

Jeoloji Mühendisliği Saha Çalışmaları için Yeni Bir Model: Gezgin Satıcı Problemi ve Uygulaması

A New Model for Field Studies of Geological Engineering: Travelling Salesman Problem and Application

Mustafa DEMİRBİLEK¹ 

Sevim ÖZULUKALE DEMİRBİLEK² 

DOI:10.33461/uybisbbd.1005567

Öz

Makale Bilgileri

Makale Türü:

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi:

06.10.2021

Kabul Tarihi:

02.12.2021

©2021 UYBİSBBD
Tüm hakları saklıdır.



Bir kişinin veya aracın, belirli sayıda noktayı ziyareti sırasında geçen toplam seyahat mesafesinin en küçüklenmesini konu alan Gezgin Satıcı Problemi (GSP), uzun yıllardır başta sağlık, güvenlik ve lojistik alanlarında olmak üzere birçok alanda ortaya çıkan problemlerin modellenmesinde ve çözülmesinde önemli rol oynamıştır. Araştırmaları sırasında farklı sahalardan çok sayıda örnek toplayan jeoloji, hidrojeoloji, maden ve çevre mühendisleri bu ziyaretleri sırasında uzun mesafeler kat etmektedir. Ziyaret edilen noktalardan oluşan rotaların GSP kapsamında modellenmesi ve optimize edilmesi, araştırmacılara zaman ve maliyet açısından önemli kazanımlar sağlayacaktır. Bu kapsamda, araştırmaları sırasında Yozgat İli Saraykent ve Akdağmadeni İlçe'lerinde yer alan 25 farklı lokasyondan hidrojeokimyasal analizler için su örnekleri toplayan bir jeoloji mühendisinin izlediği rota incelenmiş ve GSP'lerinin çözümünde sıkça kullanılan Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama ve En Yakın Komşu Arama Sezgiseli kullanılarak, en kısa mesafeyi veren rota belirlenmiştir. Jeoloji mühendisinin takip ettiği rota ile hesaplanan optimum rota arasında yaklaşık 135 kilometrelik fark olduğu tespit edilmiştir. Özellikle daha geniş alanlarda daha fazla nokta ziyaretini içeren çalışmalarda fark daha fazla olacaktır. Bu çalışma kapsamında özellikle saha araştırmalarıyla iç içe olan başta jeoloji, hidrojeoloji, maden ve çevre mühendisleri olmak üzere tüm araştırmacılara GSP farkındalığı kazandırmak ve incelenen örnek doğrultusunda avantajlarını göstermek hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği, Saha Çalışması, Gezgin Satıcı Problemi, Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama, En Yakın Komşu Arama Sezgiseli.

Abstract

Article Info

Paper Type:

Research Paper

Received:

06.10.2021

Accepted:

02.12.2021

©2021 UYBİSBBD
All rights reserved.



Travelling Salesman Problem (TSP), minimizing total travel distances during visits among predefined number of locations, plays an important role to model and solve problems in many areas, especially health, security, and logistic. Geology, hydrogeology, mining, and environmental engineers collected many samples from different fields during their research spend long times during travelling among locations. Modelling and optimizing routes constructed based on visited locations create many benefits for researchers in terms of times and costs. In this study, the route of a geology engineer that collects water samples for hydrochemical analysis from 25 different locations in Saraykent and Akdagmadeni provinces, Yozgat, Turkey, is examined and the optimum route giving the shortest distance is found by a mixed integer linear programming and the nearest neighbourhood search algorithm used for solving TSPs frequently. A-hundred and thirty-five-km difference between the calculated optimum route and the route the engineer followed at the beginning is observed. Particularly, this difference tends to increase in studies that include more visits and larger areas. Raising awareness of TSP to all researchers involved in field studies, primarily geology, hydrogeology, environment, mining engineers and demonstrating advantages of TSP based on a real-life example are targeted in this study.

Keywords: Geological (Hydrogeological) Engineering, Field Study, Travelling Salesman Problem, Mixed Integer Linear Programming, Nearest Neighbourhood Search Algorithm

Atıf/ to Cite (APA): Demirbilek, M. ve Özulukale Demirbilek, S. (2021). Jeoloji Mühendisliği Saha Çalışmaları için Yeni Bir Model: Gezgin Satıcı Problemi ve Uygulaması. Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi, 5(2), 185-193

¹ Dr. Öğr. Üyesi Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, mustafa.demirbilek@gibtu.edu.tr

² Dr. Öğr. Üyesi Bozok Üniversitesi, Akdağmadeni Sağlık Yüksekokulu, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, sevim.ozulukale@bozok.edu.tr

1. GİRİŞ

İlk olarak 19. yüz yılda literatürde yer almaya başlayan Gezgin Satıcı Problemi (GSP), geziye bir şehirden başlayıp aynı şehirde bitirmek üzere, bir satıcının ziyaret etmesi gereken şehirleri gezerken kat edeceği en kısa mesafeyi bulmak olarak tanımlanabilir. Problemin daha kompleks çeşidi olan, belirli sayıda aracın, belirli sayıda noktayı ziyareti sırasında geçen toplam seyahat süresinin en küçüklenmesini konu alan Araç Rotalama Problemi (ARP), ilk olarak Dantzig and Ramser'in (1959) yaptıkları, "The Truck Dispatching Problem" isimli çalışmayla formülize edilmiştir. Bu çalışmada ana yakıt deposundan farklı noktalarda yer alan yakıt istasyonlarına dağıtım yapan tankerlerin rotaları optimize edilmiştir. Özellikle yirminci yüzyılın ikinci yarısından sonra internetin, küresel konumlandırma sistemlerinin yaygınlaşması ve bölgeler arasındaki ticari faaliyetlerin artmasına müteakip, taşımacılıkta kullanılan araçların rotalarının, seyahat sürelerini temel alarak optimize edilmesi, yakıt, insan ve araç maliyetlerinin düşürülmesi için önemli bir etken olmuştur. Bu alanda artan problemlerin araştırmacıların dikkatini daha fazla çekmesiyle, zaman pencereleri, kapasite, dinamizm, seyahat ve hizmet sürelerinde belirsizlik gibi faktörleri göz önüne alan farklı problem çeşitleri ve karışık tam sayılı, dinamik, stokastik programlama gibi kesin çözüm yöntemleri ile tavlama benzetimi, tabu arama, genetik ve evrimsel algoritmalar gibi sezgisel/metasezgisel çözüm yöntemleri ortaya çıkmıştır (Laporte, 2009; Demirbilek, 2020).

ARP çok farklı alanlarda kendine uygulama alanı bulmuştur. Ambulansların rotalanması (Talarico, vd., 2015; Tlili, vd., 2017), devriye gezen polis araçların rotalanması (Keskin, vd., 2012; Dewinter, vd., 2020), evde sağlık ve bakım hizmeti veren çalışanların rotalanması (Demirbilek, vd., 2021; Yurdakul, vd., 2020), okul servis araçlarının rotalanması (Park, vd., 2010; Bektaş ve Elmastaş, 2007) ve kuryelerin rotalanması (Chang ve Yen, 2012) bu alanlara örnek gösterilebilir. Bu çalışmada, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, bir jeoloji mühendisinin çalışması için gereken su örneklerinin farklı lokasyonlardan toplanması sırasında takip edeceği rotanın optimizasyonu yapılmıştır. Su kimyası çalışan jeoloji (hidrojeoloji) mühendisleri, çalışmalarıyla ilgili belirli bir bölge içinde çeşitli kaynaklardan belirli aralıklarda su örnekleri toplamaktadır. Bununla beraber dönemsel çalışmaları olan Jeoloji Mühendisliği'nde bazı hidrojeokimyasal (özellikle suda radyoaktivite (toplam alfa ve toplam beta), sülfatın sülfür (SO_4^{-2}) ve oksijen (SO_4^{-2}) izotopu gibi) ve sudaki bakteriyolojik analizlerin gerçekleştirilmesinde sürenin kısıtlı, örnek sayısının fazla (yaklaşık 20 ve daha fazla) ve mesafelerin uzak olması durumlarında rota optimizasyonu oldukça önemlidir. Ayrıca, rota optimizasyonu sahada çalışma süresini de kısaltacağından, araştırmacıların konaklama ve araç yakıt masrafları gibi harcamaları da azaltacağından proje bütçesi açısından da ekonomiklik sağlayacağı düşünülmektedir. Şener ve Şener (2021), Isparta İli'nden Şefaati (Yozgat)'ye gelerek hidrojeokimyasal analiz için 10 adet su örnekleme noktasından örnekler toplamışlar ve ayrıca 9 sondaj kuyusundan da seviye ölçümü gerçekleştirilmesiyle toplam 19 lokasyonu ziyaret etmişlerdir. Güneş (2006), İzmir'den Gediz Kaplıcaları (Kütahya) bölgesine gelerek 3 dönem boyunca, 28-29 adet su örnekleme noktasından hidrojeokimyasal analiz için örnekler toplamıştır. Çelmen ve Çelik (2009), Beypazarı civarında 21 adet su örnekleme lokasyonundan hidrojeokimyasal/izotop analizleri için örnek toplamışlardır. Elal Muş ve Çetinkaya (2017), Bursa İli ve çeşitli ilçelerinden, sonbahar (31 örnek), kış (30 örnek), ilkbahar (39 örnek) ve yaz (70 örnek) aylarında toplanan içme ve kullanma suyu örneklerini materyal olarak kullanılmışlar ve örnekler aseptik koşullarda steril koyu renkli cam şişeler içerisinde, soğuk zincir altında laboratuvara nakledilerek aynı gün içerisinde tüm analizler gerçekleştirilmiştir. Akıllı ve Mutlu (2018), Polatlı ve Haymana jeotermal sahalarından Kasım 2014 ve Haziran 2015 dönemlerinde 13 adet sıcak ve 10 adet soğuk olmak üzere toplam 23 adet su örneği toplamışlardır.

Bu çalışmada, Yozgat İli'nde yer alan Akdağmadeni ve Saraykent İlçe'lerinin farklı lokasyonlarından toplanan 25 adet su örneği için (Özulukale ve Şimsek, 2015; Özulukale, 2017) oluşturulacak rotanın optimizasyon çalışması yapılmıştır. Öncelikle su örnekleri toplayan ekibin takip ettiği rotanın toplam uzunluğu belirlenmiş, daha sonra problem karışık tamsayılı doğrusal programlama yöntemi ile modellenip, CPLEX çözücüsü kullanılarak optimal rota hesaplanmıştır. GSP, NP zor sınıfı bir problem olduğundan ziyaret edilecek nokta sayısı arttığında, optimal çözümü

elde etmek için gereken işlem zamanı üstel olarak arttığından, hızlı çözüm için En Yakın Komşu Arama Sezgiseli (Nearest Neighbourhood Search Algorithm) geliştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın başlıca amacı, başta jeoloji (hidrojeoloji) mühendisleri olmak üzere farklı noktalardan örnek toplaması gereken bütün araştırmacılara, rastgele ziyaret edilen noktalardan oluşan rotaların, optimize edilmiş rotalara göre ne kadar maliyetli olduğunu göstererek GSP farkındalığı yaratmaktır.

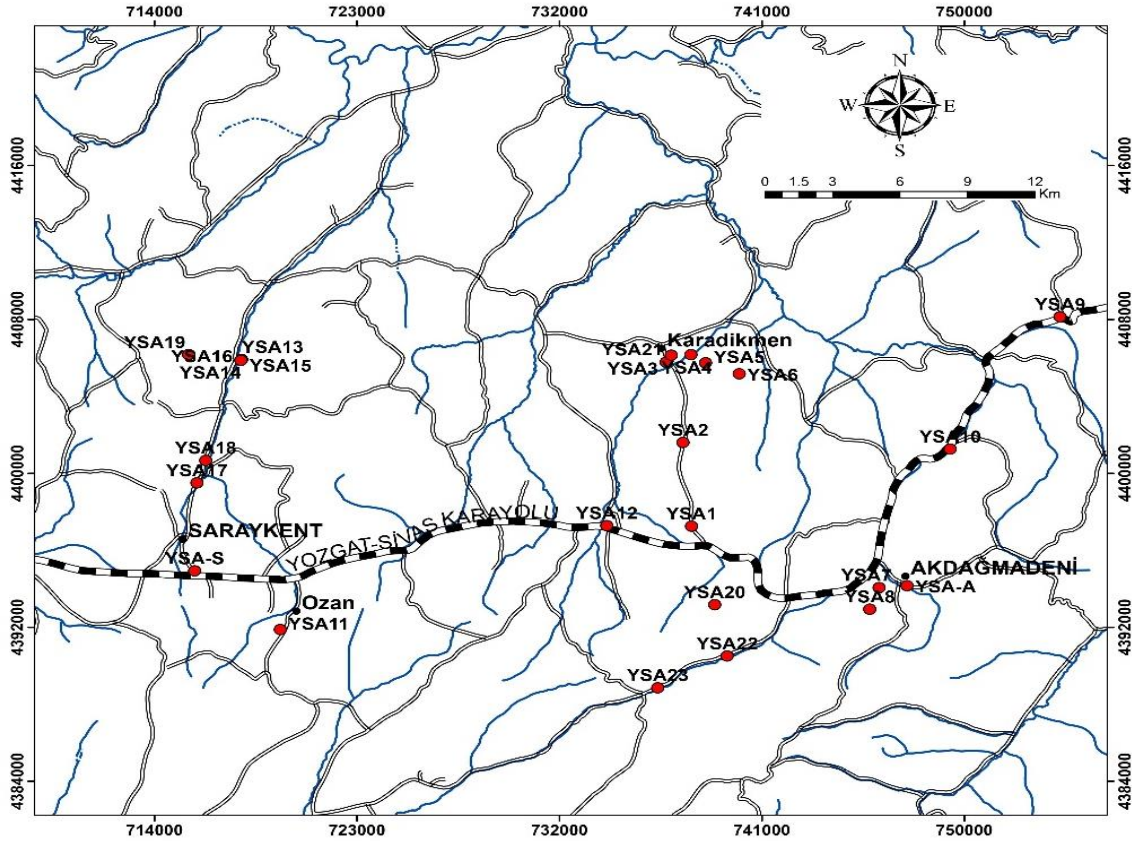
Bir sonraki bölümde problem için gerekli olan veriler ve çözüm yöntemleri incelenecektir. 3. Bölümde bulgular paylaşılacak, son bölümde ise sonuçlarla ilgili tartışmalara yer verilecektir.

2. MODEL VERİLERİ VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde su örneklerinin toplandığı lokasyonlar verilecek, daha sonra problemin modellenmesi ve çözümü sırasında kullanılan yöntemler incelenecektir.

2.1. Model Verileri

Doktora tezi kapsamında sahadan su örneklerini toplayan ekip Ankara'dan hareket ederek, Yozgat İli Saraykent ve Akdağmadeni İlçe'lerinde bulunan 25 farklı noktadan su örneklerini toplayıp tekrar Ankara'ya dönmüşlerdir (Özulukale ve Şimsek, 2015; Özulukale, 2017). Su örneklerinin toplandığı lokasyonlar Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Saraykent ve Akdağmadeni İlçe'lerinden su örneklerinin toplandığı lokasyonlar (Özulukale ve Şimsek, 2015; Özulukale, 2017).

Şekil 1'de verilen lokasyonların koordinatları ED-50 (European Datum-1950) koordinat sistemine göre verilmiştir. Herhangi bir nokta (x_1, y_1, z_1) ve diğer bir nokta (x_2, y_2, z_2) olarak gösterilirse, noktalar arasındaki mesafe, d_{12} , Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanabilir.

$$d_{12} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (1)$$

Başlangıç ve bitiş noktaları da dahil olmak üzere bütün lokasyonlar arası mesafeler hesaplanmış ve maliyet matrisi olarak tanımlanmıştır. Su örnekleri toplanması için gereken süre çok kısa ve örnek ağırlıkları ihmal edilebilecek kadar düşük olduğundan, modelimizde kapasite ve zaman penceresi kısıtları yer almamıştır.

2.1. Çözüm Yöntemleri

Bu bölümde problemin çözümü için kullanılan yöntemlerle ilgili bilgi verilmiştir. Öncelikle matematiksel model açıklanmış daha sonra literatürde de çok kullanılan En Yakın Komşu Arama Sezgiseli verilmiştir.

2.1.1. Matematiksel Yöntem

Dantzig and Ramser'in (1959) çalışmasından itibaren birçok çalışmada GSP ve ARP matematiksel olarak modellenmiş ve çözülmüştür. Yukarıdaki kısıtlar ve amaç düşünülerek, problem karışık tamsayı doğrusal programlama yöntemi ile modellenmiştir (Demirbilek, 2021; Montané & Galvão, 2006).

Notasyonlar;

N: Ziyaret edilecek noktalar seti

N_0 : Ziyaret edilecek noktalar seti ve başlangıç noktası

c_{ij} : i ve j noktaları arasındaki mesafe

Karar Değişkenleri;

$x_{ij} = 1$, eğer i noktasından j noktasına ziyaret gerçekleşirse. 0, aksi durumda.

u_i = Alt tur oluşmasını engelleyen değişken.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = \sum_i^{N_0} \sum_j^{N_0} c_{ij} x_{ij} \quad i \neq j \quad (2)$$

Kısıtlar:

$$\sum_i^{N_0} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in N, i \neq j \quad (3)$$

$$\sum_i^{V_0} x_{ij} - \sum_i^{V_0} x_{ji} = 0, \quad \forall j \in V_0, \quad i \neq j \quad (4)$$

$$\sum_j^N x_{0j} \leq 1 \quad (5)$$

$$\sum_j^N x_{j0} \leq 1 \quad (6)$$

$$u_i - u_j + n(x_{ij}) \leq n - 1, \forall i, j \in V, i \neq j, i \neq 1 \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, \forall j \in N_0, \quad i \neq j \quad (8)$$

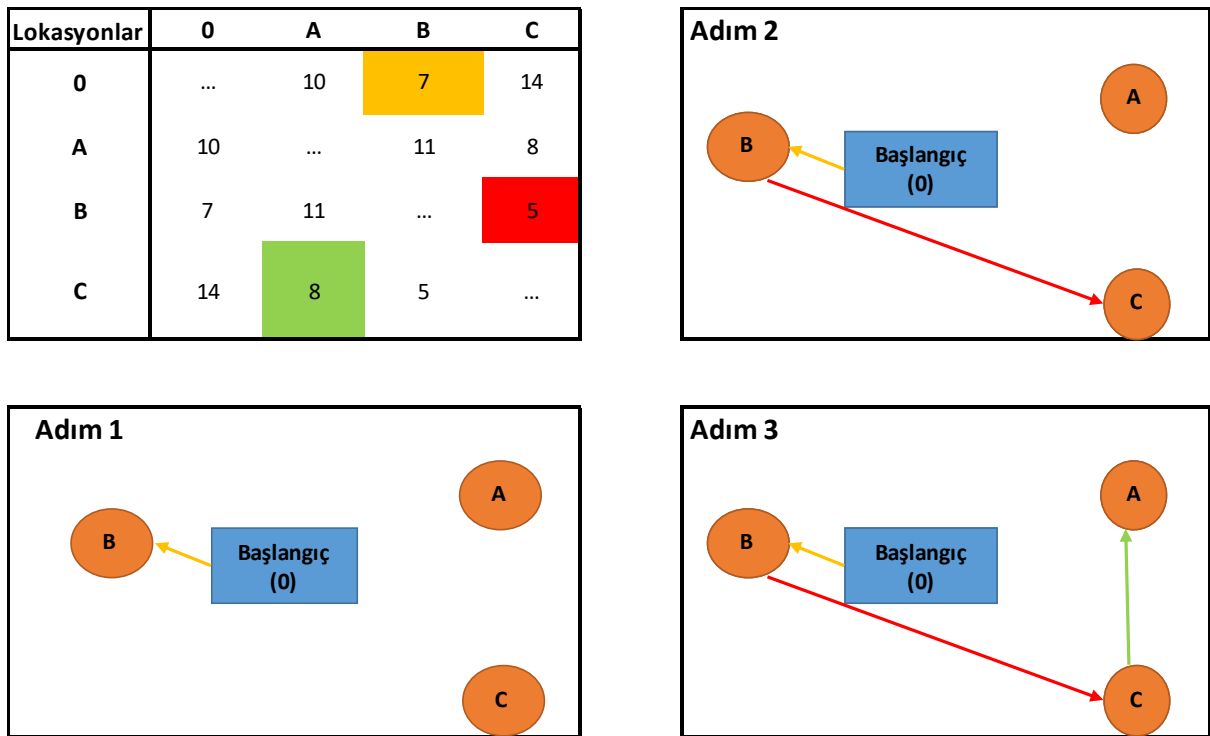
Sırasıyla ikinci denklem lokasyonlar arasında kat edilen mesafeyi en aza indirecek amaç fonksiyonunu, üçüncü eşitlik her noktanın bir kez ziyaret edilmesini, dördüncü eşitlik ziyaret edilen noktadan ayrılış sağlanmasını, beş ve altı numaralı kısıtlar ziyaretlerin aynı noktada

başlamasını ve bitmesini, yedi numaralı kısıt alt turların önlenmesini, sekiz numara ise karar değişkenleri için sınırları göstermektedir.

2.1.1. En Yakın Komşu Arama Sezgiseli

GSP, NP zor sınıfta yer alan bir problemdir. Bu yüzden ziyaret edilen nokta sayısı arttığında olası çözüm sayısı üstel olarak artmaktadır. Bu yüzden yukarıdaki gibi karışık tam sayılı doğrusal programlama, stokastik programlama, dinamik programlama gibi kesin çözüm yöntemleri, gelişmiş işlemci ve ram teknolojisine rağmen belli sayıda ziyaret noktasından sonra kabul edilebilir işlem zamanlarında optimal sonuca ulaşamazlar (Fikar ve Hirsch, 2017). Bu yüzden literatürde büyük problemlerin çözümünde çoğunlukla sezgisel ve metasezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, literatürde GSP'lerin çözümünde sıkça kullanılan En Yakın Komşu Arama Sezgiseli tanımlanan problemin çözümünde kullanılmıştır.

Bu algoritma bir noktadan başlamak üzere, ziyaret edilecek bir sonraki noktanın başlangıç noktasına göre uzaklığını hesaplayarak, en kısa mesafedeki noktayı bulup hali hazırdaki rotaya eklemek suretiyle çalışmaktadır. Örnek olarak ziyaret etmemiz gereken 3 nokta varsa, her bir noktanın başlangıç noktası olan mesafesi hesaplanır. Daha sonra en kısa mesafede olan nokta başlangıç noktasından hemen sonrası için rotaya eklenir. Kalan iki nokta için son eklenen noktaya mesafeleri hesaplanıp en kısa olanı hâlihazırdaki rotaya eklenir. Süreç bu şekilde bütün noktalar rotaya eklenene kadar devam eder. Kapasite ve zaman penceresi kısıtları olan problemlerde, her adımda çözümün uygun olup olmadığı kontrol edilir. Algoritmanın uygulandığı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. En Yakın Komşu Arama Sezgiseli'nin uygulandığı.

Sezgisel ve metasezgisel yöntemler çok kısa sürelerde sonuçlara ulaşmalarına rağmen ortaya çıkan sonuçların optimalitesi garanti değildir. Bu yüzden çalışmamızda hem kesin hem de sezgisel çözüm verilerle sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Matematiksel modelleme “docplex” kütüphanesi kullanılarak Python programlama dilinde kodlanmış ve CPLEX 12.9 çözücüsü ile çözülmüştür. En Yakın Komşu Arama Sezgiseli de Python dilinde kodlanmıştır. Tüm testler Windows 10 Home işletim sistemiyle çalışan, 8GB ram ve Intel(R) Core(TM) i5-7200U CPU 2.50GHz içeren bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

Su örnekleri toplayan ekibin izlediği rota (plansız), matematiksel yöntem ve sezgisel yöntem kullanılarak oluşturulan rotalar ve bu rotaların sonucunda oluşan toplam mesafeler kilometre (km) olarak Çizelge 1’de verilmiştir. Herhangi bir optimizasyon metodu kullanılmadan gerçekleştirilen ziyaretler sonucu oluşan rotanın uzunluğu yaklaşık 723 kilometredir. Rotalama işlemi matematiksel olarak modellenip çözüldüğünde ise yaklaşık olarak 135 km tasarruf sağlanmıştır. Kullanılan sezgisel yöntem de matematiksel yöntemle yakın sonuç vermiştir. İki yöntem arasında sadece 16 km gibi küçük bir fark bulunmaktadır. Matematiksel modelin optimal çözüme yarım saatten uzun bir sürede ulaştığı, sezgisel algoritma ile bu sürenin bir saniyenin altında olduğu gözlenmiştir. Dört farklı dönemde hidrojeokimyasal veriler için su örnekleri toplanmıştır (Özulukale, 2017). Eğer başlangıçta ziyaret edilecek noktaların rotalaması matematiksel çözüm yöntemleriyle belirlenmiş olsaydı, dört farklı ziyaret için toplamda tasarruf edilecek mesafe yaklaşık 540 km olacaktır. Bu örnek, rota optimizasyonunun birçok alanda olduğu gibi, farklı bölgelerden örnekler toplayan jeoloji, hidrojeoloji, maden ve çevre mühendislerinin toplam kat ettikleri mesafeleri önemli oranda düşürmeleri sonucunda zaman ve maddi olarak tasarruf edebileceklerini göstermiştir.

Çizelge 1. Su örnekleri toplayan ekibin izlediği rota (plansız), matematiksel yöntem ve sezgisel yöntem kullanılarak oluşturulan rotalar ve bu rotaların sonucunda oluşan toplam mesafeler.

Plansız	Matematiksel Yöntem	Sezgisel Yöntem
Başlangıç	Başlangıç	Başlangıç
YSA1	YSA19	YSA-S
YSA2	YSA16	YSA11
YSA3	YSA14	YSA23
YSA4	YSA15	YSA22
YSA5	YSA13	YSA8
YSA6	YSA12	YSA-A
YSA7	YSA1	YSA7
YSA8	YSA2	YSA10
YSA9	YSA3	YSA9
YSA10	YSA21	YSA20
YSA-A	YSA4	YSA1
YSA11	YSA5	YSA2
YSA12	YSA6	YSA6
YSA13	YSA9	YSA5
YSA14	YSA10	YSA4
YSA15	YSA-A	YSA21
YSA16	YSA7	YSA3
YSA17	YSA8	YSA12
YSA18	YSA20	YSA17
YSA19	YSA22	YSA18
YSA-S	YSA23	YSA16
YSA20	YSA11	YSA14
YSA21	YSA-S	YSA13
YSA22	YSA17	YSA15
YSA23	YSA18	YSA19

Bitiş	Bitiş	Bitiş
723.7 km	588.9 km	604.6 km

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gezgin Satıcı Problemi (GSP), uzun yıllardır lojistik, sağlık, güvenlik gibi birçok alanda ortaya çıkan problemlerin modellenmesi ve çözümünde kullanılmıştır. Bu süre zarfında çekirdek probleme, ortaya çıkan yeni ihtiyaçlara binaen birçok yeni kısıt ve parametre eklenmiş, yeni çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada farklı sahalardan belirli dönemlerde su örnekleri toplayan jeoloji mühendisinin, örnek toplarken ortaya çıkan rotasının optimizasyonu hem matematiksel hem de sezgisel yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Literatürde bulamadığımız böyle bir interdisipliner çalışmanın, benzer şekilde farklı bölgelerden örnekler toplamak zorunda olan jeoloji, hidrojeoloji, maden ve çevre mühendisliği alanlarında çalışan araştırmacılara, GSP ve avantajları için farkındalık oluşturacağını ümit etmekteyiz.

Bu çalışmada, Yozgat İli Saraykent ve Akdağmadeni İlçe'leri sınırları içinde yer alan 25 farklı noktadan su örnekleri toplanılmıştır. Öncelikle plansız ziyaretler sonucu olarak toplam mesafe hesaplanmış, daha sonra Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli ve En Yakın Komşu Arama Sezgiseli'ne göre modellenip bulunan optimal rotanın mesafeleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmaya göre matematiksel modelleme ile bulunan optimal rota, rastgele ziyaretlerle ortaya çıkan rotaya göre toplam kat edilen mesafeyi yaklaşık %19 azalttığı gözlenmiştir. Yapılan tasarrufun tek seferde 135 km olduğu hesaplandığında, araştırma boyunca aynı ziyaretler 4 sefer tekrarlanmak zorunda olduğu için toplam tasarruf edilecek yol yaklaşık 540 km olmaktadır.

Rota optimizasyonu için kullanılan yöntemlere birçok araştırmacı aşına olmadığı için ileri de yapılacak çalışmalarda, kullanıcı dostu bir ara yüze sahip, yukarıda bahsedilen optimizasyon yöntemlerini çalıştıracak bir paket programı, ihtiyaç duyan araştırmacıların kullanımına sunmak amaçlanabilir.

KAYNAKÇA

- Akıllı, H. ve Mutlu, H. (2018). "Polatlı ve Haymana (Ankara) sıcak sularının kökenine yönelik kimyasal ve izotopik sınırlamalar (Geochemical and isotopic constraints on the evolution of Polatlı and Haymana (Ankara) thermal waters).", *Yerbilimleri* 39,1, 41-64.
- Bazrafshan, R., Hashemkhani Zolfani, S. ve Al-e-hashem, S. M. J. (2021). "Comparison of the Sub-Tour Elimination Methods for the Asymmetric Traveling Salesman Problem Applying the SECA Method.", *Axioms*, 10, 1, 19.
- Bektaş, T. ve Elmastaş, S. (2007). "Solving school bus routing problems through integer programming.", *Journal of the Operational Research Society* 58, 12, 1599-1604.
- Celmen, O. ve Celik, M. (2009). "Hydrochemistry and environmental isotope study of the geothermal water around Beypazarı granitoids, Ankara, Turkey.", *Environmental Geology* 58, 8, 1689-1701.
- Chang, T. S. ve Yen, H. M. (2012). "City-courier routing and scheduling problems.", *European Journal of Operational Research* 223, 2, 489-498.
- Dantzig G. B. ve Ramser J. H. (1959). "The Truck Dispatching Problem", *Management Science* 6, 1, 80-91.

- Demirbilek, M. (2020). "A tactical/strategic level cost analysis based on visit time preferences for vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery.", *European Journal of Technique* 10, 2, 301-312.
- Demirbilek, M., Branke, J., Strauss ve A. K. (2021). "Home healthcare routing and scheduling of multiple nurses in a dynamic environment.", *Flexible Services and Manufacturing Journal* 33, 1, 253-280.
- Demirbilek, M. (2021). "A-Static-Periodic Solution Strategy for Dynamic Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery.", *Acta Infologica*, 5(1).
- Dewinter, M., Vandeviver, C., Vander Beken, T. ve Witlox, F. (2020). "Analysing the police patrol routing problem: A review.", *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9, 3, 157.
- Elal Muş, T. ve Çetinkaya, F., (2017). "Bursa'da İçme ve Kullanma Sularında İndikatör ve Bazı Patojen Bakterilerin Varlığının Araştırılması", *Toprak Su Dergisi*, 6, 1, 1-6.
- Fikar, C. ve Hirsch, P. (2017). "Home health care routing and scheduling: A review." *Computers ve Operations Research*, 77, 86-95.
- Güneş, C. (2006). "Gediz Kaplıcaları'nın (Kütahya) Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi." *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.*
- Keskin, B. B., Li, S. R., Steil, D. ve Spiller, S., (2012). "Analysis of an integrated maximum covering and patrol routing problem." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 48, 1, 215-232.
- Laporte G. (2009). "Fifty years of vehicle routing", *Transportation Science* 43, 4, 408–416.
- Montané, F. A. T., & Galvão, R. D. (2006). "A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service.", *Computers and Operations Research*, 33(3), 595–619.
- Özulukale, S. (2017). "Saraykent ve Akdağmadeni (Yozgat) Sıcak ve Mineralli Sularının Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelemesi", *Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.*
- Özulukale, S. ve Şimşek, Ş. (2015). "Saraykent (Yozgat) Jeotermal Sularının Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi (Hydrogeochemical Assessment of Saraykent (Yozgat) Geothermal Waters)", *MÜHJEO'2015: Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, 3-5 Eylül 2015, KTÜ, Trabzon*, 513-520.
- Park, J. ve Kim, B. I. (2010). "The school bus routing problem: A review." *European Journal of Operational Research* 202, 2, 311-319.
- Şener, Ş. ve Şener, E. (2021). "Şefaati (Yozgat) Doğusu Su Kaynaklarının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelemesi." *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi (Journal of Engineering Sciences and Design)*, 9(1), e-ISSN: 1308-6693, DOI: 10.21923/jesd.745641, 126 – 138.
- Talarico, L. ve Meisel, F., Sörensen, K. (2015). "Ambulance routing for disaster response with patient groups." *Computers and Operations Research* 56, 120-133.
- Tlili, T., Harzi, M., ve Krichen, S. (2017). "Swarm-based approach for solving the ambulance routing problem." *Procedia Computer Science* 112, 350-357.

Yurdakul, K., Alakaş, H. M., Eren, T., & Gür, Ş. (2020). Yaşlılara Evde Bakım Hizmetinde Bulunan Ekiplerin Rotalanması: Büyükşehir Belediyesinde Bir Uygulama. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(1), 206-223.