

Post-Disaster Vehicle Routing Problem Under Uncertain Time

İlknur TÜKENMEZ^{1*} 

¹Bursa Technical University, Faculty Of Engineering and Natural Sciences, Industrial Engineering Department, Bursa, Türkiye

Makale Bilgisi

Research article
Received: 11/10/2023
Revision: 17/11/2024
Accepted: 14/12/2024

Anahtar Kelimeler

Araç Rotalama Problemi
Stokastik Seyahat Süresi
Afet Yönetimi
Metasezgisel Algoritma

Article Info

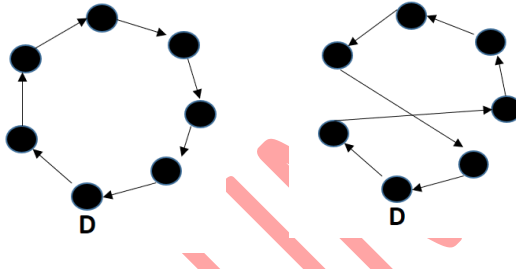
Araştırma makalesi
Başvuru: 11/10/2023
Düzeltilme: 17/11/2024
Kabul: 14/12/2024

Keywords

Vehicle Routing Problem
Stochastic Travel Time
Disaster Management
Metaheuristic Algorithm

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Afet sonrası insani yardım malzemelerinin toplanma alanlarına ulaştırılmaları gerekmektedir. Yollarda oluşan trafik ulaşım sürelerinde değişkenliğe neden olmaktadır. Seyahat süresinin stokastik olarak ele alındığı bu çalışmanın amacı toplam ulaşım süresinin enküçüklenmesidir. After a disaster, humanitarian aid supplies must be delivered in post-disaster gathering areas. There is a traffic on the way, and transportation time on the roads may vary. The aim of this problem is minimize the total reaching time, the travel time between nodes is considered stochastic.



Şekil A: Rota Yapısı / Figure A: Route Structure

Önemli noktalar (Highlights)

- Afet sonrası araç rotalama probleminde seyahat süresi stokastik olarak ele alınmıştır. / Travel time is considered stochastic in the post-disaster vehicle routing problem.
- Küçük boyutlu örneklerde matematiksel modelle eniyi çözümler elde edilebilmiştir. / Optimum results are get by mathematical model in small scale problem.
- Orta boyutlu problemler için metasezgisel algoritma geliştirilmiştir ve kaliteli sonuçlar elde edilmiştir. / Metaheuristic algorithm is used for medium scale problems, and quality results are obtained.

Amaç (Aim): Bu çalışmada afet sonrası insani yardım dağıtım probleminde seyahat süresi stokastik olarak ele alınmıştır. Orta boyutlu problemlerin çözümü için metasezgisel algoritma kullanılmıştır. / In this study, post-disaster aid distribution problem is considered with stochastic travel time. Metaheuristic algorithm is used for medium scale problems.

Özgünlük (Originality): Afet sonrası araç rotalama probleminde seyahat süresi stokastik olarak ele alınmıştır. / In post-disaster vehicle routing problem, travelling time is considered stochastic.

Bulgular (Results): Orta boyutlu problemler metasezgisel algoritma ile kısa süre içerisinde çözülmüştür. / Medium scale problems are solved in a short time.

Sonuç (Conclusion): Uyarlanabilir Büyük Komşu Araöa algoritmasının orta boyuttaki stokastik araç rotalama problem için kısa sürede kaliteli sonuçlar verdiği görülmüştür. / It has been observed that the Adaptive Large Neighborhood Search Algorithm gives quality results in a short-time for medium-sized stochastic vehicle routing problem.



Belirsiz Süre Altında Afet Sonrası Araç Rotalama Problemi

İlknur TÜKENMEZ^{1*}

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

Makale Bilgisi

Research article
Received: 11/10/2023
Revision: 17/11/2024
Accepted: 14/12/2024

Anahtar Kelimeler

Araç Rotalama Problemi
Stokastik Seyahat Süresi
Afet Yönetimi
Metasezgisel Algoritma

Öz

Afet sonrası toplanma bölgelerindeki afetzedelere mümkün olan en kısa süre içerisinde insani yardım malzemelerinin ulaştırılması gerekmektedir. Afet sonrası insanların afet bölgesinden uzaklaşmak istemeleri veya yakınlarını merak eden kişilerin bilgi almak için afet bölgesine gitmek istemeleri yollarda trafiğe neden olabilmektedir. Bu nedenle yollardaki ulaşım süresi değişebilir. Öncelikli ulaşım süresi toplamının enküçüklenmesinin amaçlandığı problemde düğümler arasındaki seyahat süresi stokastik olarak ele alınmıştır. Araç rotalama problemi NP-Zor sınıfında bir problem olduğu için problem boyutu büyüdükçe kesin çözüm yöntemleriyle en iyi çözüm elde edilemeyebilir. Bu nedenle sezgisel algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Uyarlanabilir Büyük Komşu Arama algoritması bu problemin çözümü için uygulanmıştır. Küçük örneklerde kesin çözüm yöntemiyle sezgisel algoritma ile elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır ve çözüm kalitesinin iyi olduğu görülmüştür. Geliştirilen metasezgisel algoritma orta boyutlu problemlerin çözümü için de kullanılmıştır.

Post-Disaster Vehicle Routing Problem Under Uncertain Time

Article Info

Araştırma makalesi
Başvuru: 11/10/2023
Düzeltilme: 17/11/2024
Kabul: 14/12/2024

Keywords

Vehicle Routing Problem
Stochastic Travel Time
Disaster Management
Metaheuristic Algorithm

Abstract

Humanitarian aid supplies must be delivered to post-disaster victims in post-disaster gathering areas as soon as possible. After a disaster, people want to get away from the disaster area or people who are curious about their relatives want to go to the disaster area to get information, which can cause traffic on the roads. For this reason, transportation time on the roads may vary. In the problem where the primary aim is to minimize the total reaching time, the travel time between nodes is considered stochastic. Since the vehicle routing problem is an NP-Hard class problem, the best solution may not be obtained with exact solution methods as the problem size increases. Therefore, heuristic algorithms are needed. The adaptive large neighborhood search algorithm has been applied to solve this problem. In small examples, the results obtained with the exact solution method and the heuristic algorithm are compared and the solution quality is found to be good. The developed metaheuristic algorithm is also used to solve medium-sized problems.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Araç rotalama problemi (ARP) uzun süredir çalışılmasına rağmen hala güncelliğini koruyan bir problemdir. Kapasiteli ARP, açık ARP, çok amaçlı ARP, heterojen filolu ARP, yeşil ARP, topla-dağıt ARP, eş zamanlı ARP, seçici ARP, elektrikli ARP, dron rotalama, insani yardım ARP, problem çeşitlerinden bazılarıdır. ARP'nin amacı uğranması gereken tüm düğümleri içeren amaç fonksiyonuna ve kısıtlara uygun en iyi rotanın oluşturulmasıdır. Amaç fonksiyonları ise maliyetin, sürenin, enerjinin

enküçüklenmesi veya karın, memnuniyetin enbüyüklenmesi şeklinde olabilir. Afet yönetimi alanında yapılan çalışmalar ise son zamanlarda yoğunlaşmıştır. Afet yönetimi alanında çalışılan birçok problem çeşidi vardır. Geçici çadır tesis yer seçimi, insani yardım lojistiği, enkaz kaldırma/ yol onarma problemi, yaralıların hastanelere ulaştırılması ve rotalama problemi çalışılan problemlerden bazılarıdır. Afet sonrası yardım dağıtım problemi ise mümkün olan en kısa sürede yardımların belirlenen noktalara ulaştırılmasını amaçlar.

Afet sonrası insanların afet alanından uzaklaşmak istemeleri veya yakınlarına ulaşma istekleri nedeniyle yollarda fazla araç bulunabilir ve bu durum trafiğe neden olabilmektedir. Trafiğe bağlı olarak ulaşım süreleri de artmaktadır. Sürenin artışı yaralıların hastanelere ulaşımını ve yardımların afetzedelere ulaşımını etkilemektedir. Problemden karşılaşılan belirsizlikler stokastik parametrelerle modele dahil edilebilir. İnsani yardım lojistiği problemlerinde talep veya süre belirsiz parametreler olarak modele dahil edilebilmektedir. Bu çalışma kapsamında süre stokastik parametre olarak ele alınmıştır ve düğümler arasındaki mesafe hızın düşük, orta ve hızlı olmasına göre 3 senaryo olarak modele dahil edilmiştir. Ele alınan problemin amaç fonksiyonu öncelikli ulaşım süresi toplamının enküçüklenmesidir. Literatürde ulaşılabilen çalışmalar incelendiğinde ulaşım süresinin stokastik olarak ele alındığı ve öncelikli ulaşım süresinin enküçüklediği afet sonrası son kilometre dağıtım problemlerine rastlanmamıştır. Bu çalışmanın bu yönüyle literatürdeki boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın izleyen bölümünde yapılan literatür taraması, üçüncü bölümünde problem ve geliştirilen matematiksel model, dördüncü bölümde deneysel sonuçlar verilmiş, son bölümde ise elde edilen sonuçlar ve öneriler tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE RESEARCH)

Araç rotalama problemi literatürde uzun yıllardır çalışılan bir problemdir ve birden fazla çeşidi vardır. Her çalışmadan burada söz etmek mümkün değildir. Bu nedenle bu çalışmada stokastik parametre içeren, afet sonrası yardım dağıtımını dikkate alan çalışmalar incelenmiştir. Bozorgi-Amiri ve Khorsi (2016) [1] yerleşim-rotalama problemini çok amaçlı ve çok periyotlu olarak ele almışlardır ve problemi Epsilon kısıt yöntemiyle çözmüşler. Liu vd. (2022) [2] araç kullanımını artırmayı ve maliyeti azaltmayı amaçladıkları acil durum ARP'ni melez bir algoritmayla çözmüşler ve benzetim modeliyle de sonuçları desteklemiştir. Zhang ve Liu (2021) [3] çok amaçlı acil durum çizelgeleme problemini memetik algoritma ve memetik algoritma ile melezlenmiş çok amaçlı evrimsel algoritma ile çözmüşlerdir. Seyahat süresinin stokastik ele alındığı problemde 5 senaryo kullanılmıştır.

Mohammadi vd. (2020) [4] afet sonrası yardım dağıtımını problemini yaralıların hastaneye ulaştırılması problemi ile birlikte ele almışlardır. Problemden toplam lojistik maliyeti, yaralıların hastaneye ulaşma süresi ve iş yükü arasındaki dengesizliğin enküçüklenmesi amaçlanmıştır ve talep, tesislerin kapasitesi, ve seyahat süresi stokastik olarak ele alınmıştır. Modeldeki belirsizliklerden dolayı problem robust eniyileme ile çözülmüştür.

Molina vd. (2018) [5] gecikme toplam maliyeti enküçüklemeyi amaçladıkları afet ARP'ni çok başlangıçlı yerel arama ve NSGA-II algoritması ile çözmüşlerdir. Literatürden farklı olarak araçlar sınırlı kapasite ve maliyet nedeniyle birden fazla tur için kullanılabilir. Sonuçlara bakıldığında çok başlangıçlı yerel arama algoritmasının daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Penna vd. (2017) [6] da araçların her yola girememesi durumunu dikkate alarak heterojen filoyu modele dahil etmişlerdir. Çok depolu ele alınan modelde gerçek hayat verileri kullanılmış ve ardışıklı yerel arama ile kaliteli sonuçlar elde edilmiştir. Nodoust vd. (2021) [7] de afet sonrası bazı yolların ulaşımına kapalı olma durumunu modele dahil etmişlerdir. Talepler bulanık-rassal parametre olarak modele dahil edilmiştir. Anuar vd.(2022) [8] de talebi stokastik olarak ele almışlardır ve talep bölünmüş olarak da karşılanabilir. Problem çözümünde sezgisel ve mat-sezgisel algoritmalar kullanılmıştır.

Afet sonrası hiç istenmese de yollarda trafik meydana gelebilir. Bu durum da yardımların ulaşma süresini etkilemektedir. Chang vd. (2022) [9] araç hızını stokastik olarak ele almışlardır. Araç hızı depremin şiddetine göre değişmektedir. Çok ürün dağıtımını içeren modelde gerçek deprem verileri kullanılmış ve problem benzetim modeli ile çözülmüştür. Bruni vd. (2020) [10] de seyahat süresini stokastik olarak modele dahil etmişlerdir. Kümelenebilir olan yardım noktalarına olan gecikme süresinin enküçüklenmesinin amaçlandığı problem Değişken Komşu Arama (DKA) ile küçük ve orta büyüklükteki veriler için çözülmüştür. Sonuçlar benzetim modeliyle de karşılaştırılmıştır. Ahmadi vd. (2015) [11] insani yardım lojistiği için yerleşim-rotalama probleminde seyahat süresini stokastik olarak 4 senaryo dahilinde ele almışlardır. Küçük

boyutlu problemler kesin çözüm yöntemiyle elde edilirken büyük boyutlu problemler için DKA algoritması kullanılmıştır.

Elçi ve Noyan (2018) [12] insani yardım lojistik probleminde talebi, seyahat süresini ve afet şiddetini stokastik olarak ele almışlardır. Küçük ve orta büyüklükteki problemler senaryo tabanlı Benders ayrıştırma yöntemi ile çözülmüştür. Uslu vd. (2017) [13] çok-depolu stokastik talepli insani yardım dağıtım problemini ele almışlardır. Şans kısıtı ekleyerek kapasite aşımına belli bir oranda izin verdikleri doğrusal olmayan modeli doğrusallaştırarak Ankara ili için çözmüşlerdir. Barbarosoğlu ve Arda (2004) [14] da afet sonrası yardım dağıtım problemini iki aşamalı stokastik problem olarak ele almışlardır ve kapasite, arz ve talep değerlerini stokastik olarak modele dahil etmişlerdir. Li ve Chung (2018) [15] de talep ve seyahat süresini belirsiz olarak dahil ettikleri modeli robust enyileme yöntemiyle ele almışlardır. Modeli 5 farklı amaç fonksiyonuna göre farklı algoritmalarla çözmüşlerdir. Che ve Zhang (2023) [16] eş zamanlı topla-dağıt ARP'inde talebi stokastik olarak ele almışlardır. İki aşamalı stokastik model L-şekli algoritma kullanılarak çözülmüştür.

Wolgemuth vd. (2012) [17] afet sonrası dağıtım problemini dinamik olarak ele almıştır ve toplam seyahat süresinin enküçüklenmesi amaçlanmıştır. Maghfiroh ve Hanaoka (2018) [18] afet sonrası yardım dağıtım problemini dinamik olarak modellemişlerdir. Taleplerin belirsiz olduğu problemde heterojen araçlar kullanılmıştır. Bazı düğümlerin talepleri iki tip araçla da karşılanırken bazı düğümlerin talepleri sadece küçük araçla karşılanabilir. Çok amaçlı olarak ele alınan problemde karşılanan talebin enbüyüklenmesiyle birlikte maliyet ve zamanın enküçüklenmesi amaçlanır. Tavlama Benzetimi (TB) ve melez DKA algoritmaları problemin çözümü için kullanılmıştır. Mulumba vd.(2024) [19] topla-dağıt ARP'nde

kamyon ve dronu birlikte ele almışlardır. Büyük boyutlu problemlerin çözümünde Uyarlanabilir Büyük Komşu Arama (UBKA) sezgisel algoritması kullanılmıştır.

Allahviranloo vd. (2014) [20] seçici ARP'ni güvenilir, robust ve bulanık olmak üzere 3 farklı belirsizlik yöntemiyle ele almışlardır. 3 paralel Genetik Algoritma (GA) ile 200 düğüm boyutuna ulaşan problem çözülmüştür. Afet sonrası insani yardım lojistiği açısından ele alındıktan problemde süre kısıtı olduğu için her düğüme uğranamamaktadır. Düğümlerin öncelikleri vardır ve süre içerisinde uğranabilecek en fazla sayıda düğüme uğranması amaçlanır. Çetin Kaya vd. (2021) [21] ise salgın hastalık durumunda dağıtım problemini dron rotalama olarak ele almışlardır.

Anuar vd. (2021) [22] insani yardım ARP alanında bir derleme çalışması yapmıştır. Tahliye rotalama ve kurtarma rotalama problemi alanında yapılan çalışmaların az olduğunu vurgulamıştır. Yanez-Sandivari vd. (2021) [23] de insani yardım lojistiği alanında literatür taraması yapmışlardır.

Shi vd. (2023) [24] müşteri taleplerini karşılarken bölge tabanlı ücretlendirmeyi dikkate almışlardır. Aynı bölgede yaşayan müşteriler taşıma ücretini paylaşabilirler. Yüksek taşıma ücretleri talepleri azaltabilirken, düşük taşıma ücretleri de firmanın karını azaltabilir. Karı enbüyükleme amaçlı araç rotalama problemi UBKA ve DKA ile çözülmüştür ve UBKA ile daha iyi sonuç elde edildiği görülmüştür. Wang vd.(2024) [25] zaman pencereli çok depolu dinamik ARP'ni UBKA ile çözmüşlerdir. Algoritmada iki yeni çıkarma ve zaman penceresi uygunluğu tabanlı ekleme metodlarını kullanmışlardır. Huang vd. (2024) [26] taze ürünlerin dağıtımında ürünlerin dağıtım zamanına ve tazeliğine göre müşteri memnuniyetini dikkate aldıkları ARP'ni UBKA ile çözmüşlerdir. Çalışmaların kısa özeti Tablo1'de verilmiştir.

Table 1. Literatür Araştırması (Literature Research)

Yazar	Model	Çözüm Yöntemi	Amaç Fonksiyonu
Bozorgi-Amiri ve Khorsi (2016)	Yerleşim-Rotalama Problemi	Epsilon Kısıt	Toplam seyahat süresi, afet öncesi ve sonrası maliyet ve karşılanamayan talebin enküçüklenmesi
Liu vd. (2022)	Acil durum ARP	Melez algoritma, Benzetim modeli	Araç kullanımını enbüyüklemek ve maliyeti enküçüklemek

Zhang ve Liu (2021)	Acil durum lojistik-çizelgeleme	Memetik algoritma, melez memetik algoritma	Karşılanmayan talebin ve gecikmenin enküçüklenmesi
Mohammadi vd. (2020)	Afet sonrası ARP	Robust eniyileme	Toplam lojistik maliyeti, yaralıların hastaneye ulaşma süresi ve iş yükü arasındaki dengesizliğin enküçüklenmesi
Molina (2018)	vd. ARP	NSGA-II algoritması	Toplam gecikme maliyetinin enküçüklenmesi
Penna (2017)	vd. Afet sonrası ARP	Yerel Arama	Kullanılan araç sayısı
Nodoust (2021)	vd. Afet sonrası ARP	Robust eniyileme	Depo maliyetinin ve karşılanamayan talebin enküçüklenmesi
Anuar vd.(2022)	Afet sonrası ARP	Kesin Çözüm yöntemi	Kullanılan araç sayısı
Chang (2022)	vd. Afet sonrası ARP	Benzetim modeli	Toplam Tamamlanma zamanı
Bruni (2020)	vd. Afet sonrası ARP	DKA	Gecikme süresinin enküçüklenmesini
Ahmadi (2015)	vd. Yerleşim-Rotalama Problemi	DKA	Dağıtım süresi, karşılanamayan talep ve açılan depo sayısının enküçüklenmesi
Elçi ve Noyan (2018)	İnsani yardım dağıtım problemi	Benders Ayrıştırması	Toplam taşıma maliyeti
Uslu vd. (2017)	İnsani yardım dağıtım problemi	Kesin Çözüm yöntemi	Toplam mesafenin enküçüklenmesi
Barbarosoğlu ve Arda (2004)	İnsani yardım dağıtım problemi	Kesin Çözüm Yöntemi	Toplam ulaşım maliyeti ve beklenen maliyetin enküçüklenmesi
Li ve Chung (2018)	Afet sonrası ARP	Yasaklı arama algoritması, ekleme algoritması	Toplam sürenin, toplam maliyetin, kullanılan araç sayısının, ulaşım süresinin ve öncelikli ulaşım süresinin enküçüklenmesi
Che ve Zhang (2023)	Topla-Dağıt ARP	L-Şekli algoritma	Toplam maliyetin enküçüklenmesi
Wolgemuth vd. (2012)	Afet sonrası ARP	Yasaklı arama algoritması	Toplam seyahat süresinin enküçüklenmesi
Maghfiroh ve Hanaoka (2018)	Afet sonrası ARP	Tavlama Benzetimi, Melez Değişken Komşu Arama	Karşılanan talebin enbüyüklenmesi ve maliyet ve zamanın enküçüklenmesi
Mulumba vd.(2024)	Topla-Dağıt ARP	Uyarlanabilir Büyük Komşu Arama algoritması	Toplam maliyetin enküçüklenmesi
Allahviranloo vd. (2014)	Seçici ARP	Paralel Genetik Algoritma	Maliyetin enküçüklenmesi, ulaşılan insan sayısının enbüyüklenmesi
Çetinkaya vd. (2021)	Salgın Hastalık ARP	Kümele algoritması, Karınca kolonisi	Maliyetin enküçüklenmesi
Shi vd. (2023)	ARP	Uyarlanabilir Büyük Komşu Arama algoritması, Değişken Komşu Arama	Karın enbüyüklenmesi

Wang vd.(2024)	Dinamik ARP	Uyarlanabilir Büyük Komşu Arama algoritması	Mesafenin enküçüklenmesi
Huang vd. (2024)	ARP	Uyarlanabilir Büyük Komşu Arama algoritması	Toplam dağıtım maliyetinin enküçüklenmesi

3. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODEL (PROBLEM DEFINITION AND MATHEMATICAL MODEL)

Bu çalışmada afet sonrası yardım dağıtım problemi ele alınmıştır. Toplanma noktalarının belli miktardaki talepleri mümkün olan en kısa süre içerisinde dağıtılmalıdır. Fakat afet sonrası yollarda meydana gelebilecek trafik nedeniyle düğümler arasındaki ulaşım süresi değişebilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada seyahat süresi az, orta ve çok olmak üzere 3 senaryo olarak modele dahil edilmiştir ve her senaryonun gerçekleşme olasılığı 0,33 olarak kabul edilmiştir. Her bir düğüme olan ulaşım süresi toplamı, toplam ulaşım süresinden farklıdır. Toplam seyahat süresi enküçüklendiği zaman her düğüme olan ulaşım süresi gözden kaçırılmış olabilir. Afet sonrası her düğüme en kısa sürede ulaşılması, yardıma ihtiyacı olan insanların ihtiyaçlarının giderilmesi dikkate alındığı için hayati önem taşımaktadır. Ayrıca her bölgede yaşayan insan sayısı aynı yoğunlukta değildir ve deprem de her bölgeyi aynı derecede etkilemeyebilir. Bu nedenle bu çalışmada nüfus yoğunluğuna öncelik verilmiştir. Ulaşım süresi taleple çarpılarak öncelikli ulaşım süresi elde edilir. Öncelikli ulaşım süresinin etkisini de görmek amacıyla her düğüme ilk ulaşım süresinin enküçüklenmesi ve öncelikli ulaşım süresi toplamının enküçüklenmesi ayrı ayrı ele alınmıştır. Önerilen matematiksel model aşağıda verilmiştir.

Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar:

$$Enk z_1 = \sum_i q_i y_i \quad (1)$$

$$Enk z_2 = \sum_i y_i \quad (2)$$

$$\sum_j x_{0j} \leq m \quad (3)$$

$$\sum_j x_{j0} \leq m \quad (4)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1, \forall j, j \geq 1 \quad (5)$$

$$\sum_j x_{ij} = 1, \forall i, i \geq 1 \quad (6)$$

$$\sum_j f_{ji} - \sum_j f_{ij} = q_i, \forall i, i \geq 1 \quad (7)$$

$$q_j x_{ij} \leq f_{ij} \leq (Q - q_i) x_{ij} \forall i, j, i \neq j \quad (8)$$

İndisler:

i : Talep noktaları

n : Senaryo

Parametreler:

q_i : i . düğümün talebi,

t_i : i . düğümün servis süresi

d_{ijn} : i . düğümle j . düğüm arasındaki n . senaryo için seyahat süresi

m : araç sayısı,

Q : araç kapasitesi,

N_n : n . senaryonun gerçekleşme olasılığı,

N : senaryo sayısı

Karar Değişkenleri:

f_{ij} : i . düğümden j . düğüme giderken taşınan akış miktarı,

y_i : i . düğüme varış zamanı,

s_j : j . düğümde servisin bitiş zamanı,

x_{ij} : i . düğümden j . düğüme gidilirse 1, d.d. 0,

$$y_i - y_j + t_i + \sum_{n=1}^N d_{ijn} N_n \leq M(1 - x_{ij}), \forall i, j, i \neq j, j \geq 1 \quad (9)$$

$$y_j + t_j - s_j + \sum_{n=1}^N d_{jon} N_n \leq M(1 - x_{j0}), \forall i, j, j \geq 1 \quad (10)$$

$$f_{ij} \geq 0, \forall i, j, i \neq j \quad (11)$$

$$y_i \geq 0, \forall i, \quad (12)$$

(1) numaralı kısıtla her düğüm için öncelikli servis başlama zamanının enküçüklenmesi amaçlanır. (2) numaralı kısıtla her düğüm için servis başlama zamanının enküçüklenmesi amaçlanır. (3) numaralı kısıtla araçların seyahate depodan başlamaları ve seyahate başlayan araç sayısının araç kapasitesini geçmemesi sağlanır. (4) numaralı kısıtla seyahate başlayan araçların seyahatlerini depoda sonlandırmaları sağlanır. (5) ve (6) numaralı kısıtlarla her düğümün bir kez ziyaret edilmesi ve her düğüme tek bir düğümden ulaşılması sağlanır. (7) ve (8) numaralı kısıtlarla taşınan yük miktarı hesaplanır ve her düğümün talebinin karşılanması sağlanır. (9) ve (10) numaralı kısıtlarla her düğüme varış süresi ve toplam rota süresi hesaplanır. Bu süreler hesaplanırken iki düğüm arası karşılaşılabilecek her seyahat süresi de senaryonun gerçekleşme olasılığı ile çarpılarak Diğer kısıtlar işaret kısıtlarıdır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Literatürde araç rotalama problemi verileri paylaşılmıştır. (<http://vrp.galgos.inf.puc-rio.br/index.php/en/>) Set A bölümünde paylaşılan verilerin talep ve uzaklık değerleri bu probleme göre uyarlanılarak kullanılmıştır. Düğümler arasındaki mesafe elde edildikten sonra hızın düşük, orta ve yüksek olması durumuna göre düğümler arası süre elde edilmiştir.

Bu bölümde ilk olarak ele alınan problemdeki amaç fonksiyonunun öncelikli servis başlama zamanı toplamı, servis başlama zamanı toplamıyla kıyaslanmıştır. 10 düğüm için hazırlanan örnekler için kesin çözüm yöntemiyle en iyi sonuç elde edilebilmiştir. En iyi çözümler GAMS.23.8.2-Cplex çözücüsü ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Z_1 öncelikli ulaşım süresi toplamının enküçüklenmesini amaçlayan modelin sonuçlarını, Z_2 ise ulaşım süresi toplamının enküçüklenmesini amaçlayan modelin sonuçlarını verir. Z_1 ve Z_2 amaç fonksiyonu değerlerini, S rota bitiş sürelerini verir. Diğer sütunlarda ise rota ve çözüm süresi (dakika) bilgisi yer almaktadır. 10 düğümlü örnekler için öncelikli ulaşım süresi toplamının enküçüklenmesi probleminde çözüm süresi 3 ile 15 dakika arasında değişmektedir. Ulaşım süresi toplamının enküçüklenmesinin amaçlandığı problemde ise çözüm süreleri 10 ile 36 dakika arasında değişmektedir. Toplam rota süreleri bazı örneklerde her iki amaç fonksiyonu için de aynı değeri verse bile rotalarda farklılık olabilmektedir. Örneğin 1. örnekte rota süreleri aynıdır, fakat 1.rotalarda farklılık vardır. 2. örnekte ise hem rotalar farklıdır hem de rotaların bitiş zamanları farklılık göstermektedir. Z_2 'nin enküçüklendiği örneklerde çözüm süresi Z_1 'in enküçüklendiği örneklere göre daha uzundur.

Tablo 2. 10 düğümlü Örnek Sonuçları (Results of 10 nodes)

Örnekler	Z_1	S	Rotalar	Çözüm süresi	Z_2	S	Rotalar	Çözüm süresi
1	11844	248,17 219,46	(0,3,4,7,2,8,0) (0,5,9,10,6,1,0)	11	808	248,17 219,46	(0,3,4,7,8,2,0) (0,5,9,10,6,1,0)	14
2	11945	241,23 205,92	(0,8,6,10,4,5,0) (0,9,3,7,2,1,0)	8	799	256,08 217,80	(0,8,6,10,4,2,0) (0,9,5,3,1,7,0)	13
3	8798	223,42 244,54	(0,1,9,4,5,10,0) (0,2,7,8,6,3,0)	15	890	221,44 227,38	(0,1,6,9,5,4,0) (0,2,7,8,3,10,0)	36
4	12093	233,31 243,54	(0,3,1,6,5,10,0) (0,4,8,9,7,2,0)	6	848	216,81 241,23	(0,4,10,3,1,5,0) (0,8,7,9,2,6,0)	16
5	11761	241,89 242,22	(0,2,3,9,8,1,0) (0,10,7,4,5,6,0)	11	900	262,36 224,41	(0,1,2,4,7,5,0) (0,5,8,6,7,3,0)	21

6	7547	211,01 266,84	(0,5,6,7,3,0) (0,8,1,2,4,10,9,0)	3	899	234,96 243,55	(0,1,4,2,10,9,0) (0,5,8,6,7,3,0)	28
7	9128	242,42 160,18	(0,2,10,3,4,0) (0,6,9,7,8,5,1,0)	7	732	212,52 167,64	(0,6,4,2,10,3,0) (0,9,7,5,8,1,0)	24
8	10455	222,09 238,93	(0,4,9,10,1,3,0) (0,6,9,7,8,5,1,0)	13	858	229,02 230,68	(0,2,4,9,10,3,0) (0,5,7,6,8,1,0)	23
9	9834	195,03 221,70	(0,2,6,4,8,3,0) (0,5,10,9,7,1,0)	4	792	217,15 196,69	(0,1,5,10,9,7,0) (0,2,6,8,4,3,0)	21
10	81548	229,69 191,08	(0,4,3,9,8,5,0) (0,10,6,1,2,7,0)	3	783	191,41 229,69	(0,4,3,9,8,5,0) (0,10,6,1,7,2,0)	10

15 düğümlü örnekler için elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. Bu örnekler için 3 saat çalışma süresi içinde en iyi sonuç elde edilememiştir. GAP değerleri %38.9 ile %52 arasında değişmektedir.

Ulaşım süresi toplamının enküçüklenmesinin amaçlandığı örneklerde GAP değeri öncelikli ulaşım süresi toplamının enküçüklenmesinin amaçlandığı örneklerle göre daha yüksek çıkmıştır.

Tablo 3. 15 düğümlü Örnek Sonuçları (Results Of 15 Nodes)

Örnekler	Z ₁	S	Rotalar	GAP	Z ₂	S	Rotalar	GAP
1	15785	228,04 212,86 235,3	(0,4,7,2,13,3,0) (0,5,15,1,8,14,0) (0,12,9,10,11,6,0)	%42	1211	230,68 212,86 226,38	(0,3,14,8,2,13,0) (0,5,4,7,15,1,0) (0,12,9,10,11,6,0)	%47
2	16522	221,23 211,20 231,21	(0,3,7,15,2,0) (0,6,13,10,4,11,0) (0,8,9,14,5,1,12,0)	%45	1169	241,56 203,28 232,98	(0,8,6,11,10,4,0) (0,9,14,3,7,15,0) (0,13,5,1,12,2,0)	%46
3	17617	252,00 203,94 230,15	(0,1,2,14,9,5,3,0) (0,12,8,4,10,0) (0,13,11,15,7,6,0)	%45	1191	239,13 216,48 219,59	(0,1,14,6,9,5,0) (0,11,15,2,7,8,4,0) (0,13,12,3,10,0)	%57
4	15147	253,77 230,67 228,04	(0,3,1,6,7,2,0) (0,4,13,10,5,11,0) (0,14,8,15,9,12,0)	%47	1239	215,49 228,69 229,69	(0,4,11,8,15,6,0) (0,13,10,3,1,5,0) (0,14,7,9,2,12,0)	%52
5	14901	225,06 242,55 219,78	(0,10,7,4,5,13,0) (0,11,8,9,3,15,0) (0,12,2,14,6,1,0)	%40	1266	267,50 220,44 195,16	(0,1,12,2,14,0) (0,6,10,13,4,7,5,0) (0,11,8,15,3,9,0)	%48
6	11940	227,37 248,50 215,17	(0,1,4,12,10,9,0) (0,5,6,7,11,14,0) (0,8,2,13,15,3,0)	%37	1341	227,37 223,75 246,85	(0,1,4,9,10,12,0) (0,5,14,6,11,7,0) (0,8,2,13,15,3,0)	%51
7	15382	237,27 188,76 232,32	(0,2,15,8,14,1,0) (0,3,10,13,11,12,0) (0,6,9,7,5,4,0)	%41	1182	207,58 223,41 196,68	(0,3,10,11,12,13,0) (0,6,4,2,5,14,0) (0,9,7,15,1,8,0)	%49
8	14816	217,47 230,01 215,83	(0,4,9,10,13,2,0) (0,5,7,8,6,12,0) (0,11,1,15,14,3,0)	%47	1275	212,86 215,83 230,01	(0,2,4,13,9,10,0) (0,5,7,8,6,12,0) (0,11,1,15,3,14,0)	%51
9	14873	241,56 223,08 174,58	(0,2,6,4,11,8,0) (0,5,15,10,1,13,0) (0,9,12,14,7,3,0)	%38	1153	208,24 209,89 201,30	(0,2,11,6,8,4,0) (0,13,10,9,12,3,0) (0,15,1,5,7,14,0)	%49
10	15774	244,20 191,86 221,97	(0,6,1,12,2,7,14,0) (0,10,4,3,11,5,0) (0,13,15,9,8,0)	%42	1235	220,11 229,36 233,32	(0,1,14,4,15,3,0) (0,6,12,7,2,11,0) (0,10,13,9,8,5,0)	%51

Düğüm sayısının artması en iyi çözüme ulaşma süresini de artırmaktadır. Bu yüzden daha büyük boyutlu örnekler için sezgisel bir algoritmaya ihtiyaç duyulmuştur. İngilizce adıyla Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) olan Uyarlanabilir Büyük Komşu Arama (UBKA)

algoritması bu problemin çözümü için kullanılmıştır. UBKA algoritması Python ile kodlanmıştır. İlk olarak 10 ve 15 düğümlü örnekler için kesin çözüm yöntemiyle ve UBKA ile elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Sonrasında 20, 30 ve

40 düğümlü örnekler için elde edilen sonuçlar verilmiştir.

4.1. Uyarlanabilir Büyük Komşu Arama Algoritması (Adaptive Large Neighborhood Search Algorithm)

UBKA algoritması Coelho vd. (2012) ve Aksent vd. (2014)'nin uyguladığı şekliyle dört ana bileşenden oluşmaktadır.

A) Komşuluk yapıları: Komşu çözüme geçmek için 6 farklı komşuluk yapısı kullanılmıştır. Komşuluk yapıları şekil 1'de verilmiştir.

Interoute 1-0 move: Rassal olarak iki rota seçilir. Seçilen rotalardan rassal olarak iki düğüm seçilir ve seçilen düğümlerden biri seçilen diğer düğümden sonraki düğüm olarak o rotaya eklenir.

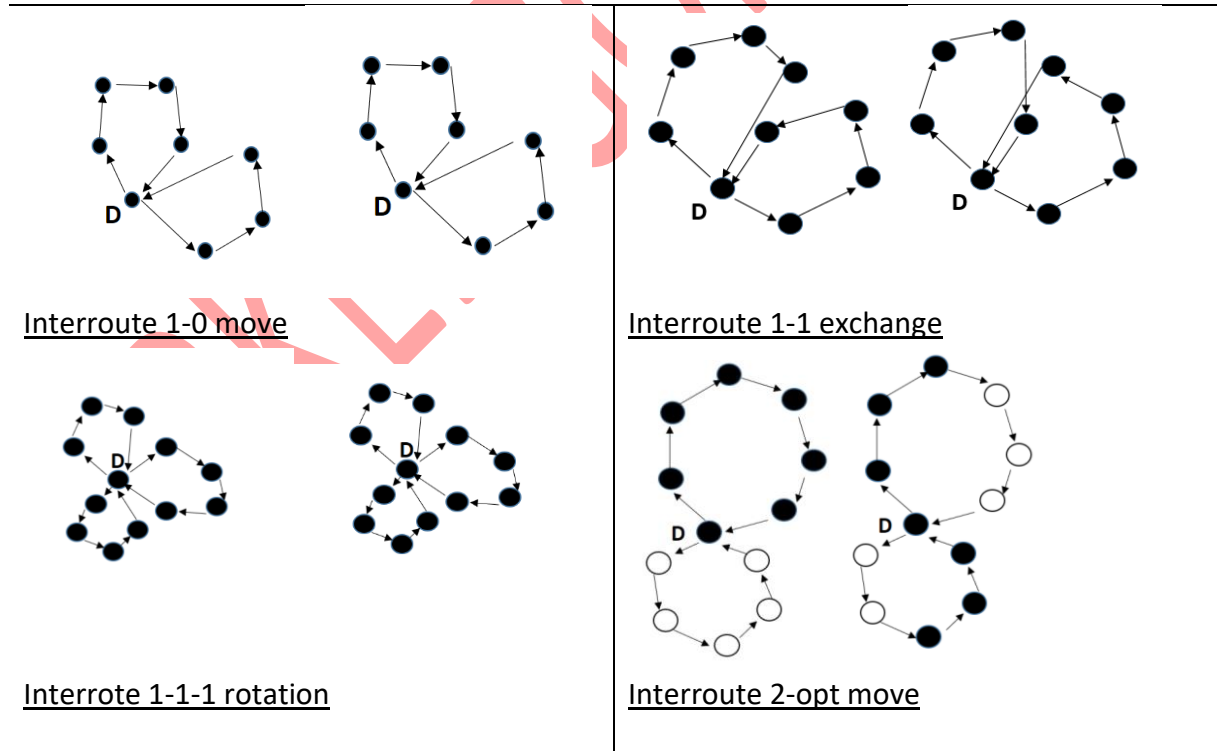
Interoute 1-1 exchange: Rassal olarak iki rota seçilir. Seçilen rotalardan rassal olarak iki düğüm seçilir ve karşılıklı olarak yer değiştirilir.

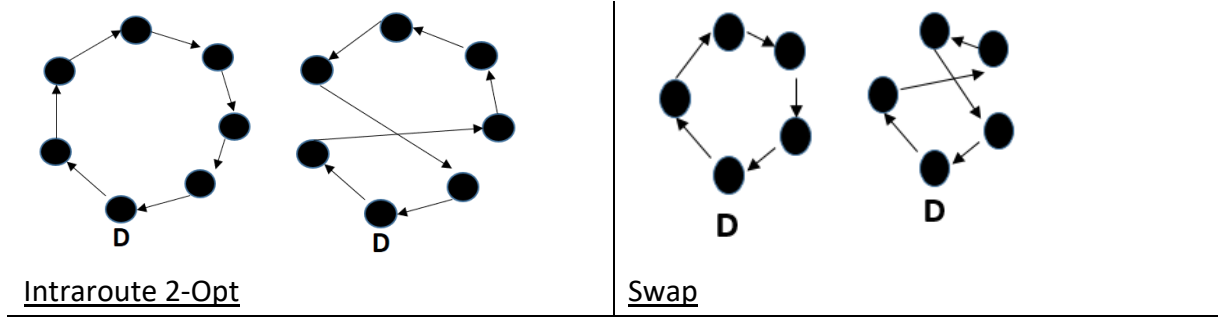
Interoute 1-1-1 rotation: Rassal olarak üç rota seçilir. Seçilen rotalardan rassal olarak üç düğüm seçilir ve bu düğümler yer değiştirilir.

Swap: Rassal olarak bir rota seçilir. Seçilen rotadan rassal olarak bir düğüm seçilir ve seçilen bu düğümden kendinden sonra gelen düğümlerle yer değiştirir.

Intraroute 2-Opt: Rassal olarak bir rota seçilir. Seçilen bu rotadan rassal olarak iki düğüm seçilir ve bu düğümler arasındaki düğümler ters çevrilerek rotaya eklenir. Örneğin rota 0-1-2-3-4-5-6-0 olsun. 2 ve 5 numaralı düğümler rassal olarak seçilmiş olsun. Değişikliğin ardından elde edilen yeni rota 0-1-5-4-3-2-6-0 olur.

Interoute 2-opt move: Rassal olarak iki rota seçilir. Seçilen bu rotalardan rassal olarak iki düğüm seçilir. Seçilen düğümlerden sonraki tüm düğümler rotalar arasında karşılıklı olarak yer değiştirilir. Örneğin ilk rota 0-1-2-3-4-5-0, ikinci rota 0-6-7-8-9-10-0 olsun. Rassal olarak 2 ve 8. Düğümler seçilmiş olsun. Değişikliğin ardından elde edilen yeni rotalar 0-1-2-9-10-0, 0-6-7-8-3-4-5-0 şeklinde oluşur.





Şekil 1. Komşuluk yapıları (Neighborhood Structures)

B) Uyarlanabilir arama motoru: Belli sayıdaki her bir ardıştırma sonrasında komşuluk arama prosedürü rulet tekeri mekanizmasına göre çalışır. Tekerde her bir komşuluğun bir ağırlığı vardır ve komşuluğun seçilme olasılığı bu ağırlığa dayanır. Belli sayıdaki ardıştırma sayısı bitiminde o komşuluk yapısının geçmiş performansına göre yeni çözümdeki ağırlığı belirlenir. Burada w_v , v . komşuluk yapısının ağırlığını belirtir. Komşuluk yapısının seçilme olasılığı $w_v / \sum_{k=1}^{NoN} w_k$ olur. ($\sum_{k=1}^{NoN} w_k$ (NoN: Algoritmada belirlenen komşuluk yapısı sayısı))

C) Uyarlanabilir ağırlık ayarı: Başlangıçta her komşuluk yapısı eşit ağırlığa ve eşit seçilme olasılığına sahiptir. Algoritmadaki ardıştırma sayısı, Ω olarak belirtilen eşit sayıdaki ardıştırmaya bölünür. Ω adet ardıştırma bittiğinde her komşuluk yapısının biten aşamadaki performansına göre yeni çözümdeki ağırlığı güncellenir. v . komşuluk yapısının performansı π_v olarak belirtilir. Her Ω adet ardıştırma bittiğinde her komşuluk yapısının ağırlığı aşağıdaki prosedüre göre belirlenir. Burada $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$ koşulunu sağlamak üzere $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ tam sayı, x_{new} elde edilen yeni çözümü, x_{best} elde edilen en iyi çözümü, x_{now} şimdiki çözümü ifade eder. Enküçükleme amaçlı UBKA algoritmasının sözde kodu aşağıda verilmiştir.

if $Z_{new} < Z_{best}$:
 $\pi_v: \pi_v + \alpha_1$
else if $Z_{new} < Z_{now}$:
 $\pi_v: \pi_v + \alpha_2$
else if Z_{new} is accepted as the next current solution by the SA criterion :
 $\pi_v: \pi_v + \alpha_3$
else:
 $\pi_v: \pi_v$
end if

Bu işlemin amacı daha iyi çözümler veren komşuluk yapısının seçilme olasılığını artırmaktır. Belli sayıdaki her ardıştırma bitiminde her komşuluk yapısının ağırlığı aşağıdaki kurala göre güncellenir.

$$w_{v+1} = \begin{cases} w_{vj} & \text{if } o_{vj} = 0 \\ (1 - \eta)w_{vj} + \frac{\eta\pi_v}{o_{vj}} & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

o_{vj} v . komşuluk yapısının j . aşamada kaç defa seçildiğini, η ise komşuluğun şimdiki ağırlığını etkileyen kontrol faktörünü belirtir. Bu algoritmada her bir aşamanın ardıştırma sayısı düğüm sayısına göre değiştirilmiştir. $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ağırlıkları ise 10,5 ve 2 olarak ve kontrol faktörü $\eta, 0,3$ olarak alınmıştır.

D) Durdurma Kriteri

Durdurma kriteri belirlenen ardıştırma sayısına ulaşmak olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda daha iyi bir çözüm elde edilmediği görüldüğünde ardıştırma sayısı daha fazla artırılmamıştır.

Tablo 4'te Kesin çözüm yöntemi (KÇY) ve UBKA algoritmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında 10 düğümlü tüm örneklerde iki yöntemle de en iyi sonucun elde edildiği görülmüştür. 15 düğümlü örneklere bakıldığında 7. Örnekte UBKA algoritmasıyla elde edilen sonucun GAMS paket programının 3 saat çalıştıktan sonra verdiği sonuçtan daha iyi olduğu görülmüştür. Diğer örneklerde iki yöntemle de aynı değerlerin elde edildiği görülmüştür. UBKA algoritması her düğüm sayısı için 10 kere çalıştırılmış ve elde edilen en iyi sonuç verilmiştir.

Tablo 4. KÇY ve UBKA sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of Results)

Örnekler	10 Düğüm			15 Düğüm		
	KÇY	UBKA	GAP (%)	KÇY	UBKA	GAP (%)
1	11844	11844	0	15785	15785	0
2	11945	11945	0	16522	16522	0
3	8798	8798	0	17617	17617	0
4	12093	12093	0	15147	15147	0
5	11761	11761	0	14901	14901	0
6	7547	7547	0	11940	11940	0
7	9128	9128	0	15382	15253	0,84
8	10455	10455	0	14816	14816	0
9	9834	9834	0	14873	14873	0
10	81548	81548	0	15774	15774	0

Algoritmanın çözüm süresi 10 döngü için 10 düğümlü örnekler için 30 saniye, 15 düğüm için 50 saniyedir. 20 düğüm için 100 saniye, 30 düğüm için 160 saniye, 40 düğüm için 210 saniye olarak elde edilmiştir.

20 düğümlü örnekler için 3 saatlik çalışma süresi içerisinde en iyi çözüm elde edilememiştir ve yüksek GAP değerleri elde edilmiştir. Bu nedenle daha büyük boyutlu örnekler için KÇY yerine sadece UBKA algoritması ile çözüm elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Orta Büyüklükteki Örnekler (Middle Scale Results)

Örnekler	20	30	40	Örnekler	20	30	40
1	20315	28592	36008	6	16927	25384	30321
2	23499	32339	39240	7	19250	30174	44257
3	21837	35109	44109	8	18462	28854	52757
4	20460	33351	44540	9	15724	24913	39758
5	19646	29127	38457	10	21673	28869	40188

Algoritma için çözüm süreleri 20 düğüm için 100 saniye, 30 düğüm için 160 saniye, 40 düğüm için

210 saniye olarak elde edilmiştir. Düğüm sayısı arttıkça deneme sayısı da artırılmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Araç rotalama probleminin gerçek hayat problemlerinin birçoğunda uygulaması bulunmaktadır. Afet sonrası son kilometre yardım dağıtım problemi de araç rotalama probleminin bir çeşididir. Deprem sonrası insanların deprem bölgesinden uzaklaşmak istemeleri ve yakınlarına ulaşmak istemeleri nedeniyle yollarda trafik meydana gelmektedir. Trafik de ulaşım süresini etkilemektedir. Bu çalışmada trafik durumunun az, orta ve çok olduğu üç durum için ulaşım süreleri stokastik parametre olarak ele alınmıştır. Küçük boyutlu örneklerde kesin çözüm yöntemiyle en iyi çözüm elde edilebilirken problem boyutu

büyüdükçe sezgisel algoritmalara ihtiyaç duyulmuştur. Uyarlanabilir büyük komşu arama algoritması ile elde edilen sonuçlar küçük boyutlu örneklerde kesin çözüm yöntemiyle kıyaslanmıştır ve iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. UBKA algoritması orta boyutlu örneklerin çözümü için uygulandığında kısa sürede iyi sonuçlar elde edilebilmiştir.

İleriki çalışmalarda talep de stokastik bir parametre olarak modele dahil edilebilir. Senaryo sayısı artırılabilir veya düğüm sayısı artırılabilir. Problemin çözümü için farklı matsezgisel veya

metasezgisel algoritmalar kullanılarak çözüm kaliteleri karşılaştırılabilir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

İlknur TÜKENMEZ: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve maklenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

She conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

There is no conflict of interest in this study.

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Bozorgi-Amiri, A., Khorsi, M., (2016), A dynamic multi-objective location-routing model for relief logistic planning under uncertainty on demand, travel time, and cost parameters. *Int J Manuf Technol* 85: 1633-1648, DOI 10.1007/s00170-015-7923-3

[2] Liu, H., Sun, Y., Pan, N., Li, Y., An, Y., Pan, D., (2022), Study on the optimization of urban emergency supplies distribution paths for epidemic outbreaks, *Computers and Operations Research*, 146 105912, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.105912>

[3] Zhang, Y., Liu, J., (2021), Emerceny logistics scheduling under uncertain transportation time using online optimization methods, *IEEE Access*, Vol. 9, DOI 10.1109/ACCESS.2021.3061454

[4] Mohammadi, S., Darestani, S., A., Vahdani, B., Alinezhad, A., (2020). A robust neutrosophic fuzzy-based approach to integrate reliable facility location

and routing decisions for disaster relief under fairness and aftershocks concerns. *Computers&Industrial Engineering*. 148, 106734

[5] Molina, J., Lopez-Sanchez, A.,D., Hernandez-Diaz, A.,G., Martinez-Salazar, I., (2018). A multi-start algorithm with intelligent neighborhood selection for solving multi-objective humanitarian vehicle routing problem. *Journal of Heuristics*, 24:111-133

[6] Penna, H., V., P., Santos, A., C., Prins, C., (2017), Vehicle routing problems for last mile distribution after majör disaster, *Journal of the Operational Research Society*, 69:8, 1254-1268, <https://doi.org/10.1080/01605682.2017.1390534>

[7] Nodoust, S., Pishvae, M., S., Seyedhosseini, S., M., (2021), Vehicle routing problem for humanitarian relief distribution under hybrid uncertainty, *Kybernetes*, Vol. 52, No 4, 1503-1527, <https://doi.org/10.1108/K-09-2021-0839>

[8] Anuar, W., K., Lee, S., L., Pickl, S., (2022), Benchmark dataset for multi depot vehicle routing problem with road capacity and damage road consideration for humanitarian operation in critical supply delivery, *Data in Brief*, 41 107901, <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.107901>

[9] Chang, Kuo-Hao, Hsiung, T-Y, Chang, T-Y, (2022), Multi-commodity distribution under uncertainty in disaster response phase:Model, solution method, and an empirical study, *European Journal of Operational research*, 303 857-876, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.02.055>

[10] Bruni, M., E., Khodaparasti, S., Beraldi, P., (2020), The selective minimum latency problem under travel time variability: An application to post-disaster assessment operations. *Omega*, 102154, <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.102154>

[11] Ahmadi, M., Seifi, A., Tootooni, B., (2015). A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time: A case study on Francisco district, *Transportation Research Part E*, 75 145-463

- [12] Elçi, N., Noyan, N., (2018), A chance-constrained two-stage stochastic programming model for humanitarian relief network design, *Transportation Research Part B* 108, 55-83, <https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.12.002>
- [13] Uslu, A., Çetinkaya, C., İşleyen, S., K., (2017), Vehicle routing problem in post-disaster humanitarian relief logistics : a case study in Ankara, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 35 (3), 481-499
- [14] Barbarasoğlu, G., Arda, Y., (2004), A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response, *Journal of the Operational research Society* 55, 43-53. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601652>
- [15] Li, Y., Chung, S., H., (2018), Disaster relief routing under uncertainty: A robust optimisation approach, *IIE Transactions*, 51:8, 869-886, <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1450540>
- [16] Che, Y., Zhang, Z., (2023), An integer L-shaped algorithm for vehicle routing problem with simultaneous delivery and stochastic pickup, *Computers&Operations Research* 154, 106201
- [17] Wolgemuth, S., Oloruntoba, R., Clausen, U., (2012), Dynamic vehicle routing with anticipation in disaster relief, *Socio-Economic Planning Sciences* 46, 261-271, <http://dx.doi.org/10.1016/j.seps.2012.06.001>
- [18] Maghfiroh, M., F., N., Hanaoka, S., (2018), Dynamic truck and trailer routing problem for last mile distribution in disaster response, *Journal of humanitarian logistics and supply chain management*, Vol 8, No2, 252-278, DOI 10.1108/JHLSCM-10-2017-0050
- [19] Mulumba, T., Diabat, A., (2024), The drone-assisted pickup and delivery problem: An adaptive large neighborhood search metaheuristic, *Computers&Operations Research*, 161 106435
- [20] Allahviranloo, M., Chow, J., Y., J., Recker, W., W., (2014), Selective vehicle routing problems under uncertainty without recourse, *Transportation Research Part E*, 62, 68-88, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2013.12.004>
- [21] Çetin Kaya, Y., Kaya, M., Akdağ, M., (2021), Route optimization for medication delivery of Covid-19 Patients with drones. *Gazi University Journal of Science, Part C: Design and Technology*, 9(3): 478-491
- [22] Anuar, W., H., Lee, L., S., Pickl, S., Seow, Hsin-Vonn, (2021), A vehicle routing optimisation in humanitarian operations: A survey on modelling and optimisation approaches, *Applied Sciences* 11,667, <https://doi.org/10.3390/app11020667>
- [23] Yanez-Sandivari, L., Cortes, C., E., Rey, P., A., (2021), Humanitarian logistics and emergencies management: New perspectives o a sociotechnical problem and its optimization approach management, *International Journal of Disaster Risk reduction*. 52 101952, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101952>
- [24] Shi, Y., Liu, W., Zhou, Y., (2023) An adaptive large neighborhood search based approach for the vehicle routing with zone-based pricing, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 124 106506
- [25] Wang, S., Sun, W., Huang, M., (2024), An adaptive large neighborhood search for the multi-depot vehicle routing problem with time windows, *Computers& Industrial Engineering* 191, 110122
- [26] Huang, M., Liu, M., Kuang, H., (2024), Vehicle routing problem for fresh products distribution considering customer satisfaction through adaptive large neighborhood search, *Computers& Industrial Engineering* 190, 110022