



## KBRN KİTİ DAĞITIM AĞI TASARIMI OPTİMİZASYONU İÇİN EŞ ZAMANLI TOPLA DAĞIT ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ YAKLAŞIMI

Aygün ALTUNDAŞ\*, Kemal Gürol KURTAY\*\*,  
Hakan Ayhan DAĞISTANLI\*\*\*

### Öz

Günümüzde teknolojik gelişmelerin hızla ilerlemesi ve küreselleşmenin etkisiyle devletler karmaşık güvenlik tehditleriyle karşı karşıya kalmaktadır. Özellikle Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer (KBRN) olaylarının terörizmle birleşmesi, uluslararası güvenlik açısından büyük bir endişe kaynağı haline gelmektedir. Terör örgütleri, geleneksel taktikler yerine KBRN unsurlarını kullanma potansiyeline sahip olduğundan uluslararası topluluklar yeni zorluklarla karşılaşmaktadır. Terör örgütlerinin bu materyalleri kullanma niyeti ve tehdidi gün geçtikçe artmaktadır. Acil durum planları, güvenlik güçlerinin yeteneklerinin geliştirilmesi ve bilgi paylaşımı KBRN olayları ile mücadelede kritik öneme sahiptir. Aynı zamanda bu tür maddelere maruz kalma riski taşıyan kişilerin erken teşhisi için sağlık kontrol sistemlerinin etkin bir şekilde çalıştırılması ve tedavi süreçlerinin hızlandırılması da hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada, erken teşhiste en önemli faktör olan test kitlelerinin eş zamanlı toplanması ve dağıtılması incelenmiştir. Testlerin bulunduğu ana merkezden Ankara ilinde bulunan hastanelere test kiti dağıtımının ve aynı zamanda burada sonuçlandırılmak için bekleyen test kitlelerinin toplanmasının gerçekleştirilmesi için matematiksel bir model önerisi yapılmıştır. İncelenen problemin çözümü için literatürde eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi olarak adlandırılan model kullanılarak uygulamadaki problem için model önerisinde bulunulmuştur. Önerilen modelin etkinlik ve sınırlılığını analiz etmek amacıyla farklı sayıda düğümden oluşan örneklerle duyarlılık analizi yapılmıştır. Daha sonrasında olası bir KBRN saldırısına karşı savunma için Ankara ilinin her ilçesinde test kiti toplama ve dağıtım rotası oluşturmaya yönelik oluşturulan senaryo ile uygulama yapılmış ardından model çözülmüştür. Modelin sınırlılığı incelendiğinde farklı düğüm sayılarında matematiksel model ile 35 düğüme kadar optimal çözüme ulaşılmış, daha büyük boyuttaki problemler için matematiksel modelin uygun çözüm zamanlarında sonuç vermediği belirlenmiştir. Örnek uygulamada ise Ankara ilinin tüm ilçeleri için hastaneleri ziyaret edecek araçların minimum maliyetli rotaları oluşturulmuş ve elde edilen çözümler sunulmuştur.

**Makale Türü:** Araştırma Makalesi

**Anahtar Kelimeler:** KBRN, Eş Zamanlı Topla-Dağıt, Araç Rotalama Problemi

\*Öğr. Gör., Millî Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu Dekanlığı, Endüstri ve Sistem Mühendisliği Bölümü, aaltundas@kho.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0461-6780

\*\*Dr. Öğr. Üyesi, Millî Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu Dekanlığı, Endüstri ve Sistem Mühendisliği Bölümü, kkurtay@kho.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4268-2401

\*\*\*Öğr. Gör., Millî Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu Dekanlığı, Endüstri ve Sistem Mühendisliği Bölümü, rdagistanli@kho.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2205-183X

Geliş Tarihi/Arrived:03.10.2023

Kabul Tarihi/Accepted: 06.12.2023

**JEL Kodları:** C61, H56

**Yazarın Notu:** Bu çalışma bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada etik kurul izni veya yasal/özel izin gerektirecek bir içerik bulunmamaktadır. Çalışma ile ilgili herhangi bir çıkar çatışmasının bulunmadığı SAVSAD Savunma ve Savaş Araştırmaları Dergisine yazar imzaları ile beyan edilmiştir.

## The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery Approach for Cbrn Kit Distribution Network Design Optimization

### Abstract

Today, states are faced with complex security threats due to the rapid advancement of technological developments and the impact of globalization. In particular, the combination of Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) incidents with terrorism is becoming a major concern for international security. International communities face new challenges as terrorist organizations have the potential to use CBRN elements instead of traditional tactics. The intention and threat of terrorist organizations to use these materials are increasing day by day. Emergency plans, improving the capabilities of security forces, and sharing information are critical to combating CBRN incidents. At the same time, it is vital to operate health control systems effectively and accelerate treatment processes for the early diagnosis of people at risk of exposure to such substances. In this study, the simultaneous collection and distribution of test kits, which is the most important factor in early diagnosis, was examined. A mathematical model has been proposed to distribute test kits from the main center where the tests are located to hospitals in Ankara and also collect the test kits waiting to be finalized there. In order to solve the problem examined, a model was proposed for the problem in practice by using the model called the simultaneous collect-delivery vehicle routing problem in the literature. In order to analyze the effectiveness and limitations of the proposed model, sensitivity analysis was performed with examples consisting of different numbers of nodes. Afterwards, for defense against a possible CBRN attack, an application was made with the scenario created to create a test kit pick up and delivery route in every district of Ankara, and then the model was solved. When the limitations of the model were examined, the optimal solution was achieved up to 35 nodes with the mathematical model at different node numbers, and it was determined that the mathematical model did not yield results in appropriate solution times for larger size problems. In the sample application, minimum cost routes for vehicles to visit hospitals in all districts of Ankara were created, and the solutions obtained were presented.

**Article Type:** Research Article

**Keywords:** CBRN, Simultaneous Pick Up - Delivery, Vehicle Routing Problem

**JEL Codes:** C61, H56

**Author's Note:** This study was prepared in compliance with the scientific search and publication ethics. There is no content necessitating any permission from Ethical Board or any legal/special permission in this study. We, as the authors of the article, signed our declaration certifying that there was no conflict of interest within the article preparation process.

### GİRİŞ

Günümüz dünyası, hızla gelişen teknolojiler ve küreselleşme ile birlikte yeni ve karmaşık güvenlik tehditleriyle yüzleşmektedir. Bu tehditler arasında özellikle Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer (KBRN)

olaylarının terörizmle birleştiği nokta, uluslararası güvenlik açısından ciddi bir endişe kaynağı oluşturmaktadır. Terör örgütlerinin, geleneksel yöntemlerin ötesine geçerek KBRN unsurlarını kullanma potansiyeli, uluslararası topluluğu daha önce görülmemiş zorluklarla karşı karşıya bırakmaktadır. KBRN olayları kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer maddelerin kasıtlı olarak salınması veya kullanılması sonucu ortaya çıkar. Bu tür olaylar, büyük ölçekte ölümlere, yaralanmalara ve çevresel tahribata neden olabilir. Terör örgütlerinin bu tür materyalleri kullanma niyeti, tehdidin boyutunu artırarak uluslararası topluluğu endişelendirmektedir (Ekşi, 2016).

Özellikle son yıllarda, terör örgütlerinin KBRN materyallerine erişme ve bunları kullanma ihtimalleri, uluslararası güvenlik kuruluşlarını ve hükümetleri alarma geçirmiştir. Bu tür materyallerin elde edilmesi, gizlice taşınması ve kullanılması, geleneksel silahlarla karşılaştırıldığında çok daha tehlikeli bir potansiyele sahiptir (Ackerman, 2019). Bir terör saldırısının KBRN unsurlarını içermesi, milyonlarca insanın ve güvenlik güçlerinin sağlığını ve emniyetini riske atabilir. Bu nedenle, bu tür maddelerle enfekte edilme ihtimali olan alanlarda çalışan personelin erken teşhis edilmesi hayati önem taşımaktadır.

Modern dünyanın karşı karşıya olduğu görünmez savaşta KBRN olayları ve terörizm, uluslararası güvenliği tehdit eden önemli faktörlerdendir. Bu tehditlerin ele alınması, uluslararası topluluğun koordineli çabalarını gerektirir. Acil durum tepki planlarının geliştirilmesi, güvenlik kuruluşlarının yetkinliklerinin artırılması ve bilgi paylaşımının hızlandırılması, bu tehditlere etkili bir şekilde yanıt vermek için atılması gereken idari boyuttaki hayati adımlardır (Koblentz, 2020). Bu idari boyutların yanında bu tür maddelerden etkilenme olasılığı olan kişilerin erken teşhisi ile can kayıplarının önüne geçmek amacıyla etkin bir sağlık kontrol sistemi kurulmalıdır. Enfekte olmuş kişiyi teşhis etmek için kullanılan KBRN test kitlerinin doğru yerde, doğru zamanda talep edildiği miktarda bulundurulması ve bunun yanında yapılan testlerin hızlı bir şekilde sonuçlarının elde edilmesi ve bu maddelerle enfekte olmuş kişilerin gecikmeden tedavi sürecinin başlatılması can kaybını önlemek açısından önemli faktörlerdir. Sağlık teknolojilerindeki gelişmeler ile birlikte KBRN test kitlerinin ulaşılabilirliği kolaylaşmıştır. Fakat bu seferde devletler testlerin yapılacağı hastanelerin seçimi, bu hastanelere gönderilecek test miktarlarının belirlenmesi, test dağıtım ve toplama yollarının oluşturulması ile bunları sağlarken toplam maliyetlerin azaltılması gibi karmaşık ve çözümü zor olan problemlerle karşılaşmışlardır. Bu problemlerden bir tanesi de testlerin ana merkezden hastanelere dağıtımının yapılacağı ve

hastanelerden ana merkeze toplamasının gerçekleştirileceği minimum maliyetli rotaların belirlenmesidir.

Araç rotalama problemi (ARP), herbiri kendi arz noktasından harekete başlayıp yine bir arz noktasına dönüp hareketini sonlandıran araçlarla gerçekleştirilen, talep noktalarının bütün taleplerini istenen kısıtlarla birlikte karşılayan ve taşıma maliyetleri ve/veya toplam sürenin/mesafenin minimize edildiği rotaların bulunması problemidir (Desticioğlu ve Özyörük, 2019). ARP, ilk kez 1959 yılında Dantzig ve Ramser'in yaptığı "The Truck Dispatching Problem" adlı araştırma ile literatürde ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, istasyonlara petrol dağıtımının yapılabilmesi için ilk araç rotalama doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir (Dantzig, 1959; Toth and Vigo, 2002). ARP, farklı varsayımlarla birlikte yeni problem sahalarına uyarlanabilen önemli ve sıklıkla çalışılan bir problem alanıdır.

ARP'nin bir türü olan Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi (EZTDARP) ise bir merkez noktadan talep noktalarına yapılacak dağıtım ile talep noktalarından merkez noktasına taşınacak toplamanın aynı araçlarla sağlandığı problem tipidir. Dağıtım merkezi veya depodan harekete başlayan araç rotası üzerindeki her talep noktasına ihtiyacı kadar miktarda ürünü dağıtıp eş zamanlı şekilde talep noktasından arz miktarı kadarını geri toplayarak harekete başladığı depoya döner. Talep noktasına ilk olarak dağıtılacak ürün teslim edilir ardından ise toplanacak ürün teslim alınır. Talep noktaları bir ayırım gözetmeksizin her nokta yalnızca bir kere ziyaret edilmektedir. Dağıtım ve toplamanın ayrı olarak planlandığı ARP'ye göre aynı araç ile eş zamanlı yapılan toplama ve dağıtım işlemleriyle kaynakların daha etkin ve verimli kullanılması bununla beraber de maliyetlerin azaltılmasına imkân sağlamaktadır (Zachariadis vd., 2009).

Bu çalışmada, olası KBRN saldırısı durumunda test kitlerinin bulunduğu ana merkezden Ankara ilinde bulunan hastanelere dağıtımın ve aynı zamanda burada sonuçlandırılmak için bekleyen kitlerin toplanmasının gerçekleştirilmesi için matematiksel model önerilmiştir. Önerilen matematiksel model ile Ankara ilinde yer alan bir sağlık teşkilatı ana merkez olarak belirlenmiş ve buradan şehrin her ilçesinde bulunan hastanelere minimum maliyetli dağıtım ve toplama rotaları oluşturulmuştur. Önerilen matematiksel modelde araçların kullanımından doğan sabit maliyet ve rota uzunluğundan kaynaklanan değişken maliyeti en aza indirecek şekilde amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Önerilen modelin sınırlılıkları farklı düğüm sayıları ile test edilmiş ve Ankara ili üzerindeki örnek bir uygulama yapılarak elde edilen sonuçlar sunularak yorumlanmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde problemin tanımlaması yapılmış ve makalenin giriş bölümü oluşturulmuştur. İkinci bölümde yapılan literatür taraması tablo halinde sunulmuş, üçüncü bölümde ise eş zamanlı topla dağıt problemine ait matematiksel modele yer verilmiştir. Dördüncü bölümde yapılan uygulama ve sonuçlar sunularak son bölümde elde edilen bu sonuçlar yorumlanmış ve ilerleyen zamanlarda yapılabilecek çalışmalara yönelik tekliflerde bulunulmuştur.

### Literatür Taraması

EZDARP ilk kez 1989 senesinde Min tarafından çalışılmıştır (Min, 1989). Bu çalışmada, matematiksel model geliştirilmiş ve geliştirilen modelin çözümü için sezgisel bir algoritma önerilmiştir. Önerilen yöntemde ilk olarak talep noktaları aracın kapasitesini aşmayacak biçimde iki ayrı kümede sınıflandırılmış sonrasında her sınıf için Gezgin Satıcı Problemi çözülmüştür. Takip eden yıllarda da birçok çalışma yapılan bu problem türünde araştırmacılar birçok probleme özgü sezgisel ve kesin algoritmalar geliştirmişlerdir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda ise problemin çözümü için birden fazla sezgisel algoritmanın bir arada kullanıldığı hibrit çözüm yöntemleri ve metasezgisellerin çoğunlukla yer aldığı görülmektedir.

Birçok farklı alanda uygulama şansı bulunan EZTDARP'ne ilişkin oluşturulan bilimsel yazın taraması Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: Bilimsel Yazın Taraması

Yazar ve Yayın Yılı	Problem	Çözüm Yöntemi
Min (1989)	Kütüphanecilik	Matematiksel Model Önce Kümele Sonra Rotala Sezgiseli
Halse (1992)	Test Problemleri	Önce Grupla Sonra Rotala Sezgiseli
Salhy ve Nagy (1999)	Test Problemleri	Ekleme Sezgisel
Dethloff (2001)	Test Problemleri	Düğüm Tabanlı Matematiksel Model Ekleme Sezgiseli
Tang ve Galveo (2002)	Test Problemleri	Tur Parçalama ve Süpürme Algoritması
Nagy ve Salhy (2005)	Test Problemleri	Matematiksel Model Ekleme Sezgiseli
Crispim ve Brendao (2005)	Test Problemleri	Tabu Arama ve Değişken Komşu İniş Karma Algoritması
Ropke ve Psinger (2006)	Test Problemleri	Büyük Komşuluk Arama Sezgiseli
Del Amico ve diğ. (2006)	Test Problemleri	Matematiksel Model Dal-Fiyat Algoritması

Chen (2006)	Test Problemleri	Tabu Arama ve Değişken Komşu İniş Karma Algoritması
Chen ve Wu (2006)	Test Problemleri	Kayıttan Kayda Seyahat Sezgiseli
Montana ve Galveo (2006)	Test Problemleri	Karma Tam Sayılı Matematiksel Model Tabu Arama Algoritması
Bianchessi ve Righini (2007)	Test Problemleri	Tabu Arama Algoritması
Wassen ve diğ. (2007)	Test Problemleri	Reaktif Tabu Arama Algoritması
Zachariadis ve diğ. (2009a)	Test Problemleri	Tabu Arama ve Yerel Arama Karma Algoritması
Zachariadis ve diğ. (2009b)	Test Problemleri	Uygulamalı Hafıza Metodolojisi ve Tabu Arama Karma Algoritması
Ai ve Kachitvichyanukul (2009)	Test Problemleri	Kuş Sürüsü En İyileme Algoritması
Gajpal ve Abad (2009)	Test Problemleri	Karınca Kolonisi En İyileme Algoritması
Subramanian ve diğ. (2010)	Test Problemleri	İteratif Yerel Arama Algoritması
Mingyong ve Arbeo (2010)	Test Problemleri	Karma Tamsayılı Matematiksel Model Diferansiyel Evrim Algoritması
Subramanian ve diğ. (2011)	Test Problemleri	Dal-Kesme Algoritması
Zachariadis ve Kiranoudis (2011)	Test Problemleri	Yerel Arama Algoritması
Fan (2011)	Test Problemleri	Matematiksel Model En Ucuz Ekleme Algoritması
Karaođlan ve diğ. (2011)	Test Problemleri	Tavlama Benzetimi ve Matematiksel Model
Karaođlan ve diğ. (2012)	Test Problemleri	Tavlama Benzetimi ve Matematiksel Model
Tasan ve Gen (2012)	Test Problemleri	Genetik Algoritma
Wang ve Chen (2012)	Test Problemleri	Genetik Algoritma
Cruz ve diğ. (2012)	Test Problemleri	Tabu Arama ve Değişken Komşu İniş
Göksal ve diğ. (2013)	Test Problemleri	Matematiksel Model ve Parçacık Sürü Optimizasyonu
Song ve diğ. (2014)	Test Problemleri	Melez Diferansiyel Evrim Algoritması
Zheng ve Cheovolitwongse (2014)	Test Problemleri	Entegre Karınca Kolonisi ve Tabu Arama Algoritması
Li ve diğ. (2015)	Test Problemleri	İteratif Yerel Arama

Palet ve diğ. (2015)	Test Problemleri	Yörünge Temelli Değişken Komşuluk Arama Algoritması
Wang ve diğ. (2015)	Test Problemleri	Paralel Tavlama Benzetimi
Gunter ve diğ. (2015)	Test Problemleri	Pertürbasyon Temelli Değişken Komşu Arama
Gschwind (2015)	Test Problemleri	Dal-Kesme Algoritması
Zheng ve Yı (2016)	Test Problemleri	Melez Genetik Maymun Algoritması
Shimuzu ve diğ. (2016)	Test Problemleri	Weber Tabanlı Savings Algoritması
Kuman ve diğ. (2016)	Test Problemleri	Doğrusal Süpürme Algoritması
Iossinovskaia ve diğ. (2017)	Test Problemleri	Önce Kümele Sonra Rotala Sezgiseli
Zhu ve Sheu (2018)	Test Problemleri	Matematiksel Model ve Adaptif Geniş Komşuluk Arama Algoritması
Belgin ve diğ. (2018)	Süpermarket Zinciri Örneği	Matematiksel Model ve Değişken Komşuluk-Yerel Arama Hibriti
Lagos ve diğ. (2018)	Test Problemleri	Matematiksel Model ve Parçacık Sürü Optimizasyonu
Zhang ve diğ.(2019)	Moda Ürünü Perakendesi	Matematiksel Model ve Adaptif Hafıza Programlama
Zhao ve diğ. (2019)	Test Problemleri	Matematiksel Model ve Yinelemeli Yerel Arama
Ma ve diğ.(2019)	Geri Dönüşüm Lojistiği	Matematiksel Model ve Genetik Algoritma
Koç ve diğ. (2020)	Nakliye Problemi	Matematiksel Model ve Sezgisel Algoritmalar (Literatür Taraması)
Golsefidi ve Jokar (2020)	Üretim-Envanter-Yönlendirme	Matematiksel Model ve Tavlama Benzetimi- Genetik Algoritma Hibriti
Hornstra ve diğ.(2020)	Test Problemleri	Matematiksel Model ve Adaptif Geniş Komşuluk Arama Algoritması
Park ve diğ.(2021)	Mağazacılık	Matematiksel Model ve Genetik Algoritma
Olgun ve diğ (2021)	Yeşil Lojistik	Matematiksel Model ve Yinelemeli Yerel Arama-Değişken Komşuluk Hibriti
Sherif ve diğ.(2021)	Yeşil Tedarik Zinciri Dağıtım Ağı	Matematiksel Model ve Tavlama Benzetimi-Değişken Komşuluk Hibriti

Öztaş ve Tuş (2022)	Geri Dönüşüm Lojistiği	Matematiksel Model ve Yinelemeli Yerel Arama- Değişken Komşuluk- Eşik Kabul
Zhou ve Diğ. (2022)	Test Problemleri	Matematiksel Model ve Tabu Arama Algoritması
Yu ve diğ.(2022)	Kargo Dolapları Problemi	Matematiksel Model ve Tavlama Benzetimi Algoritması
Fakhrzad ve diğ. (2022)	Test Problemleri	Matematiksel Model ve Adaptif Geniş Komşuluk Arama Algoritması
Wang (2022)	Test Problemleri	Matematiksel Model ve Hibrit Bağışıklık Algoritması-Tavlama Benzetimi-Karınca Kolonisi Hibriti

Yapılan geniş kapsamlı literatür taraması sonrasında Eş Zamanlı Topla Dağıt Problemlerinin genellikle test problemleri üzerinde çalışıldığı ve yeni sezgisel, metasezgisel ve matematiksel modeller geliştirmeye yönelik olduğu sonucuna varılmıştır. İncelemeler sonucunda gerçek hayat uygulamalarının az sayıda olduğu bunun yanı sıra sağlık sistemlerinde askerî alanda ARP'ye karşı artan ilgiye karşılık (Dağıstanlı, 2023) KBRN unsurlarıyla mücadele ile ilgili herhangi bir çalışmanın olmadığı görülmüştür. Bu noktadan hareketle literatürdeki gerçek hayat uygulamalarındaki boşluğu doldurmak çalışmanın ana motivasyonunu oluşturmuştur.

### Yöntem

EZTDARP, merkez bir noktadan rotasına başlayan aracın talep noktalarındaki talep miktarlarını ve arz miktarlarını eş zamanlı olarak karşıladığı ve rotanın sonunda başladığı noktaya geri döndüğü bir problem türüdür. Dağıtım ve toplamanın ayrı ayrı planlandığı klasik ARP'ye göre araçların daha verimli kullanılmasıyla maliyetlerin düşürülmesine olanak sağlamaktadır (Keçeci, 2014).

Bu çalışmada KBRN materyallerinden etkilenmiş kişilerin erken teşhisinde en önemli rolü oynayan test kitlerinin Ankara ilindeki hastanelere dağıtım ve toplanması için bir matematiksel model kullanılmıştır. Problemden bir merkez teşkilattan farklı sayıdaki hastanelere dağıtım ve toplama yapılabilmesi için minimum maliyetli rotaların oluşturulması problemi incelenmiş ve Ankara ilinin ilçeleri için bir örnek uygulama yapılmıştır. İncelenen problemde aşağıda maddeler halinde verilen varsayımlar kullanılmıştır.

- Araç rotaya depoda başlar, rotası bittiğinde de aynı depoya döner.



- Talep noktalarına yalnızca depodan hizmet verilir ve bu deponun test kapasitesinin talep noktalarının tümünün talebini karşılayacak düzeyde olduğu varsayılmıştır. Depodan dağıtılan ve depoda toplanan test miktarıyla ilgili kapasite sınırlandırması bulunmamaktadır.
- Her talep noktası bir araçla yalnızca bir kez ziyaret edilmektedir.
- Depodan harekete başlayan araçlar aynı özellik ve kapasitelerdeki homojen araçlardır.
- Araçların kapasiteleri bilinmektedir ve bu aracın topladığı ve dağıttığı ürün miktarı rotanın herhangi bir yerinde aracın kapasitesini aşmamalıdır.
- Araçlar için rota boyunca kat edebilecekleri mesafe ile ilgili bir kısıtlama bulunmamaktadır.
- Amaç, araçların kullanımından doğan sabit maliyet ve rota uzunluğundan kaynaklanan değişken maliyeti en aza indirmektir.
- Talep noktalarının arasındaki uzaklıklar hesaplanmıştır. Bu hesaplamada alternatif yollar arasından en kısa mesafeli olan yol dikkate alınmıştır.

Bilimsel yazındaki modeller incelenmiş ve test dağıtım ve toplama rotalarının oluşturulabilmesi için problem EZTDARP olarak ele alınmıştır. Problemin çözümü için literatürde Montane ve Galvao (2006) ile Ai ve Kachitvichyanukul (2009) tarafından önerilen toplam mesafe/maliyetin en aza indiriminin amaçlandığı matematiksel model esas alınmıştır.

Problemin matematiksel modeline ilişkin kümeler, parametreler ve karar değişkenleri Tablo 2’de sunulmuştur ve model aşağıda verilmiştir.

Tablo 2: Matematiksel Modelde Kullanılan Kümeler, Parametreler ve Karar Değişkenleri

Kümeler	Açıklama
$N$	Müşteriler kümesi $\{1,2,3, \dots, n\}$
$N_0$	Depo ve müşterilerden oluşan düğümler kümesi, $N_0 = N \cup \{0\}$
$V$	Araçlar kümesi $\{1,2,3, \dots, m\}$
Parametreler	Açıklama
$Q_k$	Araç kapasitesi, $k \in V$
$F_k$	Her aracın sabit maliyeti, $k \in V$
$v_k$	Her aracın değişken maliyeti, $k \in V$
$c_{ij}$	$i$ ve $j$ düğümleri arasındaki uzaklık, $i \in N_0, j \in N_0$
$d_j$	$j$ müşterisinin dağıtım talebi, $j \in N$
$p_j$	$j$ müşterisinin toplama talebi, $j \in N$
Karar Değişkenleri	Açıklama

$X_{ijk}$	1, k aracı i noktasından j noktasına hareket ediyorsa; 0, dd
$Y_{ijk}$	k nolu araç i düğümünden j düğümüne gittiğinde, j. düğüme gelene kadar toplanan kümülatif yük miktarı
$Z_{ijk}$	k nolu araç i düğümünden j düğümüne gittiğinde, j. düğüme gelene kadar araçtaki dağıtılacak yük miktarı

$$\min z = \sum_{k \in V} \sum_{j \in N} F_k X_{0jk} + \sum_{k \in V} \sum_{i \in N_0} \sum_{j \in N_0} v_k c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{i \in N_0} X_{ijk} = 1, \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N_0} X_{ipk} - \sum_{j \in N_0} X_{pjk} = 0, \forall p \in N_0, \forall k \in V \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} X_{0jk} \leq 1, \forall k \in V \quad (4)$$

$$y_{0ik} = 0, \forall i \in N, \forall k \in V \quad (5)$$

$$z_{0ik} = 0, \forall i \in N, \forall k \in V \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} y_{jik} - \sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} y_{ijk} = p_j, \forall j \in N \quad (7)$$

$$\sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} z_{jik} - \sum_{i \in N_0} \sum_{k \in V} z_{ijk} = p_j, \forall j \in N \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in V} y_{i0k} = \sum_{i \in N} p_i \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in V} z_{i0k} = \sum_{i \in N} d_i \quad (10)$$

$$y_{ijk} + z_{ijk} = Q_k X_{ijk}, \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (11)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\}, \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (12)$$

$$y_{ijk} \geq 0, \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (13)$$

$$z_{ijk} \geq 0, \forall i \in N_0, \forall j \in N_0, \forall k \in V \quad (14)$$

Modelde (1) numaralı denklem araçların kullanımından doğan sabit maliyeti ve mesafeden kaynaklanan değişken taşıma maliyetinden oluşan toplam maliyeti minimize eden amaç fonksiyonudur. (2) numaralı denklem tüm düğümlerin yalnızca bir kez hizmet görmesini, (3) numaralı denklem ise ziyaret edilen düğümün aynı araçla terk edilmesini sağlamaktadır. (4) numaralı denklem araçların yalnız bir rotada görevlendirilmesini garanti etmektedir. (5) numaralı denklem araçta toplanan yükü turun başlangıcında sıfıra eşitlemektedir. (6) numaralı denklem araçta dağıtılan yükü turun sonunda sıfıra eşitlemektedir. (7) numaralı denklem aracın topladığı yük miktarının aracın rotası boyunca artmasını (8) numaralı denklem ise aracın dağıtım yükü miktarının araç rotası boyunca azalmasını sağlamaktadır. (9) numaralı denklem aracın başlangıç düğümüne dönüşte turu boyunca topladığı yük miktarını; tur içindeki düğümlerin toplam toplama taleplerine; (10) numaralı denklem ise aracın başlangıç noktasından itibaren tur içinde dağıtılacak yük miktarını; tur içindeki düğümlerin toplam dağıtım taleplerine eşit olmasını sağlamaktadır. (11) numaralı denklem rotadaki bir talep noktasında araç kapasitesinin aşılmamasını sağlamaktadır. (12) numaralı denklem değişkenlerin türünü ifade eder. (13) ve (14) numaralı denklemler ise işaret kısıtlarıdır.

### Uygulama

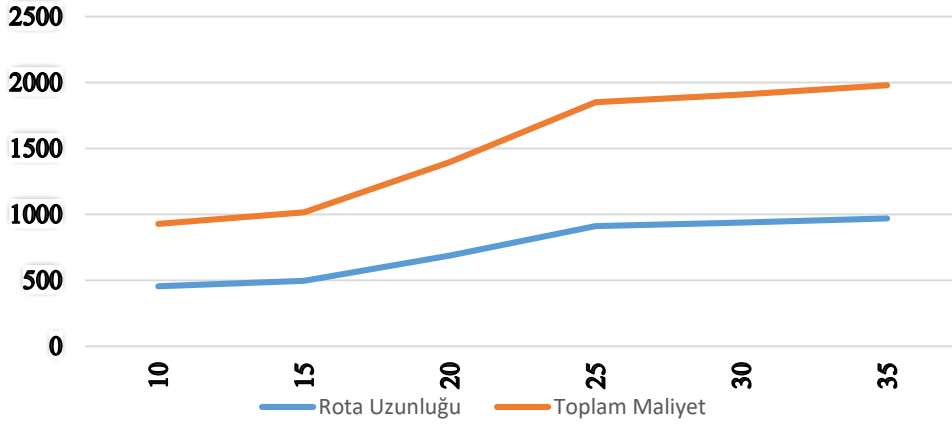
Önerilen matematiksel modelin sınırlılıklarının analiz edilmesi amacıyla düğüm sayıları değiştirilerek çözümler elde edilmiş ve uygun çözüm zamanında elde edilen sonuçlar raporlanmıştır. Bulunan çözümler incelendiğinde 40 düğüme kadar önerilen matematiksel model ile optimal toplama-dağıtım rotaları oluşturulmuş ve minimum maliyetli çözümler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3: Model Test Sonuçları

Düğüm Sayısı	Araç Sayısı	Rota Uzunluğu	Toplam Maliyet	Rota
10	2	454,85	929,7	1.araç: 0-1-4-3-2-6-5-7-10-8-0 2.araç: 0-9-0
15	2	498,3	1016,6	1.araç: 0-12-9-0 2.araç: 0-1-4-3-2-14-15-6-5-7-11-10-8-13-0
20	2	689,5	1399	1.araç: 0-13-11-10-8-12-9-0 2.araç: 0-1-4-3-20-19-2-14-15-6-5-7-16-17-18-0

25	3	911,2	1852,4	1.araç: 0-1-0 2.araç: 0-17-16-18-11-10-8-12-9-25-0 3.araç: 0-13-21-22-7-24-4-3-20-19-2-14-15-6-5-23-0
30	3	939,5	1909,5	1.araç: 0-28-18-17-16-30-7-29-22-21-11-10-8-13-12-26-0 2.araç: 0-25-9-27-0 3.araç: 0-23-5-6-15-14-2-19-20-3-4-24-1-0
35	4	969,9	1979,8	1.araç: 0-28-33-13-8-10-11-21-22-29-7-30-16-17-18-35-31-0 2.araç: 0-34-0 3.araç: 0-23-5-6-15-14-2-19-20-3-4-24-1-0 4.araç: 0-27-26-9-12-32-25-0
40	-	-	-	Uygun çözüm zamanında sonuca ulaşamamıştır.

Düğüm sayısının 40 ve daha fazla olduğu test problemlerinde matematiksel modelin uygun çözüm zamanında sonuç vermediği görülmüştür. Literatürde Del Amico ve diğ. (2002) ve Montana ve Galveo (2006) tarafından kurulan diğer matematiksel modellerin de 40 düğüm sayısına kadar optimal çözümler verdiği noktasından hareketle önerilen matematiksel modelin diğer modeller kadar etkin olduğu değerlendirilmiştir. Modelin farklı düğüm sayılarında test edilmesi ile bulunan sonuçlar incelenmiş ve belirlenen rotalar ile çözümlerin tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Düğüm sonuçlarının değişimi ile sonuçlardaki değişimleri gösteren analiz Şekil 1’de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde çok küçük ve çok büyük sayıdaki düğüm sayılarında çarpıcı bir artış olmazken orta büyüklükteki düğüm sayılarında toplam maliyetin büyük miktarda arttığı gözlemlenmektedir. Sonuçta beklenildiği gibi düğüm sayısı arttıkça maliyetlerde artmaktadır.



Şekil 1: Düğüm Sayısındaki Değişimin Çözüme Olan Etkisi

Modelin sınırlılıklarının belirlenmesi için test problemlerinin kullanılmasının ardından modelin uygulaması olarak belirlenen Ankara ilinin ilçelerine test kiti dağıtımı ve toplaması probleminin özellikleri belirlenmiştir. Bu özellikler aşağıda sıralanmıştır.

- Kurulan senaryoda başkent Ankara'ya olası bir KBRN saldırısı olması durumunda etkilenen nüfusu belirleyip hemen tedavi edebilmek adına test kiti dağıtılması ve toplanması durumu incelenmiştir.
- Problemden merkez bir sağlık teşkilatından Ankara ilindeki 25 ilçenin en yüksek kapasiteye sahip hastanelerine test kiti dağıtım ve toplama rotaları oluşturulmuştur. Dağıtımın ve toplamanın gerçekleştirildiği hastanelere ait liste Ek 1'de sunulmuştur.
- Ankara ilinin her bir ilçesi için oluşturulan örnek uygulamada en geniş olanaklara sahip olan Ankara Şehir Hastanesi dağıtımın yapılacağı merkez teşkilat kabul edilmekte ve buradan Ankara'nın 25 ilçesindeki en yoğun ziyaret edilen 25 hastaneye test kiti dağıtımı ve toplanması gerçekleştirilmektedir.
- Talep ve arz miktarları belirlenirken yakın dönemli en gerçek veri seti olacağı değerlendirilerek hastanelerde Covid 19 dönemine ait kayıtlar incelenmiştir. Bu kapsamda 2021 yılının Nisan ve Mayıs aylarının en yoğun dönemler olduğu gözlemlenmiş bu aylara ait veriler sırayla arz ve talep miktarı olarak kabul edilmiştir. Elde edilen bu veriler hastanelerin toplam hasta kapasitesine oranlanarak her hastane için talep ve arz miktarları belirlenmiştir. Bu miktarlar Ek 1'de verilmiştir.
- Testlerin yüklendiği araçların kapasitesi  $1 \text{ m}^3$ ,  $8 \text{ m}^3$ ,  $13 \text{ m}^3$  ve  $30 \text{ m}^3$  olmak üzere 4 tiptedir. Çalışmada  $13 \text{ m}^3$  kapasiteli en yoğun



KBRN saldırısı senaryosunda Ankara ilinin tüm ilçelerine test kitinin toplanması ve dağıtılması için oluşturulan örnek problemin elde edilen çözümü incelendiğinde 3 adet araç ile minimum maliyetli rota elde edilmiştir. Araçların Şekil 2’de sunulan rotaları analiz edildiğinde şehri temelde 2 parçaya ayırdığı ve araçlardan birini merkeze uzak olan ve talep ile arz miktarlarının diğerlerine göre daha az olduğu ilçelere rotalandığı görülürken diğer ikisini merkeze yakın olan ve talep ve arz miktarlarının yüksek olduğu ilçelerdeki hastanelere gönderdiği tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlardan hareketle yapılan uygulamanın amacına ulaştığı değerlendirilmektedir.

### SONUÇ

Devletler çeşitli savunma sanayii ürünlerini üreterek veya tedarik ederek rakip devletler üzerinde caydırıcı bir tutum sahibi olmak istemektedir. Bu kapsamda KBRN materyalleri önemli bir güç unsuru haline gelmiştir. Çeşitli zamanlarda gerek devletler siyasi kriz anlarında rakip devletlere karşı, gerekse terörist unsurlar doğrudan devletlere karşı benzer güç unsurlarını tehdit olarak gündeme getirmektedir. Tehditlerin fiiliyata geçtiği saldırılarda hem asker hem de sivil vatandaşlar üzerinde yaratacağı büyük tahribatlar nedeniyle olası tehditlerin gerçekleşecekmiş gibi değerlendirilip farklı senaryolar altında önlemlerin hazır bulundurulması gerekmektedir. Bu kapsamda KBRN gibi olası saldırı halinde çok büyük yayılım hızına sahip vakaların önüne geçmek için erken teşhis oldukça önemlidir. Bunun sağlanmasında en etkili yöntemlerden biri olduğu düşünülen test uygulamasının yaygınlaştırılması ve hastanelere bu test kitlerinin dağıtımının ve toplamasının gerçekleştirilmesi problem sahaslarından biridir. Bu problem sahasının doğru ve güvenilir sonuçlar ile hızlı bir şekilde çözüme ulaştırılması gerektiği değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada başkente yönelik terör saldırısında 25 ilçe için KBRN test kitlerinin dağıtım ve toplanmasını gerçekleştirecek en düşük maliyetli rotalar belirlenmiştir. İlk olarak modelin sınırlılıklarının tespiti için bir merkez düğümden sırasıyla 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 adet arz ve talep noktasına ait rotalar ve maliyetleri bulunmuştur. 40 ve daha fazla düğüm sayısında uygun çözüm zamanlarında sonuç elde edilememiştir. Literatürde ARP’ye ait farklı uygulamalarda düğüm sayısının arttığı durumda benzer analizler yapılmıştır. Askerî ilaç fabrikasından hudut birliklerine ecza ürünü gönderimi için yapılan çalışmada problem boyutu büyüdüğünde uygun çözümler elde edilememiş ve sezgisel algoritmalar ile bu sorunun aşılacağı belirtilmiştir (Dağıstanlı, 2023). Benzer şekilde Covid-19 döneminde hastanelere aşı dağıtımı için gerçekleştirilen çalışmada büyük boyutlu problemler için uygun çözümlere kabul edilebilir zamanlarda

ulaşılmadığı ve meta-sezgisel algoritmalara başvurmanın gerekeceğini ifade edilmiştir (Desticioğlu vd., 2023). Diğer araştırmacıların çalışmalarıyla örtüştüğü için önerilen modelin gerçek hayat problemine uygun olduğu değerlendirilmiştir. Model sınırlarının tespitinden hareketle Ankara ilinin 25 ilçesinin her birinde 1 hastane belirlenmiş ve buralara minimum maliyetli dağıtım-toplama rotası oluşturulmuştur. Elde edilen çözümler incelendiğinde hali hazırda 8 araç ile yapılan bu dağıtımın 3 araç ile yapılabileceği bulunmuştur.

Problemin matematiksel modelinde kullanılan parametreler KBRN unsurlarının olası kullanımında yayılım hızı COVID-19 dönemine benzetilerek pandeminin en yoğun olduğu tarihlerdeki veriler kullanılarak belirlenmiştir. Araçların sabit ve uzaklığa bağlı değişken maliyetleri için jenerik veriler kullanılmış ve hastaneler arası uzaklıklar simetrik kabul edilerek en yakın mesafeler alınmıştır. Böylece en kötü durum senaryosu üzerine bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Kurulan model yeni senaryolarda da kullanılacak esnekliktedir. Elde edilen çözüm yalnızca bu senaryoya ait parametre değerleriyle sınırlıdır. Farklı senaryolarda mesafe, düğüm sayısı, talep ve arz miktarları gibi parametre değerleri değiştiğinde elde edilen çözüm de farklılaşacak ancak model bu değişimlere rahatlıkla cevap verebilecektir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda zaman penceresinin eklenmesi, düğüm sayısının artmasıyla uygun çözüm zamanında sonuç bulunamayan problemler için sezgisel algoritmalar geliştirilebilir ve geliştirilen algoritmanın etkinliği optimal sonucu bilinen problemler ile test edilerek kanıtlanabilir. Bunların yanında yeni kısıtlar ve yeni yaklaşımlar ile farklı matematiksel modeller geliştirilebilir.



**KAYNAKÇA**

- Ai, J., Kachitvichyanukul, V., 2009. A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery. *Computers and Operations Research*, 36(5): 1693-1702.
- Ackerman, G. A. (2019). Chemical, biological, radiological and nuclear (CBRN) terrorism. *Routledge handbook of terrorism and counterterrorism*, 240-252.
- Belgin, O., Karaoglan, I., & Altıparmak, F. (2018). Two-echelon vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery: Mathematical model and heuristic approach. *Computers & Industrial Engineering*, 115, 1-16.
- Bianchessi, N., Righini, G., “Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery”, *Computers and Operations Research*, 34: 578-594 (2007).
- Chen, J.F., Approaches for the vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups (2006) *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 23 (2), pp. 141-150
- Chen, J. F., Wu, T. H., “Vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups”, *Journal of the Operational Research Society*, 57: 579-587 (2006).
- Crispim, J., Brandão, J., “Metaheuristics applied to mixed and simultaneous extensions of vehicle routing problems with backhauls”, *Journal of the Operational Research Society*, 56: 1296-1302 (2005).
- Cruz, R. C. et al., 2012. Genvns-ts-cl-pr: A heuristic approach for solving the vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 39, 217-224.
- Dağıstanlı, H. A. (2023). Çok ürünlü çok depolu araç rotalama problemi: askerî ilaç fabrikası örneği. *Politeknik Dergisi*, 1-1.
- Dantzig, G.B. and Ramser, J.H. “The Truck Dispatching Problem”, *Management Science*, 6(1), 80-91, (1959).
- Dell’Amico, M., Righini, G., Salani, M. (2006). A Branch-and-Price Approach to the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Distribution and Collection. *Transportation Science*, 40 (2), 235–247.
- Desticioğlu, B., Kurtay, K. G., Altundaş, A., & Dağıstanlı, H. A. (2023). Hastanelere aşı dağıtımı için uygun rotaların belirlenmesi: Ankara ili örneği. *Politeknik Dergisi*, 26(1), 231-241.
- Desticioğlu, B. ve Özyörük, B. “Stokastik Talepli Araç Rotalama Problemi İçin Literatür Taraması.” *Savunma Bilimleri Dergisi*, 18(36), 181-222. (2019).
- Dethloff, J., “Vehicle routing and reverse logistics: the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up”, *OR Spektrum*, 23: 79-96 (2001).

- Ekşi, A. (2016). "KBRN terörizminde risk değerlendirmesi ve yönetimi", *Journal of International Social Research*, 9(42).
- Fan, J., 2011. "The vehicle routing problem with simultaneous pick up and delivery based on customer satisfaction. *Advanced in Control Engineering and Information Science*, 15, 5284-5289.
- Fakhrzad, M. B., Hoseini Shorshani, S. M., Hosseininasab, H., & Mostafaeipour, A. (2022). Developing a green vehicle routing problem model with time windows and simultaneous pickup and delivery under demand uncertainty: Minimizing fuel consumption. *International journal of nonlinear analysis and applications*.
- Gajpal, Y., Abad, P., "An ant colony system (ACS) for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup", *Computers and Operations Research*, 36(12): 3215-3223 (2009).
- Goksal, F. P., Karaoglan, I., & Altıparmak, F. (2013). A hybrid discrete particle swarm optimization for vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Computers & industrial engineering*, 65(1), 39-53.
- Golsefidi, A. H., & Jokar, M. R. A. (2020). A robust optimization approach for the production-inventory-routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Computers & Industrial Engineering*, 143, 106388.
- Gschwind, T. (2015). A comparison of column generation approaches to the Synchronized Pickup and Delivery Problem. *European Journal of Operational Research*, 247, 60– 71.
- Halse, K. (1992). Modeling and solving complex vehicle routing problems. Ph.D thesis, Institute of Mathematical Statistics and Operations Research, Technical University of Denmark, Denmark.
- Hornstra, R. P., Silva, A., Roodbergen, K. J., & Coelho, L. C. (2020). The vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery and handling costs. *Computers & Operations Research*, 115, 104858.
- Iassinovskaia, G., Limbourg, S. and Riane, F. (2017). The inventory-routing problem of returnable transport items with time windows and simultaneous pickup and delivery in closed-loop supply chains. *International Journal Production Economics*, 183, 570–582.
- Karaoglan, I., Altıparmak, F., Kara, I., & Dengiz, B. (2011). A branch and cut algorithm for the location-routing problem with simultaneous pickup and delivery. *European Journal of Operational Research*, 211(2), 318-332.
- Karaoglan, I., Altıparmak, F., Kara, I., & Dengiz, B. (2012). The location-routing problem with simultaneous pickup and delivery: Formulations and a heuristic approach. *Omega*, 40(4), 465-477.

- Koblentz, G. D. (2020). Emerging technologies and the future of CBRN terrorism. *The Washington Quarterly*, 43(2), 177-196.
- Koç, Ç., Laporte, G., & Tükenmez, İ. (2020). A review of vehicle routing with simultaneous pickup and delivery. *Computers & Operations Research*, 122, 104987.
- Kumar, V. S., & Jayachitra, R. (2016). Linear Sweep Algorithm for Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery between Two Depots with Several Nodes. *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, 12(1), 897-908.
- Lagos, C., Guerrero, G., Cabrera, E., Moltedo, A., Johnson, F., & Paredes, F. (2018). An improved particle swarm optimization algorithm for the VRP with simultaneous pickup and delivery and time windows. *IEEE Latin America Transactions*, 16(6), 1732-1740.
- Li, J., Pardalos, P. M., Sun, H., Pei, J., & Zhang, Y. (2015). Iterated local search embedded adaptive neighborhood selection approach for the multi-depot vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups. *Expert Systems with Applications*, 42(7), 3551-3561.
- Ma, Y., Li, Z., Yan, F., & Feng, C. (2019). A hybrid priority-based genetic algorithm for simultaneous pickup and delivery problems in reverse logistics with time windows and multiple decision-makers. *Soft Computing*, 23(15), 6697-6714.
- Min, H., 1989. The Multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick up points. *Transportation Research*,. 377-386.
- Minyong, L., Erbao, C. (2010). An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and time windows. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23, 188-195.
- Montane, F. A. T., Galvao, R. D., "A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service", *Computers and Operations Research*, 33: 595-619 (2006).
- Nagy, G., Salhi, S., "The many-to-many location-routing problem", *TOP*, 6: 261-275 (1998).
- Nagy, G., Salhi, S., "Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries", *European Journal of Operational Research*, 162: 126-141 (2005).
- Olgun, B., Koç, Ç., & Altıparmak, F. (2021). A hyper heuristic for the green vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Computers & Industrial Engineering*, 153, 107010.

- Öztaş, T., & Tuş, A. (2022). A hybrid metaheuristic algorithm based on iterated local search for vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Expert Systems with Applications*, 202, 117401.
- Park, H., Son, D., Koo, B., & Jeong, B. (2021). Waiting strategy for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery using genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 165, 113959.
- Polat, O., Kalayci, C. B., Kulak, O., & Günther, H. O. (2015). A perturbation based variable neighborhood search heuristic for solving the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery with Time Limit. *European Journal of Operational Research*, 242(2), 369-382.
- Ropke, S., Pisinger, D., “A unified heuristic for a large class of vehicle routing problems with backhauls”, *European Journal of Operational Research*, 171: 750- 775 (2006).
- Sağlık Bakanlığı (2021), 19 Ağustos 2021 tarihinde <https://covid19asi.saglik.gov.tr/TR-77809/turkiyenin-asi-soguk-zincir-ve-lojistik-kapasitesi.html> adresinden alınmıştır.
- Song, X. Y., Zhu, J. Y., & Sun, H. L. (2014). Hybrid Differential Evolution Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Computer Science*, 12, 049.
- Subramanian, A., Drummond, L. M. A., Bentes, C., Ochi, L. S., Farias, R. (2010). A parallel heuristic for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery. *Computers and Operations Research*, 37 (11), 1899-1911.
- Subramanian, A., Uchoa, E., Pessoa, A. A., Ochi, L. S. (2011). Branch-and-cut with lazy separation for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Operations Research Letters*, 39, 338-341.
- Sherif, S. U., Asokan, P., Sasikumar, P., Mathiyazhagan, K., & Jerald, J. (2021). Integrated optimization of transportation, inventory and vehicle routing with simultaneous pickup and delivery in two-echelon green supply chain network. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125434.
- Tang, F. A., Galvao, R. D., “Vehicle routing problems with simultaneous pick-up and delivery service”, *Journal of the Operational Research Society of India*, 39: 19-33 (2002).
- Tasan, S., Gen, M., 2012. A genetic algorithm based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries. *Computer Industrial Engineering*, 62, 755-761.
- Toth, P. and Vigo, D. “Branch and Bound Algorithms for the Capacitated VRP”, In P., *The Vehicle Routing Problem*, SIAM, Philadelphia, USA, (2002).

- Wassan, N. A, Wassan, A. H., Nagy, G., “A reactive tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries”, *Journal of Combinatorial Optimization*, 15: 368-386 (2007).
- Wang, H. F., Chen, Y. Y., 2012. A genetic algorithm for the simultaneous delivery and pick up problems with time windows. *Computer Industrial Engineering*, 62, 84-95.
- Wang, C., Mu, D., Zhao, F., & Sutherland, J. W. (2015). A parallel simulated annealing method for the vehicle routing problem with simultaneous pickup–delivery and time windows. *Computers & Industrial Engineering*, 83, 111-122.
- Wang, X. (2022). Research on Hybrid Immune Algorithm for Solving the Location-Routing Problem With Simultaneous Pickup and Delivery. *Journal of Cases on Information Technology (JCIT)*, 24(5), 1-17.
- Yu, V. F., Susanto, H., Yeh, Y. H., Lin, S. W., & Huang, Y. T. (2022). The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery and Parcel Lockers. *Mathematics*, 10(6), 920.
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D. Kiranoudis, C. T., “A hybrid metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up service”, *Expert Systems with Applications*, 36(2): 1070-1081 (2009a).
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T., “An adaptive memory methodology for the vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries”, *European Journal of Operational Research*, doi: 10.1016/j.ejor.2009.05.015 (2009b).
- Zachariadis, E. E., Kiranoudis, C. T. (2011). A local search metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries. *Expert Systems with Applications*, 38, 2717-2726.
- Zhang, Z., Cheang, B., Li, C., & Lim, A. (2019). Multi-commodity demand fulfillment via simultaneous pickup and delivery for a fast fashion retailer. *Computers & Operations Research*, 103, 81-96.
- Zhang, T., Chaovalitwongse, W. A., & Zhang, Y. (2014). Integrated Ant Colony and Tabu Search approach for time dependent vehicle routing problems with simultaneous pickup and delivery. *Journal of Combinatorial Optimization*, 28(1), 288-309.
- Zhang, J., & Yi, J. (2016). A hybrid Genetic-Monkey Algorithm for the Vehicle Routing Problem. *International Journal of Hybrid Information Technology*, 9(1), 397-404.

- Zhao, Y., Leng, L., & Zhang, C. (2021). A novel framework of hyper-heuristic approach and its application in location-routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Operational Research*, 21(2), 1299-1332.
- Zhou, H., Qin, H., Zhang, Z., & Li, J. (2022). Two-echelon vehicle routing problem with time windows and simultaneous pickup and delivery. *Soft Computing*, 26(7), 3345-3360.
- Zhu, L., & Sheu, J. B. (2018). Failure-specific cooperative recourse strategy for simultaneous pickup and delivery problem with stochastic demands. *European Journal of Operational Research*, 271(3), 896-912.

## EXTENDED SUMMARY

### **The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery Approach for Cbrn Kit Distribution Network Design Optimization**

#### **Introduction**

Today's world faces new and complex security threats from rapidly developing technologies and globalization. Among these threats, especially the combination of Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) incidents with terrorism, there is a serious source of concern for international security. The potential for terrorist organizations to go beyond traditional methods and use CBRN elements confronts the international community with unprecedented challenges. Especially in recent years, the possibility of terrorist organizations accessing and using CBRN materials has alarmed international security organizations and governments. Obtaining, secretly carrying, and using such materials has a much more dangerous potential compared to conventional weapons. Addressing these dangers requires coordinated efforts from the international community. Developing emergency response plans, increasing the competencies of security organizations and accelerating information sharing are vital administrative steps that must be taken to effectively respond to these threats. In addition to these administrative aspects, an effective health control system should be established in order to prevent the loss of life by the early diagnosis of people who may be affected by such substances. Having the CBRN test kits used to diagnose the infected person in the right place, at the right time, in the required quantity, as well as obtaining the results of the tests quickly and initiating the treatment process of people infected with these substances without delay are important factors in preventing loss of life. In this study, a mathematical model is proposed to distribute the test kits from the main center to the hospitals in Ankara in case of a possible CBRN attack, as well as to collect the kits waiting to be finalized there. With the proposed mathematical model, a health organization in Ankara was determined as the main center, and minimum-cost pick-up and delivery routes were created from there to hospitals in every district of the city. In the proposed mathematical model, the objective function was created to minimize the fixed cost arising from the use of vehicles and the variable cost arising from the route length. The limitations of the proposed model were tested with different node numbers, and the results obtained by making a sample application in Ankara province were presented and interpreted.

## **Method and Application**

In this study, a mathematical model was used to pick-up and delivery test kits, which play the most important role in the early diagnosis of people affected by CBRN materials, to hospitals in Ankara. In the problem, the problem of creating minimum cost routes for pick-up and delivery from a central organization to different numbers of hospitals was examined, and an example application was made for the districts of Ankara.

In order to analyze the limitations of the proposed mathematical model, solutions were obtained by changing the number of nodes, and the results obtained at the appropriate solution time were reported. When the solutions found were examined, optimal pick-up and delivery routes were created with the proposed mathematical model for up to 40 nodes, and minimum cost solutions were obtained. It has been observed that the mathematical model does not give results in the appropriate solution time for test problems where the number of nodes is 40 or more. After using test problems to determine the limitations of the model, the characteristics of the test kit pick-up and delivery problem to the districts of Ankara province, which was determined as the application of the model, were determined. In the established scenario, the pick-up and delivery of test kits were examined in order to identify and immediately treat the affected population in case of a possible CBRN attack on the capital, Ankara. In the problem, test kit pick-up and delivery routes have been created from a central health organization to the highest-capacity hospitals in 25 districts in Ankara.

## **Conclusion**

At various times, states pose similar power elements as a threat, both against rival states in times of political crisis, and terrorist elements directly against states. Due to the great damage that will be caused to both soldiers and civilians in attacks where threats come true, it is necessary to evaluate possible threats as if they will come true and take precautions under different scenarios. In this context, early diagnosis is very important to prevent cases such as CBRN, which have a very high spread rate in the event of a possible attack. One of the problem areas is the dissemination of testing, which is thought to be one of the most effective methods to achieve this, and the distribution and collection of these test kits in hospitals.

In this study, the lowest-cost routes for the pick-up and delivery of CBRN test kits for 25 districts in the event of a terrorist attack on the capital were determined. Firstly, in order to determine the limitations of the model, routes and costs of 10, 15, 20, 25, 30, and 35 supply and demand points from a central node were found, respectively. For numbers of 40 or more nodes, results could not be obtained at appropriate solution times. Since it overlaps with the studies of other researchers, the proposed model was evaluated to be suitable for real-life problems.



Based on the determination of the model boundaries, one hospital was determined in each of the 25 districts of Ankara, and a minimum-cost pick-up and delivery route was created to these places. When the solutions obtained were examined, it was found that this distribution, which is currently done with 8 vehicles, can be done with 3 vehicles.

**EK**

Düğüm	Hastane	Talep	Arz
1	Ankara Nallıhan Devlet Hastanesi	561	616
2	Ankara Beypazarı Devlet Hastanesi	802	880
3	Ankara Kızılcahamam Devlet Hastanesi	361	396
4	Ankara Kızılcahamam Toplum Sağlığı Merkezi (Çamlıdere)	40	44
5	Ankara Halil Şıvgın Çubuk Devlet Hastanesi	1243	1364
6	Ankara Akyurt Devlet Hastanesi	200	220
7	Ankara Kalecik Devlet Hastanesi	120	132
8	Ankara Dr. Hulusi Alataş Elmadağ Devlet Hastanesi	481	528
9	Ankara Bala İlçe Hastanesi	40	44
10	Ankara Evren Toplum Sağlığı Merkezi	40	44
11	Ankara Şereflikoçhisar Devlet Hastanesi	441	484
12	Ankara Haymana Devlet Hastanesi	160	176
13	Ankara Polatlı Duatepe Devlet Hastanesi	481	528
14	Ankara Ayaş Şehit Mehmet Çiftçi Devlet Hastanesi	120	132
15	Ankara Güdül Devlet Hastanesi	80	88
16	Ankara Kahramankazan Hamdi Eriş Devlet Hastanesi	641	704
17	Ankara Pursaklar Devlet Hastanesi	1082	1188
18	Ankara Mamak Devlet Hastanesi	281	308
19	Ankara Gölbaşı Şehit Ahmet Özsoy Devlet Hastanesi	1202	1320
20	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Yenimahalle Eğitim ve Araştırma Hastanesi	561	616
21	Ankara Etimesgut Şehit Sait Ertürk Devlet Hastanesi	601	660
22	Ankara Sincan Dr. Nafiz Körez Devlet Hastanesi	1082	1188
23	Ankara Keçiören Eğitim ve Araştırma Hastanesi	1243	1364
24	Ankara Dışkapı Yıldırım Beyazıt Eğitim ve Araştırma Hastanesi	2525	2772
25	Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi (Yüksek İhtisas ve Numune)	1964	2156