

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HETEROJEN FİLOLU ELEKTRİKLİ ARAÇLARLA ZAMAN PENCERELİ,
SENKRONİZE İŞ İÇEREN EVDE SAĞLIK BAKIM HİZMETİ ROTALAMA
VE ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eşref CEBECİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Eda YÜCEL
Eş Danışman: Doç. Dr. Çağrı KOÇ

NİSAN 2022



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Eşref CEBECİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HETEROJEN FİLOLU ELEKTRİKLİ ARAÇLARLA ZAMAN PENCERELİ,
SENKRONİZE İŞ İÇEREN EVDE SAĞLIK BAKIM HİZMETİ ROTALAMA VE
ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN OPTİMİZASYONU

Eşref CEBECİ

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Eda YÜCEL

Eş Danışman: Doç. Dr. Çağrı KOÇ

Tarih: Nisan 2022

Bu çalışmada, elektrikli araçlarla heterojen filolu, hızlı şarj teknolojili, senkronize iş içeren ve zaman pencerelerine sahip evde sağlık bakım hizmeti rotalama ve çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problem, evde sağlık bakım hemşirelerinin, dağınık bir alanda bulunan hastalara bir dizi hizmet sunması için günlük rotalar ve çizelgeler oluşturmayı amaçlamaktadır. Her hemşire, bir elektrikli araca atanır ve kendisine atanmış işleri çalışma saatleri içerisinde gerçekleştirmeye çalışır. Batarya kapasitesi ve enerji tüketimi açısından üç farklı araç türü mevcuttur. Problemden enerji tüketimi maliyeti, sabit hemşire maliyeti ve gün içerisinde tamamlanamayan işlerden kaynaklı toplam maliyetlerin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Problem için bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Ek olarak, açgözlü rastgele uyarlamalı arama prosedürü (GRASP) sezgisel yöntemini içeren bir uyarlamalı değişken komşuluk arama (AVNS) algoritması geliştirilmiştir. Önerilen sezgisel algoritma problemin karmaşık yapısını ele almak için geliştirilmiş bir dizi verimli prosedür içerir. Önerilen sezgisel algoritmanın performansını değerlendirmek için algoritmanın çözümünden elde edilen sonuçlar matematiksel modelin çözümünden

elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca problemi ve parametreleri incelemek için detaylı deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Evde sağlık bakımı rotalama ve çizelgeleme, Açgözlü rastgele uyarlamalı arama prosedürü, Uyarlamalı değişken komşuluk arama algoritması



ABSTRACT

Master of Science

OPTIMIZATION OF THE ELECTRIC HOME HEALTHCARE ROUTING AND SCHEDULING PROBLEM WITH HETEROGENEOUS FLEET, AND SYNCHRONIZED JOBS HAVING TIME WINDOWS

Eşref CEBECİ

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Industrial Engineering Science Programme

Supervisor: Asst. Prof. Eda YÜCEL

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Çağrı KOÇ

Date: April 2022

In this study, we work on the home healthcare routing and scheduling problem with heterogeneous electric vehicles, fast chargers and synchronized jobs having time windows. The problem aims to establish daily routes and schedules for healthcare nurses to provide a variety of services to patients located at a scattered area. Each nurse should be assigned to an electric vehicle from a heterogeneous fleet of vehicles to perform the assigned jobs within working hours. We consider three different types of vehicles in terms of battery capacity and energy consumption. We aim to minimize the total cost of energy consumption, fixed nurse cost, and costs arising from the patients that cannot be served within the working day. A mixed integer programming formulation is developed for the problem. In addition, an adaptive variable neighborhood search (AVNS) algorithm, which successfully integrates greedy random adaptive search procedure (GRASP) heuristic is proposed. The heuristic employs a set of advanced efficient procedures tailored to handle the complex structure of the problem. In order to evaluate the performance of the proposed heuristic its results are

compared with those of the mathematical model. We also conduct extensive experiments to analyze the problem and its parameters.

Keywords: Electric vehicle routing and scheduling, Greedy random adaptive search procedure, Adaptive variable neighborhood search.



TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım ve yüksek lisans eğitimim boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, bana zaman ayıran ve her zaman destek olan değerli danışman hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Eda YÜCEL ve Doç. Dr. Çağrı Koç'a,

Yüksek Lisans eđitimim boyunca bana burs sađlayan TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne, yüksek lisans eđitimim boyunca desteklerini ve tecrübelerini esirgemeyen TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine,

Çalıőmalarım boyunca yanımda olan ve beni motive eden Alican'a, hayatımın her anında iyi, kötü tüm zamanlarımda yanımda olan, bana destek olan ve inanan Ömer Faruk, Cafer Can ve Ahmet Efe'ye,

Hayatımdaki en önemli varlığım, her zaman bana inanan, güvenen ve destek olan, düőtüđüm zamanlarda beni ayağa kaldıran ve haklarını hiçbir zaman ödeyemeceğim annem, babam ve abime sonsuz teőekkürler.

Bu çalıőmayı 119M007 numaralı proje kapsamında destekleyen TÜBİTAK'a ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR TARAMASI	5
3.PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODEL	9
3.2. Modelde kullanılan değişkenler ve parametreler.....	10
3.3. Matematiksel model	12
4. METASEZGİSEL ALGORİTMA	15
4.1.GRASP algoritması	15
4.1.1.Atama algoritması.....	17
4.1.2.Tur oluşturma algoritması	18
4.2.Uyarlanabilir değişken komşuluk arama (AVNS)	20
4.2.1.Komşuluk yapıları.....	22
4.2.2.Çalkalama prosedürü	25
4.2.3. Ağırlık ayarlama prosedürü	26
4.2.4. Kabul koşulu.....	27
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	29
5.1. Test örneklerinin oluşturulması.....	30
5.2. Küçük ve büyük boyutlu örneklerin karşılaştırmalı sonuçları.....	32
5.3. Büyük boyutlu örneklere ait sonuçlar	39
5.3.1.Problem parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkisinin analizi	42
6.SONUÇ.....	45
KAYNAKLAR	47

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1: Aç Gözlü Dikey İş Yer Değişirme.....	23
Şekil 4.2: Rastgele Dikey İş Değişirme.....	23
Şekil 4.3: Aç Gözlü Hemşire Değişirme.....	24
Şekil 4.4: Aç Gözlü Araç Değişirme.....	25



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1: GRASP Algoritması.....	16
Çizelge 4.2: Atama Algoritması.....	18
Çizelge 4.3: AVNS Algoritması.....	22
Çizelge 5.1: AVNS algoritmasının parametreleri.....	30
Çizelge 5.2: Elektrikli araçların özellikleri.....	31
Çizelge 5.3: Örnek gruplarının özellikleri.....	32
Çizelge 5.4: Küçük boyutlu örneklerin karşılaştırmalı sonuçları.....	33
Çizelge 5.5: Küçük boyutlu örneklerde kullanılan araç ve yapılamayan iş sayıları.....	34
Çizelge 5.6: 20 İşe sahip örneklerin karşılaştırmalı sonuçları.....	35
Çizelge 5.7: 20 İşe sahip örneklerde kullanılan araç ve yapılamayan iş sayıları.....	36
Çizelge 5.8: 30 İşe sahip örneklerin karşılaştırmalı sonuçları.....	37
Çizelge 5.9: 30 İşe sahip örneklerde kullanılan araç ve yapılamayan iş sayıları.....	38
Çizelge 5.10: Küçük ve orta boyutlu örneklere ait sonuçların ortalamaları.....	38
Çizelge 5.11: Küçük ve orta boyutlu örneklerde kullanılan araç ve yapılamayan iş sayısı.....	39
Çizelge 5.12: 40 işe sahip örneklere ait sonuçlar.....	40
Çizelge 5.13: 50 işe sahip örneklere ait sonuçlar.....	41
Çizelge 5.14: 60 işe sahip örneklere ait sonuçlar.....	42
Çizelge 5.15: Konum seçim yönteminin sonuçlar üzerindeki etkisi.....	43
Çizelge 5.16: Gereksinim skorunun sonuçlar üzerindeki etkisi.....	43
Çizelge 5.17: Ortalama iş sürelerinin sonuçlar üzerindeki etkisi.....	44
Çizelge 5.18: Eş zamanlı işlerin sonuçlar üzerindeki etkisi.....	44

KISALTMALAR

ARP	: Araç Rotalama Problemi
E-ARP	: Elektrikli Araç Rotalama Problemi
AVNS	: Uyarlamalı Değişken Komşuluk Arama
E-ARP	: Elektrikli Araç Rotalama Problemi
GRASP	: Açgözlü Rastgele Uyarlamalı Arama Prosedürü
VNS	: Değişken Komşuluk Arama
TS	: Tabu Araması



SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

c_k	$k \in K$ aracının birim enerji tüketim miktarı
d_i	$i \in J$ işinin yapılma süresi
g_{ik}	$k \in K$ aracının $i \in V_{0_k, n_k}$ noktasından ayrıldığı andaki şarj miktarı
h_j	$i \in J$ işi yapıldıysa 1, aksi takdirde 0
J	İşler kümesi
K	Elektrikli araçlar kümesi
M	Yeterince büyük bir sayı
N	Hemşireler kümesi
$p_{i,j}$	$i, j \in J$ işlerinin senkronize olma durumu
q_{iu}	$i \in J$ işinin $u \in U$ gereksinim tipinden gereksinim puanı
q_{nu}	$n \in N$ hemşiresinin $u \in U$ gereksinim tipinden yetkinlik puanı
r	Şarj hızı
S	Şarj istasyonları kümesi
$s_{i,j}^d$	$(i, j) \in A$ hattının mesafesi
$s_{i,j}$	$(i, j) \in A$ hattı üzerindeki seyahat süresi
t_{ik}	$k \in K$ aracının $i \in V_{0_k, n_k}$ noktasına vardığı zaman
U	Gereksinim tipleri kümesi
V	J ve S kümelerinin birleşiminden oluşan küme $V = J \cup S$
V_{0_k}	V ve başlangıç noktası 0_k 'nin birleşiminden oluşan küme $V_{0_k} = V \cup 0_k$
V_{n_k}	V ve bitiş noktası n_k 'nin birleşiminden oluşan küme $V_{n_k} = V \cup n_k$
V_{0_k, n_k}	$k \in K$ 'nin ziyaret edebileceği tüm noktalar kümesi $V_{0_k, n_k} = V \cup 0_k \cup n_k$
w_{ik}	$k \in K$ aracının $i \in S$ noktasındaki şarj süresi
x_{ijk}	Elektrikli araç $k \in K$, $(i, j) \in A$ hattını kullandıysa 1, aksi takdirde 0
y_{ik}	$k \in K$ aracının $i \in V_{0_k, n_k}$ noktasına vardığı andaki şarj miktarı
Y_k	$k \in K$ aracının batarya kapasitesi
z_{nk}	Hemşire $n \in N$ elektrikli araç $k \in K$ 'ya atandıysa 1, aksi takdirde 0
$[a_i, b_i]$	$i \in J$ işinin zaman penceresi
$[a_n, b_n]$	$n \in N$ hemşiresinin mesai saatleri
α_j^P	$i \in J$ işinin yapılamama maliyeti
α_n^N	$n \in N$ hemşiresinin günlük sabit maliyeti
α^C	Birim şarj maliyeti
σ_{ik}	$k \in K$ aracının $i \in S$ noktasındaki şarj miktarı

1.GİRİŞ

Evde bakım olarak da bilinen evde sağlık hizmetleri, sağlık profesyonelleri tarafından hastalara evlerinde hizmet sunmayı amaçlayan birinci seviye sağlık hizmetlerinin önemli bir unsurudur. Evde sağlık hizmetleri ile hastalara geniş bir hizmet yelpazesi sunulmaktadır. Bu hizmetler başlıca tıbbi, tedavi edici ve tıbbi olmayan hizmetlerdir. Hizmetlerin temel amacı tedavi veya bakım ihtiyacı olan bireylerin sağlık hizmeti almak için hastaneye gitme mecburiyetini ortadan kaldırmaktır. Her ne kadar evde sağlık bakım hizmeti toplumun tümünü kapsasa da demografik eğilimler nedeniyle hizmet yelpazesi bir ülkeden diğerine farklılık göstermektedir (Genet ve diğ., 2012). Öte yandan evrensel sağlık sigortası, tüm insanların ihtiyaç duydukları sağlık hizmetlerine, ihtiyaç duydukları zamanda ve yerde, maddi sıkıntı yaşamadan erişebilmeleri anlamına gelir. Sağlıkın teşviki ve geliştirilmesinden korunma, tedavi, rehabilitasyon ve palyatif bakıma kadar tüm temel sağlık hizmetlerini içerir (World Health Organization, 2017). Bu nedenle evde sağlık bakım hizmetleri, amacının herkesin gerektiğinde yeterli sağlık desteğine erişmesini sağlamak olmasından dolayı evrensel sağlık sigortası için çok değerli bir çözümdür.

Evde sağlık hizmeti belirli bir hedef kitle için oluşturulmamıştır. Ancak, yaşlılar arasında daha yüksek oranda evde sağlık bakım hizmeti kullanıcısının olduğu görülmektedir. Evde sağlık bakım hizmetlerinin yaşlılar için daha faydalı olmasının ana nedenleri; eve sağlık bakımının hizmet kolaylığı, etkinliği ve finansal yönleridir. Örneğin, hastane sonrası evde tedaviler profesyonel yardım gerektirebilir. Bu gibi durumlarda yaşlı hastaların hastaneye gitmesi daha zor olacak, seyahat süresi gerektirecek ve daha yüksek maliyetle sonuçlanacaktır. Öte yandan, evde sağlık bakım hizmetleri, hastanın daha az masrafla ihtiyaç duyduğu zamanda evinde tedavi görmesine yardımcı olacaktır.

Dünyadaki yaşlı nüfusunun 2019 yılından 2050 yılına kadar 2 katına çıkarak yaklaşık 1.5 milyara ulaşması beklenmektedir (UN, 2019). Bu nedenle, ülkelerin sağlık bakım kapasitesini en üst düzeye çıkarmak için yaşlı insanların da rahatlıkla kullanabileceği

seçenekleri devreye almaları çok önemlidir. Evde sağlık bakım hizmetlerinin arkasındaki fikir, sosyal faydalar ve daha iyi sağlık hizmeti sağlamaktır. Bununla birlikte, gündelik hayatta yapılan işleri daha verimli hale getirmek için, sağlık bakım profesyonellerinin günlük rotalarının ve çizelgelerinin oluşturulması gerekmektedir.

Fosil yakıtlı araçların çevre kirliliği problemleri ve elektrikli araçların düşük maliyet, yüksek performans ve enerji verimliliği avantajları sayesinde, giderek artan bir hızla ulaşım sektöründe fosil yakıtlardan elektrikli araçlara geçilmektedir (IEA., 2019). Elektrikli araçların entegrasyon süreci, özellikle Avrupa Birliği ülkeleri başta olmak üzere, katı politikalar ve teşviklerle birçok ülkede şimdiden başlamıştır (APEC, 2017). Fosil yakıtlı araçların küresel iklim krizini tetiklemesi ve elektrikli araçların bu noktada verimli ve çevre dostu bir alternatif olması elektrikli araçlara verilen desteğin giderek artmasını sağlamaktadır. Özellikle gelecekte elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kullanımının daha da artması ile birlikte, elektrikli araçların çevreye verdikleri zarar daha da azalacaktır. Bu nedenle, ulaşım sektöründe yakın zamanda elektrikli araçlar ile ilgili daha fazla çözüme tanık olacağız.

Rotalama ve çizelgeleme düşünüldüğünde ortaya çıkan problem temel olarak Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak adlandırılabilir. ARP, Yöneylem Araştırması alanında literatürde defalarca çalışılmış bir problemdir. Bu çerçevede bu çalışmada, elektrikli araç kullanımı ile evde sağlık bakım profesyonellerinin rotalama ve çizelgeleme problemi üzerine çalışılmıştır. Fosil yakıtlı araçlara sahip sağlık bakım hemşirelerinin rotalama ve çizelgelemesi literatürde 1990'lardan bu yana geniş çapta çalışılan bir problem olmasına rağmen, elektrikli araçların da kullanıldığı yenilikçi yaklaşımlar da bulunmaktadır.

Bu tez çalışması üç açıdan katkı sağlamaktadır. i) Evde sağlık bakım hizmetlerinin sosyal bir etkisi vardır ve bu nedenle hizmetlerin geliştirilmesi, kişilerin statüleri, cinsiyetleri veya yaşları ne olursa olsun, desteğe ve tedaviye eşit erişime katkıda bulunacaktır. ii) Yatak ve hastane kapasitelerinin kısıtlı olması gibi sağlık hizmetlerindeki sınırlamaların bazılarının üstesinden gelecek ve bu yaklaşım sürdürülebilir bir gelecek için tasarlandığından, hasta sayısı artarken bile evde sağlık bakım hizmetinin verimini üst düzeye çıkaracaktır. iii) Elektrikli araçların kullanımıyla, hizmet sağlayıcılar, hükümetler ve hastalar için daha ucuz ve oldukça çevre dostu bir çözüm üretecektir.

Bu tez çalışması, heterojen filolu elektrikli araçlarla evde sağlık hizmeti rotalama ve çizelgeleme problemini zaman pencereleri, senkronize işler ve hızlı şarj cihazları ile incelemektedir. Problemin her bir parçası üzerinde ayrı ayrı çok sayıda araştırma olmasına rağmen, pratikte birçok örneği olan bu faktörlerin tamamını bir arada ele alan bir çalışma bulunmamaktadır. Problem matematiksel olarak formüle edilmiş ve problemi ele almak için tasarlanmış bir dizi gelişmiş verimli prosedür içeren GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) kurucu sezgisel algoritması ve Uyarlanabilir Değişken Komşuluk Arama Algoritması geliştirilmiştir. Problemi ayrıntılı olarak analiz etmek ve geliştirilen sezgisel algoritmaların performansını değerlendirmek için matematiksel model CPLEX ile çözülmüş ve algoritmanın çözümünden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Tez çalışması sadece deneysel bir işleve sahip olmakla kalmayıp, gelecekte elektrikli araçların rotalanması ile ilgili konularda oluşabilecek problemlerin çözümü için de bir fırsat sunmaktadır.

Bu tez çalışması 5 bölümde tamamlanmıştır. Bölüm 2’de problem hakkında yapılan literatür taraması sunulmuştur. Bölüm 3’te problemin tanımı, gösterimi ve matematiksel formülasyonu sunulmuştur. Probleme özgü olarak geliştirilen Açgözlü Rastgele Uyarlanabilir Arama Prosedürü (GRASP) kurucu sezgisel algoritması ve AVNS (Adaptive Variable Neighborhood Search) Bölüm 4’te sunulmuştur. Matematiksel modelin çözümünden elde edilen sonuçlar ile geliştirilen AVNS algoritmasının çözümünden elde edilen sonuçlar Bölüm 5’te karşılaştırılmış ve büyük boyutlu örneklerin çözümleri üzerinde detaylı analizler yapılmıştır. Tez, Bölüm 6’da sonlanmaktadır.



2.LİTERATÜR TARAMASI

ARP, Yöneylem Araştırması alanında geniş çapta çalışılan bir bilimsel araştırma alanıdır. ARP’de araçların maliyetini veya seyahat süresini en aza indirilmesi ve belirli bir zaman aralığında müşterilere hizmet veren belirli sayıda araç için bir rota planı oluşturulması amaçlanmaktadır (Decerle ve diğ., 2018). Problemin odak noktası, bir ürünün hizmet sağlayıcılar tarafından müşterilere teslim edilmesi olduğundan, problemin birçok farklı sektör için geçerli olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle literatürde problemin birçok farklı sektörde uygulanmış örneklerine rastlamak mümkündür.

Evde Sağlık Bakım Hizmetleri Rotalama ve Çizelgeleme Problemi (ESBHRÇP), ARP’ nin sağlık sektöründe ortaya çıkan bir çeşididir. Evde sağlık bakım hizmetleri uzun yıllar önce uygulanmaya başlamasına ve modern birinci basamak sağlık sisteminin önemli bir parçası olmasına rağmen (Murkofsky ve Alston, 2009), literatürdeki ilk çalışma Begur ve diğ., (1997) ve Cheng ve Rich (1998) tarafından gerçekleştirilmiştir. Begur ve diğ. (1997) tasarruf kurucu algoritmasına ve en yakın komşuluk arama algoritmasına sahip bir karar destek sistemi oluştururken, Cheng ve Rich (1998) karma tam sayılı doğrusal programlama modeli ile fazla mesai ve yarı zamanlı işleri en aza indirmeyi amaçlamıştır (Trautsamwieser ve Hirsch, 2011).

Evde sağlık hizmetlerinin kullanımındaki büyümeye paralel olarak, ESBHRÇP, gündelik hayattaki koşulları yansıtmayı amaçlayan farklı amaç fonksiyonları ve kısıtlar ile incelenmiştir. Begur ve diğ. (1997) çalışmasında olduğu gibi toplam seyahat süresi, Akjiratıkarl ve diğ. (2007) ve Bachouch ve diğ. (2011) çalışmalarında olduğu gibi kat edilen toplam mesafe ve Eweborn ve diğ. (2006) çalışmasında olduğu gibi toplam maliyetin en aza indirilmesi problemin en sık çalışılan amaçlarıdır. Zaman içinde bekleme süresi ve fazla mesai gibi ek amaç fonksiyonları da incelenmiştir (Bredström ve Rönnqvist., 2008; Trautsamwieser ve Hirsch, 2011; Mankowska ve diğ., 2014; Hiermann ve diğ., 2015).

ESBHRÇP literatürde, kesin algoritmalar, sezgisel ve metasezgisel yöntemler ile çözülmüştür (Fikar ve Hirsch (2017)). Kesin algoritmalar genel olarak dal-fiyat (Bredström ve Rönnqvist, 2008; Bachouch ve diğ., 2011; Rasmussen ve diğ., 2012; Yuan ve diğ., 2015) algoritmasını içermektedir. Sezgisel yöntemler arasında memetik algoritma (Hiermann ve diğ., 2015) ve sürü optimizasyon algoritması (Akjiratikar ve diğ., 2007) gibi çeşitli algoritmalar bulunmaktadır. Ayrıca, çok çeşitli metasezgisel yöntemler kullanılmıştır. Bunların arasında değişken komşuluk arama (VNS) (Mankowska ve diğ., 2014), memetik algoritma (Hiermann ve diğ., 2015; Decerle ve diğ., 2018), tavlama benzetimi (Mankowska ve diğ., 2014; Hiermann ve diğ., 2015), ALNS (Adaptive Large Neighborhood Search) (Koç ve diğ., 2019) gibi çeşitli algoritmalar bulunur. ESBHRÇP hakkında daha ayrıntılı bilgi için Fikar ve Hirsch (2017) tarafından gerçekleştirilen literatür taraması incelenebilir.

Elektrikli ARP (E-ARP), ARP'nin bir çeşididir. E-ARP'de problemde ele alınan araçlar fosil yakıtlar yerine elektrik ile çalışmaktadır. Günümüzde üretilen elektrikli araçların sınırlı menzili, pil kapasiteleri ve şarj süreleri düşünüldüğünde E-ARP, ARP'de bulunmayan ek kısıtlar içermektedir. Kısacası, ana problemin amaç fonksiyonları temelde benzer olmakla beraber modele elektrikli araçlara özgü ek kısıtlar eklenmektedir. Giderek etkisini arttıran küresel iklim krizi ve fosil yakıtlı araçların çevreye olan etkileri nedeniyle E-ARP üzerine olan ilgi giderek artmaktadır. Bu ilginin bir diğer nedeni de elektrikli araçların enerji verimliliği, düşük maliyetli olmaları ve yüksek performanslarıdır.

Hâlihazırda üretilen elektrikli araçlar, kapsamlı araştırma ve geliştirme çalışmalarının ürünüdür. Alternatif yakıtlı araçlar, elektrikli araçlar ve hibrit araçlar ile yürütülen araç rotalama problemleri Çevre Dostu Araç Rotalama Problemi olarak adlandırılmıştır (Ghorbani ve diğ., 2020). Bu alandaki ilk çalışmalar, Conrad ve Figliozzi (2011) ve Erdoğan ve Miller-Hooks (2011) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalardan ilki, kısmi şarj olma seçeneğini ve elektrikli araçların müşterinin bulunduğu yerde şarj edilme durumunu incelerken, diğer çalışmada ise müşterinin tesislerinde batarya değiştirme ve yakıt ikmali izni olan alternatif yakıtlı araçlar için iki kurucu sezgisel algoritma ve iyileştirme yöntemi geliştirilmiştir. Erdoğan ve Miller-Hooks (2011), probleme ek varsayımlar geliştirmiş ve yeni kısıtlar eklemiştir. Taha ve diğ. (2014), problemin çok depolu bir versiyonunu geliştirmiştir. Koç ve Karaoglan (2016), iki düğüm arasında

birden fazla şarj istasyonuna uğramayı mümkün kılmış ve bu problem için bir dal-kesme algoritması getirmiştir.

Zaman Pencereci E-ARP ilk kez Schneider ve diğ. (2014) tarafından ele alınmıştır. Bu çalışmada TS (Tabu Search) ve VNS (Variable Neighborhood Search) algoritmaları geliştirilmiştir. Hiermann ve diğ. (2016), yük kapasitesi, pil kapasitesi ve tüketim açısından birbirinden farklı özelliklere sahip araçlardan oluşan bir filoya sahip olan ve zaman penceresi kısıtlamaları içeren zaman pencereci, filo büyüklüğü ve heterojen filolu ARP'yi çalışmışlardır.





3.PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde problemin tanımı, notasyonları ve matematiksel modeli verilmiştir.

3.1.Problemin Tanımı

Problemin amacı, dağınık bir bölgede yaşayan hastalara gerekli hizmeti sağlamak için elektrikli araçların rotalarını ve evde sağlık profesyonellerinin günlük programlarını oluşturmaktır. Problemden her hemşire, hastaların evlerine gitmeleri için birer elektrikli araca atanır. Problemden kullanılan elektrikli araçlar enerji tüketimi ve batarya kapasitesi açısından farklılık göstermektedir. Bu nedenle, kullanılan elektrikli araç filosu heterojendir.

Hastaların dağınık bir alanda bulunmasından dolayı ve elektrikli araçların sınırlı bir menzili olduğu için, elektrikli araçların bataryalarının gün içinde kendilerine atanmış olan işleri yapmaya yetmediği durumlarda şarj istasyonlarına gidilmelidir. Şarj istasyonlarında yalnızca hızlı şarj teknolojisi vardır. Elektrikli araçlar, şarj istasyonlarında tam şarj yerine kısmen de şarj edilebilir. SoC (State of Charge), şarj durumu her bir elektrikli araç için takip edilir ve batarya olurluluğu korunur. Elektrikli araçların, depolarında tamamen şarj oldukları varsayılmaktadır. Bu nedenle, her sabah rotalarına tam şarjlı batarya ile başlarlar.

Her hemşire, mesai saatleri içinde depo olarak anılan hastaneden mesaisine başlar ve yine aynı hastanede mesaisini bitirir. Hemşirelerin fazla mesai yapılmasına izin verilmez. Her hastanın hizmeti için önceden belirlenmiş bir hizmet süresi ve zaman penceresi vardır. Hizmet süreleri, gerekli hizmet için doktor tarafından belirlenen tahmini hizmet süresine bağlıdır.

Tüm işler önceden belirlenen gereksinim türlerine ve puanlarına sahiptir. İşler, sadece belirlenen gereksinim puanlarını karşılayan, eşit veya daha yüksek yetkinlik puanına sahip hemşireler tarafından yapılabilir. Günlük hemşire kullanım maliyeti, çeşitli yetkinlik türleri göz önünde bulundurularak o hemşirenin yetkinlik düzeyine bağlıdır.

Bazı durumlarda, hastalara sunulacak hizmet, yetkin hizmet sağlamak için birden fazla hemşire gerektirir. İhtiyaç duyulan her hemşire için ilgili işin bir kopyası oluşturulur. Bu işler, hemşirelerin aynı anda hastanın evinde bulunabilmesi için bir set halinde eşleştirilmiştir.

3.2. Modelde kullanılan değişkenler ve parametreler

J işler kümesi ve U gereksinim türleri kümesi olsun. Her bir $i \in J$ işi ve $u \in U$ gereksinim tipi için bir q_{iu} gereksinim puanı mevcuttur. Her bir $i \in J$ işinin önceden belirlenmiş iş süresi d_i ile gösterilir ve işin yapılmak zorunda olduğu zaman penceresi $[a_i, b_i]$ ile gösterilir. Eğer bir hemşire, kendisine atanan işin başlangıç anı olan a_i 'den erken gelirse, önceden belirlenen a_i anına kadar beklemesi gerekir. Eğer bir hemşire, kendisine atanan işin bitiş anı olan b_i 'den sonra gelirse, bu iş yapılamaz ve $i \in J$ işi için α_j^P ile belirtilen bir ceza maliyeti oluşur.

N hemşireler kümesi olsun. Her bir $n \in N$ hemşiresi ve $u \in U$ gereksinim tipi için bir q_{nu} yetkinlik puanı mevcuttur. Bir hemşire $n \in N$, her gereksinim türü için yapılacak iş $i \in J$ 'nin gereksinim puanına eşit veya daha fazla yetkinlik puanına sahip olmalıdır. Her hemşire, problemde önceden belirtilmiş yetkinlik düzeylerine bağlı olarak α_n^N ile gösterilen günlük sabit bir maliyete sahiptir. Her hemşire, mesaisine depo olarak anılan hastanede başlar ve aynı depoda mesaisini tamamlar. Hemşire $n \in N$ 'in çalışma saatleri $[a_n, b_n]$ aralığındadır. Bazı işler için birden fazla hemşire gerekebilir. Bu işlere senkronize işler denilir ve p_{ij} ile gösterilir.

K elektrikli araçlar kümesi olsun. Her bir elektrikli araç $k \in K$ 'nın pil kapasitesi Y_k ile, ve enerji tüketim miktarı c_k ile gösterilir. Şarj istasyonları kümesi S ile gösterilir. Şarj istasyonlarında sadece hızlı şarj seçeneği sunulmaktadır. Bir hızlı şarj cihazı kullanarak aracı yeniden şarj etme hızı ve birim enerji maliyeti, sırasıyla r ve α^C ile gösterilir. Bir elektrikli araç, gün içinde en fazla bir şarj istasyonunu ziyaret edebilir.

İşleri ve şarj istasyonlarını içeren düğüm kümesi V ile gösterilir. Başlangıç depoları ve bitiş depoları olarak aynı depo konumları kullanılır ve her bir elektrikli araç $k \in K$ için sırasıyla 0_k ve n_k ile temsil edilir. V_{0_k} kümesi, işler ve şarj istasyonları kümesi V ve başlangıç deposu 0_k 'dan oluşurken ($V_{0_k} = V \cup 0_k$), V_{n_k} kümesi, işler ve şarj istasyonları kümesi V ve bitiş deposu n_k 'dan oluşur ($V_{n_k} = V \cup n_k$). Başlangıç

depoları, işler, şarj istasyonları ve bitiş depoları dâhil olmak üzere elektrikli araçlar tarafından ziyaret edilebilecek tüm düğümler V_{0_k, n_k} olarak gösterilir.

Problem, $G = (\cup_{k \in K} V_{0_k, n_k}, A)$ tam yönlü şebeke üzerinde tanımlıdır. Burada $\cup_{k \in K} V_{0_k, n_k}$ problemdeki düğümlerin ve $A = \{(i, j): i, j \in \cup_{k \in K} V_{0_k, n_k}\}$ hatların kümesidir. Probleme $s_{i,j}^d$ ve $s_{i,j}$ sırasıyla bir $(i, j) \in A$ hattının mesafesini ve seyahat süresini göstermektedir.

Probleme amaç, enerji tüketiminin toplam maliyetini, toplam sabit hemşire maliyetini ve gün içerisinde tamamlanamayan işlerden kaynaklı toplam maliyetleri en aza indirmektir. Problemi formüle etmek için 0-1 tam sayılı ve sürekli karar değişkenleri tanımlanmıştır. x_{ijk} , eğer bir elektrikli araç $k \in K$, $(i, j) \in A$ hattının üzerinde gidiyor ise 1, aksi takdirde 0 değerini alır. z_{nk} , bir hemşire $n \in N$, elektrikli araç $k \in K$ 'ya atandıysa 1, aksi durumlarda 0 değerini alır. Eğer bir $j \in J$ işi herhangi bir hemşire tarafından yapılırsa, h_j 1, aksi durumlarda ise 0 değerini alır. y_{ik} ve g_{ik} sırasıyla $k \in K$ elektrikli aracının $i \in V_{0_k, n_k}$ noktasına vardığı zamandaki ve bu noktadan ayrıldığı zamandaki şarj miktarlarını gösterirler. Bir elektrikli araç $k \in K$ 'nın $i \in V_{0_k, n_k}$ noktasına varış anı t_{ik} ile gösterilmiştir. Bir elektrikli araç $k \in K$ 'nın $i \in S$ noktasındaki şarj olma miktarı σ_{ik} ve şarj olma süresi w_{ik} ile gösterilmiştir.

3.3. Matematiksel model

Probleme ait matematiksel model aşağıda belirtilmiştir.

$$En\ küçükle \sum_{k \in K} \sum_{i \in V_{0k}} \sum_{j \in V_{nk}} \alpha^C x_{ijk} s_{ij}^d c_k + \sum_{n \in N} \sum_{k \in K} \alpha_n^N z_{nk} + \sum_{j \in J} \alpha_j^P (1 - h_j) \quad (1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V_{nk}, j \neq i} x_{ijk} \leq 1 \quad i \in J \quad (2)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in V_{nk}, j \neq i} x_{ijk} \leq 1 \quad k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} x_{0kj} \leq \sum_{n \in N} z_{nk} \quad k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in J} x_{ink} \leq \sum_{n \in N} z_{nk} \quad k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in V_{0k}} x_{ijk} = \sum_{i \in V_{nk}} x_{jik} \quad k \in K, j \in V \quad (6)$$

$$a_n z_{nk} \leq t_{0kk} \quad k \in K, n \in N \quad (7)$$

$$t_{nkk} \leq b_n z_{nk} \quad k \in K, n \in N \quad (8)$$

$$a_j \sum_{i \in V_{0k}} x_{ijk} \leq t_{jk} \quad k \in K, j \in J \quad (9)$$

$$t_{jk} \leq b_j \sum_{i \in V_{0k}} x_{ijk} \quad k \in K, j \in J \quad (10)$$

$$t_{ik} + (s_{ij} + d_i) x_{ijk} \leq t_{jk} + b_n (1 - x_{ijk}) \quad n \in N, k \in K, i \in J \cup \{0_k\}, j \in V_{nk}, j \neq i \quad (11)$$

$$t_{ik} + s_{ij} x_{ijk} + w_{ik} \leq t_{jk} + (b_n + rY_k) (1 - x_{ijk}) \quad n \in N, k \in K, i \in S, j \in V_{nk}, j \neq i \quad (12)$$

$$y_{jk} \leq y_{ik} - s_{ij}^d c_k x_{ijk} + Y_k (1 - x_{ijk}) \quad k \in K, i \in J \cup \{0_k\}, j \in V_{nk}, j \neq i \quad (13)$$

$$y_{jk} \leq g_{ik} - s_{ij}^d c_k x_{ijk} + Y_k (1 - x_{ijk}) \quad k \in K, i \in S, j \in V_{n_k}, j \neq i \quad (14)$$

$$y_{ik} \leq g_{ik} \leq Y_k \quad k \in K, i \in S \cup \{0_k\} \quad (15)$$

$$y_{0^k} = Y_k \quad k \in K \quad (16)$$

$$g_{ik} - y_{ik} = \sigma_{ik} \quad k \in K, i \in S \quad (17)$$

$$r w_{ik} = \sigma_{ik} \quad k \in K, i \in S \quad (18)$$

$$\sum_{k \in K} t_{ik} = \sum_{k \in K} t_{jk} \quad (i, j) \in P \quad (19)$$

$$\sum_{i \in V_{n_k}} x_{ijk} q_{iu} \leq \sum_{n \in N} z_{nk} q_{nu} \quad k \in K, j \in J, u \in U \quad (20)$$

$$\sum_{k \in K} z_{nk} \leq 1 \quad n \in N \quad (21)$$

$$\sum_{n \in N} z_{nk} \leq 1 \quad k \in K \quad (22)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V_{0_k}} x_{ijk} = h_j \quad j \in J \quad (23)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad k \in K, i \in V_{0_k}, j \in V_{n_k}, j \neq i \quad (24)$$

$$z_{nk} \in \{0,1\} \quad k \in K, n \in N \quad (25)$$

$$h_j \in \{0,1\} \quad j \in J \quad (26)$$

$$\sigma_{ik}, w_{ik}, g_{ik} \geq 0 \quad k \in K, i \in S \quad (27)$$

$$y_{ik} \geq 0, t_{ik} \geq 0 \quad k \in K, i \in V_{0_k, n_k} \quad (28)$$

Problemin amaç fonksiyonu (1), üç terimden oluşur ve toplam maliyeti en aza indirmeyi amaçlar. İlk terim, elektrikli araçların toplam seyahat maliyetine karşılık gelir. İkinci terim, sağlık bakım hemşirelerinin toplam sabit maliyetini ifade eder. Son terim ise yapılamayan işlerin toplam ceza maliyetlerine karşılık gelmektedir.

Kısıt (2), her hastanın en fazla bir kez ziyaret edilmesini sağlar. Kısıt (3), bir elektrikli aracın planlama ufku içerisinde en fazla bir kez şarj istasyonunu ziyaret edebileceğini garanti eder. Kısıt (4), bir aracın bulunduğu depodan/hastaneden en fazla bir kere çıkış

yapabilmesini sağlar. Kısıt (5), bir aracın bulunduğu depoya/hastaneye en fazla bir kere giriş yapabilmesini sağlar. Kısıt (6), bir düğüme geliş ve gidişlerin akışının korunmasını garanti eder. Yani bir elektrikli araç depo dışında bir düğüme ulaşırsa, o düğümden ayrılmalıdır. Kısıtlar (7) ve (8), bir elektrikli araç rotasının hemşirenin günlük çalışma saatleri içinde tamamlanmasını sağlar. Kısıtlar (9) ve (10), hasta ziyaretlerinin önceden belirlenen zaman aralığı içerisinde yapılmasını sağlar. Kısıtlar (11) ve (12), düğümler arasındaki seyahat sürelerini, işlerin hizmet sürelerini ve şarj istasyonlarındaki şarj sürelerini dikkate alarak düğümlerin ziyaret edildiği zamanı hesaplar. Kısıtlar (13) ve (14), seyahat esnasında enerji tüketimini dikkate alarak bir elektrikli aracın bir düğüme varış anındaki şarj miktarını hesaplar. Kısıt (15), bir elektrikli aracın bir şarj istasyonundan ayrılma anındaki şarj miktarını sınırlar. Kısıt (16), her aracın günlük rotasına tam şarjla başlamasını sağlar. Kısıtlar (17) ve (18), bir şarj istasyonunu ziyaret eden bir elektrikli araç için sırasıyla şarj edilen enerji miktarını ve şarj süresini hesaplarlar. Kısıt (19), senkronize işlerin aynı anda yapılmasını garanti eder. Kısıt (20), bir işin uygun yetkinlik puanlarına sahip bir hemşire tarafından yapılmasını garanti eder. Kısıt (21) her bir hemşirenin en fazla bir araca atanmasını sağlar. Kısıt (22), her aracın en fazla bir hemşireye atanmasını sağlar. Kısıt (23) bir işin herhangi bir hemşire tarafından yapıp yapılmadığını hesaplar. Kısıtlar (24)–(28) karar değişkenlerinin tanımlı aralıklarını gösterir.

4. METASEZGİSEL ALGORİTMA

Bu çalışmada, verilen karmaşık optimizasyon problemini etkin bir şekilde ele almak amacıyla, komşuluk yapısını değiştirmek için kullanılan seçim olasılıklarının uyarlanabilir olduğu bir AVNS algoritması önerilmiştir. Önerilen sezgisel yöntem, bir başlangıç çözümü elde etmek için Bölüm 4.1’de sunulan GRASP algoritmasını kullanır ve elde edilen çözüm Bölüm 4.2’de sunulan AVNS algoritması aracılığıyla iyileştirilir.

4.1.GRASP algoritması

GRASP, literatürde çok uzun süredir kullanılmakta olan bir kurucu sezgisel algoritmadır (Chenery ve Watanabe, 1958). Kurucu sezgisel algoritmalar, boş bir çözümle başlar ve iyi bir çözüm elde edilene kadar mevcut çözümü tekrar tekrar geliştirir. GRASP’ın açgözlü arama prosedürü sayesinde, her yinelemede en iyi çözüm tutulur. Kurucu sezgisel algoritmalar ve türleri birçok optimizasyon probleminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Açgözlü kurucu sezgisel algoritmalarda, her yinelemede en iyi seçim temel alınır ve elde edilen çözüm genellikle optimal olmaktan uzaktır. Yinelemelerin sonucunda elde edilen en iyi çözüm tutularak algoritma sonlanır. GRASP algoritmasında ise her yinelemede en iyi çözümü seçmek yerine alternatifler havuzundan rastgele olarak seçilen çözümlerden en iyisi seçilir. Algoritmanın yinelemeli olarak yürütülmesi ile çözüm bölgesi taranır.

GRASP, ilk olarak Feo ve Bard (1989) tarafından kullanılan ve daha sonra Feo ve Resende (1995) tarafından popüler hale getirilen iki aşamalı bir metasezgisel algoritmadır. İlk adımda amaç, olurlu bir çözüm üretmektir. İkinci adımda ise amaç, GRASP’ın çözümünü iyileştirmektir. Bulunan olurlu çözüm yerel arama algoritmaları ile iyileştirilmeye çalışılır. İyileştirme yapmak için komşuluklar tanımlanır ve yerel arama ile çözüm iyileştirilir. Sonuç olarak, en iyi çözüm korunur (Festa ve Resende, 2009).

Önerilen GRASP algoritmasında ana problem iki alt probleme ayrıştırılmıştır. Birinci problem, Bölüm 4.1.1’de verilen, işlerin hemşirelere atanması ve ardından hemşirelerin elektrikli araçlara atanmasından oluşan atama problemidir. İkinci problem ise Bölüm 4.1.2’de verilen, her bir elektrikli aracın rotalanması problemidir.

Önerilen GRASP algoritmasında, problemin temel matematiksel modelinin bir alt problemi olan bir rotalama problemi çözülmektedir. Rotalama modeli, araçlar için uygun bir rota oluşturmak için araca/hemşireye atanan işlerin rotalanmasındaki olurluluk kısıtlarını (batarya, zaman pencereleri vb.) içerir.

Çizelge 4.1: GRASP Algoritması.

```

1: Replication = 0
2: Best_Found_Cost_GRASP = M
3: while Replication ≤ Replicationmax do
4:     Her bir elektrikli araç  $k \in K$  için Atama Algoritmasını çözerek
        atanmış işler kümesini bul
5:     Current_Sol = 0
6:     Current_Tour ← Modelin değişkenleri kümesi başlangıçta boş kümedir
7:     Is_Route_Constructedk ← 0  $\forall k \in K$ 
8:     for her bir  $k \in K$  için do
9:         Rotalama Modelini çöz
10:        Amaç fonksiyonunu Current_Sol' a ekle
11:        Is_Route_Constructedk ← 1
12:        Modelin değişkenlerini Current_Tour'a ekle
13:        Yapılamayan işleri Uncovered_Job_Set'e ekle
14:        for her bir  $i \in Uncovered\_Job\_Set$  için do
15:            İş  $i$  için araç  $k \in K$ 'yü bul ← Is_Route_Constructedk = 0
                olan araçlar arasından Rulet Çarkı Seçimiyle araç seç
16:             $J^k \leftarrow J^{k'} \cup i$ 
17:        end for
18:    end for
19:    if Current_Sol < Best_Found_Cost_GRASP
20:        Best_Found_Cost_GRASP = Current_Sol
21:        Best_Found_Tour_GRASP = Current_Tour
22:    end if
23: end while

```

Çıktılar: *Best_Found_Tour_GRASP*, *Best_Found_Cost_GRASP*

4.1.1. Atama algoritması

Atama algoritması hemşire puanının her hemşire için hesaplanması ile başlar (Atama Algoritması, Satır 1). Her hemşire $n \in N$ için λ_n skoru (29-32) denklemlerine göre hesaplanır. Verilen denklemlere göre daha düşük sabit maliyete sahip, daha yüksek çalışma saatleri olan ve daha yüksek yetkinlik puanına sahip olan hemşireler daha yüksek puan alacaktır.

$$\Phi_n^t = \frac{b_n - a_n}{\sum_{n \in N} b_n - a_n} \quad (29)$$

$$\Phi_n^f = \frac{\alpha_n^N}{\sum_{n \in N} \alpha_n^N} \quad (30)$$

$$\Phi_n^u = \frac{\sum_{i \in J, u \in U} q_{iu}}{\sum_{n \in N} \sum_{i \in J, u \in U} q_{iu}} \quad (31)$$

$$\lambda_n = \Omega^t \Phi_n^t + \Omega^f \Phi_n^f + \Omega^u \Phi_n^u \quad (32)$$

Problemde işler sıkı zaman pencerelerine sahip olduğu için, yalnızca bir hemşire eğer işin zaman pencerelerinin bulunduğu zaman aralığında çalışıyor ise bu iş o hemşireye atanabilir. Ayrıca, işin gereksinimleri nedeniyle, bir iş $i \in J$ bir hemşire $n \in N$ 'e yalnızca hemşirenin yetkinlik puanı işin gereksinim puanına eşit veya daha fazlaysa atanabilir. Bu iki koşul hemşire tarafından karşılanırsa, *uyumluluk*_(n,i), λ_n değerini alır (Atama Algoritması, Satır 2-12). Aksi durumlarda ise "0" değerini alır. Her iş $i \in J$, rulet çarkı seçimi metodu kullanılarak hemşire $n \in N$ 'e atanır (Atama Algoritması, Satır 13-16). İşler hemşirelere atandıktan sonra hemşireler rastgele olarak araçlara atanır (Atama Algoritması, Satır 17-18). Atama algoritmasının çıktısı, her hemşire $n \in N$ için atanan işler kümesi ve her elektrikli araç $k \in K$ için araç-hemşire atamasıdır.

Çizelge 4.2: Atama Algoritması.

Girdiler: J: İşler Kümesi, N: Hemşireler Kümesi, K: Araçlar Kümesi

- 1: Hemşire puanı λ_n 'i her hemşire $n \in N$ için hesapla
- 2: **for** Hemşire $n \in N$ **do**
- 3: **for** iş $i \in V$ **do**
- 4: **for** gereksinim tipi $u \in U$ için **do**
- 5: **if** $n \in N [a_i, b_i]$ aralığında çalışıyorsa ve $q_i \leq q_{nu}$ **then**
- 6: $uyumluluk_{(n,i)} \leftarrow \lambda_n$
- 7: **else**
- 8: $uyumluluk_{(n,i)} \leftarrow 0$
- 9: **end if**
- 10: **end for**
- 11: **end for**
- 12: **end for**
- 13: $J_n \leftarrow \emptyset, n \in N$ // Atanmış işler kümesi her hemşire için boş kümedir
- 14: **for** iş $i \in J$ **do**
- 15: İş $i \in J$ için hemşire $n \in N$ bul $i \in n' \leftarrow uyumluluk_{(n,i)}$ değerlerini kullanarak rulet çarkı seçimini yap
- 16: $J'_n \leftarrow J'_n \cup i$
- 17: **end for**
- 18: **for** hemşire $n \in N$ **do**
- 19: Hemşire $n \in N$ için araç $k \in K$ aracını rastgele olarak ata
- 20: $J_k \leftarrow J'_n$
- 21: **end for**

Çıktılar: $J_k, k \in K$ Her araç için atanmış işler kümesi

4.1.2. Tur oluşturma algoritması

Rotalama modeli her araç için çözülür. Araç için çözüm elde edildikten sonra eğer bir iş önceden atandığı araçta rotalanamazsa, ceza maliyetinden kaçınmak için bu iş atanabileceği başka bir araca atanarak tekrar rotalanmaya çalışılır (GRASP Algoritması, Satır 13-16). Son olarak tüm araçların maliyetleri toplanarak çözümün maliyeti bulunur. GRASP algoritması 50 kez çalıştırılır ve yinelemelerde en iyi sonuç tutulur.

GRASP algoritmasında çözülen rotalama modeline ait matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$$\text{En küçük} \sum_{i \in V_{0k}} \sum_{j \in V_{nk}} \alpha^c x_{ij} s_{ij}^d c + \sum_{j \in J} (1 - h_j) \alpha_j^p \quad (33)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j \in V_{n_k}, j \neq i} x_{ij} \leq 1 \quad i \in J \quad (34)$$

$$\sum_{j \in V_{n_k}, j \neq i} x_{ij} \leq 1 \quad i \in S \quad (35)$$

$$\sum_{j \in J} x_{0kj} \leq 1 \quad (36)$$

$$\sum_{j \in J} x_{jn_k} \leq 1 \quad (37)$$

$$\sum_{i \in V_{0k}} x_{ij} = \sum_{i \in V_{n_k}} x_{ji} \quad j \in V \quad (38)$$

$$a_j \leq t_j \leq b_j \quad j \in J \quad (39)$$

$$a \leq t_j \leq b \quad j \in J \quad (40)$$

$$t_i + (s_{ij} + d_i)x_{ij} \leq t_j \quad i \in V_{0k}, j \in V_{n_k}, j \neq i \quad (41)$$

$$+b(1 - x_{ij})$$

$$t_i + s_{ij}x_{ij} + w_i \leq \quad i \in S, j \in V_{n_k}, j \neq i \quad (42)$$

$$t_j + (b + rY)(1 - x_{ij})$$

$$y_j \leq y_i + s_{ij}^d c x_{ij} \quad i \in V_{0k}, j \in V_{n_k}, j \neq i \quad (43)$$

$$+Y(1 - x_{ij})$$

$$y_j \leq g_i + s_{ij}^d c x_{ij} \quad i \in S, j \in V_{n_k}, j \neq i \quad (44)$$

$$+Y(1 - x_{ij})$$

$$y_i \leq g_i \leq Y \quad i \in S \quad (45)$$

$$y_{0k} = Y \quad (46)$$

$$g_i - y_i = \sigma_i \quad i \in S \quad (47)$$

$$r w_i = \sigma_i \quad i \in S \quad (48)$$

$$\sum_{i \in V_{0k}} x_{ij} = h_j \quad j \in J \quad (49)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i \in V_{0_k}, j \in V_{n_k}, j \neq i \quad (50)$$

$$h_j \in \{0,1\} \quad j \in J \quad (51)$$

$$\sigma_i, w_i, g_i \geq 0 \quad i \in S \quad (52)$$

$$y_i \geq 0, t_i \geq 0 \quad i \in V_{0_k, n_k} \quad (53)$$

Amaç fonksiyonu (36), iki terimden oluşur ve toplam maliyeti en aza indirmeyi amaçlar. İlk terim, elektrikli araçların toplam seyahat maliyetine karşılık gelir. İkinci terim, yapılamayan işlerin toplam maliyetini ifade eder. Kısıt (34), her hastanın en fazla bir kere ziyaret edilmesini sağlar. Kısıt (35), bir elektrikli aracın planlama ufku boyunca en fazla bir kez şarj istasyonuna uğramasını sağlar. Kısıt (36), bir aracın bulunduğu depodan/hastaneden yalnızca bir kere çıkış yapabildiğini sağlar. Kısıt (37), bir aracın bulunduğu depoya/hastaneye yalnızca bir kere giriş yapabildiğini sağlar. Kısıt (38), bir düğüme geliş ve gidişlerin akışının korunmasını garanti eder, yani bir elektrikli araç depo dışında bir düğüme ulaşırsa, o düğümden ayrılmalıdır. Kısıt (39), hasta ziyaretlerinin önceden belirlenen zaman aralığı içerisinde yapılmasını sağlar. Kısıt (40), elektrikli araç rotasının günlük çalışma saatleri içinde tamamlanmasını sağlar. Kısıtlar (41) ve (42), düğümler arasındaki seyahat sürelerini, işlerin hizmet sürelerini ve şarj istasyonlarındaki şarj sürelerini dikkate alarak düğümlerin ziyaret edildiği zamanı hesaplar. Kısıtlar (43) ve (44), seyahat esnasında enerji tüketimini dikkate alarak elektrikli aracın bir düğüme varış anındaki şarj miktarını hesaplar. Kısıt (45), bir elektrikli aracın bir şarj istasyonundan ayrılma anındaki şarj miktarını sınırlar. Kısıt (46), her aracın günlük rotasına tam şarjla başlamasını sağlar. Kısıtlar (47) ve (48), bir şarj istasyonunu ziyaret eden bir elektrikli araç için sırasıyla şarj edilen enerji miktarını ve şarj süresini hesaplarlar. Kısıt (49), bir işin yapıp yapılmadığını hesaplar. Kısıtlar (50)–(53) karar değişkenlerinin tanımlı aralıklarını gösterir.

4.2. Uyarlanabilir değişken komşuluk arama (AVNS)

Değişken komşuluk araması (VNS), Mladenovic ve Hansen (1997) tarafından önerilen çok çeşitli birleşimsel optimizasyon problemlerine uygulanabilen etkili bir meta-sezgiseldir. VNS, optimizasyon problemlerini çözmek için sezgisel yöntemler oluşturmaya yönelik esnek bir çerçeveyi temsil eder. Tek bir komşuluk yapısı kullanmanın aksine, VNS, optimal (veya optimale yakın) bir çözüm arayışı içinde

komşuluk yapılarını sistematik olarak değiştirir (Hansen ve diğ., 2017). Temel VNS algoritması, çalkalama adımı, iyileştirme adımı ve komşuluk değiştirme adımından oluşur. Çalkalama prosedürünün temel amacı, önceden belirlenmiş komşu yapılardan birinden rastgele bir çözüm seçerek yerel optimumdan kaçmaktır. İyileştirme adımı, verilen bir x çözümünden N_k komşuluk yapılarını kullanarak daha iyi bir çözüm bulmayı amaçlar. VNS algoritmasının farklı versiyonlarında rastgele seçim veya genişletme yöntemi gibi farklı komşuluk değiştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, komşuluk yapılarının geçmişteki performanslarına göre seçildiği bir AVNS algoritması önerilmiştir.

AVNS Algoritması, problemin çözümü için geliştirdiğimiz AVNS metasezgisel algoritmasının genel çerçevesini sunmaktadır. GRASP kurucu sezgisel algoritması tarafından bulunan $s^{initial}$ başlangıç çözümünün iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. AVNS' nin her yinelemesinde, performansına göre bir komşuluk yapısı seçilir. Seçim olasılıklarını ayarlamak için, her komşuluk yapısı önceki performanslarından puan alır (bkz. Komşuluk Ağırlıklarının Ayarlanması bölümü). Seçilen komşuluk yapısından elde edilen s' çözümü kabul koşullarını karşılıyorsa, (bkz. Kabul kriterleri bölümü), $s^{current}$ güncellenir. Ayrıca, iyileştirme olmayan her çalkalama periyodu n^{shake} iterasyonda rastgele bir çözüm üreterek yerel minimumdan uzaklaşmaya çalışılır (bkz. Çalkalama prosedürü bölümü). En fazla iterasyon sayısı veya iyileştirme olmayan en fazla iterasyon sayısı gibi durdurma koşulları sağlanana kadar algoritma devam eder.

Çizelge 4.3: AVNS Algoritması.

```

1:  $iter \leftarrow 0$ 
2:  $iter^{max\_non\_imp} \leftarrow 0$ 
3:  $T \leftarrow T_0$ 
4: while  $iter \leq iter^{max}$  do
5:   if  $iter \bmod(n^{adjust}) = 0$  then
6:     Komşuluk yapılarının ağırlıkları  $w$ 'yu hesapla (bkz. Bölüm 4.3)
7:      $ut$  ve  $sc \leftarrow 0$ 
8:   end if
9:   if  $iter \bmod(n^{shake}) = 0$  then
10:     $s^{best}$ 'i çalkala ve rastgele bir sonuca atla:  $s^{current} \leftarrow NS(s^{best})$ 
11:   end if
12:   Komşuluk yapısını seç:  $NS \leftarrow N(x)$ 
13:    $s' \leftarrow NS(s^{current})$ 
14:   if  $c(s') \leq c(s^{best})$  then
15:     $s^{current} \leftarrow s'$ 
16:     $s^{best} \leftarrow s'$ 
17:   elif  $c(s') \leq c(s^{current})$  then
18:     $s^{current} \leftarrow s'$ 
19:   else
20:     $u \in [0,1]$  arasında rastgele bir sayı
21:    if  $u < e^{\left(\frac{c(s')-c(s^{current})}{T}\right)}$  then
22:      $s^{current} \leftarrow s'$ 
23:    end if
24:   end if
25:    $T \leftarrow T\gamma$ 
26:   if  $iter^{non\_imp} = iter^{max\_non\_imp}$  then
27:    break
28:   end if
29: end while

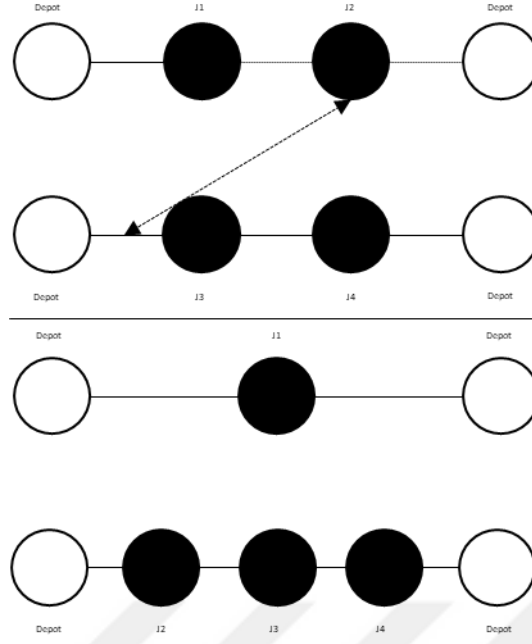
```

Çıktılar: s^{best} , $c(s^{best})$

4.2.1. Komşuluk yapıları

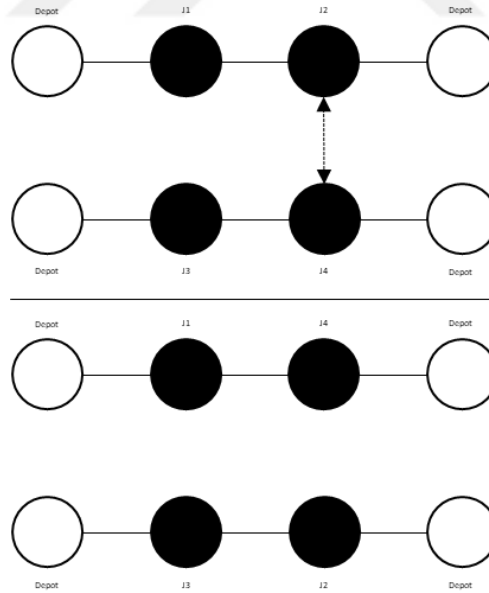
Problem için özel olarak tasarlanmış olan 7 farklı komşuluk yapısı kullanılmıştır. Komşuluk yapılarının operatörleri aşağıda açıklanmıştır:

İş Yer Değiştirme: Bir iş, hâlihazırda atanmış olduğu araçtan kaldırılır ve en düşük maliyetli olacak şekilde başka bir araca atanır. Tüm işler için olası tüm değişiklikler bulunur ve en iyi değişiklik uygulanır. Şekil 4.1, bu operatörün örnek bir kullanımını göstermektedir.



Şekil 4.1: Aç Gözlü Dikey İş Yer Değişirme

Rassal İş Değişirme: İki farklı araca atanan iki iş rassal olarak seçilir ve zaman pencereleri, gereksinim kısıtları ve şarj kısıtları için olurluysa birbiriyle değiştirilir. Şekil 4.2, bu operatörün örnek gösterimini sunmaktadır.

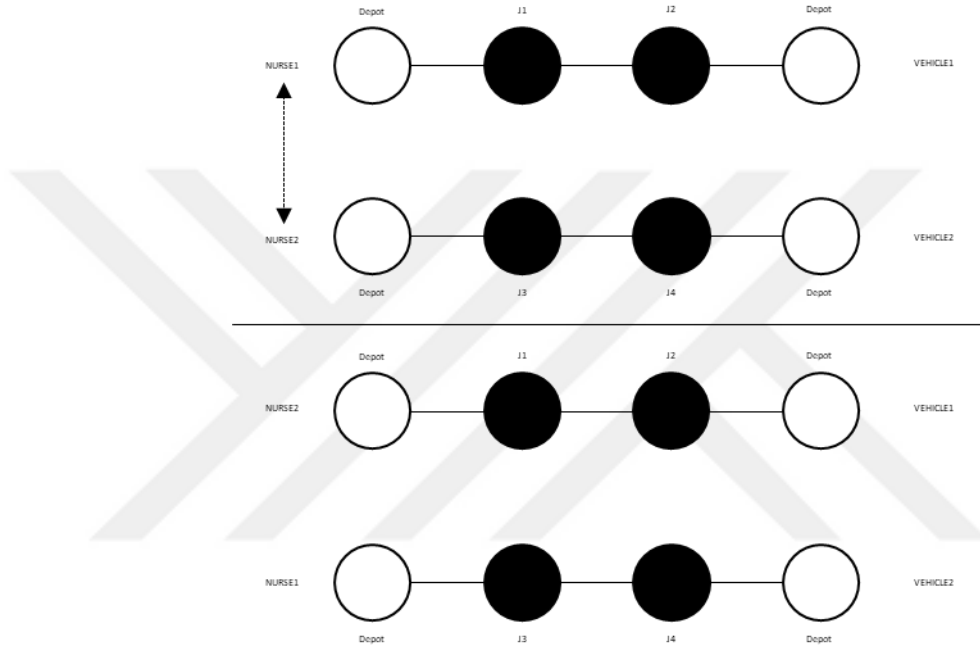


Şekil 4.2: Rassal Dikey İş Değişirme

Açgözlü İş Ekleme: Mevcut atanmamış işler kümesinden seçilen bir iş, bir araca atanır ve yeni oluşan maliyet hesaplanır. Atanmamış işler kümesindeki tüm işler için olası tüm değişiklikler bulunur ve en iyi değişiklik uygulanır.

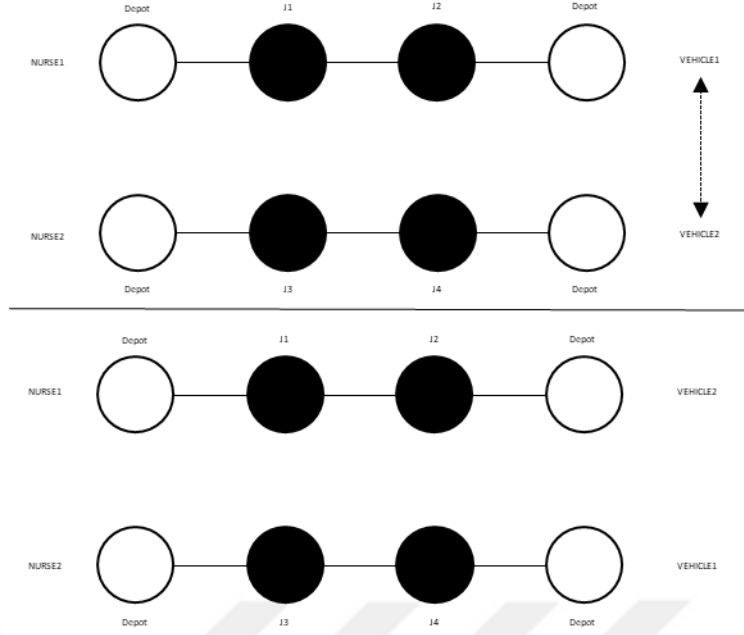
Açgözlü Araç Eleme: Araçlar, kendilerine atanan iş sayısına göre sıralanır. En az işe sahip araç çıkarılır ve eğer mümkünse o araçtaki tüm işler diğer araçlara atanır.

Aç Gözlü Hemşire Değişirme: İki farklı araçta bulunan hemşirelerin araç atamaları yer değiştirir. Bu değişiklik yapılırken hemşirelere verilen işler de değiştirilir. Tüm olası değişiklikler incelendikten sonra en iyi çözüm uygulanır. Şekil 4.3, bu operatörün örnek gösterimini sunmaktadır.



Şekil 4.3: Aç Gözlü Hemşire Değişirme

Aç Gözlü Araç Değişirme: İki farklı araçtaki hemşireler birbirleriyle yer değiştirir. Bu değişiklik yapılırken hemşirelere atanmış olan işler değişmeden kalır. Tüm olası değişiklikler hesaplandıktan sonra en iyi çözüm uygulanır. Şekil 4.4, bu operatörün örnek gösterimini sunmaktadır.



Şekil 4.4: Aç Gözlü Araç Değişirme

3-OPT: 3-OPT algoritması, k-opt algoritmasının özel bir şeklidir. 3-opt algoritması, bir ağdaki (veya çemberdeki) üç bağlantının (veya kenarın) silinmesini, ağın diğer tüm olası yollarla yeniden bağlanmasını ve ardından en düşük maliyetli olan çözümü bulmak için her yeni rotanın maliyetini hesaplamayı içerir. 3-opt algoritması tüm araçlar için ayrı ayrı uygulanır ve her araç için en iyi çözüm gerçekleştirilir.

Problem zaman pencereleri, iş gereksinimleri ve şarj kısıtları gibi kısıtları içerdiğinden, olurlu olmayan çözümlerden kaçınmak için her bir komşu çözümün olurluluğu kontrol edilir. Her bir iterasyonda olurlu olmayan çözümler reddedilerek çözümün olurluluğu korunur.

Batarya Olurluluğu Kontrolü: Batarya olurluluğu kontrol edilirken mevcut rotadan şarj istasyonu (varsa) kaldırılır. Yeni rota, şarj kısıtlarına göre olurluysa, aynı kalır. Aksi takdirde rotaya eklenebilecek en düşük maliyetli olacak şekilde bir şarj istasyonu eklenir.

4.2.2.Çalkalama prosedürü

Çalkalama prosedürü, AVNS algoritmasının önemli bir parçasıdır. Çalkalama prosedürünün temel amacı, yerel minimum noktaları çözerek bu noktalardan kaçmaktır. Basit bir çalkalama prosedürü, bir mevcut en iyi çözüm $s^{incumbent}$ 'in, N_k^{th} komşuluk yapısından rastgele bir çözüm seçilmesine dayalıdır (Hansen ve diğ., 2017). Çalkalama prosedüründe, çözümü bozmak ile çözümün iyi yönlerini korumak arasında

önemli bir denge vardır (Hemmelmayr ve diğ., 2009). Mevcut en iyi çözümden çok fazla uzaklaşmak algoritmanın performansını düşürebilirken, az değişiklik yapmak yerel minimumdan kaçılmamasına sebep olabilir.

Bu çalışmada, yerel minimum noktalardan kaçmak için rastgele bir yer değiştirme operatörü kullanılmıştır. Rassal yer değiştirme operatöründe, rassal sayıda iş rastgele olarak seçilir ve bu işler yeniden rotalanır. Yer değiştirme işleminde, olası tüm değişikliklerin ek maliyetleri hesaplanır ve ek maliyetlerine göre olası değişikliklerden bir tanesi seçilir. Her çalkalama adımında en fazla 6 iş yer değiştirebilir ve yer değiştirecek iş sayısı eşit olasılıkla 1 ile 6 arasından seçilir.

4.2.3. Ağırlık ayarlama prosedürü

Yücel ve diğ. (2022) tarafından tanımlanan ağırlık ayarlama prosedürü kullanılmıştır. Her komşuluk yapısının puanı, her bir ayarlama periyodu n^{adjust} , in başında sıfırlanır. ut^x , iki ayarlama dönemi arasında karşılık gelen komşuluk yapısı $x \in N$ 'in kaç kez kullanıldığını, sc^x komşuluk yapısının puanını ve w^x ise komşuluk yapısının ağırlığını ifade eder. Bir komşuluk yapısı $x \in N$ uygulandığında sc^x , bulunan s' performansına göre Δsc kadar artırılır. Hesaplama yöntemi denklem (59)'da verilmiştir.

$$\Delta sc = \begin{cases} \alpha_1 & , c(s') < c(s^{best}) \\ \alpha_2 & , c(s') < c(s^{current}) \\ \alpha_3 & , c(s') > c(s^{current}) \text{ ancak kabul edildiyse} \\ 0 & , \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (54)$$

Her bir ayarlama periyodunun başında komşuluk yapısı $x \in N$ 'in ağırlığı geçmiş ağırlıklarına ve performansına bağlı olarak denklem (55)'de belirtildiği gibi hesaplanır.

$$w^x = \begin{cases} (1 - \rho)w^x + \rho sc^x/ut^x & , \text{if } ut^x > 0 \\ (1 - \rho)w^x & , \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (55)$$

Son periyoddaki performansın ve geçmiş ağırlık değerinin etkisini ayarlayan tepki faktörü $[0, 1]$ aralığında bir değer olan ρ ile gösterilir. ρ 1'e yakın olduğunda son periyoddaki performansın etkisi artarken, 0'a yakın olduğunda ise geçmiş ağırlık değerinin etkisi artar. Komşuluk Yapısı kümesinin eleman sayısı $|N|$ ve komşuluk yapılarının başlangıç ağırlıkları $1/|N|$ 'dir. Komşuluk yapısının seçim olasılığı denklem (56)'daki gibi hesaplanır.

$$p\{x\} = \frac{w^x}{\sum_{x \in NS} w^x} \quad (56)$$

4.2.4. Kabul koşulu

Bu çalışmada kabul koşulu olarak, ilk olarak Metropolis ve diğ. (1953) tarafından tanımlan ve tavlama benzetimi algoritmasında ilk olarak Kirkpatrick ve diğ. (1983) tarafından kullanılan ve literatürde birçok çalışmada başarıyla uygulanmış olan Metropolis Kriterleri kullanılmıştır. Eğer bir komşu s' çözümü $s^{current}$ 'dan daha iyiye ($c(s') < c(s^{current})$) olması durumunda) bu çözüm her zaman kabul edilir ve $s^{current}$ 'ın yerini alır. Eğer bir komşu s' çözümü $s^{current}$ 'dan daha kötüyse, s' çözümü $u < e^{\left(\frac{-c(s')-c(s^{current})}{T}\right)}$ olasılığıyla kabul edilir. Bu denklemde T mevcut sıcaklığı gösterir. Başlangıç sıcaklığı T_0 , Pisinger ve diğ. (2007) çalışmasındaki gibi T_0 , başlangıç çözümünden $\% \Phi$ daha kötü bir çözümün $\%50$ olasılıkla kabul edilmesini sağlayacak şekilde ayarlanır. Sıcaklık her iterasyonda γ soğutma parametresi ile soğutulur.



5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Önerilen algoritmanın verimliliğini hesaplamak için gerçek hayat verileri göz önüne alarak türetilen geniş kapsamlı test örnekleri üzerinde kapsamlı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Geliştirilen matematiksel model CPLEX20.1’de kodlanmış ve çözülmüştür. AVNS metasezgisel algoritması ise Python üzerinde geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 20.1 versiyonu kullanılarak 64 GB RAM ve i7 2.3 GHz işlemci üzerinde 3 saat zaman sınırı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir test problemi Python’da 10 kez çalıştırılmıştır. Sonuçların ortalaması, standart sapması ve en iyi çözümler raporlanmıştır.

İlk olarak test verilerinin oluşturulma yöntemi anlatılmaktadır (Bölüm 5.1). İkinci olarak, küçük ve orta boyutlu örnekler matematiksel model ve AVNS algoritması ile çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır (Bölüm 5.2). AVNS algoritması ile çözülen büyük boyutlu örneklere ait sonuçlar raporlanmıştır (Bölüm 5.3). Son olarak, eş zamanlı iş sayısı, şarj tipi, konum seçim yöntemi ve iş gereksinim sayısı gibi parametreler değiştirilerek çözüme olan etkileri analiz edilmiştir (Bölüm 5.4).

Çizelge 5.1: AVNS algoritmasının parametreleri.

	Tanımlama	Değer
1:	en çok iyileşme olmayan iterasyon sayısı $iter^{max_non_imp}$	1000
2:	en çok iterasyon sayısı $iter^{max}$	10000
3:	başlangıç sıcaklığı kontrol parametresi Φ	0.50
4:	zaman penceresi katsayısı Ω^t	0.10
5:	sabit maliyet katsayısı Ω^f	0.40
6:	yetkinlik puanı katsayısı Ω^u	0.50
7:	tepki faktörü ρ^x	0.50
8:	ağırlık ayarlama periyodu n^{adjust}	25
9:	çalkalama periyodu n^{shake}	100
9:	sıcaklık soğutma parametresi γ	0.99
10:	GRASP algoritmasındaki en çok iterasyon sayısı $Replication^{max}$	50
11:	en iyi çözümü iyileştirme skoru α_1	70
12:	mevcut çözümü iyileştirme skoru α_2	50
13:	iyileşme olmayan ancak kabul edilen çözüm skoru α_3	20

5.1. Test örneklerinin oluşturulması

Tüm örneklerde hemşirelerin çalışma saatleri 08.00-17.00 saatleri arasında belirlenmiştir ve hemşirelerin maaşı, aylık maaşın günlük karşılığı olarak hesaplanmıştır. Hastaların en fazla 2 gereksinim tipine sahip olduğu belirlenmiş ve gereksinim tiplerine ait puanlar minimum 1 ve maksimum 3 olarak belirlenmiştir. Problemden en düşük hemşire maaşı günlük 400 TL olarak belirlenmiştir.

Hasta konumları TÜİK (2020)'in "Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi" veri tabanından alınmıştır. Veri tabanından Ankara ilinin il, ilçe ve mahalle nüfus verilerini içeren dosya kullanılmıştır. Hemşirelerin seyahatlerine başlayıp seyahatlerini bitirdikleri hastanelerin, yani depoların, konumları Ankara'daki kamu hastanelerinin konumları baz alınarak belirlenmiştir. Benzer şekilde Google Maps API yardımıyla Ankara'daki şarj istasyonlarının yerleri belirlenmiştir (ZES., 2020). Mesafe matrisi Haversine formülü ile kullanılarak üretilmiştir (Movable Type Scripts., 2020). Hasta lokasyonlarını belirlemek için rastgele seçim yöntemi ve ağırlıklı rastgele seçim yöntemi olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. Rastgele seçim yönteminde hasta lokasyonları mevcut tüm mümkün noktalar arasından rastgele olarak seçilmiştir.

Ağırlıklı rastgele seçimde ise, her bir hasta lokasyonunun seçilme olasılığı bulunduğu mahallenin nüfus yoğunluğundan elde edilen göreceli ağırlıkları ile belirlenmiştir.

Problemde, heterojen bir elektrikli araç filosu kullanılmaktadır. Batarya kapasitesi ve araçların enerji tüketimine göre üç farklı elektrikli araç seçilmiştir. Elektrikli araçların özellikleri Çizelge 5.2’ de açıklanmıştır. Elektrikli araçların ortalama hızı Gupta ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi 55 km/s olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.2: Elektrikli araçların özellikleri.

	Enerji Tüketimi(c_k)	Kapasite(Y_k)
Araç#1	0.158	26.8
Araç#2	0.158	32.3
Araç#3	0.165	52

Hemşirelerin kendilerine atanan işleri yapamaması, gerçek hayatta müşteri kaybı anlamına gelmektedir. Bu nedenle problemde belirtilen bir işi gerçekleştirememenin cezasının yüksek olması gerekmektedir. Problemde bir işi gerçekleştirememenin ceza maliyeti $\alpha_j^P = 800$ TL olarak belirlenmiştir.

Test verileri küçük, orta ve büyük boyutlu örneklerden oluşturulmuştur. Küçük boyutlu örnekler 10 iş, orta boyutlu örnekler 20 ve 30 iş ve son olarak büyük boyutlu örnekler 40, 50 ve 60 iş içermektedir. Problemde küçük ve orta boyutlu örneklerde 10 adet rastgele seçim yöntemiyle oluşturulan ve 10 adet ağırlıklı rastgele seçim yöntemiyle oluşturulan örnekler üretilmiştir. Toplam 60 adet küçük ve orta boyutlu test örneği oluşturulmuştur. Küçük ve orta boyutlu örnekleri adlandırmada, “J” işi, “n” hemşireyi, “CS” şarj istasyonunu, “s” gereksinim tipi sayısını, “w” geniş hasta zaman aralığını, “t” dar hasta zaman aralığını, “sy” senkronize işleri, “R” rastgele seçimi, “W” ağırlıklı rastgele seçimi ifade etmektedir. Örneğin, “10j3n3cs2s-w-1sy-R4” örneği, rastgele seçilen 10 hasta için oluşturulan 4. test örneğini ifade etmektedir. Bu örnekte, 3 hemşire, 3 şarj istasyonu, 2 yeterlilik tipi, geniş hasta zaman penceresi ve 1 senkronize iş grubu bulunmaktadır.

Parametrelerin çözüm üzerindeki etkilerini analiz etmek için büyük boyutlu örnekler 7 gruba ayrılmıştır. Her bir örnek grubu, mesafe seçim metodu, kullanılan şarj teknolojisi, işlerin gereksinim puanı sayısı, senkronize iş sayısı ve iş süreleri gibi parametreler açısından farklı özelliklere sahiptir. Örnek olarak, G1 test grubunda,

hasta lokasyonları ve hastane lokasyonları mevcut tüm mahalle koordinatları arasından rastgele seçilmiştir, hızlı şarj tipi kullanılmıştır ve son olarak, yapılacak işlerin gereksinimleri bulunmamaktadır. Diğer grupların özellikleri Çizelge 5.3'te listelenmiştir. Örnekleri adlandırmada “G” grup adını, “a” örnek grubunda Araç#1'in kullanıldığını ve “c” örnek grubunda Araç#3'nin kullanıldığını ifade etmektedir. Örneğin, “40-G1-a” örneği, 10 hasta için oluşturulan G1 örnek grubunda, Araç#1'in kullanıldığını gösterir. Her bir büyük boyutlu örnek grubu için iki örnek oluşturulmuştur. Toplamda $7 \times 2 \times 3 = 42$ adet büyük boyutlu örnek oluşturulmuştur.

Çizelge 5.3: Örnek gruplarının özellikleri.

Grup Adı	Konum Seçim Yöntemi	Şarj Tipi	Yetkinlik tipi sayısı	Senkronize işlerin yüzdesi	İş süresi
G1	R	Hızlı (0.183)	0	0	(20, 60)
G2	R	Süper-Hızlı (0.883)	0	0	(20, 60)
G3	W	Hızlı (0.183)	0	0	(20, 60)
G4	W	Süper-Hızlı (0.883)	0	0	(20, 60)
G5	R	Hızlı (0.183)	1	0	(20, 60)
G6	R	Hızlı (0.183)	1	0	(10, 90)
G7	R	Hızlı (0.183)	1	10%	(20, 60)

5.2. Küçük ve büyük boyutlu örneklerin karşılaştırmalı sonuçları

Bu bölümde küçük ve orta boyutlu örneklerin matematiksel model ve AVNS'den elde edilen sonuçları karşılaştırılmıştır. Çizelge 5.4, 5.6 ve 5.8'da küçük ve orta boyutlu örneklerin sonuçları rapor edilmekte ve matematiksel model ile AVNS'den elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmaktadır. Çizelge 5.5, 5.7 ve 5.9'da ise küçük ve orta boyutlu örneklerin matematiksel model ile AVNS'den elde edilen sonuçlarında kullanılan elektrikli araç ve yapılamayan işlerin sayısı raporlanmaktadır. Çizelge 5.4, 5.6 ve 5.8'da MIP sütunu, matematiksel model sonuçlarını, GRASP sütunu, GRASP kurucu sezgisel algoritmasının sonuçlarını ve AVNS sütunu ise önerilen AVNS algoritmasının sonuçlarını göstermektedir. En iyi amaç değeri, çözüm süreleri, MIP-AVNS arasındaki fark ve AVNS algoritmasının GRASP algoritmasından elde edilen sonuç iyileştirme oranı rapor edilmektedir.

Çizelge 5.4' e göre, 10 iş içeren tüm küçük boyutlu örnekler, 60 saniye içinde hem matematiksel model hem de AVNS tarafından optimal olarak çözülebilmektedir. Öte

yandan, GRASP'tan elde edilen sonuçlar AVNS algoritması aracılığıyla ortalama olarak %11 oranında iyileştirilmiştir.

Çizelge 5.4: Küçük boyutlu örneklerin karşılaştırmalı sonuçları.

Örnek	MIP		GRASP	AVNS			
	En İyi Sonuç	Çözüm Süresi (s)	En İyi Sonuç	En İyi Sonuç	Çözüm Süresi (s)	MIP-AVNS İyileştirme (%)	GRASP-AVNS İyileştirme (%)
10j3n3cs0s-md-w-0sy-W1	2596.30	< 60	2596.30	2596.30	< 60	0.0	0.0
10j3n3cs1s-md-w-0sy-W2	1815.17	< 60	1815.17	1815.17	< 60	0.0	0.0
10j3n3cs1s-md-t-0sy-W3	1836.09	< 60	1858.60	1836.09	< 60	0.0	1.2
10j3n3cs1s-md-w-0sy-W4	2513.55	< 60	2513.55	2513.55	< 60	0.0	0.0
10j3n3cs2s-md-w-0sy-W5	1112.47	< 60	1215.82	1112.47	< 60	0.0	8.5
10j3n3cs2s-md-w-0sy-W6	1835.22	< 60	2492.64	1835.22	< 60	0.0	26.4
10j3n3cs2s-md-t-0sy-W7	2530.69	< 60	3142.77	2530.69	< 60	0.0	19.5
10j3n3cs2s-md-t-0sy-W8	2597.23	< 60	3125.84	2597.23	< 60	0.0	16.9
10j3n3cs2s-md-t-0sy-W9	1170.13	< 60	1795.63	1170.13	< 60	0.0	34.8
10j3n3cs2s-md-w-2sy-W10	1862.20	< 60	2631.43	1862.20	< 60	0.0	29.2
10j3n3cs0s-md-w-0sy-R1	1677.52	< 60	1745.09	1677.52	< 60	0.0	3.9
10j3n3cs1s-md-w-0sy-R2	2645.21	< 60	3406.75	2645.21	< 60	0.0	22.4
10j3n3cs1s-md-t-0sy-R3	2478.36	< 60	2479.78	2478.36	< 60	0.0	0.1
10j3n3cs1s-md-w-0sy-R4	2425.92	< 60	2488.08	2425.92	< 60	0.0	2.5
10j3n3cs2s-md-w-0sy-R5	2598.26	< 60	2605.37	2598.26	< 60	0.0	0.3
10j3n3cs2s-md-w-0sy-R6	2429.78	< 60	2532.19	2429.78	< 60	0.0	4.0
10j3n3cs2s-md-t-0sy-R7	1812.31	< 60	1842.36	1812.31	< 60	0.0	1.6
10j3n3cs2s-md-t-0sy-R8	1151.94	< 60	1352.99	1151.94	< 60	0.0	14.9
10j3n3cs2s-md-t-0sy-R9	2416.14	< 60	2506.68	2416.14	< 60	0.0	3.6
10j3n3cs2s-md-w-2sy-R10	1898.30	< 60	2756.27	1898.30	< 60	0.0	31.1
				En az	< 60	0.00	0.0
				En çok	< 60	0.00	34.8
				Ort.	< 60	0.00	11.0

Çizelge 5.5'te, küçük boyutlu örneklere ait Çizelge 5.4'te sunulan matematiksel model ve AVNS algoritmasından elde edilen sonuçlarda kullanılan araç ve yapılamayan iş sayıları raporlanmıştır. Matematiksel model ve AVNS'den elde edilen sonuçlar optimal olduğu için kullanılan araç ve yapılamayan iş sayıları her örnek için aynıdır.

Çizelge 5.5: Küçük boyutlu örneklerde kullanılan araç ve yapılamayan iş sayıları.

Örnek	MIP		AVNS	
	Kullanılan araç sayısı	Yapılamayan iş sayısı	Kullanılan araç sayısı	Yapılamayan iş sayısı
10j3n3cs0s-md-w-0sy-W1	3	1	3	1
10j3n3cs1s-md-w-0sy-W2	3	0	3	0
10j3n3cs1s-md-t-0sy-W3	3	0	3	0
10j3n3cs1s-md-w-0sy-W4	3	1	3	1
10j3n3cs2s-md-w-0sy-W5	2	0	2	0
10j3n3cs2s-md-w-0sy-W6	2	1	2	1
10j3n3cs2s-md-t-0sy-W7	3	1	3	1
10j3n3cs2s-md-t-0sy-W8	3	1	3	1
10j3n3cs2s-md-t-0sy-W9	2	0	2	0
10j3n3cs2s-md-w-2sy-W10	3	0	3	0
10j3n3cs0s-md-w-0sy-R1	3	0	3	0
10j3n3cs1s-md-w-0sy-R2	3	1	3	1
10j3n3cs1s-md-t-0sy-R3	3	1	3	1
10j3n3cs1s-md-w-0sy-R4	2	2	2	2
10j3n3cs2s-md-w-0sy-R5	3	1	3	1
10j3n3cs2s-md-w-0sy-R6	2	2	2	2
10j3n3cs2s-md-t-0sy-R7	3	0	3	0
10j3n3cs2s-md-t-0sy-R8	2	0	2	0
10j3n3cs2s-md-t-0sy-R9	3	1	3	1
10j3n3cs2s-md-w-2sy-R10	3	0	3	0
En az	2.00	0.00	2.00	0.00
En çok	3.00	2.00	3.00	2.00
Ort.	2.70	0.65	2.70	0.65

Çizelge 5.6'ya göre 20 iş içeren orta boyutlu örnek grubunda matematiksel model, 3 saat içinde mümkün çözümler bulmuştur. Ancak, bu çözümlerin optimal olduğu garanti edilememiştir. Önerilen AVNS' de tüm örnekler çözülmüş ve matematiksel modelden elde edilen sonuçlara göre ortalama %6,6 daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. 20 iş içeren örnek grubunda, GRASP algoritmasından elde edilen sonuçlar AVNS tarafından ortalama %38 (en düşük %15,6) iyileştirilmiştir. AVNS, 20 iş içeren tüm örnekler için sonuçları en fazla 6 dakika içinde elde edebilmiştir.

Çizelge 5.6: 20 İşe sahip örneklerin karşılaştırmalı sonuçları.

Örnek	MIP		GRASP	AVNS			
	En İyi Sonuç	Çözüm Süresi (s)	En İyi Sonuç	En İyi Sonuç	Çözüm Süresi (s)	MIP-AVNS İyileştirme (%)	GRASP-AVNS İyileştirme (%)
20j6n4cs0s-md-w-0sy-W1	1501.19	10800	2711.01	1005.38	189	33.0	62.9
20j6n4cs1s-md-w-0sy-W2	2088.04	10800	2753.77	2080.78	162	0.3	24.4
20j6n4cs1s-md-t-0sy-W3	1559.02	10800	2174.61	1531.05	152	1.8	29.6
20j6n4cs1s-md-w-0sy-W4	1576.56	10800	2844.36	1551.24	270	1.6	45.5
20j6n4cs2s-md-w-0sy-W5	1118.97	10800	2794.43	1113.99	251	0.4	60.1
20j6n4cs2s-md-w-0sy-W6	2141.95	10800	2823.57	1634.37	133	23.7	42.1
20j6n4cs2s-md-t-0sy-W7	1626.81	10800	2811.27	1611.62	161	0.9	42.7
20j6n4cs2s-md-t-0sy-W8	1706.18	10800	2413.53	1702.38	152	0.2	29.5
20j6n4cs2s-md-t-0sy-W9	1681.91	10800	2847.72	1670.54	116	0.7	41.3
20j6n4cs2s-md-w-2sy-W10	1668.91	10800	2774.88	1657.71	272	0.7	40.3
20j6n4cs0s-md-w-0sy-R1	1623.43	10800	2999.80	1603.58	219	1.2	46.5
20j6n4cs1s-md-w-0sy-R2	2174.20	10800	2912.13	2173.34	140	0.0	25.4
20j6n4cs1s-md-t-0sy-R3	2139.52	10800	2845.98	1653.21	133	22.7	41.9
20j6n4cs1s-md-w-0sy-R4	1613.73	10800	2790.25	1589.49	126	1.5	43.0
20j6n4cs2s-md-w-0sy-R5	1725.45	10800	2858.92	1708.79	298	1.0	40.2
20j6n4cs2s-md-w-0sy-R6	1657.97	10800	2843.54	1648.59	260	0.6	42.0
20j6n4cs2s-md-t-0sy-R7	3676.26	10800	4301.05	3628.08	85	1.3	15.6
20j6n4cs2s-md-t-0sy-R8	2273.01	10800	2898.18	1881.12	334	17.2	35.1
20j6n4cs2s-md-t-0sy-R9	2265.40	10800	2931.45	2257.90	240	0.3	23.0
20j6n4cs2s-md-w-2sy-R10	2283.17	10800	2950.51	1743.87	211	23.6	40.9
				En az	85	0.0	15.6
				En çok	335	33.0	62.9
				Ort.	196	6.6	38.6

Çizelge 5.7’de, orta boyutlu örneklere ait Çizelge 5.6’da sunulan matematiksel model ve AVNS algoritmasından elde edilen sonuçlarda kullanılan araç ve yapılamayan iş sayıları raporlanmıştır. Matematiksel model ve AVNS’den elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 20 boyutlu örneklere ait üretilen 20 adet örnekten 5’inde AVNS algoritması daha az araç kullanmış ve operasyonları daha az maliyet ile gerçekleştirmiştir. Yapılamayan iş sayıları ise 20 boyutlu tüm örnekler için matematiksel model ve önerilen AVNS algoritmaından elde edilen sonuçlarda aynıdır.

Çizelge 5.7: 20 İşe sahip örneklerde kullanılan araç ve yapılamayan iş sayıları.

Örnek	MIP		AVNS	
	Kullanılan araç sayısı	Yapılamayan iş sayısı	Kullanılan araç sayısı	Yapılamayan iş sayısı
20j6n4cs0s-md-w-0sy-W1	3	0	2	0
20j6n4cs1s-md-w-0sy-W2	4	0	4	0
20j6n4cs1s-md-t-0sy-W3	3	0	3	0
20j6n4cs1s-md-w-0sy-W4	3	0	3	0
20j6n4cs2s-md-w-0sy-W5	2	0	2	0
20j6n4cs2s-md-w-0sy-W6	4	0	3	0
20j6n4cs2s-md-t-0sy-W7	3	0	3	0
20j6n4cs2s-md-t-0sy-W8	3	0	3	0
20j6n4cs2s-md-t-0sy-W9	3	0	3	0
20j6n4cs2s-md-w-2sy-W10	3	0	3	0
20j6n4cs0s-md-w-0sy-R1	3	0	3	0
20j6n4cs1s-md-w-0sy-R2	4	0	4	0
20j6n4cs1s-md-t-0sy-R3	4	0	3	0
20j6n4cs1s-md-w-0sy-R4	3	0	3	0
20j6n4cs2s-md-w-0sy-R5	3	0	3	0
20j6n4cs2s-md-w-0sy-R6	3	0	3	0
20j6n4cs2s-md-t-0sy-R7	5	1	5	1
20j6n4cs2s-md-t-0sy-R8	4	0	3	0
20j6n4cs2s-md-t-0sy-R9	4	0	4	0
20j6n4cs2s-md-w-2sy-R10	4	0	3	0
En az	2	0	2	0
En çok	5	1	5	1
Ort	3.40	0.05	3.15	0.05

Çizelge 5.8'e göre 30 iş içeren büyük boyutlu örnek grubunda matematiksel model, 3 saat içinde mümkün çözümler bulmuştur. Ancak, bu çözümlerin optimal olduğu garanti edilememiştir. Önerilen AVNS' de tüm örnekler çözülmüş ve matematiksel modelden elde edilen sonuçlara göre ortalama %18,3 daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. 30 iş içeren örnek grubunda, GRASP algoritmasından elde edilen sonuçlar AVNS tarafından ortalama %48,6 (en düşük %25,8) iyileştirilmiştir. AVNS, 30 iş içeren tüm örnekler için sonuçları en fazla 20 dakika içinde elde edebilmiştir.

Çizelge 5.8: 30 İşe sahip örneklerin karşılaştırmalı sonuçları.

Örnek	MIP		GRASP	AVNS			
	En İyi Sonuç	Çözüm Süresi (s)	En İyi Sonuç	En İyi Sonuç	Çözüm Süresi (s)	MIP-AVNS İyileştirme (%)	GRASP-AVNS İyileştirme (%)
30j10n5cs0s-md-w-0sy-W1	2468.03	10800	4750.01	1939.58	390	21.4	59.2
30j10n5cs1s-md-w-0sy-W2	2472.76	10800	4388.40	1947.17	489	21.3	55.6
30j10n5cs1s-md-t-0sy-W3	2446.53	10800	4362.94	1961.39	432	19.8	55.0
30j10n5cs1s-md-w-0sy-W4	2451.95	10800	3272.31	2428.50	523	1.0	25.8
30j10n5cs2s-td-w-0sy-W5	2445.96	10800	4222.31	1921.10	601	21.5	54.5
30j10n5cs2s-wd-w-0sy-W6	2547.62	10800	4214.13	1996.46	633	21.6	52.6
30j10n5cs2s-wd-t-0sy-W7	2476.05	10800	4258.79	1953.33	663	21.1	54.1
30j10n5cs2s-wd-t-0sy-W8	2562.10	10800	4319.79	2024.86	377	21.0	53.1
30j10n5cs2s-wd-t-0sy-W9	1958.39	10800	4242.64	1937.86	300	1.0	54.3
30j10n5cs2s-wd-w-2sy-W10	4073.24	10800	4298.71	2465.29	725	39.5	42.7
30j10n5cs0s-md-w-0sy-R1	3030.42	10800	4516.47	2525.20	458	16.7	44.1
30j10n5cs1s-md-w-0sy-R2	2492.15	10800	4246.20	1956.26	363	21.5	53.9
30j10n5cs1s-md-t-0sy-R3	3098.16	10800	4654.42	2573.65	463	16.9	44.7
30j10n5cs1s-md-w-0sy-R4	3053.95	10800	4380.68	2506.49	456	17.9	42.8
30j10n5cs2s-td-w-0sy-R5	2743.28	10800	4571.51	2100.74	551	23.4	54.0
30j10n5cs2s-wd-w-0sy-R6	3162.59	10800	4570.85	2745.05	839	13.2	39.9
30j10n5cs2s-wd-t-0sy-R7	2650.60	10800	5245.61	2604.69	400	1.7	50.3
30j10n5cs2s-wd-t-0sy-R8	3127.80	10800	4496.08	2563.3	1111	18.0	43.0
30j10n5cs2s-wd-t-0sy-R9	3111.50	10800	5622.35	3071.79	374	1.3	45.4
30j10n5cs2s-wd-w-2sy-R10	5217.25	10800	5328.84	2783.42	871	46.6	47.8
				En az	300	1.0	25.8
				En çok	1111	46.6	59.2
				Ort.	550.9	18.3	48.6

Çizelge 5.9’da, büyük boyutlu örneklere ait Çizelge 5.8’de sunulan matematiksel model ve AVNS algoritmasından elde edilen sonuçlarda kullanılan araç ve yapılamayan iş sayıları raporlanmıştır. Matematiksel model ve AVNS’den elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 30 boyutlu örneklere ait üretilen 20 adet örnekten 14’ünde AVNS algoritması daha az araç kullanmış ve operasyonları daha az maliyet ile gerçekleştirmiştir. Ayrıca, 30j10n5cs2s-wd-w-2sy-R10 örneğinin matematiksel model ile çözümün elde edilen sonuçta 2 adet yapılamayan iş bulunmasına rağmen AVNS ile çözümünden elde edilen sonuçta yapılamayan iş bulunmamaktadır.

Çizelge 5.9: 30 İşe sahip örneklerde kullanılan araç ve yapılamayan iş sayıları.

Örnek	MIP		AVNS	
	Kullanılan araç sayısı	Yapılamayan iş sayısı	Kullanılan araç sayısı	Yapılamayan iş sayısı
30j10n5cs0s-md-w-0sy-W1	5	0	4	0
30j10n5cs1s-md-w-0sy-W2	5	0	4	0
30j10n5cs1s-md-t-0sy-W3	5	0	4	0
30j10n5cs1s-md-w-0sy-W4	5	0	5	0
30j10n5cs2s-td-w-0sy-W5	5	0	4	0
30j10n5cs2s-wd-w-0sy-W6	4	0	4	0
30j10n5cs2s-wd-t-0sy-W7	5	0	4	0
30j10n5cs2s-wd-t-0sy-W8	5	0	4	0
30j10n5cs2s-wd-t-0sy-W9	4	0	4	0
30j10n5cs2s-wd-w-2sy-W10	5	2	5	0
30j10n5cs0s-md-w-0sy-R1	6	0	5	0
30j10n5cs1s-md-w-0sy-R2	5	0	4	0
30j10n5cs1s-md-t-0sy-R3	6	0	5	0
30j10n5cs1s-md-w-0sy-R4	6	0	5	0
30j10n5cs2s-td-w-0sy-R5	5	0	4	0
30j10n5cs2s-wd-w-0sy-R6	6	0	5	0
30j10n5cs2s-wd-t-0sy-R7	5	0	5	0
30j10n5cs2s-wd-t-0sy-R8	6	0	5	0
30j10n5cs2s-wd-t-0sy-R9	6	0	6	0
30j10n5cs2s-wd-w-2sy-R10	7	2	5	0
En az	4	0	4	0
En çok	7	2	6	0
Ort.	5.30	0.20	4.55	0.00

Küçük ve orta boyutlu örneklerin çözümlerimden elde edilen ortalama sonuçlar Çizelge 5.10 ve 4.11’de verilmiştir. Çizelge 5.10’a göre, örnekteki iş sayısı arttıkça matematiksel model ve AVNS algoritmasından elde edilen sonuçlardaki iyileştirme oranı ve GRASP-AVNS iyileştirme oranının arttığı görülmektedir.

Çizelge 5.10: Küçük ve orta boyutlu örneklere ait ortalama sonuçlar.

Örnek Grubu	MIP		GRASP	AVNS			
	En iyi sonuç	Çözüm Süresi (s)	En iyi sonuç	En iyi sonuç	Çözüm Süresi (s)	MIP-AVNS İyileştirme (%)	GRASP-AVNS İyileştirme(%)
10	2070.14	< 60	2345.17	2070.14	31	0.0	11.0
20	1905.08	10800	2864.05	1772.35	196	6.6	38.6
30	2879.52	10800	4498.16	2300.31	551	18.3	48.6

Çizelge 5.11'e göre, AVNS algoritmasından elde edilen sonuçlar ile matematiksel modelden elde edilen sonuçlarda kullanılan ortalama araç sayılarının arasındaki fark ve hemşire başına yapılan iş sayısının ortalaması, örnekteki iş sayısı arttıkça artmaktadır. Ayrıca, 30 boyutlu örneklerde AVNS algoritmasından elde edilen sonuçlarda yapılamayan iş bulunmazken, matematiksel modelden elde edilen sonuçlarda ortalama yapılamayan iş sayısı 0,2'dir.

Çizelge 5.11: Küçük ve orta boyutlu örneklerde kullanılan araç ve yapılamayan iş sayısı.

Örnek Grubu	MIP			AVNS		
	Kullanılan araç sayısı	Hemşire başına yapılan iş sayısı	Yapılamayan iş sayısı	Kullanılan araç sayısı	Hemşire başına yapılan iş sayısı	Yapılamayan iş sayısı
10	2.7	3.7	0.7	2.7	3.7	0.7
20	3.4	5.8	0.1	3.2	6.2	0.1
30	5.3	5.6	0.2	4.6	6.5	0.0

5.3. Büyük boyutlu örneklere ait sonuçlar

Bu bölümde büyük boyutlu örneklere (40-50 ve 60 işe sahip örnekler) ait sonuçlar incelenmiştir. Her örnek AVNS algoritmasında 10 kez çalıştırılmış ve en iyi sonuçlar raporlanmıştır.

Çizelge 5.12'de verildiği üzere, 40 işe sahip örnekler en fazla 20 dk. içinde çözülebilmektedir ve GRASP sonuçlarının AVNS algoritması kullanılarak iyileştirilme oranı %50.3'tür. 40 işe sahip örneklere ait sonuçlarda toplam maliyetin yaklaşık %89,8'i sabit hemşire maliyeti, %6,2'si seyahat maliyeti ve son olarak yaklaşık %4'ü yapılamayan iş maliyetinden oluşmaktadır.

Çizelge 5.12: 40 işe sahip örneklere ait sonuçlar.

Örnek	GRASP	AVNS					
	En iyi sonuç	En iyi sonuç	GRASP-AVNS İyileştirme (%)	Çözüm Süresi (s)	Sabit Hemşire Maliyeti (%)	Seyahat Maliyeti (%)	Yapılamayan İş Maliyeti (%)
40-G1-a	7901.97	3874.20	51.0	1096	73.6	5.8	20.6
40-G1-c	6158.87	3053.45	50.4	822	93.3	6.7	0.0
40-G2-a	6943.43	3093.64	55.4	864	92.1	7.9	0.0
40-G2-c	7480.15	3884.63	48.1	1072	73.4	6.0	20.6
40-G3-a	6912.37	3027.28	56.2	1168	94.1	5.9	0.0
40-G3-c	6529.67	3049.49	53.3	757	93.5	6.5	0.0
40-G4-a	6046.97	2479.40	59.0	1112	94.8	5.2	0.0
40-G4-c	5078.68	2983.65	41.3	998	95.5	4.5	0.0
40-G5-a	6497.47	3549.08	45.4	1012	94.4	5.6	0.0
40-G5-c	6752.91	3064.34	54.6	1165	93.0	7.0	0.0
40-G6-a	6401.97	3596.01	43.8	923	93.2	6.8	0.0
40-G6-c	8874.21	5532.15	37.7	878	80.4	5.1	14.5
40-G7-a	6670.91	3015.43	54.8	916	94.5	5.5	0.0
40-G7-c	6803.40	3145.52	53.8	1092	92.2	7.8	0.0
		En az	37.7	757	73.4	4.5	0.0
		En çok	59.0	1168	95.5	7.9	20.6
		Ort.	50.3	991	89.8	6.2	4.0

Çizelge 5.13'te gösterildiği üzere, 50 işe sahip örnekler en çok 40 dk. içinde çözülebilmıştır ve GRASP sonuçlarının AVNS algoritması kullanılarak iyileştirilme oranı %54,8'dir. 50 işe sahip örneklere ait sonuçlarda toplam maliyetin %88,7'si sabit hemşire maliyeti, %6,7'si seyahat maliyeti ve son olarak %4,6'sı yapılamayan iş maliyetinden oluşmaktadır.

Çizelge 5.13: 50 işe sahip örneklere ait sonuçlar.

Örnek	GRASP		AVNS				
	En iyi sonuç	En iyi sonuç	GRASP-AVNS İyileştirme (%)	Çözüm Süresi (s)	Sabit Hemşire Maliyeti (%)	Seyahat Maliyeti (%)	Yapılamayan İş Maliyeti (%)
50-G1-a	8014.79	3517.09	56.1	2224	93.8	6.2	0.0
50-G1-c	8552.90	3551.96	58.5	2113	92.9	7.1	0.0
50-G2-a	8442.74	2548.38	69.8	2430	90.3	9.7	0.0
50-G2-c	8306.87	3547.01	57.3	1912	93.0	7.0	0.0
50-G3-a	9062.62	4733.67	47.8	1815	80.3	2.8	16.9
50-G3-c	7634.12	2989.59	60.8	2010	95.3	4.7	0.0
50-G4-a	8216.17	3445.04	58.1	2010	95.8	4.2	0.0
50-G4-c	7543.03	2946.03	60.9	1964	95.0	5.0	0.0
50-G5-a	7264.55	3591.04	50.6	2180	91.9	8.1	0.0
50-G5-c	9470.22	4653.43	50.9	2072	92.4	7.6	0.0
50-G6-a	8466.46	3778.01	55.4	1817	91.3	8.7	0.0
50-G6-c	9278.16	4530.17	51.2	1400	76.2	6.2	17.7
50-G7-a	9905.80	5507.64	44.4	1931	78.1	7.4	14.5
50-G7-c	9471.70	5197.98	45.1	2317	76.0	8.6	15.4
		En az	44.4	1400	76.0	2.8	0.0
		En çok	69.8	2430	95.8	9.7	17.7
		Ort.	54.8	2013.9	88.7	6.7	4.6

Çizelge 5.14' te gösterildiği üzere, 60 işe sahip örnekler yaklaşık olarak en çok 60 dk. içinde çözülebilmıştır ve GRASP sonuçlarının AVNS algoritması kullanılarak iyileştirilme oranı yaklaşık %55'tir. 60 işe sahip örneklere ait sonuçlarda toplam maliyetin yaklaşık %84,5'i sabit hemşire maliyeti, yaklaşık %5,6'sı toplam seyahat maliyeti ve son olarak yaklaşık %9,9'u toplam yapılamayan iş maliyetinden oluşmaktadır.

Çizelge 5.14: 60 işe sahip örneklere ait sonuçlar.

Örnek	GRASP	AVNS					
	En iyi sonuç	En iyi sonuç	GRASP-AVNS İyileştirme (%)	Çözüm Süresi (s)	Sabit Hemşire Maliyeti (%)	Seyahat Maliyeti (%)	Yapılamayan İş Maliyeti (%)
60-G1-a	10165.77	4552.41	55.2	2631	93.4	6.6	0.0
60-G1-c	11213.78	5711.35	49.1	2211	65.7	6.3	28.0
60-G2-a	13188.97	6432.50	51.2	2564	58.3	4.4	37.3
60-G2-c	11068.22	4040.57	63.5	3282	92.8	7.2	0.0
60-G3-a	10377.09	4385.09	57.7	3252	96.9	3.1	0.0
60-G3-c	9797.47	3894.54	60.2	3355	96.3	3.7	0.0
60-G4-a	9960.74	4426.80	55.6	3198	96.0	4.0	0.0
60-G4-c	10449.94	4460.38	57.3	2480	95.3	4.7	0.0
60-G5-a	11329.73	4864.26	57.1	2488	77.1	6.5	16.4
60-G5-c	11047.45	4960.37	55.1	2740	77.6	6.3	16.1
60-G6-a	12773.81	6462.61	49.4	3350	82.0	5.6	12.4
60-G6-c	10816.75	4686.11	56.7	2078	93.9	6.1	0.0
60-G7-a	10793.25	6081.81	43.7	2774	79.7	7.1	13.2
60-G7-c	11615.24	5452.93	53.1	2321	77.9	7.4	14.7
		En az	43.7	2078	58.3	3.1	0.0
		En çok	63.5	3355	96.9	7.4	37.3
		Ort	54.6	2765.9	84.5	5.6	9.9

5.3.1. Problem parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkisinin analizi

Bu bölümde problem parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkisini incelemek üzere daha önce Çizelge 5.3'te özellikleri verilen büyük boyutlu örnek gruplarının AVNS algoritmasıyla çözümünden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Çizelge 5.15, 5.16, 5.17 ve 5.18'de, örneklerin AVNS algoritmasında çözümünden elde edilen en iyi sonuçların ortalamaları, amaç fonksiyonundaki terimlerin maliyetteki yüzdeleri, hemşirelerin ortalama çalışma zamanı (hemşirelerin gün içinde toplam çalışma iş süresi + seyahat süresi + boş zaman), ortalama iş süresi (hemşirelerin hastaları tedavi ederken geçirdikleri zaman), ortalama seyahat zamanı (hemşirelerin yolculuk esnasında geçirdikleri zaman) ve son olarak ortalama boş zaman (hemşirelerin zaman pencerelerinden dolayı bekledikleri zaman) raporlanmıştır.

Çizelge 5.15'te konum verileri rastgele olarak seçilen G1 ve G2 grupları ile konum verileri ağırlıklandırılmış rastgele yöntemiyle seçilen G3 ve G4 örnek gruplarının AVNS algoritması ile çözümünden elde edilen sonuçlar raporlanmıştır. Konum verileri ağırlıklandırılmış olarak seçilen örneklerin toplam maliyetleri, konum verileri rastgele olarak seçilen örneklere göre ortalama yaklaşık olarak %10 daha düşüktür.

Bu durumun sebebi ise konum verilerinin ağırlıklı rastgele yöntemiyle seçildiğinde daha yakın bölgelerden seçilme olasılığının daha yüksek olmasıdır. Ayrıca konum verilerinin ağırlıklandırılmış olarak seçildiği durumda yapılamayan iş maliyetlerinin ve ortalama seyahat süresinin de önemli oranda azaldığı görülmektedir.

Çizelge 5.15: Konum seçim yönteminin sonuçlar üzerindeki etkisi.

Konum Seçim Yöntemi	En İyi Sonuç	Sabit Hemşire Maliyeti (%)	Seyahat Maliyeti (%)	Yapılamayan İş Maliyeti (%)	Ort. Çalışma Zamanı	Ort. Boş zaman	Ort. İş Süresi	Ort. Seyahat Süresi
Ağırlıklı	3568.41	93.8	4.4	1.8	518.22	60.18	282.67	175.36
Rastgele	3983.93	81.8	6.5	11.7	520.95	42.47	269.19	209.27

Çizelge 5.16’da G1 ve G5 grubundaki örneklerin AVNS algoritması ile çözümünden elde edilen sonuçların ortalamaları raporlanmıştır. G1 grubu gereksinim skoru bulundurmazken, G5 grubundaki hastalar bir adet gereksinim skoru bulundurmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde bir adet gereksinim skoru bulunduran grup ile gereksinim skoru bulundurmeyen grubun sonuçları arasında çok büyük bir fark bulunmadığı görülmektedir. Ancak, beklendiği üzere gereksinim skoru bulundurmeyen grubun toplam maliyeti ortalama olarak %2 daha azdır.

Çizelge 5.16: Gereksinim skorunun sonuçlar üzerindeki etkisi.

Gereksinim Skoru	En İyi Sonuç	Sabit Hemşire Maliyeti (%)	Seyahat Maliyeti (%)	Yapılamayan İş Maliyeti (%)	Ort. Çalışma Zamanı	Ort. Boş zaman	Ort. İş Süresi	Ort. Seyahat Süresi
Yok	4043.41	83.7	6.4	9.9	524.50	44.56	267.46	212.48
Var	4113.75	86.7	6.8	6.5	522.36	58.16	272.38	191.82

Çizelge 5.17’de G5 ve G6 grubundaki örneklerin AVNS algoritması ile çözümünden elde edilen sonuçların ortalamaları raporlanmıştır. G5 grubuna ait hastaların iş süreleri (20, 60) arasında rastgele olarak seçilmişken, G6 grubundaki hastaların iş süreleri (10, 90) arasından rastgele olarak seçilmiştir. Veriler incelendiğinde iş sürelerinin uzamasının sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlenmiştir. (20, 60) arasından rastgele olarak iş süresinin seçildiği örneklerin sonuçları, (10, 90) arasından rastgele seçilen örneklerin sonuçlarına kıyasla ortalama olarak %14 daha az maliyetlidir. Ayrıca beklendiği üzere hemşirelerin ortalama iş süreleri ve toplam yapılamayan iş maliyeti de artmıştır.

Çizelge 5.17: Ortalama iş sürelerinin sonuçlar üzerindeki etkisi.

İş Süresi	En İyi Sonuç	Sabit Hemşire Maliyeti (%)	Seyahat Maliyeti (%)	Yapılamayan İş Maliyeti (%)	Ort. Çalışma Zamanı	Ort. Boş zaman	Ort. İş Süresi	Ort. Seyahat Süresi
(20,60)	4113.75	86.7	6.8	6.5	522.36	58.16	272.38	191.82
(10,90)	4764.18	85.4	6.2	8.4	522.79	70.68	284.92	167.20

Son olarak Çizelge 5.18’de G5 ve G7 grubundaki örneklerin AVNS algoritması ile çözümünden elde edilen sonuçların ortalamaları raporlanmıştır. G5 grubuna ait hastalar eş zamanlı hizmete ihtiyaç duymazken, G7 grubundaki hastaların %10’u eş zamanlı hizmete ihtiyaç duymaktadır. Eş zamanlı işlerin bulunduğu grubun maliyetleri beklendiği üzere eş zamanlı iş bulandırmayan grubun maliyetlerinden önemli oranda yüksek gerçekleşmiştir. Ortalama olarak eş zamanlı iş bulandırmayan örneklerin maliyeti yaklaşık olarak %13 daha azdır. Ayrıca sabit hemşire maliyeti, seyahat maliyeti ve yapılamayan iş maliyetinde de önemli bir artış kaydedilmiştir. Ortalama seyahat süresindeki artışın sebebi ise hemşirelerin uzakta dahi olsalar eş zamanlı olarak yapmak zorunda oldukları işe ulaşmak zorunda olmalarıdır.

Çizelge 5.18: Eş zamanlı işlerin sonuçlar üzerindeki etkisi.

Eş Zamanlı İş Sayısı	En İyi Sonuç	Sabit Hemşire Maliyeti (%)	Seyahat Maliyeti (%)	Yapılamayan İş Maliyeti (%)	Ort. Çalışma Zamanı	Ort. Boş zaman	Ort. İş Süresi	Ort. Seyahat Süresi
0	4113.75	86.7	6.8	6.5	522.36	58.16	272.38	191.82
%10	4733.55	81.3	7.4	11.3	522.51	44.71	252.16	225.64

6.SONUÇ

Bu çalışmada, evde sağlık bakım hizmetlerinde zaman pencere, senkronize iş bulduran ve heterojen filolu araç rotalama problemi ele alınmıştır. Problemden amaç, toplam hemşire kullanım maliyeti, toplam seyahat maliyeti ve planlanan gün içerisinde yapılamayan işlerden kaynaklı maliyetlerin toplamının en aza indirilmesidir.

İlk olarak problemin matematiksel modeli oluşturulmuş ve çözülmüştür. Ancak, problem temelinde bir ARP olduğu için ve ARP' de NP-Zor sınıfta bulunan bir problem türü olduğu için problemin boyutu arttıkça matematiksel modelin çözüm bulmakta zorlandığı görülmüştür. Bu sebeple problemin çözümü için kurucu sezgisel algoritma olarak GRASP algoritması kullanılmış ve daha sonra geliştirilen AVNS algoritması ile GRASP algoritmasından elde edilen sonuçlar iyileştirilmeye çalışılmıştır. GRASP algoritmasında iş-hemşire atamaları belirlenen hemşire skorlarına göre ağırlıklı rastgele olarak ve hemşire-araç atamaları rastgele olarak yapılmıştır. Problemden atamaların yapılmasıyla ana problemin bir alt problemi elde edilmiş ve bu alt problemi çözmek için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Daha sonra geliştirilen AVNS algoritması ile de GRASP algoritmasından elde edilen sonuçlar iyileştirilmiştir. Algoritmanın performansını incelemek amacıyla deneysel çalışmalar bölümünde örnek setleri oluşturulmuş ve ilk olarak algoritmaların performansı küçük ve orta boyutlu örneklerde matematiksel model ile kıyaslanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda önerilen sezgisel algoritmaların verimli çalışarak kısa sürede yüksek performanslı çözümler ürettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, kurucu sezgisel algoritmadan elde edilen sonuçların AVNS algoritması ile önemli ölçüde iyileştirilebildiği gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmalar bölümünde, büyük örnek grupları üzerinde incelemeler yapılarak eş zamanlı işlerin, iş sürelerinin, hasta gereksinimlerinin ve hasta konumlarının seçim yönteminin sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Ele alınan problemin, evde sağlık bakım sektörünün giderek büyümesi ve elektrikli araçların ulaşım sektöründe kullanımının artmasıyla beraber gelecekte önemini daha da arttıracığı öngörülmektedir. Ayrıca, problemde evde sağlık bakım sektörü ele alınmış olsa da problemin yerinde servis hizmetinin sağlandığı diğer hizmet sektörlerinde de ele alınabileceği görülmektedir.



KAYNAKLAR

- Akjiratikarl, C., Yenradee, P., Drake, P. R., (2007).** PSO-based algorithm for home care nurse scheduling in the UK. *Computers & Industrial Engineering* 53, 559--583.
- APEC, (2017).** The Impact of Government Policy on Promoting New Energy Vehicles (NEVs), *Beijing Capital Energy Technology Co. Ltd.*, Beijing
- Bachouch, R. B., Alain, G., Hajri-Gabouj, S., (2011).** A Decision-Making Tool for Home Health Care Nurses' Planning. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 12(1), 14--20.
- Begur, S. V., Miller, D. M., Weaver, J. R., (1997).** An Integrated Spatial DSS for Scheduling ve Routing Home-Health-Care Nurses. *Interfaces*, 27, 35--48.
- Bredström, D., Rönnqvist, M. (2008).** Combined vehicle routing and scheduling with temporal precedence and synchronization constraints. *European journal of operational research*, 191(1), 19-31.
- Chenery, H. B., Watanabe, T. (1958).** International comparisons of the structure of production. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 487-521.
- Cheng, E., Rich, J. L., (1998).** *A home health care routing and scheduling problem.*
- Conrad, R. G., Figliozzi, M. A., (2011).** The recharging vehicle routing problem. *In Proceedings of the 2011 industrial engineering research conference.* IISE Norcross, GA.
- Cortés-Murcia, D. L., Prodhon, C., Afsar, H. M., (2019).** The electric vehicle routing problem with time windows, partial recharges and satellite customers. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 130, 184-206.
- Decerle, J., Grunder, O., El Hassani, A. H., Barakat, O., (2018).**, A memetic algorithm for a home health care routing and scheduling problem. *Operations research for health care*, 16, 59-71.
- Erdem, M., Koç, Ç., (2019).** Analysis of electric vehicles in home health care routing problem. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1471-1483.
- Erdoğan, S., Miller-Hooks, E., (2012).** A green vehicle routing problem. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 48(1), 100-114.

- Eveborn, P., Flisberg, P., Rönnqvist, M., (2006).** Laps Care—an operational system for staff planning of home care. *European journal of operational research*, 171(3), 962-976.
- Feo, T. A., Bard, J. F., (1989).** Flight scheduling and maintenance base planning. *Management Science*, 35(12), 1415-1432.
- Feo, T. A., Resende, M. G. (1995).** Greedy randomized adaptive search procedures. *Journal of global optimization*, 6(2), 109-133.
- Festa, P., Resende, M. G., (2009).** Hybrid GRASP heuristics. In *Foundations of Computational Intelligence Volume 3* (pp. 75-100). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Fikar, C., Hirsch, P., (2017).** Home health care routing and scheduling: A review. *Computers & Operations Research*, 77, 86-95.
- Genet, N., Boerma, W., Kroneman, M., Hutchinson, A., Saltman, R. B., World Health Organization., (2012).** *Home care across Europe: current structure and future challenges*. World Health Organization. Regional Office for Europe.
- Ghorbani, E., Alinaghian, M., Gharehpetian, G., Mohammadi, S., Perboli, G. (2020).** A survey on environmentally friendly vehicle routing problem and a proposal of its classification. *Sustainability*, 12(21), 9079.
- Gonçalves, L. B., Ochi, L. S., Martins, S. L., (2005).** A grasp with adaptive memory for a period vehicle routing problem. In *International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce (CIMCA-IAWTIC'06)*. IEEE.
- Gupta, S., Hoe, C., Özkan, T., Lajunen, T. J., Vursavas, F, Sener, S. Hyder, A. A., (2017).** Evaluation of a five-year Bloomberg Global Road Safety Program in Turkey. *Public health*, 144, S45-S56.
- Hansen, P., Mladenović, N., Todosijević, R., Hanafi, S., (2017).** Variableneighborhood search: basics and variants. *EURO Journal on Computational Optimization*, 5(3), 423-454.
- Hemmelmayr, V. C., Doerner, K. F., Hartl, R. F., (2009).** A variable neighborhood search heuristic for periodic routing problems. *European Journal of Operational Research*, 195(3), 791-802.
- Hiermann, G., Prandtstetter, M., Rendl, A., Puchinger, J., Raidl, G. R., (2015).** Metaheuristics for solving a multimodal home-healthcare scheduling problem. *Central European Journal of Operations Research*, 23(1), 89-113.
- Hiermann, G., Puchinger, J., Ropke, S., Hartl, R. F., (2016).** The electric fleet size and mix vehicle routing problem with time windows and recharging stations. *European Journal of Operational Research*, 252(3), 995-1018.
- Keskin, M., Çatay, B., (2016).** Partial recharge strategies for the electric vehicle routing problem with time windows. *Transportation research part C: emerging technologies*, 65, 111-127.

- Keskin, M., Çatay, B., (2018).** A matheuristic method for the electric vehicle routing problem with time windows and fast chargers. *Computers & operations research*, 100, 172-188.
- Keskin, M., Laporte, G., Çatay, B., (2019).** Electric vehicle routing problem with time-dependent waiting times at recharging stations. *Computers & Operations Research*, 107, 77-94.
- Kirkpatrick, S., Gelatt Jr, C. D., Vecchi, M. P., (1983).** Optimization by simulated annealing. *science*, 220(4598), 671-680.
- Koç, Ç., Karaoglan, I., (2016).** The green vehicle routing problem: A heuristic based exact solution approach. *Applied Soft Computing*, 39, 154-164.
- Koç, Ç., Jabali, O., Mendoza, J. E., Laporte, G., (2019).** The electric vehicle routing problem with shared charging stations. *International Transactions in Operational Research*, 26(4), 1211-1243.
- Lee, C., (2021).** An exact algorithm for the electric-vehicle routing problem with nonlinear charging time. *Journal of the Operational Research Society*, 72(7), 1461-1485.
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Chung, S. H., Lam, H. Y., (2014).** Survey of green vehicle routing problem: past and future trends. *Expert systems with applications*, 41(4), 1118-1138.
- Mahi, M., Baykan, Ö. K., Kodaz, H., (2015).** A new hybrid method based on particle swarm optimization, ant colony optimization and 3-opt algorithms for traveling salesman problem. *Applied Soft Computing*, 30, 484-490.
- Mankowska, D. S., Meisel, F., Bierwirth, C., (2014).** The home health care routing and scheduling problem with interdependent services. *Health care management science*, 17(1), 15-30.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., Teller, E. (1953).** Equation of state calculations by fast computing machines. *The journal of chemical physics*, 21(6), 1087-1092.
- Mladenović, N., Hansen, P., (1997).** Variable neighborhood search. *Computers & operations research*, 24(11), 1097-1100.
- Montoya, A., Guéret, C., Mendoza, J. E., Villegas, J. G., (2017).** The electric vehicle routing problem with nonlinear charging function. *Transportation Research Part B: Methodological*, 103, 87-110.
- Murkofsky, R. L., Alston, K., (2009).** The past, present, and future of skilled home health agency care. *Clinics in geriatric medicine*, 25(1), 1-17.
- Outlook, I. G. E., (2019).** Scaling-up the transition to electric mobility. *International Energy Agency: Paris, France*.
- Pisinger, D., Ropke, S., (2007).** A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers & operations research*, 34(8), 2403-2435.

- Rasmussen, M. S., Justesen, T., Dohn, A., Larsen, J., (2012).** The home care crew scheduling problem: Preference-based visit clustering and temporal dependencies. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 598-610.
- Taha, M., Fors, M. N., Shoukry, A. A., (2014).** An exact solution for a class of green vehicle routing problem. In *International conference on industrial engineering and operations management* (pp. 7-9).
- Trautsamwieser, A., Hirsch, P., (2011).** Optimization of daily scheduling for home health care services. *Journal of applied operational research*, 3(3), 124-136.
- World Health Organization, (2017).** *New perspectives on global health spending for universal health coverage* (No. WHO/HIS/HGF/HFWorkingPaper/17.10). World Health Organization.
- UN, (2019)** *World Population Ageing 2019.* (No. ST/ESA/SER.A/430). United Nations Department of Economic and Social Affairs
- Yuan, B., Liu, R., Jiang, Z., (2015).** A branch-and-price algorithm for the home health care scheduling and routing problem with stochastic service times and skill requirements. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7450-7464.
- Yücel, E., Salman, F. S., Erdoğan, G., (2022).** Optimizing two-dimensional vehicle loading and dispatching decisions in freight logistics. *European Journal of Operational Research*.
- EV Database (2020)** <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019> Electrical Vehical Database. Alındığı Tarih: 23.08.2021
- Movable Type Scripts, (2020),** <https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html> Movable Type Scripts. Alındığı Tarih: 13.09.2021
- TUIK, (2020),** <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>. Alındığı Tarih: 13.09.2021
- ZES, (2020).** <https://zes.net/sarj-noktalari.html> Zorlu Energy Solutions. Alındığı Tarih: 13.09.2021