizmet süresinin olmaması ve müşterilerin taleplerinin belirli zaman penceresinde, hizmet sunucuların mesai kısıtları altında karşılanmasıdır.

Chen ve Yang (2017) şehir trafiğini dengelemek amacıyla müşterilerin gruplandığı, kaynak-hedef tahmini yapıldığı ve trafiğin atandığı problemi Çd-ARP olarak tanımlamış ve problemin çözümü için iki seviyeli programlama yaklaşımı geliştirmiştir [33]. İlk seviyede matematiksel model ile çözüm bulunmuş, ikinci seviyede genetik algoritmadaki mutasyon ve genetik değişim operatörleri kullanılarak daha iyi çözümler aranmıştır.

Soto, Sevaux, Rossi, Reinholz (2017) açık Çd-ARP için DKA ve tabu arama stratejilerine dayalı bir karma sezgisel algoritma geliştirmiştir [34]. Sayısal ve istatistiksel testlerle karma sezgisel algoritmanın benzer metotlara göre çok daha hızlı ve daha iyi çözümler üretebildiği gösterilmiştir.

Wang, Weng, Zhang (2019) çok amaçlı, Çd-ZP-ARP'ye yakınsama ve çeşitliliği dengelemek için 2 aşamalı çok amaç fonksiyonlu evrimsel bir algoritma önermiştir [35]. Sezgisel algoritma ilk aşamada uç çözümler bulmaya odaklanır ve kabaca bir Pareto grafiği oluştururken, ikinci aşamada bulunan çözümü genişletir. Ayrıca, çözümü iyileştirmek için karma komşuluk yapıları kullanılmıştır. Algoritma ile elde edilen çözümler gerçek hayat problemi ile test edilmiş iyi sonuçlara makul sürelerde ulaşıldığı gözlenmiştir.

Stodola (2020), ARP uygulamasıyla ilgili problem için olasılıklı ve kesin çözüm tekniklerini birleştiren, KKE algoritmasına dayalı bir karma sezgisel algoritma geliştirmiştir [36]. Algoritmanın çözüm kalitesi benzer diğer metotlar (Cordreau'nun örnekleri) ile karşılaştırılmış, daha iyi sonuçlar üretildiği gösterilmiştir.

Shi, Lv, Hu ve Han (2020) kentsel atık ve katı atık toplama problemini Çd-ARP olarak tanımlayarak çok başlangıçlı sektör kombinasyon eniyilemesi algoritması geliştirmişlerdir [37]. Algoritmanın başlangıç çözümünde en iyi çözüme ulaştığı, bu nedenle diğer iteratif algoritmalar ve tabu aramadan daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Zhang, Gajpal, Appadoo ve Wei(2020) yeşil Çd-ARP için iki aşamalı KKE algoritması önermişlerdir [35]. İki farklı amaç için iki farklı karınca kullanılmış; birinci karınca depo müşterileri atamasını, diğeri ise rota bulma işlemini gerçekleştirmiştir.

Çizelge 3.1’de Çd-ARP literatür araştırması özetlenmiştir. Literatürde kullanılan matematiksel model (MM) ve sezgisel çözüm yöntemleri belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Çd-ARP için literatür araştırması özeti

Yazar, yıl	MM	Sezgisel Çözüm Yöntemi
Polacek ve diğerleri (2004)	+	
Mingozzi (2005)	+	
Eveborn ve diğerleri (2006)	+	full-repeated matching algoritması
Imran ve diğerleri (2008)	+	Dijkstra algoritması, değişken komşu arama algoritması
Yu ve diğerleri (2010)		Coarse-grain paralel stratejisi, ant-weight stratejisi ve mutasyon operasyonu
Gulczynski ve diğerleri(2011)	+	Tamsayılı programlama tabanlı bir sezgisel algoritma
Contardo ve Martinelli (2014)	+	Kesin yöntemler
Montoya-Torres ve diğerleri (2015)	+	Kesin yöntemler, sezgisel ve metasezgisel algoritmalar
Reiners (2015)	+	Tavlama benzetimi, değişken komşu arama ve kısıt programlama temeline dayalı bir sezgisel algoritma
Mirabi ve diğerleri (2016)	+	Genetik algoritma
Mancini (2016)	+	Karma tamsayılı programlama, farklı imha operatörleri ile adaptif geniş komşu arama sezgiseli
Chen ve Yang (2017)	+	Genetik algoritma (mutasyon ve genetik değişim operatörleri)
Soto ve diğerleri (2017)	+	Hibrit sezgisel algoritma (değişken komşu arama ve tabu arama stratejileri)
Wang ve diğerleri (2019)	+	2 aşamalı çok amaç fonksiyonlu evrimsel bir algoritma, Pareto grafiği, hibrit komşuluk yapıları
Stodola (2020)	+	Olasılıklı ve kesin çözüm tekniklerini birleştiren, hibrit karınca kolonisi optimizasyon algoritması
Shi ve diğerleri (2020)	+	Çok başlangıçlı sektör kombinasyon optimizasyonu algoritması Merge-head ve drop-tail stratejileri
Zhang ve diğerleri(2020)	+	İki aşamalı karınca kolonisi algoritması

MM; Matematiksel Model

3.2. Zaman Pencere/Kısıtlı ARP için Literatür Araştırması

Bu bölümde teze katkı sağlayan zaman pencere/kısıtlı ARP ile ilgili literatürde bulunan bazı kaynaklara yer verilmiştir.

Augerat, Belenguer, Benavent, Corberan, Naddef, Rinaldi (1995) dal kesme algoritması ile zaman kısıtlı, kapasiteli ARP'ye çözüm üretmişler, temel olarak daha iyi alt sınırlar elde edebilmek için geçerli eşitsizliklerden faydalanmışlardır [38].

Pathumnakul (1996) yüksek lisans tezinde çok depolu ARP için kesin yöntemler ve tabu arama sezgiselini birlikte kullanmıştır [39]. Clarke ve Wright algoritması ile başlangıç rotaları oluşturulmuş, tabu aramanın yer değiştirme komşuluk mekanizmasıyla iyileştirilmiştir.

Polacek, Hartl ve Doerner (2004) Bölüm 3.1'de belirtilen çalışması hem çok depolu, hem de zaman pencere ARP (Çd- ZP-ARP) içermektedir [20].

Baldacci, Bodin ve Mingozzi (2006) sağlık hizmetlerinde topla dağıt, Çd-ZK-ARP üzerinde çalışmışlar, çözüm için kesin metotlar tasarlamışlardır [40]. Algoritma sonuçları 11 test probleminde literatürdeki kapasiteli ARP ile ilgili çalışmalardan 10 kat daha hızlı sonuç bulunduğunu, en iyi çözüme veya ona yakın çözümlere, makul çözüm zamanında ulaşıldığını göstermiştir.

Eveborn ve diğerlerinin (2006) Bölüm 3.1'de belirtilen çalışması hem çok depolu hem de zaman pencere ARP içermektedir.

Li, Golden ve Wasil (2007) heterojen filo araç rotalama probleminde HFARP'de KKG algoritmasını kullanmıştır [41]. Heterojen araç filosunun en iyi şekilde kullanımına zaman kısıtları altında karar verebilmek için KKG algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir.

Subramanian, Ochi ve Cabral (2008) ZK-ARP için iteratif yerel arama algoritmasını kullanmışlardır [42].

Michallet, Prins, Amodeo, Yalaoui ve Vitry'nin (2013) çalışması, periyodikliği ve zaman kısıtlarını dikkate alan önemli araştırmalardan biridir. Bu çalışmada araştırmacılar, yüksek değerli nakliye yapan şirketlerin güvenlik problemlerini çözebilmek için bir karma tamsayılı formülasyon geliştirmişler ve çok başlangıçlı iteratif yerel arama algoritması önermişlerdir [43]. Periyodiklik ve zaman kısıtı açısından bu tez kapsamında ele alınan problem ile benzerlik göstermektedir.

Trautsamwieser ve Hirsch (2014) hemşirelerin hastalara rotalanması ve haftalık çalışma çizelgelerinin oluşturulması amacıyla zaman pencereli, periyodik ARP için dal-sınır-kesme (Branch-Price-and-Cut) yöntemini, üst sınırları bulabilmek için değişken komşu arama çözüm yaklaşımını önermişlerdir. Önerilen çözüm metodlarının 9 hemşire, 45 müşteri ve haftada 203 ziyarete kadar çözüm üretebildiği gösterilmiştir.

Bae ve Moon (2016) lojistik ve tedarik zincirinde çok depolu, zaman pencereli araç rotalama problemine (Çd-ZP-ARP) karışık tamsayılı programlama modelinin yanı sıra, en iyi çözüme yakın çözüm elde etmek için sezgisel ve genetik algoritma geliştirmişlerdir [44]. Önerilen algoritmaların nispeten büyük problemleri çözebildiği ve Çd-ZP-ARP sonuçları depo ve teslimat maliyetleri ile sabit maliyetlerinin yanı sıra seyahat mesafeleri ve işçilikle ilgili masraflarının en aza indirilebilmesi için verimli bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Oliveira, Enayatifar, Sadaei, Guimarães, Potvin (2016) Çd-ARP için yerel arama operatörleriyle birleştirilmiş paralel evrim stratejisi önerilmiştir [45]. Bu stratejide müşteriler konumlarına en yakın depolara atanmış ve kısmi çözüm oluşturulmuştur. Depo müşteri grupları oluştuktan sonra yerel arama operatörleriyle mesai kısıtları altında en iyi çözümler aranmış ve bulunan çözümlerin yüksek kalitede, çözüm sürelerinin de çok kısa olduğu gösterilmiştir.

Wang, Weng, Zhang (2019) çok amaçlı, çok depolu zaman pencereli ARP (Çd-ZP-ARP)'ye yakınsama ve çeşitliliği dengelemek için 2 aşamalı çok amaç fonksiyonlu evrimsel bir algoritma önermiştir [35]. Sezgisel algoritma ilk aşamada uç çözümler bulmaya odaklanır ve kabaca bir Pareto grafiği oluştururken, ikinci aşamada bulunan çözümü genişletir. Ayrıca, çözümü iyileştirmek için hibrit komşuluk yapıları kullanılmıştır. Sonuçlar gerçek hayat problemi ile test edilmiş iyi sonuçlara makul sürelerde ulaşıldığı gözlenmiştir.

Çizelge 3.2’de Çd-ARP literatür araştırması özetlenmiştir. Literatürde kullanılan matematiksel model (MM) ve sezgisel çözüm yöntemleri belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Zaman pencere/kısıtlı ARP için literatür araştırması özeti

Yazar	MM	Sezgisel Çözüm Yöntemi
Augerat ve diğerleri (1995)	+	
Pathumnakul (1996)	+	Tabu arama
Polacek, Hartl ve Doerner (2004)	+	
Baldacci, Bodin ve Mingozzi (2006)	+	
Eveborn, Flisberg, Rönnqvist (2006)	+	Tekrarlayan eşleşme (full-repeated matching) algoritması
Li, Golden ve Wasil (2007)		Kayıttan kayda gezinti algoritması
Subramanian, Ochi ve Cabral (2008)		İteratif yerel arama
Trautsamwieser ve Hirsch (2014)	+	Değişken komşu arama
Bae ve Moon (2016)	+	Karışık tamsayı programlama modeli Sezgisel ve genetik algoritma
Oliveira ve diğerleri (2016)	+	Yerel arama operatörleriyle birleştirilmiş paralel evrim stratejisi
Michallet ve diğerleri (2013)	+	Çok başlangıçlı iteratif yerel arama algoritması
Wang, Weng, Zhang (2019)	+	2 aşamalı çok amaç fonksiyonlu evrimsel bir algoritma, Pareto grafiği, hibrit komşuluk yapıları

MM; Matematiksel Model

3.3. Periyodik ARP

Belirli görevlerin belirli zaman aralıklarında yapılması gereken uzun vadeli faaliyetler için, periyodik planlama ihtiyacı doğmuştur. Bu bölümde teze katkı sağlayan periyodik ARP ile ilgili literatür araştırmasına yer verilmiştir.

Mingozzi(2005)'nin Bölüm 3.1'de de belirtilen çalışması hem periyodik ARP hem de çok depolu ARP içermektedir [21].

Coene, Arnout ve Spieksma (2010) mezbaha, kasap ve süpermarketlerden atık toplama ile ilgili müşterilerin farklı sıklıklarla ve belirli periyotlarda ziyaret edildiği PARP için iki aşamalı sezgisel algoritma geliştirilerek çözüm aranmış, T günlük periyot kümesi içerisindeki planlama süreci modellenmiştir [46].

An, Kim Y., Jeong ve Kim S. (2012) evde sağlık hizmetleri kapsamında hemşirelerin evlere çeşitli hizmetleri götürmesini konu alan periyodik araç rotalama problemine (PARP) iki aşamalı sezgisel algoritma geliştirilerek çözüm üretmişlerdir[47]. Modelin performansı rassal üretilen veriler ve gerçek hayat veriler ile test edilmiştir. Sonuçlar makul sürede makul büyüklükteki problemlere optimale yakın çözümler ürettiğini göstermiştir.

Vidal, Crainic, Gedreau, Lahrichi ve Rei (2012) Çd-ARP, PARP ve kapasiteli araç ile rota süresi kısıtı içeren Çd-PARP algoritmik çerçeve önermişlerdir. Metasezgisel evrimsel geniş popülasyon arama uzayının genişliğini, komşuluk arama temelli meta sezgisellerin agresif iyileştirme becerisini ve gelişmiş nüfus çeşitliliği yönetim özelliklerini birleştirmektedir [48]. Makalede, deneysel analiz sonuçları ile yöntemin hesaplama verimliliği ve çözüm kalitesi açısından iyi performans gösterdiğini, optimal çözümler dahil bilinen en iyi çözümleri üç problem sınıfı için bulabildiği belirtilmiştir.

Michallet ve diğerlerinin (2013) Bölüm 3.2'de belirtilen çalışması hem periyodik hem de zaman pencereli ARP içermektedir [43].

Trautsamwieser ve Hirsch (2014) Bölüm 3.2'de belirtilen sağlık personeli rotalama ve çizelgeleme problemini ele alan çalışması hem zaman pencereli, hem periyodik ARP içermektedir.

Mancini (2016)'nin Bölüm 3.1'de belirtilen çalışması hem çok depolu hem de çok periyotlu ARP içermektedir [32].

Önemli üç ARP çeşidi olan ZPPARP, Çd-PARP ve servis seçimli PARP'ye ilişkin detaylı bilgiye Francis, Smilowitz ve Tzur (2008) çalışmasından erişilebilir[49].

Yapılan literatür araştırmasında problemin zorluğundan dolayı genellikle sezgisel algoritmaların geliştirildiği görülmüştür. Çizelge 3.3'te Çd-ARP literatür araştırması özetlenmiştir.

Çizelge 3.3. Periyodik ARP için literatür araştırması özeti

Yazar	MM	Sezgisel Çözüm Yöntemi
Mingozzi(2005)	+	
Francis, Smilowitz ve Tzur (2008)		
Coene, Arnout ve Spieksma (2010)		İki aşamalı sezgisel algoritma
An ve diğerleri (2012)	+	İki aşamalı sezgisel algoritma
Vidal ve diğerleri (2012)		Metasezgisel algoritma
Michallet ve diğerleri (2013)	+	Karma tamsayılı formülasyon çok başlangıçlı iteratif yerel arama algoritması
Trautsamwieser ve Hirsch (2014)	+	Değişken komşu arama
Mancini (2016)	+	Karma tamsayılı programlama Farklı imha operatörleri içeren adaptif geniş komşu arama sezgiseli temelli matsezgisel

MM; Matematiksel Model

4. GEZİCİ SAĞLIK HİZMETİ ROTALAMA PROBLEMİ

Bu bölümde, GSHRÇP tanımlandıktan sonra problemin çözümüne ilişkin matematiksel model verilecektir.

4.1. GSHRÇP Tanımı

Türkiye'nin mülki idare bölümleri ve demografik bilgilerinin verildiği Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, Türkiye'de 973 ilçe¹, 18 293 köy ve 32 207 mahalle bulunmaktadır. 8 015 aile sağlığı merkezi (ASM) içerisinde yer alan 26 594 aile hekimliği biriminin 7 393'ü (%28), kırk sekiz bin yerleşim yerinde² yaşayan yaklaşık dokuz milyon kişiye (Türkiye nüfusunun %9'una) GSH sunmaktadır. GSH planlaması bu ilçelerde birbirinden bağımsız olarak 81 il Sağlık Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır. Hizmet sunumu aile hekimlerinin (AH) kendi araçlarıyla yapılabildiği gibi il veya ilçe Sağlık Müdürlüklerince tahsis edilen araçlarla da yapılabilmektedir.



The screenshot shows a web page titled 'Türkiye Mülki İdare Bölümleri Envanteri' with a table of administrative units. The table is organized into two columns, each with a list of units and their counts. Each row includes a download icon (PDF and XLS).

Türkiye Mülki İdare Bölümleri Envanteri	
→ İl Sayısı:	81
→ İlçe Sayısı:	922
→ Mahalle Sayısı:	32215
→ Köy Sayısı:	18294
→ Bağlı Sayısı:	23929
→ Büyükşehir Belediyesi Sayısı:	30
→ İl Belediyesi Sayısı:	51
→ Büyükşehir İlçe Belediyesi Sayısı:	519
→ İlçe Belediyesi Sayısı:	403
→ Belde Belediyesi Sayısı:	387
Toplam Belediye Sayısı: 1390	

Şekil 4.1. Türkiye mülki idare bölümleri envanteri [50]

Köylerdeki sağlık hizmeti ihtiyacını karşılamak için yakın ASM'lerden köylere atananan AH tarafından GSH sunulması için il Sağlık Müdürlükleri tarafından aylık toplam kat edilen mesafeyi enküçükleyecek şekilde çizelgeler oluşturulmaktadır. Aylık çizelgeler ile her ASM'den hergün hangi AH'nin hangi köylere hangi sırada ve hangi saatte hizmet vereceği belirlenmektedir. İl Sağlık Müdürlüklerinde aylık çizelgeler yetkili kişi tarafından tecrübe dayalı olarak oluşturulmaktadır. Her köy için aylık belirli bir hizmet süresi ve ziyaret sayısı

¹ İlçe sayısı; Şekil 2'de belirtilen ilçe sayısı ve büyükşehir olmayan illerin merkez ilçelerinin sayısının toplamıdır. $922+51=973$

² GSH sunulacak yerleşim yerleri sağlık hizmetine erişim güçlüğü, nüfusun özellikli hizmet ihtiyacı vb. olan Şekil 4.1'deki köy ve mahalle olarak belirtilen yerler arasından seçilmektedir [17].

vardır. Sağlık hizmetinin etkin bir şekilde verilebilmesi için bir köye her ziyarette aynı AH tarafından hizmet sunulması gerekmektedir. Bu şekilde hastaların sağlık durumunun aynı AH tarafından izlenmesi sağlanmış olacaktır. Hizmet sunum günlerinin köy halkı tarafından benimsenebilmesi için hizmet verilecek haftalarda haftanın aynı günlerinde köye gidecek şekilde AH atanması istenmektedir. Örneğin ayda iki kere 60 dk hizmet verilecek bir köye ayın ilk pazartesi günü gidildiyse sonraki ziyareti ayın üçüncü haftası yine pazartesi günü olmalıdır. Zira hizmet sıklığı ve saatleri halka duyurularak hizmetten maksimum faydanın sağlanması amaçlanmaktadır. Hergün her ASM'den bir yada birkaç AH kendilerine atanan köylere belirlenen sırada ve saatte hizmet verir ve gün sonunda ASM'ye geri döner. Herhangi bir ASM'de sadece bir AH varsa, bu AH haftanın en fazla bir gününde GSH sunabilmektedir. Birden fazla AH'nin bulunduğu ASM'lerde hizmetin aksamaması için en az bir AH merkezde kalırken diğerleri GSH vermektedir. Her il veya ilçe Sağlık Müdürlüğü, bu kısıtlar altında toplam kat edilen mesafeyi enazlayacak şekilde aylık AH çizelgelerini oluşturulmasını istemektedir. İlgili aydaki çalışma günü sayısı önceden bilinmekte ve buna göre planlamalar yapılmaktadır. Aylık AH çalışma planları oluşturulduktan sonra yılın 12 ayını kapsayan planlar il Sağlık Müdürlüklerince yıl başlamadan onaylanmaktadır. Planlar yılda en az iki defa gözden geçirilmekte ve ihtiyaç halinde ilgili ay başlamadan güncellenebilmektedir.

ASM'de GSH için görevlendirilen her AH, araçlar ile köylere giderek veya ihtiyaç halinde şoförle götürülerek hizmet vermektedir. GSH sunumunda araç kullanmayı bilen aile hekimleri tercih edilerek bu hekimler köylere atanmaktadır. Şoför ile gidilen durumlarda ödeme aile hekimine ödenecek gider ödeneğinden kesilmekte olup toplam maliyeti değiştirmemektedir. Bu nedenle bu tez kapsamında şoförlü veya şoförsüz rotalama ve çizelgeleme konusuna değinilmemiş, şoför ataması yapılmamıştır. GSH kapsamında, sadece koruyucu sağlık hizmetleri ve birinci basamak sağlık hizmetlerinin tümü verilmektedir. Acil sağlık hizmetleri, ikinci ve üçüncü basamak tedavi hizmetleri GSH kapsamında olmayıp kişilerin ihtiyaç duyması durumunda hastanelere sevk edilebilmektedir. GSH sunan AH'nin çalışma saatleri değişebilmekle birlikte günlük 8 saattir. Asgari hizmet süreleri mevzuatta tanımlanmakla birlikte yerleşim yerinin ihtiyacına göre il Sağlık Müdürlüklerince bu süre uzatılabilmekte ve planlama önceden onaylanan şekilde yapılmaktadır. Tez kapsamında asgari süreler kullanılmıştır. Tüm köylere nüfusa göre hesaplanan asgari sürelerde, asgari sıklıkta, belirlenen periyotlarda, atanan AH tarafından hizmet sunulmak zorundadır.

Bu problem bu tezde, GSH rotalama ve çizelgeleme problemi (GSHRP) olarak adlandırılmıştır. GSHRÇP’de birden fazla ASM, zaman kısıtı ve bir aylık bir süre söz konusu olduğundan dolayı, problem çok depolu, zaman kısıtlı, periyodik araç rotalama problemine (Çd-ZK-PARP) eşdeğerdir. Literatüre ilk kez bu tezde sunulan Çd-ZK-PARP, periyot ve depo sayısı 1 olduğunda ve zaman kısıtı kaldırıldığında Araç Rotalama Problemine (ARP) indirgenmektedir. ARP, NP-zor problem sınıfında olduğu için bu problemin daha genel bir hali olan ÇD-ZP-PARP ve dolayısıyla GSHRP’de NP-zor problem sınıfında yer almaktadır.

GSHRÇP’nin özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Ziyaret süreleri ve sıklıkları hizmet verilecek köyün nüfusuna bağlıdır.
- Her ziyaret sıklığı grubu için alternatif ziyaret kuralları vardır.
- Hizmet köylere Sağlık Bakanlığı tarafından belirlenen sıklıkta sunulmalıdır.
- Her AH belli bir ASM’ye atanmıştır.
- AH ve ASM’ler köylere atanmalıdır.
- Her AH’nin hizmet verdiği belirli köyler vardır. AH’ler bu sayede köylerin sağlık hizmeti ihtiyacını bilmekte, daha verimli hizmet sunmaktadır.
- Mesai süresi günlük 8 saattir (480 dk).

Ayda 20 gün bulunduğu kabul edilmiştir. Diğer bir deyişle, periyot genişliği 20 günden oluşmaktadır.

4.2. GSHRÇP için Matematiksel Model

Bu bölümde GSHRÇP'nin çözümü için bir karma tamsayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Michallet ve diğerlerinin [43] modeli temel alınarak geliştirilen matematiksel modelde kullanılan kümeler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda verilmektedir.

Kümeler

V	Tüm Düğümlerin Kümesi ($V = V_i \cup V_H$)
V_I	Köyler
V_H	Aile Sağlığı Merkezleri
P	Periyotlar (günler)
M	Hekimler
$(V = V_i \cup V_H)$	

Parametreler;

c_{ij}	i ve j düğümleri arası mesafe
d_{ij}	i ve j düğümleri arası seyahat süresi
s_i	Bir ziyarette i düğümündeki hizmet süresi
sjf_i	Belirlenen p periyotlarında i düğümünün ziyaret sıklığı
r_i	i köyünün ziyaretleri arasındaki periyot sayısı
m_h	h aile sağlığı merkezindeki hekimlerin sayısı
BIGM	Büyük bir sayısı

$$r_i = \left\lceil \frac{|P|}{f_i} \right\rceil$$

Karar Değişkenleri;

$x_{ij}^{mp} =$	1, m hekimi i düğümünden j düğümüne p periyotunda ziyaret ederse
	0, dd
$z_{ih} =$	1, i köyü h aile sağlığı merkezine atandıysa
	0, dd
$w_{im} =$	1, i köyü m hekimine atandıysa
	0, dd .
$t_i^{mp}:$	m hekiminin i köyüne p periyotunda varış zamanı

Matematiksel Model;

$$\text{Min} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \sum_{i \in V'} \sum_{j \in V'} c_{ij} x_{ij}^{mp} \quad (4.1)$$

$$\sum_{i \in V'} \sum_{m \in M} \sum_{p \in P} x_{ij}^{mp} = f_j \quad \forall j \in V_I \quad (4.2)$$

$$\sum_{i \in V'} \sum_{m \in M} x_{ij}^{mp} \leq 1 \quad \forall j \in V_I, \forall p \in P \quad (4.3)$$

$$\sum_{j \in V} x_{hj}^{mp} \leq 1 \quad \forall h \in V_H, \forall m \in M, \forall p \in P, \quad (4.4)$$

$$\sum_{i \in V'} x_{ij}^{mp} \leq W_{jm} \quad \forall j \in V_I, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (4.5)$$

$$\sum_{h \in H} z_{jh} = 1 \quad \forall j \in V_I \quad (4.6)$$

$$\sum_{m \in M} w_{jm} = 1 \quad \forall j \in V_I \quad (4.7)$$

$$\sum_{i \in V'} x_{ij}^{mp} = \sum_{i \in V'} x_{ji}^{mp} \quad \forall j \in V_I, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (4.8)$$

$$\sum_{m \in M} x_{hi}^{mp} \leq z_{ih} \quad \forall i \in V_I, \forall h \in V_H, \forall p \in P \quad (4.9)$$

$$\sum_{m \in M} x_{ih}^{mp} \leq z_{ih} \quad \forall i \in V_I, \forall h \in V_H, \forall p \in P \quad (4.10)$$

$$\sum_{m \in M} x_{ih}^{mp} + z_{ih} + \sum_{\substack{h' \in M \\ h \neq h'}} z_{jh'} \leq 2 \quad \forall i, j \in V_I, \forall h \in V_H, \forall p \in P \quad (4.11)$$

$$T_{jp} \geq T_{ip} + s_i + d_{ij} - \text{BIGM}^* (1 - x_{ij}^{mp}) \quad \forall i, j \in V_I, i \neq j, \forall p \in P, \forall m \in M \quad (4.12)$$

$$T_{jp} \geq d_{hj} - \text{BIGM}^* (2 - z_{jh} - x_{hj}^{mp}) \quad \forall h \in V_H, \forall j \in V_I, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (4.13)$$

$$T_{jp} \leq \text{BIGM}^* \left(\sum_{i \in V'} \sum_{m \in M} x_{ij}^{mp} \right) \quad \forall j \in V_I, \forall p \in P \quad (4.14)$$

$$T_{jp} \leq 480 - s_j - d_{jh} + \text{BIGM}^* (2 - z_{jh} + x_{jh}^{mp}) \quad \forall h \in V_H, \forall j \in V_I, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (4.15)$$

$$t_{jp} = t_{j(p+r_j)} \quad \forall j \in V_I, \forall p \in P \quad (4.16)$$

$$\sum_{i \in V_I} \sum_{m \in M} x_{hi}^{mp} \leq m_h - 1 \quad \text{for } m_h > 1 \quad (4.17)$$

$$\sum_{i \in V_I} \sum_{p \in P} x_{hi}^{1,p} \leq \left\lfloor \frac{|P|}{5} \right\rfloor \quad \text{for } m_h = 1 \quad (4.18)$$

$$x_{ij}^{mp} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V, \forall j \in V, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (4.19)$$

$$z_i^{mp} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (4.20)$$

$$t_i^{mp} \in \mathbb{R}^+ \quad \forall i \in V, \forall m \in M, \forall p \in P \quad (4.21)$$

Matematiksel modelde amaç fonksiyonu Eş. 4.1, toplam mesafeyi enküçükmektedir. Eş. 4.2 ile her j köyünün bir ayda $f(j)$ kere ziyaret edilmesi gerektiğini ifade eder. Eş. 4.3 her j köyüne her periyotta (günde) en fazla bir defa gidilebileceğini belirtmektedir. Yönetmelikte olmamakla birlikte il sağlık müdürlüğünce belirtilen her hastanedeki her doktorun günde (bir periyotta) en fazla bir tura çıkabildiği Eş. 4.4 ile verilmiştir. Eş. 4.5 her j köyüne sadece kendisine atanan hekimin gitmesini, Eş. 4.6 her köyün mutlaka bir ASM'ye atanmasını, Eş. 4.7 her köyün mutlaka bir doktora atanmasını garanti etmektedir. Eş. 4.8 akış denge kısıtıdır ve her düğüm için giriş ve çıkış sayısını eşitler. Eş. 4.9, 4.10, 4.11 kurallara uygun olmayan rotaları engellemektedir (Örn: ASM'den başlamayan, aynı ASM'ye dönmeyen rotalar oluşturulamamaktadır). j düğümüne varış zamanı ve alt tur eleme kısıtları Eş. "4.12, 4.13, 4.14, 4.15" ile sağlanmaktadır. Eş. 4.16 ile j köyüne her ziyaret, sıklığa dayalı olarak, ay içerisinde haftanın aynı günü olması sağlanmaktadır. ASM'lerin sağlık hizmetine ara vermemesi, yani kapalı olmaması gerekmektedir. Eş. 4.17 birden fazla aile hekimi çalışan ASM'lerde her periyotta en az 1 hekimin ASM'de kalmasını, diğer bir deyişle her periyotta hekim sayısının 1 eksiği kadar hekimin GSH için ASM'den ayrılabilceğini ifade eder. Eş. 4.18 ise, bir aile hekiminin bulunduğu ASM'lerde hekimin haftada en fazla 1 defa gezici hizmet sunabileceği ifade edilmiştir. Son olarak, Eş. "4.19, 4.20, 4.21" işaret kısıtları verilmiştir.

5. GSHRÇP İÇİN SEZGİSEL ALGORİTMALAR

GSHRÇP, NP-Zor problemler sınıfında yer aldığı için kesin çözüm yöntemleri ile en iyi çözümü bulmak için harcanan süre problem boyutuna bağlı olarak üstel artış gösterir. Bu tip zor problemlere çözüm üretmek için sezgisel yöntemlerden sıklıkla faydalandığı yapılan literatür taramasıyla anlaşılmıştır. Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 incelendiğinde, Çizelge 3.1’de PARP için iki aşamalı sezgisel algoritma (Coene, Arnout ve Spieksma (2010); An, Kim Y., Jeong ve Kim S. (2012)), metasezgisel algoritma (Vidal, ve diğerleri (2012)), karma tamsayılı formülasyon ve çok başlangıçlı iteratif yerel arama (Michallet ve diğerleri (2013)) algoritmaları geliştirildiği görülmektedir. Çizelge 3.2’de zaman pencereli/kısıtlı ARP için değişken komşu arama (Polacek ve diğerleri (2004)), sezgisel algoritma ve genetik algoritma (Bae ve Mood (2016)), karma tamsayılı programlama ve farklı parçalama operatörleri içeren matsezgisel (Mancini(2016)), iki aşamalı çok amaçlı evrimsel algoritma (Wang ve diğerleri(2019)) geliştirildiği görülmektedir. Çizelge 3.3’te değişken komşu arama algoritması (DKA) (Imran ve diğerleri (2008)), coarse-grain paralel stratejisi, ant-weight stratejisi ve mutasyon operasyonu (Yu ve diğerleri (2010)), tam sayılı programlama (Gulczynski ve diğerleri (2011)), kesin yöntemler, sezgisel ve metasezgisel algoritmalar (Montoya-Torres ve diğerleri (2015)), kısıt programlama temeline dayalı sezgisel bir algoritma (Reiners(2015)), karınca koloni eniyilemesine dayalı bir karma sezgisel algoritma (Stodola(2020)) geliştirildiği görülmektedir.

Bu tez kapsamında orta ve büyük boyutlu GSHRÇP için makul sürelerde kaliteli çözüm elde etmek amacıyla üç algoritma geliştirilmiştir. Birinci algoritma basit sezgisel algoritmalar sınıfında yer alan açgözlü sezgisel (AGS) algoritmaya dayalı olarak geliştirilmiştir. Diğer iki algoritma ise açgözlü rassallaştırılmış adaptif arama prosedürü (ARAAP) algoritması ve kayıttan kayda gezinti (KKG) algoritmasına dayalı geliştirilen karma sezgisel algoritmalar. Bu karma algoritmalar, başlangıç çözümünü oluşturma açısından farklı olup ARAAP_KK ve ARAAP(K)-KK olarak adlandırılmıştır. Bu bölümde öncelikle AGS, ARAAP ve KKG algoritmaları hakkında genel bilgi verildikten sonra, GSHRÇP için geliştirilen algoritmalar anlatılacaktır.

5.1. AGS, ARAAP ve KKG Algoritmaları için Genel Bilgiler

AGS, ARAAP ve KKG algoritmalarının genel özellikleri ve işleyişi hakkında bilgi bu bölümde yer almaktadır.

5.1.1. Açgözlü sezgisel (AGS) algoritma

AGS, bir probleme iyi bir çözümü ardışık bir yaklaşım kullanarak kurar. Algoritma, başlangıçta bir çözüm parçasını seçer ve probleme tam bir çözümü elde edinceye kadar adım adım çözüm parçalarını kısmi çözüme ekler. Herhangi bir adımda hangi çözüm parçasının kısmi çözüme ekleneceğine rassal ya da sezgisel bir kural ile karar verir. Genellikle, her adımda bir sezgisel fonksiyon ile tahmin edilen ve en büyük faydanın söz konusu olduğu çözüm parçası kısmi çözüme eklenir[51]. AGS algoritmasının adımları Şekil 5.1’de verilmiştir. Algoritmada s_k ve s sırasıyla probleme kısmi ve tam çözümü, V_i ; çözüme seçilebilecek çözüm parçalarının tümünü içeren $V = \{V_1, V_2, V_3, \dots\}$ dizisinden çözüme eklenecek çözüm parçasını göstermektedir.

Begin

$s_k = \emptyset$; /* Başlangıç çözümü boş kümedir (null) */

Repeat

$V_i = \text{Sezgisel-Seçim}(V)$; /* çözüme eklenecek çözüm parçası V seçilir*/

$s_k = s_k \cup V_i$;

Until {tam çözüm elde edilinceye kadar}

$s \leftarrow s_k$

s raporla

End

Şekil 5.1. AGS algoritmasının adımları [52]

5.1.2. Açgözlü rassal adaptif arama prosedürü (ARAAP)

Açgözlü Rassal Adaptif Arama Prosedürü (ARAAP), kombinatorial eniyileme problemlerini çözmek için Feo ve Resende (1989) tarafından geliştirilmiş bir iteratif açgözlü sezgiseldir. ARAAP’ın her iterasyonu çözüm kurma ve yerel arama olmak üzere iki adımdan oluşur. Çözüm kurma adımında yarı açgözlü rassal sezgiselden (Y-AGS) yararlanılarak

probleme bir çözüm elde edilir. Yerel arama adımında ise elde edilen bu çözüm iyileştirilir [53, 54]. ARAAP algoritmasının adımları Şekil 5.2. de verilmektedir.

Input: Adım sayısı (input: iterasyon sayısı)

Repeat

s = Rassal Açgözlü (tohum); /* *rassal açgözlü sezgisel uygula* */

s' = Yerel arama (s); /* *çözümüne yerel arama algoritması uygula* */

Until Durdurma koşulu sağlanıncaya kadar /* örn: *girilen adım sayısı kadar* */

s' raporla

Output: Bulunan en iyi çözüm.

Şekil 5.2. Açgözlü rassallaştırılmış adaptif arama prosedürü şablonu [52]

ARAAP'ta iterasyonlar birbirinden bağımsızdır, dolayısıyla hafıza yoktur. ARAAP'ın performansı kullanılan çözüm kurucu algoritmaya ve yerel arama algoritmasına dayalıdır. Eğer çözüm kurucu algoritma arama uzayının farklı bölgelerinden çözümler üretebiliyorsa ARAAP etkili bir sezgisel algoritma olma potansiyeline sahiptir. ARAAP, bir problemin çözümü için kullanılacaksa öncelikle Y-AGS ve yerel arama algoritması belirlenmelidir.

Y-AGS Algoritma

Çözüm kurucu algoritmada, kısmi çözüme eklenecek çözüm parçaları iyiden kötüye sıralanır. Bu listeden çözüm parçaları seçilerek kısıtlandırılmış aday listeye (KAL) eklenir. ARAAP'ın en önemli parçası olan KAL, sezgiselin olasılıklı yanını gösterir ve iki farklı yaklaşıma göre oluşturulur. Birinci yaklaşım büyüklüğe dayalıdır. Bu yaklaşımda, artan maliyete göre en iyi p çözüm parçası KAL'a eklenir. İkinci yaklaşım değere dayalı yaklaşımdır. Bu yaklaşımda verilen sınır değerinden daha iyi değere sahip çözüm parçalarının seçimi ile KAL oluşturulur [47].

$$\frac{V_i}{c_i} \leq c_{min} + \alpha (c_{max} - c_{min}) \quad \alpha: \text{kullanıcı tarafından tanımlanan sayı} \quad (5.1)$$

Algoritmanın her iterasyonunda, KAL'dan bir çözüm parçası rassal olarak seçilir ve kısmi çözüme eklenir. Bu eklemeden sonra KAL güncellenir. Açgözlü rassal çözüm kurucu algoritmanın adımları Şekil 5.3'de verilmektedir.

$s = \emptyset$; /* Başlangıç çözümü boş kümedir (null) */

Tüm aday elemanların maliyete etkisini (amaç fonksiyonuna katkısı) değerlendir;

Repeat

KAL'ı oluştur

$V_i = \text{rassal seçim (KAL)}$;

$s = s \cup V_i$;

Aday elemanların amaç fonksiyonuna katkısını yeniden değerlendir;

Until {tam çözüm elde edinceye kadar}

Şekil 5.3. Y-AGS algoritma adımları [52]

Açgözlü rassal sezgisel ile elde edilen çözüm yerel en iyi çözümü garantilemediği için, kurulan her çözüm yerel arama algoritması ile iyileştirilir. Yerel arama algoritması olarak basit yerel arama algoritmasının yanı sıra tavlama benzetimi, tabu arama gibi algoritmalar da kullanılabilir. Bu tez kapsamında yerel arama algoritması olarak KKG algoritması kullanılmıştır.

5.1.3. Kayıttan kayda gezinti algoritması (KKGA)

Kayıttan kayda gezinti algoritması (KKG), Dueck (1983) tarafından geliştirilmiş, tavlama benzetiminin deterministik versiyonudur[55]. KKD algoritmasının adımları Şekil 5.4'te verilmiştir. Bu algoritma, her iterasyonda bulunan komşu çözümü (s') KAYIT değerinden en fazla D kadar kötü ise mevcut çözüm (s) olarak eder. Deterministik kabul fonksiyonu eşitlik (5.2) de verilmiştir.

$$P(s') = \begin{cases} 1 & \text{eğer } f(s') \leq \text{Kayıt} + D \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (5.2)$$

Input: $D > 0$. /* Sapma değeri sıfırdan büyük bir değerdir*/

$s = s_0$; /* Başlangıç çözümünün üretimi

$KAYIT = f(s)$; /* Başlangıç KAYIT değeri

Repeat

Bir rassal komşu s' üret;

If $f(s') < KAYIT + D$ ise, $s = s'$; /*komşu çözümü kabul et

If $KAYIT < f(s')$ ise, $KAYIT = f(s')$; /*KAYIT'ı güncelle

Aday elemanların amaç fonksiyonuna katkısını yeniden değerlendir;

Until {Durdurma kriteri sağlanana kadar}

Output: Bulunan en iyi çözüm

Şekil 5.4. KKG algoritmasının adımları [52]

Amaç arama sırasında kötü çözümleri de kontrollü olarak kabul ederek yerel en iyi çözümlere takılmayı önlemektir. KAYIT arama sırasında bulunan en iyi çözümün amaç fonksiyonu değeridir. En iyi çözüm güncellendikçe, KAYIT güncellenmektedir. Dolayısıyla, KKG'de kabul sınırı dinamiklidir. D, algoritmanın tek parametresi olup en iyi çözümden izin verilen en büyük sapma değerini vermektedir

5.2. GSHRÇP için AGS Algoritması

Bu bölümde GSHRÇP için geliştirilen AGS algoritması açıklanacaktır. Ancak, öncelik hem bu sezgisel algorithma hem de ARAAP_KK ve ARAAP(K)-K algoritmalarında önemli olan çözüm gösterimi tanımlanacaktır.

5.2.1. Çözüm gösterimi

Tez kapsamında geliştirilen sezgisel algoritmalarda kullanılan çözüm gösterimini tanımlayabilmek amacıyla GSHRÇP'nin tanımı aşağıda tekrar verilmiştir:

GSHRÇP'de amaç, farklı ASM'de hizmet veren AH'lerin mesai, rota süresi, her ziyaretteki asgari hizmet süresi, köylere her zaman aynı AH'nin atanması, vb. kısıtlar altında; her gün kullanacakları rotalar için aylık kat edilen toplam mesafenin enküçüklenmesidir.

GSHRÇP, aylık olarak çözülüp AH'nin her gün kullanacakları rotalar ve çizelgeler elde edilecektir. Tez kapsamında 1 ay 20 gün olarak tanımlanmış ve her gün 1 periyot olarak dikkate alınmıştır. Bu tanımlamalara dayalı olarak çözüm gösterimi için kullanılan diğer tanımlar aşağıda verilmektedir:

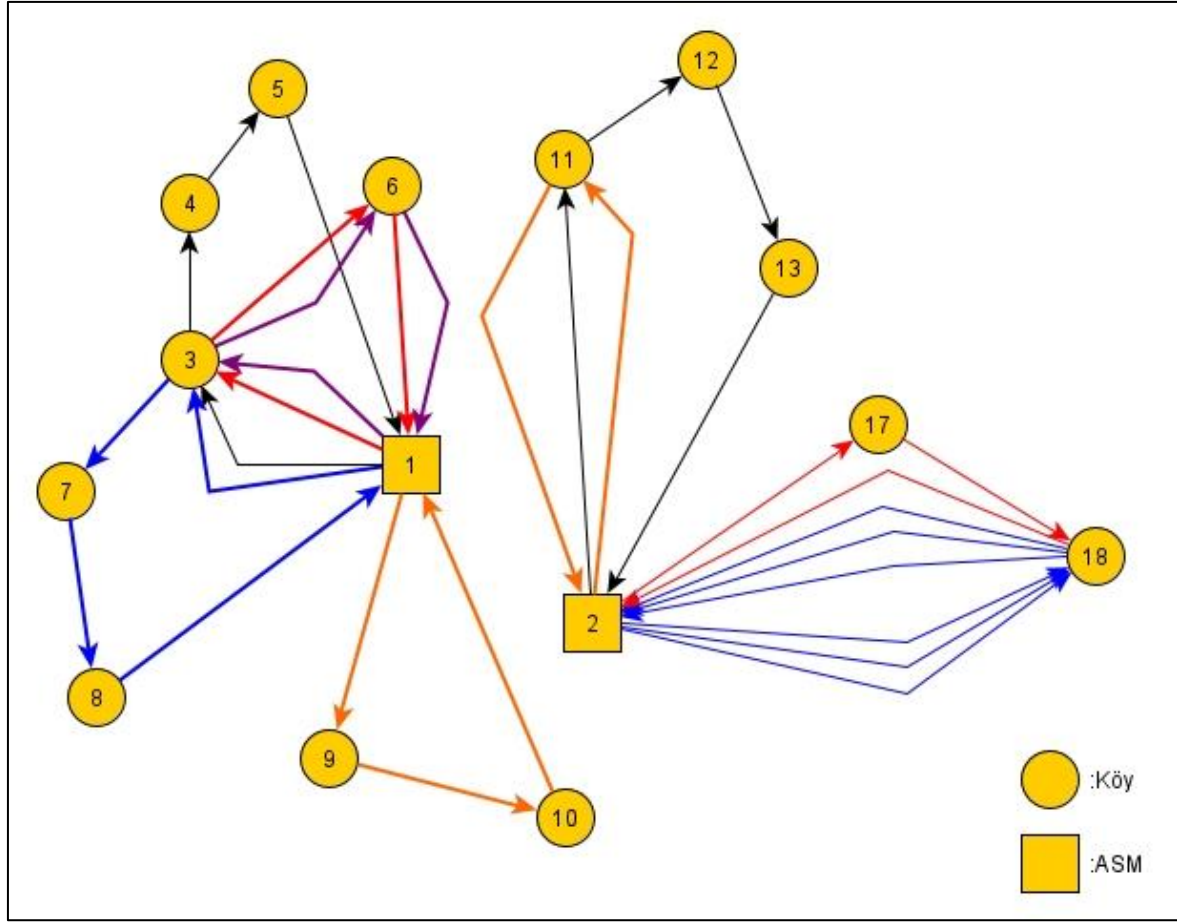
<i>Hgün</i>	:	Haftanın bir günü	{1,2,3,4,5}
<i>Hafta (dönem)</i>	:	Ayın bir haftası	{1,2,3,4}
<i>Periyot</i>	:	Ayın bir günü	{1,2, ...,20}, ((dönem – 1) * 5 + Hgün)

Sezgisel algoritmalarda her çözümde bir rota aşağıda verilen dizi ile gösterilmiştir:

[Periyot, Hafta, Hgün, AH, ASM, Köy₁,..., Köy_N, ASM]

Görüldüğü gibi dizi elemanları sırasıyla periyot, hafta(dönem), haftanın günü (Hgün), AH, ASM, ziyaret sırasına hizmet verilecek köyler ve ASM verilmektedir. Rotanın aynı ASM ile başlayıp bittiğini göstermek için ziyaret edilecek köyler ASM'ler arasında yer almaktadır. Dolayısıyla, GSHRÇP'nin bir çözümü 20 gün için oluşturulan rotalar topluluğu ile gösterilmektedir.

Çözüm gösterim için bir örnek Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir. Bu örnek, iki adet ASM ve her ASM'deki bir AH için rotaları içermektedir. Şekil 5.5 çözümün şebeke gösterimini, Şekil 5.6 ise çözümün dizi gösterimini vermektedir.



Şekil 5.5. Çözümün şebeke gösterimi

1 nolu ASM'deki 1 nolu AH'ye ait 5 rota	
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'deki 1 nolu AH'ye ait 6 rota	
Rota 1: [1,1,1,1,2,17,18,2]	Rota 4: [16,4,1,1,2,18,2]
Rota 2: [6,2,1,1,2,18,2]	Rota 5: [2,1,2,1,2,11,12,13,2]
Rota 3: [11,3,1,1,2,18,2]	Rota 6: [17,4,2,1,2,11,2]

Şekil 5.6. Çözümün dizi gösterimi

Şekil 5.6'daki 1 nolu ASM için Rota 1 incelendiğinde, AH'nin 1. haftanın 1. günü yani 1. periyotta (ayın 1. günü) sırasıyla 3 ve 6 nolu köyleri ziyaret edeceği görülmektedir. Benzer şekilde aynı ASM'deki Rota 4'de AH'nin 4. haftanın 1. günü 16. periyotta (ayın 16. günü) sırasıyla 3, 7 ve 8 nolu köyleri ziyaret edeceği görülmektedir

5.2.2. AGS algoritması

GSHRÇP için geliştirilen AGS algoritmasının adımları Şekil 5.6'da verilmiştir. Algoritmanın ilk adımında; kapasitesi dolu olmayan 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 rassal olarak seçilen köy rotaya eklenir. İkinci adımda; rotaya ekli olan son köyden yola çıkılacağından, gidilmesi gereken sefer sayısından daha az gidilmiş köyler arasından, bu köye en yakın mesafedeki köy(ler) (*RAL*)'a eklenir. (*RAL*)'dan rassal bir köy seçilir ve mesai kısıtı kontrol edilir. Mesai kısıtı sağlanıyor ise rotaya eklenir. Mesai kısıtı sağlandığı (yani 480 dakika aşılmadığı) sürece ikinci adım tekrarlanarak farklı köyler rotaya eklenir. 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 tezde $kt_{max} = 3$ olarak alınmıştır. kt_{max} denemenin ardından yeni bir köy rotaya eklenememişse rota ASM'ye dönülecek şekilde sonlandırılır. Üçüncü adımda; rotalara AH ataması yapılmaktadır. Her AH, ayda en fazla 16 gün (periyot) GSH verebilmektedir. ASM'deki bir numaralı AH'den başlanarak kapasitesine ulaşınca kadar (16 gün) rotalara ataması yapılır. 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 haftaların boş olan en büyük numaralı gün $H_{gün}$ olarak atanır. Bu köyün ilk rotası birinci haftaya atanır. Rotada frekansı 2 olan köy var ise, aynı $H_{gün}$ numarası boş olan "1. ve 3." veya "2. ve 4." hafta ikilisi seçilir. Boş olan $H_{gün}$ numaralarından en küçük olanı ve bu $H_{gün}$ 'lere ait hafta numaraları seçilerek atama yapılır. Rotadaki köylerin tümünün frekansı bir ise, en küçük haftanın en küçük $H_{gün}$ 'ne atanır. Rotanın periyodu (yani ayın hangi gününe karşılık geldiği) hesaplanır ve yazılır. Sonraki rotalar oluşturulurken bir önceki gösterimi yapılan rotada;

- 1- Dört(4) frekanslı köy(ler) var ise, 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.
- 2- 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.

Şekil 5.7’de ağgözlü sezgisel algoritmanın adımları ve sözde kodu verilmiştir.

Begin

$N_I \leftarrow \text{Köyler Kümesi}$

$N_H \leftarrow \text{ASM'ler Kümesi}$

Kapasitesi dolu olmayan ASM'ler ve yapılması gereken ziyaret (gidilmesi gereken sefer) sayısı tamamlanmamış köyler arasında en yakın ASM_h - Köy_i çift(ler)ini RAL kümesine ekle.

If $|RAL| = 1$ **then** ilk rotayı ASM_h - Köy_i çifti için oluştur.

If $|RAL| > 1$, **then** rassal ASM_h - Köy_i çifti seç ve ilk rotayı oluştur.

$f_{Köy_i} = f_{Köy_i} + 1$; */*köy i'nin ziyaret sayısını güncelle*/*

$kt = 0$; */* Ekleme deneme sayısını sıfırla*/*

Repeat */* Rota oluşturma işlemi*/*

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 birisini rassal seç.

Repeat */* Rotaya Köy ekleme işlemi*

Köy k 'nin eklenmesi durumunda mesai süresi kısıtını kontrol et

If mesai kısıtı sağlanıyorsa **then**

begin

Köy k 'yi rotaya ekle

$f_{Köy_k} = f_{Köy_k} + 1$ */* Köyün gidilen sefer sayısını artır. */*

end

If mesai kısıtı sağlanmıyorsa **then** $kt = kt + 1$; */* Deneme sayısını artır. */*

Until $kt = kt_{max}$

Rotaya AH, hafta(dönem), Hgün ata ve periyotu hesapla.

If Rotada frekans_{köy_i} >1 olan köy var ise **then**

Rota çoğalt ve açık rotanın sonuna ilgili ASM'yi ekleyerek rotayı kapat;

Until Eklenecek köy kalmayıncaya kadar

GSHRÇP için çözümü raporla

end

Şekil 5.7. AGS algoritmasının adımları

5.3. GSHRÇP için ARAAP_KK algoritması

GSHRÇP için geliştirilen ARAAP-KK algoritmasında başlangıç çözümü yarı açgözlü sezgisel (Y-AGS1) bir algoritma ile üretildikten sonra bu çözüm KKG1 algoritması ile iyileştirilmektedir. ARAAP-KK algoritmasının adımlarının verildiği Şekil 5.8’de görüldüğü gibi durdurma koşulu sağlanıncaya kadar bu iki adım tekrarlanmaktadır. Durdurma koşulu, arama sırasında bulunan en iyi çözümün (s_{best}) ardışık n_{max} iterasyon iyileşmemesidir. Ön denemeler sonucunda $n_{max} = 10$ alınmıştır.

Begin

$s_{best} \leftarrow \emptyset; f(s_{best}) \leftarrow 0;$

$n_{imp} \leftarrow 0;$

Repeat

$s = \text{Y-AGS1 (tohum)}$ /* Y-AGS1 ile başlangıç çözümünü üret */

$s' = \text{KKG1}(s)$ /* KKG1 algoritması ile çözümü iyileştir */

if $f(s') < f(s_{best})$ **then**

begin

$s_{best} \leftarrow s'$

$f(s_{best}) \leftarrow f(s')$

$n_{imp} \leftarrow 0$

end

else $n_{imp} \leftarrow n_{imp} + 1$

Until { $n_{imp} > n_{max}$ }

s_{best} ve $f(s_{best})$ raporla

End

Şekil 5.8. ARAAP-KK algoritmasının adımları

Bu bölümde GSHRÇP için uyarlanan Y-AGS1, KKG1 algoritması ve kullanılan komşuluk yapıları hakkında bilgi verildikten sonra ARAAP-KK algoritması açıklanacaktır.

5.3.1. Çözüm gösterimi

GSHRÇP için bir çözüm rotaların bir kümesinden oluşmaktadır. Bu algorithmada da her bir rota Bölüm 5.2.1. de verilen gösterim kullanılarak tanımlanmıştır.

5.3.2. Başlangıç çözümünün üretimi

ARAAP-KK'da amaç, Y-AGS1 ile arama uzayının farklı bölgelerinden çözümler üretip bu çözümleri KKG algoritması ile iyileştirerek yerel en iyi çözümlerden kurtulmaktır. Y-AGS1, Bölüm 5.2.'de açıklanan AGS algoritmasına köy seçiminde rassallık eklenmesi ile elde edilmiştir. Dolayısıyla, ASM ya da rotadaki en son köye en yakın mesafedeki köyleri içeren rota aday kümesi (RAL), Y-AGS1'de genişletilerek kullanılmış ve $G - RAL$ olarak adlandırılmıştır. Y-AGS1'de, öncelikle rotaya eklenebilecek köyler ASM ya da rotadaki en son köye yakınlıklarına göre derecelendirilmiştir. $D_i = \{Köy_{i1}, \dots, Köy_{ij}\} : i.$ derecede yakın köylerin kümesi olsun. Bu durumda, D_1 , ASM ya da rotadaki en son köye en yakın köylerin kümesini, D_2 , ASM ya da rotadaki en son köye 2. seviyede en yakın köyleri kümesini göstermek üzere $G - RAL = \{D_1, D_2, D_3\}$ kümesi 1., 2. ve 3. derece uzak köylerden oluşturulmakta ve $G - RAL$ 'dan rassal seçilen köy rotaya eklenmektedir. Eklenen köye göre D_1, D_2, D_3 ve dolayısıyla $G - RAL$ güncellenmektedir. Y-AGS1, tüm köyler rotalara eklenince sonlanmaktadır. Şekil 5.7'de adımları verilen AGS algoritmasında RAL yerine $G - RAL$ kullanıldığında Y-AGS1 algoritması elde edilmektedir. Aynı zamanda, Y-AGS1 algoritmasındaki $G - RAL$, Bölüm 5.1.2'de adımları verilen Y-AGS algoritmasında kullanılan KAL 'a eşdeğerdir.

5.3.3. Kayıttan kayda gezinti (KKG1) algoritması

ARAAP-KK'da Y-AGS1 ile üretilen çözümler KKG1 algoritması ile iyileştirilmektedir. Komşu arama algoritması olarak da adlandırılan KKG1 algoritmasında arama, tek çözüme dayalı olarak arama gerçekleştirilir. GSHRÇP için geliştirilen KKG1 algoritması verilmeden önce problem için kullanılan komşuluk mekanizmaları anlatılacaktır.

KKG1 için komşuluk mekanizmaları

Arama uzayının farklı bölgelerinde arama yaparak daha iyi çözümlere ulaşabilmek için KKG1’de rota-içi ve rotalar-arası komşuluk mekanizmaları kullanılmıştır. Bu mekanizmalar sırasıyla aşağıda verilmektedir.

Rota-içi komşuluk arama (RIYD):

Çözüm içerisindeki rotalardan rassal bir rota r seçilir. Bu rota içerisindeki köylerden rassal olarak seçilen bir köy i , amaç fonksiyonu değerinde en çok iyileşmeyi sağlayan aynı r rotasındaki köy j ile yer değiştirir.

Örneğin $R [1,1,1,1,1,3,4,5,1]$ rotasından rassal olarak 4 nolu köy seçilmiş olsun.

1: $[1,1,1,1,1,4,3,5,1]$, $j=3$

2: $[1,1,1,1,1,3,5,4,1]$, $j=5$

Bu iki alternatif arasından en küçük amaç fonksiyonuna sahip olan komşu seçilir.

Rotalar-arası komşuluk arama:

Çözüm içerisindeki rotalardan rassal bir rota r seçilir. Bu rota içerisindeki $frekans_{Köy_i} = 1$ olan köylerden rassal bir köy i seçilir. Amaç fonksiyonu değerinde en çok iyileşmeyi ve mesai kısıtını sağlayan, farklı r rotasındaki $frekans_{Köy_i} = 1$ olan bir köy j ile yer değişikliği yapılır. Değişiklik yapıldıktan sonra rotaların ASM, AH, hafta, Hgün ve periyot değerleri ilgili köyler için güncellenir.

Tez kapsamında rotalar arası komşuluk arama üç şekilde uygulanmıştır. Komşuluklar Şekil 5.6 ‘da verilen örnekteki rotalar üzerinden anlatılacaktır.

Rotalar arası ekle (1-0) (RAE10):

Çözüm içerisindeki rotalardan rassal bir rota r seçilir. Bu rota içerisindeki $frekans_{Köy_i} = 1$ olan köylerden rassal bir köy i seçilir. Amaç fonksiyonu değerinde en çok iyileşmeyi ve mesai kısıtını sağlayan, farklı bir rotadaki ASM’den başlanarak gidilen iki köy arasına eklenir. Eklemeden sonra sadece rotası değiştirilen Köy i için ASM, AH, hafta, Hgün ve periyot değerleri güncellenir.

Örneğin; Şekil 5.6’da verilen rotalardan 2 nolu ASM’nin rotasında yer alan 17 nolu köy rassal olarak seçilmiş olsun. Seçilen köy diğer rotaların tüm pozisyonlarına yerleştirilebileceği için toplam 29 (1 nolu ASM için 17 tane + 2 nolu ASM için 12 tane) farklı pozisyona eklenerek komşuluklar üretilebilir. Bu komşuluklardan bazıları Çizelge 5.1’de listelenmiştir.

Çizelge 5.1. Rotalar arası ekle (1-0) komşuluklar

1. ASM 1, Rota 1: [1,1,1,1,1,17,3,6,1]	18: ASM 2, Rota 2: [6,2,1,1,2,17,18,2]
2. ASM 1, Rota 1: [1,1,1,1,1,3,17,6,1]	19: ASM 2, Rota 2: [6,2,1,1,2,18,17,2]
3. ASM 1, Rota 1: [1,1,1,1,1,3,6,17,1]	20: ASM 2, Rota 3...
4. ASM 1, Rota 2...	...
...	28: ASM 2, Rota 6: [17,3,2,1,2,17,11,2]
17: ASM 1, Rota 5:[2,1,2,1,1,9,10,17,1]	29: ASM 2, Rota 6: [17,3,2,1,2,11,17,2]

Rotalar arası yer değiştirme (1-1) (RAYD11):

Çözüm içerisindeki rotalardan rassal iki farklı rota (r, v) seçilir. Bu rotaların içerisindeki $f_{rekans_{köyi}} = 1$ olan köylerden rassal birer köy (köyi, köyj) seçilir. Bu iki köy yer değiştirilerek mesai kısıtı sağlanıyorsa ve mevcut çözümü iyileştiriyorsa komşu çözüm seçilir.

Örneğin; Şekil 5.6’daki ASM 1’e ait Rota 4’teki 7 nolu ve ASM 2’ye ait Rota 1’deki 17 nolu köyler seçilmiş olsun. Mevcut rota ile oluşacak yeni komşular Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Rotalar arası yer değiştirme (1-1)

Mevcut Rota	Yeni (komşuluk)
ASM 1, Rota 4: [16,4,1,1,1,3,7,8,1]	ASM 1, Rota 4: [16,4,1,1,1,3,17,8,1]
ASM 2, Rota 1: [1,1,1,1,2,17,18,2]	ASM 2, Rota 1: [1,1,1,1,2,7,18,2]

Rotalar arası ekle (1-1) (RAE11):

Çözüm içerisindeki rotalardan rassal iki farklı rota (r , v) seçilir. Bu rotaların içerisindeki $frekans_{köyi} = 1$ olan köylerden rassal birer köy ($köyi$, $köyj$) seçilir. Her bir köy diğer rota içerisindeki tüm pozisyonlara eklenir. Mesai kısıtı sağlanan komşular arasından mevcut çözümü iyileştiren bir komşu çözüm varsa seçilir.

Örneğin; Şekil 5.6'daki ASM1'e ait rota 4'teki 7 nolu ve ASM 2'ye ait rota 1'deki 17 nolu köyler seçilmiş olsun. Mevcut rotalar ile oluşacak komşuluklar Çizelge 5.3'te gösterilmiştir

Çizelge 5.3. Rotalar-arası ekle (1-1) komşuluklar

1. Rota ve aranan komşuluklar	2. Rota ve aranan komşuluklar
ASM 1, Rota 4: [16,4,1,1,1,17,3,8,1]	ASM 2, Rota 1: [1,1,1,1,2,7,18,2]
ASM 1, Rota 4: [16,4,1,1,1,3,17,8,1]	ASM 2, Rota 1: [1,1,1,1,2,18,7,2]
ASM 1, Rota 4: [16,4,1,1,1,3,8,17,1]	

KKG1 Algoritmasının Adımları

KKG1, başlangıçta Y-AGS ile bulunan çözümü (s_0) mevcut çözüm (s) olarak kabul eder. Başlangıç çözümünü (s_0) o ana kadar bulunan en iyi çözüm ve bu çözümün amaç fonksiyonunu ($f(s')$) "KAYIT" olarak alır. Algoritmanın her iterasyonunda GSHRÇP için tanımlanan komşuluk yapılarından np_max kere rassal olarak seçilen komşuluk mekanizmaları ile np_max adet komşu çözüm (s'') üretilir. Bu komşular arasından seçilen en iyi çözüm, ilgili iterasyonun komşu çözümü (s') olarak dikkate alınır. $f(s') < KAYIT + D$ ise mevcut çözüm (s) komşu çözüm (s') ile güncellenir (yani, $s \leftarrow s'$). $f(s') < KAYIT$ ise KAYIT değeri de $f(s')$ ile güncellenir (yani, $KAYIT \leftarrow f(s')$). Bu işlemlerden sonra, KKG1 aramaya mevcut çözümünden (s) devam eder ve k_max ardışık iterasyonda KAYIT güncellenemediğinde algoritma sonlanır. Ön denemeler sonunda $k_max = 10$ alınmıştır. Şekil 5.9'da KKG1 algoritmasının adımları verilmiştir.

Begin
 $s \leftarrow s_0; f(s) \leftarrow f(s_0);$
 $s'_{best} \leftarrow s_0;$
 $f(s'_{best}) \leftarrow f(s_0);$
 $KAYIT \leftarrow f(s_0);$
 $D \leftarrow KAYIT * 0,1;$
 $k_{imp} \leftarrow 0;$
Repeat
 $np \leftarrow 0;$
 $f(s') \leftarrow \infty$
Repeat
 $k_{kum} \leftarrow rand\{1,2,3,4\}$
if $k_{kum} = 1$ **then** $s'' \leftarrow RIYD(s)$
else if $k_{kum} = 2$ **then** $s'' \leftarrow RAE10(s)$
else if $k_{kum} = 3$ **then** $s'' \leftarrow RAYD11(s)$
else $s'' \leftarrow RAE11(s)$
 $f(s'')$ hesapla

if $f(s'') < f(s')$ **then**
begin
 $s' \leftarrow s''$
 $f(s') \leftarrow f(s'')$
end
 $np \leftarrow np + 1;$
Until $(np > np_{max})$
if $f(s') < KAYIT + D$ **then** $s \leftarrow s'$
if $f(s') < KAYIT$ **then**
begin
 $KAYIT \leftarrow f(s')$
 $s'_{best} \leftarrow s'$
 $f(s'_{best}) \leftarrow f(s')$
 $k_{imp} \leftarrow 0$
end
else $k_{imp} \leftarrow k_{imp} + 1$
Until $(k_{imp} > k_{max})$
 s'_{best} ve $f(s'_{best})$ raporla
End

Şekil 5.9. KKG1 algoritmasının adımları

5.4. GSHRÇP için ARAAP(K)_KK Algoritması

GSHRÇP için geliştirilen ARAAP(K)-KK ve ARAAP-KK algoritmaları arasındaki en önemli fark başlangıç çözümünü kuran Y-AGS1 algoritmasında $G - RAL$ kümesinin elde edilme şeklidir. Bölüm 5.3.2. de bahsedildiği gibi ARAAP-KK'da $G - RAL = \{D_1, D_2, D_3\}$ kümesi mevcut ASM ve rotaya son eklenen köye 1., 2. ve 3. derece uzak köylerden oluşturulmaktadır. ARAAP(K)-KK algoritmasında ise $G - RAL1$ tüm ASM'lere en yakın köylerin oluşturduğu bir kümedir. Bu durumda ARAAP(K)-KK algoritmasında başlangıç çözümü oluşturulurken Y-AGS1 aşağıdaki gibi davranmaktadır.

- 1 ASM bulunan ilçelerde, AGS algoritmasına eşdeğerdir.
- 2 ASM bulunan ilçelerde $G - RAL1$ 'deki köyler uzaklık açısından daha birbirine yakın olduğu için Y-AGS'ye göre daha az rassallık vardır.
- 3 ASM bulunan ilçelerde $G - RAL1$ 'e en az üç köy eklenmektedir. $G - RAL1$, $G - RAL$ ile aynı olabileceği gibi farklı bir küme de olabilir.
- 3'ten daha fazla ASM bulunan ilçelerde $G - RAL1 \subset G - RAL$ olacağı için Y-AGS1 ile arama uzayının farklı bölgelerinden başlangıç çözümü üretmek mümkündür. Dolayısıyla, ASM sayısı arttıkça Y-AGS1 algoritmasında rassallık artmakta ve bir rassal arama algoritması gibi davranmaya başlamaktadır.

6. DENEYSEL ANALİZ

Bu bölümde GSHRÇP için geliştirilen matematiksel model ve sezgisel algoritmaların performansı incelenmiş ve gerçek hayat uygulaması ile karşılaştırılmalı sonuçları verilmiştir. Tüm deneysel çalışmalar i7-5200 Intel Core 3.2 GHz (4CPU), 16 GB RAM bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Matematiksel model GAMS (Versiyon 30.1.0) programlama dilinde, sezgisel algoritmalar ise C++ programlama dilinde DELPHI XE8 (Versiyon 22.0.19027.8951) kullanılarak kodlanmıştır. Bu bölümde Ankara İline ait GSH verilerine dayalı elde edilen test problemleri verildikten sonra, çözüm yaklaşımlarının çözüm kalitesi ve çözüm zamanı açısından performans analizi yapılacaktır.

6.1. Test Problemi

Ankara'da 25 ilçede 440 aile sağlığı merkezi (ASM), 1.723 aile hekimliği birimi (AHB) ve aile hekimi (AH) bulunmaktadır. Merkez ilçelerde gezici sağlık hizmeti sunulmazken GSH sunulan 18 ilçe hakkında hem demografik, hem de sağlık hizmet sunucularına ilişkin genel bilgiler Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1'de görüldüğü gibi ilçedeki ASM sayısı 1 ile 41, AHB sayısı AH sayısı ile aynı olup 1 ile 183, buna karşın hizmet sunulacak nüfus 254 ile 13 468 arasında değişmektedir. Çizelge 6.1'de aynı zamanda o ilçenin TÜİK nüfusu ve GSH sunulan köy sayısı da verilmiştir. En alt satırlarda GSH sunan ve sunmayan tüm ASM, AHB, Nüfus bilgileri de verilmiştir. Ankara'daki 18 ilçede nüfusun yaklaşık %8'ine (Ankara nüfusunun yaklaşık %2'sine) GSH sunulmaktadır. Mevsimsel, dönemsel olarak farklı sayıda insan köyde bulunabilmekte³, AH de bu nüfusun tamamına ihtiyaç halinde hizmet sunmaktadır. Bu nedenle hizmet sunucular bölgenin demografik, sosyo-kültürel özelliklerini bilmeli, buna göre değişen sağlık hizmet ihtiyacını karşılamalıdır.

Tez kapsamında Ankara ili için 2020 yılsonuna ait veriler T.C. Sağlık Bakanlığı'ndan temin edilmiş ve bu veriler aşağıda belirtilen şekilde işlenerek kullanılmıştır.

³ Örneğin ekim, gübreleme, ilaçlama, hasat zamanı veya yazın köy nüfusu artmakta, kış mevsiminde ulaşım güçlüğü yaşamamak için yerleşik nüfus şehir merkezinde ikamet edebilmektedir.

Çizelge 6.1. Ankara ili için GSH hakkında özet sayısal bilgiler

İLÇE	ASM Sayısı	AHB Sayısı	NÜFUS (TÜİK * ⁴)	GSH Sunulan Köy Sayısı	GSH Nüfus
AKYURT	5	13	37 456	6	1 250
AYAŞ	2	5	13 686	13	2 377
BALA	3	6	25 780	40	7 333
BEYPAZARI	4	17	48 732	64	10 104
ÇAMLIDERE	1	3	8 883	40	5 904
ÇUBUK	10	32	91 142	55	7 604
ELMADAĞ	6	13	45 122	9	1 292
EVREN	1	1	3 045	9	1 168
GÖLBAŞI	16	45	140 649	27	3 901
GÜDÜL	1	4	8 438	23	3 851
HAYMANA	4	8	28 922	68	12 692
KAHRAMANKAZAN	4	16	56 736	11	1 436
KALECİK	1	6	12 941	50	6 903
KIZILCAHAMAM	3	9	27 507	101	13 468
NALLIHAN	3	11	27 434	76	10 187
POLATLI	8	36	126 623	67	11 018
SİNCAN	41	183	549 108	2	254
ŞEREFLİKOÇHİSAR	3	11	33 310	47	7 302
GSH ANKARA* ⁵	116	419	1 285 514	708	108 044
TÜM ANKARA* ⁶	447	1 727	5 663 322	708	108 044

*⁴ ADNKS kayıtlarına göre yerleşim yerinin nüfusedir[56].

*⁵ GSH Ankara: Ankara’da sadece gezici sağlık hizmeti sunulan ilçelerin verileridir.

*⁶ Tüm Ankara verileri: Ankara’daki tüm ilçelerin verileridir.

1. ASM ve köy koordinatları: ASM’ler ve köyler arası mesafe ve yolda geçen süre hesaplamasında kullanılmıştır. Mesafeler Google.API aracılığıyla temin edilmiş olup API’den alınan sayılar yukarı yuvarlanarak tam sayı olarak kullanılmıştır.
2. ASM’deki AH sayıları: ASM’nin GSH kapasitesinin hesaplanmasında kullanılmıştır.
 - a. Aynı anda tüm AH ASM’yi terk edemezler. En az bir AH, ASM’deki hizmetin devamlılığını sağlamaktadır. “Kapasite= (Hekim sayısı-1)*20”. ASM’deki AH sayısından en fazla bir eksiği kadar hekim her gün GSH sunabilir.
 - b. Bir AH bulunan ASM’lerde AH haftada en fazla bir defa GSH sunabilmektedir. 20 günlük periyotta 4 hafta bulunduğu için Kapasite = 4 olacaktır.

3. Köy Nüfusları: Nüfus verisi ile köylerin bir aydaki toplam hizmet süresi, köyün hizmet sıklığı ile bir seferde hizmet sunulması gereken süre hesaplanmıştır. Hesaplanan süreler Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2’de yer alan hizmet süreleri mevzuatta 100 kişiye 2 saat olarak ifade edilmekte, hesaplamada nüfus*1,2 olarak kullanılmaktadır. Her hafta gidilmesi gereken hizmet sıklığına sahip olan köy için, aydaki değişken iş günü sayısı dikkate alınmakta ve örneğin 22 günlük periyotlarda her pazartesi gidilmesi gereken bir köye 5 defa gidilmesi gerekebilmektedir. Modelimizde periyot sayısını 22 yaparak çalıştırdığımızda bu gerçek hayat problemine çözüm üretebilmektedir. Tez kapsamında yapılan analizler 20 günlük periyot için gerçek hayat problemi ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.2. Yerleşim yerine sunulacak hizmet süresi ve ziyaret sıklıkları[15]

Nüfus	1 Aydaki Toplam Hizmet Süresi (a)	Hizmet sıklığı (b)	Tek seferdeki hizmet süresi (a/b)
0-249	$nüfus * 1,2$	Ayda 1	$nüfus * 1,2$
250-499	$nüfus * 1,2$	Ayda 2	$\frac{nüfus * 1,2}{2}$
500 ve üzeri	$nüfus * 1,2$	Haftada 1 ^(*) Ayda 4	$\frac{nüfus * 1,2}{4}$

(*) Mevzuatta 500 ve üzeri nüfusa her hafta hizmet sunulması gerektiği yazmaktadır. Modelimizde bir ay 20 iş günü kabul edilmiş olduğundan haftada bir ziyaret, ayda 4 sefer olacak şekilde kullanılmıştır.

6.2. Matematiksel Model için Sayısal Analiz

Matematiksel model (MM) için iki aşamalı bir analiz yapılmıştır. İlk aşamada Ankara’da GSH sunulan ilçeler için MM periyot sayısı 20 işgünü için çalıştırılmıştır. MM’nin performansı gerçek hayat uygulaması (GHU) ile karşılaştırılmıştır. İkinci aşamada çözüm süresinin MM’in performansı üzerindeki etkisi incelenmiş ve çözüm süresine göre çözüm kalitesindeki iyileşme araştırılmıştır.

Rota sayısı, toplam mesafe (km), atanan AH sayısı, atanan ASM sayısı, toplam mesafenin iyileşme yüzdesi performans ölçütleri olarak kullanılmıştır. Atanan ASM ve AH sayıları GSH sunulan ASM ve bu ASM'lerdeki AH'lerin sayılarıdır. İyileşme yüzdesi ise matematiksel model ile elde edilen çözümde aylık kat edilen rota uzunluğunun (Z^M) gerçek uygulamaya (Z^G) % sapma değeridir. *İyileşme yüzdesi* Eşitlik 6.1'de verilmiştir.

$$\dot{Y}_{G-M} = 100 \times \frac{Z^G - Z^M}{Z^G} \quad (6.1)$$

MM için yapılan sayısal analizin ilk aşamasında model her ilçe için 2 saat (7200 dk) çalıştırılmış ve gerçek uygulama ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 6.3'te bu analize ait sonuçlar sunulmuştur. Çizelge 6.3'ün ilk sütununda ilçe isimleri, sol bloğunda gerçek hayat uygulamasındaki veriler, sağ bloğunda ise matematiksel modelin 2 saat çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar, son sütunda ise iyileşme yüzdesi yer almaktadır. Karşılaştırmada kullanılacak olan tüm ölçütler (rota sayısı, toplam mesafe (km), atanan AH sayısı, atanan ASM sayısı) çizelgenin her iki bloğunda da aynı başlık altında yer almaktadır.

Çizelge 6.3'te MM ile 2 saatlik süre içerisinde uygun çözüm bulunan problemler için sonuçlar verilmiştir. Büyük boyutlu bazı ilçeler için belirlenen süre içerisinde çözüm bulunamamıştır. Ankara ili içerisindeki 18 GSH sunulan ilçeden 10'u için MM ile verilen süre içerisinde çözüm bulunmuştur. Çizelgede 6.3.'de görüldüğü gibi gerçek uygulamada 10 ilçede 149 rota varken MM ile 175 rota oluşmuştur. Her iki durumda da 30 AH atanmıştır. GHU'da 23 ASM'ye köyler atanmışken, MM ile 18 ASM'ye atama yapılmıştır. Böylelikle daha az ASM ile GSH verilmesi sağlanmıştır. Toplam mesafe GHU'da 7920 km iken MM ile bu mesafe 7445 km'ye düşmüştür. Toplam mesafede MM sonuçlarına göre 10 ilçede ortalama %6 iyileşmenin sağlandığı, en fazla iyileşme yüzdesinin %12 olduğu ve Gündül ilçesi için elde edildiği gözlenmiştir. MM, sadece 2 köye hizmetin verildiği Sincan ilçesi için gerçek uygulama ile aynı sonucu elde etmiştir.

Analizin ikinci aşamasında MM'nin çözüm süresi ile çözüm kalitesi arasındaki ilişki gözlenmiştir. Süre artırıldığında daha iyi çözümlere ulaşılabileceği düşünüldüğünden MM, 4 ve 8 saat çalıştırılmıştır. Çalışma süresinin çözüm kalitesine etkisi, rota sayısı, atanan AH sayısı, atanan ASM sayısı, toplam mesafe (km), $\dot{Y}_{G-M}$ açılarından değerlendirilmiştir. Çizelge 6.4'te 2 saatlik, 4 saatlik ve 8 saatlik sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 6.3. Gerçek hayat ve matematiksel model sonuçlarının karşılaştırması

İlçe	Gerçek Hayat Uygulaması				MIP (7200 saniye)				İY _{G-M}
	Rota Sayısı	Toplam Mesafe (km)	Atanan AH Sayısı	Atanan ASM Sayısı	Rota Sayısı	Toplam Mesafe (km)	Atanan AH Sayısı	Atanan ASM Sayısı	
AKYURT	5	205	2	2	5	200	2	2	2,4
AYAŞ	9	497	3	2	8	446	1	1	10,3
ÇAMLIDERE	29	529	1	3	22	480	3	1	9,3
ELMADAĞ	16	405	5	5	15	386	4	4	4,7
EVREN	4	155	1	1	4	147	1	1	5,2
GÜDÜL	10	679	2	1	13	597	4	1	12,1
KAHRAMANKAZAN	6	429	4	4	15	392	4	4	8,6
KALECİK	33	2 499	6	1	45	2 330	6	2	6,8
SİNCAN	1	52	1	1	1	52	1	1	0,0
ŞEREFLİKOÇHİSAR	36	2 470	5	3	47	2 415	4	1	2,2
Toplam	149	7 920	30	23	175	7 445	30	18	6,0*

* Ortalama iyileşme yüzdesi

Çizelge 6.4 incelendiğinde çalışma süresi arttıkça çözüm kalitesinin 2 saatlik çalışmaya göre iyileştiği gözlenmiştir. MM 4 saat çalıştırıldığında ortalama mesafe, GHU'ya göre %6,6; 2 saatlik çalışmaya göre %0,6 iyileştirilmiştir. 8 saat çalıştırıldığında ise, GHU'ya göre %20,4; 2 saatlik çalıştırmaya göre %15,3 daha iyi sonuçlar bulunmuştur. MM'nin 8 saatlik çalışmasında en büyük iyileşme Kalecik'te (%23) bulunmuştur. Çalışma süresi arttıkça uygun rota sayısında ve toplam mesafede belirgin azalma olmuş, atanan ASM sayısında bir azalma bulunmuş, atanan AH sayısında değişiklik gözlenmemiştir. MM'nin 2 saatlik çalışmasına göre, 4 saatlik çalışmasında 51 km daha düşük, 8 saatlik çalışmasında ise 1138 km düşük mesafe hesaplanmıştır. GHU'ya kıyasla, 2, 4 ve 8 saatlik çalışmada toplam mesafede sırasıyla 475, 526 ve 1613 km azalma sağlanmıştır.

MM, resmî tatiller vb. ay içerisindeki gün sayısının değişmesi durumuna uygun şekilde periyot sayısı (19, 20, 21, vb.) değiştirilerek çalıştırılabilmektedir. Her hafta gidilmesi gereken köyler için, aydaki değişken iş günü sayısı dikkate alınmakta ve örneğin 22 günlük periyotlarda her pazartesi gidilmesi gereken bir köye 5 defa gidilmesi gerekebilmektedir.

Önerilen MM ve sezgisel algoritmalarda periyot sayısı 22 olarak çalıştırıldığında bu probleme de çözüm üretilebilmektedir. Sonuçlar il Sağlık Müdürlüğü çalışanları ile gözden geçirilerek modelin GHU'nun esnekliğine sahip olduğu, tüm alternatif senaryolara çözüm üretebildiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 6.4. Çalışma süresinin matematiksel modelin çözüm kalitesine etkisi

İlçe	2 saat (7200 saniye)					4 saat (14400 saniye)					8 saat (28800 saniye)				
	<i>İyileşme Yüzdesi</i>	<i>Toplam Mesafe (km)</i>	<i>Atanan ASM Sayısı</i>	<i>Atanan AH Sayısı</i>	<i>Rota Sayısı</i>	<i>İyileşme Yüzdesi %</i>	<i>Toplam Mesafe (km)</i>	<i>Atanan ASM Sayısı</i>	<i>Atanan AH Sayısı</i>	<i>Rota Sayısı</i>	<i>İyileşme Yüzdesi</i>	<i>Toplam Mesafe (km)</i>	<i>Atanan ASM Sayısı</i>	<i>Atanan AH Sayısı</i>	<i>Rota Sayısı</i>
AKYURT	2,4	200	2	2	5	12,2	180	2	2	5	12,2	180	2	2	5
AYAŞ	10,3	446	1	1	8	10,3	446	1	1	8	11,1	442	1	1	8
ÇAMLIDERE	9,3	480	3	1	22	9,3	480	3	1	22	9,3	480	3	1	22
ELMADAĞ	4,7	386	4	4	15	7,7	374	4	4	15	7,7	374	4	4	15
EVREN	5,2	147	1	1	4	5,2	147	1	1	4	5,2	147	1	1	4
GÜDÜL	12,1	597	4	1	13	12,1	597	4	1	13	12,8	592	4	1	13
KAHRAMANKAZAN	8,6	392	4	4	15	8,6	392	4	4	15	8,6	392	4	4	15
KALECİK	6,8	2 330	6	2	46	7,5	2 311	6	1	33	23,0	1924	6	1	33
SİNCAN	0	52	1	1	1	0	52	1	1	1	0	52	1	1	1
ŞEREFLİKOÇHISAR	2,2	2 415	4	1	47	2,2	2 415	4	1	47	15,1	2 098	4	1	47
Toplam/ Ortalama*	6,0*	7 445	30	18	175	6,6*	7 394	17	30	163	15,6*	6 681	17	30	163

* Toplam mesafe açısından gerçek hayat verileri ile karşılaştırılarak iyileşme yüzdeleri hesaplanmıştır.

Ankara'daki GSH sunulan 18 ilçenin 10 tanesine MM ile sonuç üretilebilmiştir. MM ile çözüm üretilemeyen ilçeler için sezgisel yöntemler uygulanarak GHU'dan daha iyi çözümlerin elde edilmesi hedeflenmiştir.

6.3. Sezgisel Algoritmalar için Sayısal Analizler

Bu bölümde GSHRÇP için geliştirilen AGS, ARAAP_KK ve ARAAP(K)_KK algoritmalarının performans analizi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada üç sezgisel algoritma çözüm kalitesi ve çözüm zamanı açısından karşılaştırılmış ve en iyi performansa sahip algoritma belirlenmiştir. İkinci aşamada ise seçilen sezgisel algoritmanın performansı, hem gerçek hayat uygulaması hem de matematiksel model sonuçları ile karşılaştırmalı incelenmiştir.

6.3.1. Sezgisel algoritmaların karşılaştırılması

Ankara ilinde GSH'in sunulduğu tüm ilçeler dikkate alınarak AGS, ARAAP_KK ve ARAAP(K)_KK algoritmalarının performansı karşılaştırmalı incelenmiştir. AGS algoritması yapısından dolayı her ilçe için 1 kez çalıştırılırken, ARAAP-KK ve ARAAP(K)-KK algoritmalarının iyi, kötü ve ortalama performansını da inceleyebilmek amacıyla her ilçe için 25 kez çalıştırılmış ve bulunan en iyi çözüm ilgili algoritmanın çözümü olarak kabul edilmiştir. Sayısal sonuçların verildiği Çizelge 6.5'de ilk sütununda ilçe isimleri, ikinci sütununda ise AGS ile elde edilen sonuçlar görülmektedir. Çizelgenin 3 – 5 ve 6 – 8 nolu sütunlarında sırasıyla ARAAP_KK ve ARAAP(K)_K için 25 deneme sonunda bulunan eniyi, ortalama ve en kötü çözüm değerleri verilmektedir. Çizelge 6.5 incelendiğinde Ankara ilinde 18 ilçe için toplam kat edilen mesafe AGS ile 21 526 km iken, bu mesafenin ARAAP_KK ve ARAAP(K)_K ile sırasıyla 20 935 km ve 21 335 km olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, toplam kat edilen mesafe açısından en iyi çözüm ARAAP_KK ile elde edilmektedir. Sonuçlar katedilen mesafe bilgisini km cinsinden ifade etmektedir. İlçeler bazında incelendiğinde ARAAP_KK'nin tüm ilçeler için en iyi çözümü bulduğu buna karşın ARAAP(K)_KK ile 18 ilçenin 7'sinde, AGS ile 18 ilçenin sadece 3'ünde en iyi çözüm bulunmuştur. AGS ile bu çözümler ortalama 6 saniyede elde edilirken, ARAAP_KK ve ARAAP(K)_K için ortalama çözüm süresinin sırasıyla 180 ve 244 saniye olduğu görülmüştür. AGS bir çözüm kurucu algoritma olduğundan dolayı çözüm süresinin çok daha

küçük olması beklenen bir sonuçtur. Hem çözü kalitesi hem çözüm zamanı açısından değerlendirildiğinde ARAAP_KK'nin GSHRÇP için en iyi performansı veren algoritmanın olduğu görülmektedir. Bu nedenle ileri analizlerde ARAAP_KK algoritması kullanılacaktır.

Çizelge 6.5. Sezgisel algoritmalar ile elde edilen sonuçlar

İLÇE ADI	AGS	ARAAP_KK			ARAAP(K)_KK		
		En Küçük	Ortalama	En Büyük	En Küçük	Ortalama	En Büyük
AKYURT	212	180	221	229	180	211	229
AYAŞ	398	381	445	491	398	433	545
BALA	1 334	1 239	1 456	1 505	1 319	1 404	1 505
BEYPAZARI	2 063	2 055	2 179	2 255	2 063	2 177	2 355
ÇAMLIDERE	475	450	487	496	461	484	505
ÇUBUK	1 284	1 212	1 316	1 319	1 284	1 372	1 517
ELMADAĞ	429	366	487	497	429	463	522
EVREN	147	147	182	193	147	179	211
GÖLBAŞI	492	492	560	601	492	584	702
GÜDÜL	584	559	631	677	584	618	677
HAYMANA	2 324	2 212	2 496	2 573	2 212	2 491	2 651
KAHRAMANKAZAN	364	322	401	438	364	427	570
KALECİK	1 816	1 774	1 856	1 874	1 816	1 867	1 978
KIZILCAHAMAM	2 531	2 527	2 664	2 745	2 527	2 690	2 827
NALLIHAN	2 569	2 557	2 718	2 817	2 557	2 717	2 896
POLATLI	2 505	2 487	2 604	2 697	2 505	2 601	2 744
SİNCAN	52	52	52	52	52	52	52
ŞEREFLİKOÇHİSAR	1 947	1 923	2 046	2 077	1 945	2 055	2 158
<i>Toplam</i>	<i>21 526</i>	<i>20 935</i>	<i>22 797</i>	<i>23 536</i>	<i>21 335</i>	<i>22 824</i>	<i>24 644</i>

6.3.2. ARAAP_KK ile matematiksel model ve gerçek hayat uygulama karşılaştırması

Bu bölümde, ARAAP_KK'nin performansı MM ve GHU ile karşılaştırmalı incelenmiştir. Analizlerde kullanılan kısaltmalar aşağıda verilmiştir.

Kısaltmalar

Z	<i>Çözüm amaç fonksiyonu değeri</i>
Z_G^{km} :	<i>İl sağlık müdürlüğünün uyguladığı planın(gerçek hayat) mesafe (km) verisi</i>
Z_G^{GS} :	<i>Gerçek hayat rota sayısı</i>
Z_G^{ASM} :	<i>Gerçek hayat köylere atanan ASM sayısı</i>
Z_G^{AH} :	<i>Gerçek hayat GSH sunan aile hekimi sayısı</i>
Z_M^{km} :	<i>Matematiksel model ile bulunan mesafe (km) verisi</i>
Z_M^{GS} :	<i>Matematiksel model ile bulunan rota sayısı</i>
Z_M^{ASM} :	<i>Matematiksel model ile bulunan köylere atanan ASM sayısı</i>
Z_M^{AH} :	<i>Matematiksel model ile bulunan GSH sunan aile hekimi sayısı</i>
Z_S^{km} :	<i>Sezgisel algoritma ile bulunan mesafe (km) verisi</i>
Z_S^{GS} :	<i>Sezgisel algoritma ile bulunan rota sayısı</i>
Z_S^{ASM} :	<i>Sezgisel algoritma ile bulunan köylere atanan ASM sayısı</i>
Z_S^{AH} :	<i>Sezgisel algoritma ile bulunan GSH sunan aile hekimi sayısı</i>

Çizelge 6.6’da GHU, MM ve ARAAP_KK için toplam mesafe, güzergâh sayısı, köy atanan ASM ve AH sayıları verilmiştir. MM sonuçları 8 saat çalıştırılması ile elde edilen sonuçlardır. Bölüm 6.2’den bilindiği gibi MM ile sadece 10 ilçede çözüm üretilebilmiştir. Çizelge 6.6 incelendiğinde 9 ilçede kat edilen toplam mesafe açısından MM ile GHU’ya göre bir iyileşme sağlanırken 1 ilçede GHU ile aynı sonuca ulaşmıştır. MM ile en yüksek katedilen mesafe azalması GSH hizmetinin yoğun olarak sunulduğu ilçelerden Kalecik’te elde edilmiş ve bu azalma 575 km’dir.

Çizelge 6.6’da GSH sunulan 18 ilçe için ARAAP_KK ile GHU sonuçları karşılaştırıldığında, ARAAP_KK ile katedilen mesafe açısından 17 ilçede daha iyi değerler bulunmuştur. Sincan ilçesinde ise aynı katedilen mesafe sonucuna ulaşılmış olup bu değer en iyi değer olduğu anlaşılmıştır. En yüksek katedilen mesafe azalması 725 km olarak Kalecik ilçesinde elde edilmiştir. ARAAP_KK ile MM katedilen mesafe açısından karşılaştırıldığında 3 ilçede aynı sonucun bulunduğu, diğer ilçelerde ARAAP_KK’nin daha kısa toplam mesafeli sonuçlar ürettiği görülmektedir.

Çizelge 6.6. Gerçek hayat uygulaması, matematiksel model, sezgisel algoritma sonuçları

İLÇE	Gerçek Hayat				Matematiksel Model				Sezgisel Algoritma			
	Z_G^{km}	Z_G^{GS}	Z_G^{ASM}	Z_G^{AH}	Z_M^{km}	Z_M^{GS}	Z_M^{ASM}	Z_M^{AH}	Z_S^{km}	Z_S^{GS}	Z_S^{ASM}	Z_S^{AH}
AKYURT	205	5	2	2	180	5	2	2	180	5	1	1
AYAŞ	497	9	2	3	442	8	1	1	381	8	1	1
BALA	1 539	35	3	4	-	-	-	-	1 239	26	3	3
BEYPAZARI	2 420	44	4	8	-	-	-	-	2 055	36	4	4
ÇAMLIDERE	529	29	1	3	480	22	1	3	450	20	1	2
ÇUBUK	1 420	18	5	8	-	-	-	-	1 212	24	4	4
ELMADAĞ	405	16	5	5	374	15	4	4	366	4	2	2
EVREN	155	4	1	1	147	4	1	1	147	4	1	1
GÖLBAŞI	680	16	7	7	-	-	-	-	492	13	5	5
GÜDÜL	679	10	1	2	592	13	1	4	559	13	1	1
HAYMANA	2 324	50	3	6	-	-	-	-	2 212	44	4	4
KAHRAMANKAZAN	429	6	4	4	392	5	4	4	322	5	1	1
KALECİK	2 499	33	1	6	1 924	33	1	6	1 774	24	1	2
KIZILCAHAMAM	2 808	58	2	6	-	-	-	-	2 527	46	3	3
NALLIHAN	3 079	52	2	6	-	-	-	-	2 557	37	2	4
POLATLI	2 875	49	6	8	-	-	-	-	2 487	40	5	5
SİNCAN	52	1	1	1	52	1	1	1	52	1	1	1
ŞEREFLİKOÇHİSAR	2 470	36	3	5	2 098	27	1	4	1 923	27	2	3
10 ilçe toplamı	7 920	149	21	32	6 681	133	17	30	6 154	111	12	15
18 ilçe toplamı	25 065	471	53	85	-	-	-	-	20 935	377	42	47

MM ile çözüm bulunabilen 10 ilçe dikkate alındığında İl Sağlık Müdürlüğünün planına (GHU) göre GSH sunmak için 149 rota ile 21 ASM'den 32 aile hekimi 7 920 km yol katetmektedir. MM sonuçlarına göre ise 133 rota ile 17 ASM'den 30 aile hekimi 6 681 km yol katetmektedir. ARAAP_KK sonuçlarına göre ise 111 rota ile 12 ASM'den 15 aile hekimi 6 154 km yol katetmektedir. Bu 10 ilçe için en iyi çözümün ARAAP_KK ile üretildiği görülmektedir.

Tüm ilçeler dikkate alındığında İl Sağlık Müdürlüğünün planına göre (yani GHU) 18 ilçede, 471 rota ile 53 ASM'den 85 aile hekimi 25 065 km yol katetmektedir. ARAAP_KK sonuçlarına göre ise 18 ilçede 377 rota ile 42 ASM'den 47 aile hekimi 20 935 km yol katetmektedir. Tüm ilçeler için en iyi çözüm yine ARAAP_KK algoritması ile elde edildiği görülmüştür. Önceki bölümde Çizelge 6.5'te verilen ARAAP_KK'nin bulduğu en kötü çözümün (23 536 km) bile GHU'ya kıyasla oldukça iyi olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.7’de MM ve ARAAP_KK sonuçlarının GHU’ya göre iyileşme yüzdeleri verilmiştir. MM ile bulunan sonucun GHU’ya göre sağladığı iyileşme $\dot{Y}_{G-M}$ ile gösterilmiş ve Eşitlik 6.3’teki gibi hesaplanmıştır. ARAAP_KK sonucunun GHU’ya göre sağladığı iyileşme ise $\dot{Y}_{G-S}$ ile gösterilmiş ve Eşitlik 6.4’te ile hesaplanmıştır.

$$\dot{Y}_{G-M} = \frac{Z_G - Z_M}{Z_G} \times 100 \quad (6.2)$$

$$\dot{Y}_{G-S} = \frac{Z_G - Z_S}{Z_G} \times 100 \quad (6.3)$$

Çizelge 6.7’de ilk bölümde MM ile, ikinci bölümde ise ARAAP_KK ile GHU’ya göre elde edilen iyileşme değerleri verilmektedir. Bölümler içerisinde sırasıyla mesafe ($\dot{Y}_{G-M}^{km}$), güzergâh sayısı ($\dot{Y}_{G-M}^{GS}$), GSH sunan ASM sayısı ($\dot{Y}_{G-M}^{ASM}$) ve GSH sunan AH Sayısı ($\dot{Y}_{G-M}^{AH}$) açısından iyileşme yüzdeleri verilmektedir.

MM ile çözüm bulunan 10 ilçede gerçekleşen ortalama İY incelendiğinde, GHU’ya göre ortalama % 15,6 daha kısa mesafe katedildiği, %10,7 daha az sayıda rota ile %19 daha az sayıda ASM’nin seçildiği ve %6,3 daha az sayıda aile hekimiyle hizmetin sunulduğu görülmektedir. Aynı 10 ilçe için ARAAP_KK ile GHU’ya göre elde edilen İY incelendiğinde ise ortalama %22,3 daha az mesafe katedildiği, %25,5 daha az sayıda rota ile %42,9 daha az sayıda ASM seçilerek, %53,1 daha az sayıda AH hizmet verilebildiği görülmektedir. MM ile ARAAP_KK karşılaştırıldığında oldukça kısa süre içerisinde ARAAP_KK ile tüm ilçelerde çözüm bulunurken, MM ile sadece 10 ilçe için çözüm üretildiği görülmektedir. ARAAP_KK ile 10 ilçede MM’ye göre ortalama %6,7 daha az mesafe katedilmiş, %14,8 daha az sayıda rota ile %23,9 daha az sayıda ASM’den, %46,8 daha az sayıda hekimle hizmet verilmiştir.

Çizelge 6.7. Matematiksel model ve ARAAP_KK ile elde edilen iyileşme oranları

İLÇE	Gerçek Hayat – Matematiksel Model				Gerçek Hayat – Sezgisel Algoritma			
	$İY_{G-M}^{km}$	$İY_{G-M}^{GS}$	$İY_{G-M}^{ASM}$	$İY_{G-M}^{AH}$	$İY_{G-S}^{km}$	$İY_{G-S}^{GS}$	$İY_{G-S}^{ASM}$	$İY_{G-S}^{AH}$
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	11,1	50,0	66,7
BALA	-	-	-	-	19,5	25,7	0,0	25,0
BEYPAZARI	-	-	-	-	15,1	18,2	0,0	50,0
ÇAMLIDERE	9,3	24,1	0,0	0,0	14,9	31,0	0,0	33,3
ÇUBUK	-	-	-	-	14,6	-33,3	20,0	50,0
ELMADAĞ	7,7	6,3	20,0	20,0	9,6	75,0	60,0	60,0
EVREN	5,2	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0	0,0	0,0
GÖLBAŞI	-	-	-	-	27,6	18,8	28,6	28,6
GÜDÜL	12,8	-30,0	0,0	-100,0	17,7	-30,0	0,0	50,0
HAYMANA	-	-	-	-	4,8	12,0	-33,3	33,3
KAHRAMANKAZAN	8,6	16,7	0,0	0,0	24,9	16,7	75,0	75,0
KALECİK	23,0	0,0	0,0	0,0	29,0	27,3	0,0	66,7
KIZILCAHAMAM	-	-	-	-	10,0	20,7	-50,0	50,0
NALLIHAN	-	-	-	-	17,0	28,8	0,0	33,3
POLATLI	-	-	-	-	13,5	18,4	16,7	37,5
SİNCAN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ŞEREFLİKOÇHİSAR	15,1	25,0	66,7	20,0	22,1	25,0	33,3	40,0
Ortalama İY (10 ilçe)	15,6	10,7	19,0	6,3	22,3	25,5	42,9	53,1
Ortalama İY (18 ilçe)	-	-	-	-	16,5	20,0	20,8	44,7

Verilen süre içerisinde matematiksel model ile çözüm bulunan 10 ilçede ortalama İY incelendiğinde, matematiksel model ile gerçek hayat uygulamasına göre ortalama % 15,6 daha kısa mesafe katedildiği, %10,7 daha az sayıda rota ile %19 daha az sayıda ASM'nin seçildiği ve %6,3 daha az sayıda aile hekimiyle hizmetin sunulduğu görülmektedir. Aynı 10 ilçe için sezgisel algoritma ile gerçek hayat uygulamasına göre ortalama %22,3 daha az mesafe katedildiği, %25,5 daha az sayıda rota ile %42,9 daha az sayıda ASM seçilerek, %53,1 daha az sayıda hekimle hizmet verilebildiği anlaşılmıştır. Matematiksel model ile

sezgisel algoritma karşılaştırıldığında oldukça kısa süre içerisinde sezgisel algoritma ile tüm ilçelerde sonuç üretilebildiği, matematiksel model ile ise Ankara’da GSH sunulan 18 ilçenin 10 tanesinde sonuç bulunabildiği görülmektedir. Matematiksel model ve sezgisel algoritma ile 10 ilçede bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında sezgisel algoritmada ortalama %6,7 daha az mesafe katedilmiş, %14,8 daha az sayıda rota ile %23,9 daha az sayıda ASM’den, %46,8 daha az sayıda hekimle hizmet verilmiştir.

Aynı karşılaştırma GSH sunulan 18 ilçenin tamamı için yapıldığında ARAAP_KK ile GHU’ya kıyasla ortalama %16,5 daha az mesafe katedildiği görülmüş, %20 daha az sayıda rota oluşmuş, %20,8 daha az sayıda ASM seçilmiş, hizmet %44,7 daha az sayıda aile hekimi ile sunulmuştur.

6.4. Değerlendirme

Bu bölümde Türkiye’nin tüm ilçelerindeki GSH problemlerine çözüm üretebilmek amacıyla önerilen karma tamsayılı matematiksel model ve sezgisel algoritmalar için deneysel analizler sunulmuştur.

Önerilen matematiksel modelin performansını ölçebilmek için iki aşamalı deneysel analiz yapılmıştır. Analizin ilk aşamasında 2 saat koşturulan matematiksel modelin sonuçlarıyla gerçek hayat verileri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar toplam katedilen mesafe, güzergâh sayısı, atanan AH sayısı ve atanan ASM sayısı, iyileştirme yüzdesi açısından karşılaştırılmıştır. Analizin ikinci aşamasında matematiksel model 4 ve 8 saat koşturularak çalışma süresinin çözüm kalitesine etkisi incelenmiştir. En küçük, ortalama ve en büyük yüzde sapma değerleri incelenmiş, analiz sonucunda matematiksel modelin sadece küçük ve orta büyüklükteki problemlere sonuç üretebildiği gözlenmiştir. Ankara ilinde GSH verilen 18 ilçeden 10 tanesinde matematiksel model ile çözüm üretilmiştir. Üretilen çözümlerin bir ilçe hariç tüm ilçelerde Ankara il Sağlık Müdürlüğüne uygulanan GSH rota ve çizelgelerinden daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Tez kapsamında büyük boyutlu problemlere makul sürelerde çözüm üretebilmek amacıyla üç sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Birincisi AGS algoritmadır. İkinci ve üçüncü algoritmalar ise ARAAP ve KKG algoritmalarına dayalı karma sezgisel algoritmalar olup ARAAP_KK ve ARAAP(K)_KK olarak adlandırılmışlardır. Bu iki algoritma başlangıç

Çözümünün üretimde kullanılan yaklaşım açısından farklıdır. Her iki algoritmada da amaç arama uzayının farklı bölgelerinde Y-AGS1 ile bir çözüm üretmek bu özümü KKG algoritması ile iyileştirmek suretiyle yerel en iyi çözümlerden kurtulmaktır. AGS, ARAAP_KK ve ARAAP(K)_K algoritmalarının performansı Ankara ilinde GSH verilen 18 ilçe için elde edilen veriler üzerinde karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve ARAAP_KK'nin çözüm kalitesi ve çözüm zamanı açısından daha iyi bir performansa sahip olduğu görülmüştür.

7. SONUÇ

Sanayi devrimi sonrası insanların kentlere göç etmesi, kırsal kesimin kamusal hizmetlerden istenilen seviyede faydalanamaması, insanlığın temel ihtiyaçlarının yeniden tanımlanması, devletlerin halkın refahını artırabilmek amacıyla kamusal hizmetleri her yere götürmesi gerekliliğini doğurmuştur. Sağlık hizmetlerinin modellemesinde herkesin sağlık hizmetine eşit erişim hakkı bu temel politika kapsamında 1978 de Alma-Ata bildirgesinde geçmektedir. Bu bildirgeye göre kırsal kesimin sağlık hizmetine ulaşabilmesi için hizmet modelleri ülkeden ülkeye fark etmekle birlikte temel amaç hizmetin herkese ulaştırılması olmuştur. Dünya genelinde kırsal sağlık hizmeti olarak adlandırılan model ülkemizde gezici sağlık hizmeti, mobil sağlık hizmeti, yerinde sağlık hizmeti, evde sağlık hizmeti gibi alt bileşenlerden oluşan modellerin bütünü olarak uygulanmaktadır. Bu hizmetlerin her biri farklı sağlık birimleri tarafından kamusal hizmet olarak verilmekle birlikte özel sektörün de kısmen hizmete dâhil olduğu görülmektedir. Dünya örneklerinde kamu, özel karma finansman modelleri, çeşitli personel planlaması, gönüllü derneklerin hizmetleri bütünleşik olarak sunulduğu görülmektedir.

Tez kapsamında çalışılan GSH ülkemizde 1990'ların ortasından beri uygulanıyor olmasına karşın mevcut mevzuat çerçevesinde 2010 yılından beri uygulanmakta olup, 2015 yılında en güncel halini almıştır. Çalışmada ülkemizdeki GSH modeli incelenerek problemin karakteristiklerine uygun çeşitli çözüm önerilerinin sunulması hedeflenmiştir. Yapılan incelemelere dayalı olarak kırsal bölgeler için GSHRÇP tanımlanmıştır. Bu problemin amacı, farklı ASM'de hizmet veren AH'lerin aylık olarak, mesai, rota süresi, her ziyaretteki asgari hizmet süresi, köylere her zaman aynı AH'nin atanması, vb. kısıtlar altında; her gün kullanacakları rotalarda aylık kat edilen mesafenin enküçüklenmesidir. GSHRÇP'de birden fazla ASM, zaman kısıtı ve bir aylık bir süre söz konusu olduğundan dolayı çok depolu, zaman kısıtlı, periyodik araç rotalama problemine (ÇD-ZK-PARP) eşdeğerdir. ÇD-ZK-PARP, literatürde ilk kez bu tezde kapsamında ele alınmıştır.

ARP'nin genel bir hali olan ÇD-ZK-PARP dolayısıyla GSHRÇP, NP-zor problem sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle, GSHRÇP'nin çözümü için öncelikle karma tamsayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel model ile sadece küçük boyutlu problemler için çözüm elde edilebildiği için orta ve büyük boyutlu problemlere kabul edilebilir sürelerde iyi çözümler üretebilmek amacıyla üç sezgisel algoritma geliştirilmiştir.

Birincisi AGS algoritmadır. İkinci ve üçüncü algoritmalar ise ARAAP ve KKG algoritmalarına dayalı karma sezgisel algoritmalar olup ARAAP_KK ve ARAAP(K)_KK olarak adlandırılmışlardır. Bu iki algoritma başlangıç çözümünün üretimde kullanılan yaklaşım açısından farklıdır. Her iki algoritmada da amaç arama uzayının farklı bölgelerinde Y-AGS1 ile bir çözüm üretmek bu çözümü KKG algoritması ile iyileştirmek suretiyle yerel en iyi çözümlerden kurtulmaktır. Geliştirilen matematiksel model ve sezgisel algoritmaların performansı, T.C. Sağlık Bakanlığı'ndan Ankara'daki 18 ilçe elde edilen GSH verileri üzerinde değerlendirilmiştir. Matematiksel model, 2, 4 ve 8 saat çalıştırıldığında mevcut duruma göre 10 ilçede aylık kat edilen rota uzunluğu sırasıyla ortalama %6, %6,6 ve %15,6 iyileştirilmiştir. Aynı GSH verileri üzerinde AGS, ARAAP_KK ve ARAAP(K)_K algoritmalarının performansı karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve ARAAP_KK'nin çözüm kalitesi ve çözüm zamanı açısından daha iyi bir performansa sahip olduğu görülmüştür. ARAAP_KK ile 10 ilçede matematiksel modele göre ortalama %6,7 daha az mesafe katedilmiş, %14,8 daha az sayıda rota ile %23,9 daha az sayıda ASM'den, %46,8 daha az sayıda hekimle hizmet verilmiştir. Matematiksel model ile bu sonuçlara 8 saatlik bir koşum süresinde ulaşılırken, ARAAP_KK ise sadece ortalama 180 saniyede probleme çözüm üretmiştir. ARAAP_KK ile mevcut uygulamaya göre Ankara genelinde ortalama %16,5 daha az mesafe kat edilmiştir. Aynı zamanda %20 daha az sayıda rota, %20,8 daha az sayıda ASM ve %44,7 daha az sayıda AH ile GSH verildiği görülmüştür.

GSHRÇP üzerine yapılabilecek gelecek çalışmalar aşağıdaki sunulmaktadır.

- GSHRÇP'deki parametrelerden birisi köylere verilen hizmet süresidir. Bu süre AH'nin köydeki aktif hizmet süresi bilgisi göz önünde bulundurularak yeniden değerlendirilebilir. Bu sürenin mevsimsel olarak farklılıklar gösterebileceği düşünüldüğünde yaz aylarında yeterli olmayabileceği, kış aylarında ise ihtiyaçtan fazla olabileceği öngörülebilir. Uygun bir hizmet süresi belirlenerek AH'nin daha etkin GSH verebilmesi ve daha uzun süreler ASM'lerinde kalarak hizmet sunabilmeleri sağlanabilir.
- GSHRÇP için en iyi çözümü elde etmek amacıyla dal-kesme, dal-kesme-fiyat gibi kesin çözüm yöntemleri geliştirilebilir.
- Büyük boyutlu GSHRÇP için daha iyi çözümlere ulaşabilmek amacıyla matematiksel model ve meta-sezgisellerin birlikte kullanıldığı matematik model tabanlı sezgisel algoritmalar geliştirilebilir.

- Sistemde kullanılan araçların çevreye verdiği zararı azaltabilmek için yeşil, çevre dostu ulaşım tekniklerini de dikkate alınarak yeşil GSHRÇP tanımlanabilir ve çözüm yaklaşımları geliştirilebilir.
- GSHRÇP tez kapsamında aylık toplam kat edilen mesafenin enküçüklenmesi olmak üzere tek amaçlı olarak ele alınmıştır. Ancak, AH yükü dengeleme, ASM yükü dengeleme gibi amaçlar da dikkate alınarak çok amaçlı GSHRÇP tanımlanabilir ve bu problem için çözüm yaklaşımları önerilebilir. Tez kapsamında geliştirilen matematiksel model ve sezgisel algoritmalar çok amaçlı GSHRÇP için uyarlanabilir.

KAYNAKLAR

1. World Health Organization (WHO). (1978). *Alma-Ata Declaration*. International Conference on Primary Health Care, Alma-Ata, Kırgızistan. 6-12.
2. Çelik, D.Y. (2006). Sürdürülebilir Kalkınma Kavramı ve Sağlık. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, (1), 20.
3. İnternet: Hub, R. Healthcare Access in Rural Communities. Rural Health Information Hub, URL: <https://www.ruralhealthinfo.org/topics/healthcare-access>, Son Erişim Tarihi: 29.06.2021
4. İnternet: T.C. S.B. Koruyucu Sağlık Hizmetleri, URL: <https://gokcebeydh.saglik.gov.tr/TR,254635/koruyucu-saglik-etkinlikleri.html>, Son Erişim Tarihi: 29.06.2021
5. İnternet: Soyluoğlu, S.B. Çağdaş Sağlık Anlayışı. URL: <http://bilheal.bilkent.edu.tr/aykonu/Ay2003/kasim03/cagdassaglik.html>, Son Erişim Tarihi: 29.06.2021
6. United Nations (UN). (1948). *Universal Declaration of Human Rights*. (217)A.
7. Council of Europe, Avenue de l'Europe. (1996). European Social Charter, *Strasbourg Cedex*, France.
8. De Kruijf, H.A. and Van Vuuren, D.P. (1998). Following sustainable development in relation to the north-south dialogue: ecosystem health and sustainability indicators. *Ecotoxicol Environ Safety*. 40 (1-2), 4-14.
9. Reimer B. and Bollman, R. D. (2010). *Understanding Rural Canada: Implications for Rural Development Policy and Rural Planning Policy*. Canada: Nel-Douglas-Canada, 1-52.
10. Wilson, R. C., Ivy-Oandasani, F. and Carmela, B. (2020). Rural Recommendations. *Canada Journal of Rural Medicine*, 25 (1).
11. İnternet: Queensland University of Technology (QUT). Rural Health. URL: <https://research.qut.edu.au/argentina-australia-collaboration/rural-health-salud-rural/>, Son Erişim Tarihi: 29.06.2021
12. İnternet: Caroline, L. and Margaret, W. Chinese Healthcare: The Rural Reality. URL: <https://www.coresponsibility.com/chinese-healthcare-the-rural-reality/>, Son Erişim Tarihi: 29.06.2021
13. İnternet: Hämel, K. (2016). Rural health care in Germany - A Move Towards Comprehensive Primary Care *Bielefeld University*, URL: <https://www.sozialgesetzbuch-sgb.de/sgbv/73b.html>, Son Erişim Tarihi: 29.06.2021
14. Lahooti, H. (2019). Healthcare Delivery to the rural area in Iran. *American Journal of Biomedical Science & Research*. (3), 426-430.

15. İnternet: T.C. Sağlık Bakanlığı, 24.11.2004 tarih ve 5258 sayılı Aile Hekimliği Kanunu. URL: <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5258.pdf>, Son Erişim Tarihi: 29.06.2021
16. T.C. Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı, T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2014). *Sağlık Hizmetlerinin Etkinliğinin Artırılması ve Mali Sürdürülebilirlik*.
17. İnternet: T.C. Sağlık Bakanlığı, Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, 25.01.2013 tarih ve 28539 sayılı Aile Hekimliği Uygulama Yönetmeliği, URL: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=17051&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>, Son Erişim Tarihi: 29.06.2021
18. Toth, P. (2002). An Overview of Vehicle Routing Problems, in The Vehicle Routing Problem. *Journal of Advanced Transportation*. 17 (1), 1-26.
19. Golden B.S.R., Wasil E. A. (2008). *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. Boston, MA: Springer, 73-102.
20. Polacek, M. and Doerner, K. (2004). A Variable Neighborhood Search for the Multi Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Journal of Heuristics*. (10), 613–627.
21. Mingozzi A. (2005) *Lecture Notes in Computer Science: The Multi-depot Periodic Vehicle Routing Problem*. Berlin, Heidelberg: Springer, 3607.
22. Eveborn, P., Flisberg P. and Rönnqvist M. (2006). Laps Care an operational system for staff planning of home care. *European Journal of Operational Research*. 171 (3), 962-976.
23. Imran, A., Salhi S. and Wassan, N.A. (2009). A variable neighborhood-based heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*. 197 (2), 509-518.
24. Gillett, B.E. and Miller L.R. (1974). A Heuristic Algorithm for the Vehicle-Dispatch Problem. *Operations Research*. 22 (2), 340-349.
25. Yu, B., Yang, Z. Z., Xie, J. X. (2011). A parallel improved ant colony optimization for multi-depot vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*. 62 (1), 183-188.
26. Gulczynski, D., Golden B., and Wasil E. (2011). The multi-depot split delivery vehicle routing problem: An integer programming-based heuristic, new test problems and computational results. *Computers & Industrial Engineering*. 61(3),794-804.
27. Contardo, C. and Martinelli R. (2014). A new exact algorithm for the multi-depot vehicle routing problem under capacity and route length constraints. *Discrete Optimization*. (12), 129-146.
28. Montoya-Torres Jairo, R. F., Isaza, S. N., Jiménez H. F., Herazo-Padilla, N. (2015). A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots. *Computers & Industrial Engineering*. (79), 115–129.

29. Christie, J.S. and Satir S. (2006). *Saving Our Energy Sources and Meeting Kyoto Emission Reduction Targets While Minimizing Costs with Application of Vehicle Logistics Optimization*. (4), 1-50.
30. Reiners, C. (2015). Constraint Programming-Based Heuristics for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem with a Rolling Planning Horizon. *Universitaet Duisburg-Essen Online Publications*, 2(1-176).
31. Mirabi, M., Shokri N. ve Sadeghieh A. (2016). Modeling and Solving the Multi-depot Vehicle Routing Problem with Time Window by Considering the Flexible end Depot in Each Route. *International Journal of Supply and Operations Management*. 3(3), 1373-1390.
32. Mancini, S. (2016). 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: Emerging Technologies*. (70), 100-112.
33. Chen, D., Yang Z. (2017). Multiple Depots Vehicle Routing Problem in the Context of Total Urban Traffic Equilibrium. *Journal of Advanced Transportation*. 1-14.
34. Soto María, Sevaux Marc, Rossi André, Reinholz Andreas. (2017). Multiple neighborhood search, tabu search and ejection chains for the multi-depot open vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*. (107), 211-222.
35. Wang, J.T.W., Zhang Q. (2019). A Two-Stage Multiobjective Evolutionary Algorithm for Multiobjective Multidepot Vehicle Routing Problem With Time Windows. *IEEE Transactions on Cybernetics*. 49(7), 2467-2478.
36. Stodola, P. (2020). Hybrid ant colony optimization algorithm applied to the multi-depot vehicle routing problem. *Natural Computing*. 19(2), 463-475.
37. Yanjun Shi, Lingling Lv, Fanyi Hu and Qiaomei Han. (2020). A Heuristic Solution Method for Multi-Depot Vehicle Routing-Based Waste Collection Problems. *Applied Sciences*. 10(7), 2403.
38. Augerat, P., Belenguer, J.M., Benavent, E., Corberan, A., Naddef, D., Rinaldi, G. (1995). Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routing problem. *Institut National Polytechnique, Grenoble (France)* (38), 30.
39. Pathumnakul, S. (1996). Solving multi depot vehicle routing problem for Iowa recycled paper by Tabu Search heuristic, in Industrial Engineering. Graduate College, Iowa State University. *Retrospective Theses and Dissertations*, 16982.
40. Baldacci, R., Bodin, L. and Mingozzi, A. (2006). The multiple disposal facilities and multiple inventory locations rollon-rolloff vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*. 33(9), 2667–2702.
41. Li, F., Golden, B. and Wasil E. (2007). A record-to-record travel algorithm for solving the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*. 34(9), 2734-2742.

42. Subramanian, A. and Formiga C. L d. A. (2008), *An ILS Based Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery and Time Limit*. Berlin Heidelberg: Springer.
43. Julien, M., Prins, C, Amodeo, L., Yalaoui, F. and Vitry, G. (2014). 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.
44. Bae, H. and Moon, I. (2016). Multi-depot vehicle routing problem with time windows considering delivery and installation vehicles. *Applied Mathematical Modelling*. 40 (13), 6536-6549.
45. Oliveira, F. B., Enayatifara, R., Javedani, H., Frederico, S., Gadelha, G., Jean-Yves, P. (2016). A cooperative coevolutionary algorithm for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem. *Expert Systems with Applications*. (43) 117-130.
46. Coene, S., Arnout, A. and Spieksma, F. (2010). On a periodic vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*. (61), 1719-1728.
47. An, Y-J., Kim, Y-D., Jeong, B. J. and Kim, S-D. (2012). Scheduling healthcare services in a home healthcare system. *Journal of the Operational Research Society*, 63 (11), 1589-1599.
48. Vidal, T., Crainic, T. G., Gendreau, M., Lahrichi, N. and Rei, W. (2012). A Hybrid Genetic Algorithm for Multidepot and Periodic Vehicle Routing Problems. *Operations Research*, (60), 611-624.
49. Francis, P.M., Smilowitz, K.R. and Tzur, M. (2008). *The Period Vehicle Routing Problem and its Extensions*, in *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. Boston, MA: Springer US, 73-102.
50. İnternet: T.C. İçişleri Bakanlığı, Mülki İdare Birimleri, URL: <https://www.e-icisleri.gov.tr/Anasayfa/MulkiIdariBolumleri.aspx>. Son Erişim Tarihi: 29.06.2021
51. Alba, E., Nebro, A. F. L. and Troya, J. M. (2004). Parallel heterogeneous genetic algorithms for continuous optimization. *Parallel Computing*, 30(5),699-719.
52. Talbi, E.-G. (2009). *Metaheuristics From Design To Implementation*, Hoboken, New Jersey USA: John Wiley & Sons, Inc. 624.
53. Feo, T.A. and Resende M.G.C. (1989). A probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem. *Operations Research Letters*. 8(2), 67-71.
54. Feo, T. and Resende M. (1995). Greedy Randomized Adaptive Search Procedures. *Journal of Global Optimization*. (6), 109-133.
55. Dueck, G. (1993). New Optimization Heuristics: The Great Deluge Algorithm and the Record-to-Record Travel. *Journal of Computational Physics*. 104(1), 86-92.
56. TÜİK, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları 2020. *Haber Bülteni*, 2021. (37210), 4.



GAZİ GELECEKTİR...