

Trabzon Şehri Turizm Rotası Optimizasyonu için Zaman Pencere- Oryantiring Problemi

The Orienteering Problem with Time Windows for Optimizing Trabzon City's Tourism Route

Betül Kara¹ , Ezgi Öztürk¹ , Minel Canbaz¹ , Ertuğrul Ayyıldız² 

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

²(Doç. Dr.) Karadeniz Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

ÖZ

Bu çalışma, Oryantiring Problemi (OP) olarak adlandırılan bir optimizasyon problemine odaklanmaktadır. Oryantiring, katılımcıların harita ve pusula kullanarak şehirden uzak bir arazide kontrol noktalarını en hızlı şekilde bulmaya çalıştığı bir spordur. OP, her düğüme uğrama zorunluluğu olmaksızın elde edilen skoru en büyükmeye çalışan bir problem olarak tanımlanmaktadır. Bu problemin gerçek hayatta personel yönlendirme ve afet yardımı yönlendirme gibi birçok uygulaması bulunmaktadır ve turizm uygulamalarında da farklı iller için kullanılmaktadır. Bu çalışma, Karadeniz bölgesine olan artan ilgi göz önünde bulundurularak Trabzon şehrindeki turizm rotası optimizasyonu için uygun görülmüştür. Trabzon şehri için belirlenen zaman aralığında, turistlerin belirlenmiş başlangıç noktasından başlayarak sıradaki konumlara uğramasıyla en yüksek karı/faydayı sağlayan bir turizm rotası oluşturma problemi Zaman Pencere- Oryantiring Problemi (ZP-OP)
 olarak ele alınmıştır. Bu şekilde, turun başka bir noktada sonuçlanması hedeflenmiştir. Bu çalışmada, ziyaret noktalarının fayda puanları (skorları) belirlenirken, yaygın kullanılan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution (TOPSIS) yöntemlerinden faydalanılmıştır. Ayrıca, her bir düğüm noktası için ziyaret edilebileceği en uygun zaman aralığı modele zaman penceresi olarak entegre edilmiştir. Problemdeki turizm rotasının çözümü için Karışık Tamsayıli Matematiksel Model oluşturulmuş ve CPLEX programı kullanılarak çözümlenmiştir. Bu çalışma, Trabzon şehrinde bulunan turistik noktaların ve ziyaret edilebilecek diğer konumların en uygun zaman aralıklarında dikkate alınarak turistlerin en verimli ve keyifli turizm rotası oluşturması için önemli bir adım sağlamaktadır.

ABSTRACT

This study focuses on the optimization problem known as the orienteering problem (OP). Orienteering is a sport in which participants use a map and compass to find checkpoints in a remote urban terrain as fast as possible. OP is defined as a problem that tries to maximize the score obtained without having to visit each node. This problem has many applications in real life, such as personnel routing and disaster relief routing, and is also used in different provinces for tourism applications. When considering the increasing interest in the Black Sea region, this study considers optimizing the tourism routes in Trabzon city a suitable topic. The study considers the orienteering problem with time windows (OPTW) for creating a tourism route that provides the highest utility and benefit regarding the city of Trabzon within the specified time interval by starting from the designated starting point and stopping at the subsequent locations, thus aiming to end the tour at some other point. This study utilizes the analytical hierarchy process (AHP) and the technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS), which are widely used multi-criteria decision-making (MCDM) methods, to determine the benefit scores of the visitation points. In addition, the optimal time interval for each node to be visited is integrated into the model as a time window. A mixed integer mathematical model was created for solving the tourism route in the problem using CPLEX software. This study provides an important step in allowing tourists to create the most efficient and enjoyable tourism route by considering the touristic points and other locations that can be visited in Trabzon city over the most appropriate time intervals.

Anahtar Kelimeler: Oryantiring Problemi, Zaman penceresi, Trabzon, Turizm, ÇKKV

Keywords: orienteering problem, time windows, Trabzon, Tourism, multi-criteria decision making

Corresponding Author: Ertuğrul Ayyıldız E-mail: ertugrulayyildiz@ktu.edu.tr

Submitted: 29.07.2023 • **Revision Requested:** 06.10.2023 • **Last Revision Received:** 09.10.2023 • **Accepted:** 25.10.2023



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

EXTENDED ABSTRACT

This study addresses an optimization problem known as the orienteering problem (OP). In orienteering sports, participants use maps and compasses to locate checkpoints in remote areas outside the city as quickly as possible. Each checkpoint has a specific score, and competitors aim to achieve the highest score. The OP is an optimization problem where the objective is to maximize the obtained score without having to visit every node. Such problems have various real-life applications in different areas, such as personnel routing, disaster management, and tourism. This research focuses on orienteering problem with time windows (OPTW) for optimizing tourism routes in Trabzon city by considering the increased interest in the Black Sea region. OPTW aims to design a mathematical model that allows tourists to start from a predetermined point and visit subsequent locations, maximizing their benefit while finishing the tour at a different endpoint. The study explores an efficient travel route for both domestic and foreign tourists to achieve maximum utility in a minimum amount of time. Trabzon city has been chosen for tourism route optimization due to its popularity in the Black Sea region. The starting point has been set as a hotel, and the endpoint is the airport, with the assumption being that the route will be completed within a single day. A time window has been integrated into the model for each node to represent the most feasible visiting time. The OPTW formulation ensures that tourists obtain the highest benefit and utility by visiting sequential locations starting from the designated initial point and ending the tour at a different location. Multi-criteria decision making (MCDM) methods, including the analytic hierarchy process (AHP) and technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS), are employed to determine the benefit scores for visiting each location. The solution utilizes the CPLEX program to construct a mixed integer mathematical model that yields a route including four mandatory nodes out of the 19 designated locations in Trabzon city.

Nowadays, Trabzon is one of the most important stopping points where local and foreign guests leave feeling satisfied. With its popular attractions, natural beauties that are still preserved, and hospitality of the Black Sea people, the number of tourists who consider Trabzon a stopover point increases constantly. The solution to the OP is obtained by coding the mixed integer mathematical model in the program CPLEX. In addition to the start node (i.e., hotel) and the end node (i.e., the airport), the model has 17 visitation point nodes. According to the optimal route plan, visiting 10 of the 19 nodes within the tour provides the greatest benefit. Of these 10 points, four (Nodes 2,4,9, and 18) are mandatory visitation points. As a result of the constraints that were created, Node 4 was determined as the second stopover point where individuals can have breakfast after the hotel. In addition, Node 18 must be visited before the airport, and this is stated in the constraints. The generated route complies with the given time windows and involves visiting 8 nodes after departing from the hotel and before concluding with the airport. The objective function has been formed by adding up the scores of the visited locations. Moreover, the locations visited during the route are illustrated on the map. This study represents a significant step in determining the most effective and efficient tourist route in Trabzon city by considering the time constraints and benefit scores during tourism route planning.

The problem addressed in this study can be diversified and adapted to different cities; the number of visitation points can be increased or reduced, or even evaluated using different utility scores based on different criteria in order to create an OP with a different structure. A tour can be planned by choosing different starting and ending nodes instead of the hotel and airport requirements specified in the constraints. Alternatively, the structure of the OP can also be created so that it allows sub-tours. The target audience of the tour can be divided into groups based on such factors as age, gender, and trip preference, and different tours can be obtained among the same visitation points using specific constraints. While the objective in the current OP is to find the maximum utility score, the overall distance traveled can also be minimized with the help of goal programming alongside the maximum utility score.

1. Giriş

Oryantiring Problemi (OP), genellikle bir grup noktanın belirli bir zaman dilimi içinde seçilmesi, bu noktalar arasında en kısa rotanın oluşturulması ve toplam faydanın maksimize edilmesi gereken bir optimizasyon problemidir (Gunawan, Lau, & Vansteenwegen, 2016). Bu alanda yapılan çalışmalar, OP'nin Gezin Satıcı Problemi'nin (GSP) bir özel durumu olarak kabul edildiğini göstermektedir (Westerlund, Göthe-Lundgren, & Larsson, 2006). GSP'de amaç genellikle toplam mesafeyi veya maliyeti minimize etmekten, OP'de öncelik toplam faydayı artırmak ve belirli bir zaman aralığında mümkün olduğunca çok noktayı rotaya dahil etmektir (Laporte & Martello, 1990). Bu, OP'yi varış noktalarının seçildiği bir GSP olarak tanımlar. OP, farklı varyasyonlara sahiptir, bunlar arasında Takım OP, Zamana Bağlı OP ve Zaman Pencere OP (ZP-OP) gibi farklı yapılar bulunmaktadır (Karabulut & Tasgetiren, 2020; Verbeeck, Vansteenwegen, & Aghezzaf, 2017).

Her biri belirli kullanım senaryolarına yönelik özel optimizasyon gereksinimleri sunar. Örneğin, Takım OP, birden fazla oryantiring sporcusunun bir araya gelerek bir rotayı optimize etmelerini gerektirebilirken, Zamana Bağlı OP, zaman sınırlamalarını dikkate alarak rotayı oluşturmayı amaçlar. Literatürdeki bu farklı OP varyasyonları, gerçek dünya uygulamalarında karşılaşılan karmaşıklıkları ele almak için önemli bir rol oynamaktadır. Araştırmacılar ve operasyonel planlama uzmanları, bu varyasyonları kullanarak farklı senaryolara uygun çözümler geliştirebilirler.

OP'nin uygulama alanlarından biri, turist gruplarının rotalarının planlanmasıdır ve bu özellikle turistik ziyaretlerin optimize edilmesi gerektiği durumlarda büyük öneme sahiptir. Turistlerin sınırlı bir süre içinde mümkün olduğunca çok noktayı ziyaret etmeleri hedeflenirken, bu noktaların sıralamasını belirlemek, yani turun rotasını oluşturmak, OP'nin bu bağlamda kullanımını gerektirir. Turist rota planlaması, ziyaret edilecek yerlerin belirlenmesiyle başlar. Bu noktaların belirlendikten sonra, turistlerin ziyaret etmeleri gereken noktaların sıralanması ve sınırlı seyahat süresi içinde bu noktaların en etkili şekilde ziyaret edilmesi amaçlanır (Gavalas, Konstantopoulos, Mastakas, Pantziou, & Vathis, 2015). Özellikle turistik yerlerde, ziyaretçi sayısını düşünerek zaman sınırlamaları ve bu noktaların belirli saatlerde açık veya kapalı olması gibi faktörler devreye girebilir. Bu tür zaman kısıtlamaları, OP'nin farklı bir varyasyonunu yaratır ve bu problem ZP-OP olarak adlandırılır (Gavalas, Konstantopoulos, Mastakas, & Pantziou, 2014; Vansteenwegen, Souffriau, & Oudheusden, 2011). ZP-OP, her ziyaret edilecek noktanın en erken ve en geç ziyaret zamanlarını belirler. Bu zaman aralıkları içinde ziyaret edilmeyen noktalar problemi başarısız kılar. Bu nedenle, turist gruplarının seyahat planlarını oluştururken hem noktaların sıralanması hem de zaman penceresi kısıtları dikkate alınmalıdır. Literatürde ZP-OP, turizm yönetimi ve seyahat planlaması alanlarında sıkça çalışılan bir konudur ve turistik destinasyonların daha etkili ve keyifli bir şekilde ziyaret edilmesini sağlamak için önemli bir araç olarak kullanılır (Hashim, Ismail, & Ahmad, 2013; Kolaei, Mirzapour Al-e-Hashem, & Jabbarzadeh, 2023; Mufliq & Utamima, 2023; Paulavičius, Stripinis, Sutavičiūtė, Kočegarov, & Filatovas, 2023).

OP'de dikkate alınması gereken önemli bir konu, zorunlu ziyaretlerin varlığıdır. Bu durumda, çözülmesi gereken problem, belirli noktaların ziyaret edilmesini kesin olarak gerektirebilir (Lin & Yu, 2017). Örneğin, bir turist seyahat planı oluşturulurken, belirli bir bölgede mutlaka görülmesi gereken önemli yerler olabilir. Bu noktalar, turistlerin deneyimlerini zenginleştiren veya bölgenin özgünlüğünü temsil eden yerler olabilir. Bu nedenle, turist rotası bu zorunlu ziyaret yerlerini içermelidir. Benzer şekilde, bir müşteri ziyaret rotası planlanırken bazı müşterilerin mutlaka ziyaret edilmesi gerekebilir. Bu, uzun vadeli iş ilişkilerini sürdürmek veya öncelikli müşterilere hizmet vermek için önemlidir. Müşteri ziyaretlerinin etkili bir şekilde planlanması, işletmelerin müşteri memnuniyetini artırmalarına ve satışlarını artırmalarına yardımcı olabilir. Zorunlu ziyaretler, OP'nin daha karmaşık bir sürümünü oluşturur ve bu tür ziyaretlerin problem çözümü sırasında göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu noktalar, rotanın optimize edilmesi sırasında sabitlenmiş veya belirli bir sırayla ziyaret edilmesi gereken yerler olarak ele alınır. Bu, gerçek dünya uygulamalarında sıkça karşılaşılan bir senaryodur ve operasyonel planlama süreçlerinde dikkate alınması gereken bir detaydır.

OP modellerinin temel amacı genellikle, verilen bir dizi noktanın seçilerek toplam faydanın maksimize edilmesidir (Bianchessi, Mansini, & Speranza, 2018). OP, her düğüme uğrama zorunluluğu olmaksızın elde edilen skoru en büyüklenmeye çalışan bir optimizasyon problemidir. Bu çalışmanın gerçek hayatta personel yönlendirme ve afet yardımı yönlendirme gibi birçok uygulaması mevcuttur. Bu çalışmada, kısıtlı zamanı olan yerli ve yabancı turistler için minimum zamanda maksimum verim alacakları bir gezi rotalaması üzerinde çalışılmıştır. Çıkış noktaları oteldir ve tek günlük bu turda bitiş noktası havalimanı olarak tasarlanmıştır.

Bu çalışmada, ZP-OP çeşitli yeni kısıtlar getirilerek farklılaştırılmış ve tanımlanan yeni problem için karışık tam sayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Önerilen modelin etkinliği, son zamanlarda oldukça revaçta olan turizm şehirlerinden Trabzon bölgesinde yapılacak bir tura dayanan gerçek hayat verileri ile test edilmiştir. Problemi gerçek hayata yaklaştırmak için zorunlu ziyaret konularına yer verilmiş ve amaç fonksiyonu olarak fayda maksimizasyonu belirlenmiştir. Yapılan literatür taraması neticesinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin bu probleme entegre edilmesi yenilik teşkil etmektedir. Seçilen turizm noktaları için fayda puanları ÇKKV yöntemleri ile hesaplanmıştır. Belirli sınırlamalar ile oluşturulan matematiksel modelin CPLEX üzerinde kodlanması gerçekleştirilmiştir. Program tarafından, verilen kısıtlara uygun bir rota oluşturulmuştur.

2. Oryantiring Problemi

GSP, bir satıcının bulunduğu şehirden başlayarak belirli bir listedeki tüm şehirleri bir kez ziyaret ederek tekrar başladığı şehre dönmesi ve bu süreçte kat ettiği mesafenin minimizasyonu ile ilgilenir (Çolak, 2010). Problem yapısında her şehrin diğerine olan mesafesinin bilindiği varsayılır (Dündar & Öztürk, 2020). Ziyaret edilmek üzere verilmiş n adet şehir için mümkün toplam rota sayısı GSP' nin uygun çözümler kümesini oluşturur ve toplam rota sayısı $(n-1)!/2$ ile hesaplanır (Deveci Kocakoç & Pulat, 2019). Araç Rotalama Problemi (ARP) de problemdeki düğümlerin ziyaretinin söz konusu olduğu bir başka problem tipidir (Laporte, 1992). ARP en zorlu kombinatoriyal optimizasyon problemlerinden birisidir (Kadar, Shahjalal, Faisal, & Iqbal, 2011). ARP, GSP' ne benzerliği ile bilinmektedir. ARP, GSP' nin tek tip ve sınırlı kapasiteye sahip birden fazla aracın kullanıldığı ve bazı eklenmiş kısıtlar ile geliştirilmiş haline verilen isimdir.

OP, adını, harita ve pusula yardımıyla katılımcıların şehirden uzak bir arazide kontrol noktalarını en hızlı şekilde bulmaya çalıştıkları bir spordan alır (Vansteenwegen vd., 2011). Oryantiring sporunda bireysel sporcular belirli bir noktadan harekete başlar ve en kısa sürede en fazla noktayı ziyaret ederek belirli son düğüm noktasına ulaşmaya çalışır. Her düğüm noktasının bir puanı vardır ve amaç en fazla puanı elde etmektir.

OP, GSP ve ARP 'ne benzer ancak farklılıkları vardır. GSP' de başlangıç ve bitiş noktaları aynı olmak zorunda iken OP' de öyle bir zorunluluk yoktur. GSP' de amaç seyahat süresini ve mesafesini minimize etmek, ARP' de amaç, bir araç filosu için minimum maliyetli rota kümesi oluşturmaktır OP' de ise toplam skoru maksimize etmektir. Ayrıca OP' de tüm düğümlerin ziyaret edilmesi gerekmez. Seçilen düğümler arasındaki en kısa yolun belirlenmesi, mevcut sürede mümkün olduğu kadar çok düğümü ziyaret etmeye yardımcı olacaktır.

OP' de, öncelikle her biri belirli bir puana sahip bir dizi düğüm belirlenir. Başlangıç noktası ve bitiş noktası sabittir. Düğümler arasında hareket etmek için gereken süreler tüm düğümler için belirlidir. Kullanılabilir süre ile sınırlı olduğundan tüm düğümler ziyaret edilemez. OP' nin amacı, toplanan toplam puanı maksimize etmek olduğu için bazı düğümleri ziyaret eden, toplam zaman ile sınırlı bir yol belirlenir. Her düğüm noktasının en fazla bir kez ziyaret edilebileceği varsayılır.

3. Literatür Taraması

OP ve varyantları hem kombinatoriyal bir optimizasyon problemi olmasıyla hem de birçok gerçek hayat uygulamasının var olmasıyla literatürde kendine geniş yer bulmaktadır. Uygulama alanlarının geniş olması, varyant sayısının fazla olması ve problemlerin çözümü için birçok yöntem geliştirilmesi konu hakkında araştırma makalelerinin yazılmasını sağlamıştır. OP' in çeşitli alanlarda farklı uygulamalarından dikkat çekici olanları Tablo 1' de gösterilmiştir.

Bu literatür taraması tablosu, OP alanında çeşitli çalışmalarını özetlemektedir. Bu çalışmalar, OP' nin farklı yönlerini ele almış ve çeşitli çözüm yöntemleri kullanmıştır. OP' yi çözmek için farklı çözüm yöntemleri kullanmıştır. Bunlar arasında Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Dinamik Programlama, Genetik Algoritmalar, Açgözlü Algoritmalar, Matematiksel Programlama gibi çok çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu, OP' nin farklı zorluklarına farklı yaklaşımlar gerektirebileceğini göstermektedir. İlgili çalışmalar, OP' nin çeşitli versiyonlarını ele almaktadır. Örneğin, Seyahat ve Hizmet Problemi, Tur Planlaması, Rotalama Problemi gibi farklı OP türleri üzerinde çalışılmıştır. Bu da OP' nin farklı uygulama senaryolarında karşılaşılan sorunları içerdiğini göstermektedir. Çalışmalar, OP' nin sadece turizm alanında değil, aynı zamanda tarım, lojistik, sağlık, tedarik zinciri yönetimi gibi farklı sektörlerde de uygulanabileceğini göstermektedir. Bu, OP' nin çok yönlü bir optimizasyon problemi olduğunu ve farklı endüstriler için değerli çözümler sunabileceğini vurgulamaktadır. İncelenen çalışmalar, farklı coğrafi bölgelerde gerçekleştirilmiştir. Bu, OP' nin dünya genelinde çeşitli yerlerde uygulanabilir olduğunu ve yerel koşullara uygun çözümler gerektirebileceğini göstermektedir.

Literatür taraması, OP' nin multidisipliner bir karaktere sahip olduğunu ve farklı alanlarda farklı problemleri ele alabileceğini göstermektedir. Ayrıca, çözüm yöntemlerinin ve uygulama alanlarının geniş bir yelpazede mevcut olduğunu ve OP' nin pratikte çok sayıda çeşitli soruna uygulanabileceğini göstermektedir.

Takım Oryantiring Problem (TOP), GSP ve OP' nin bir varyantıdır. TOP bir NP-zor problem olduğundan (Chao, Golden, & Wasil, 1996), araştırma çabaları temel olarak buluşsal yöntemler ve meta sezgisel yöntemlere odaklanır. Ke vd. (2008) meta sezgisel yöntem olan Karınca Kolonisi Optimizasyonu yöntemi kullanmıştır. Literatürde TOP üzerine yapılan çeşitli çalışmalarla karşılaşmak mümkündür. (Su & Nan, 2023), TOP' nin farklı bir uygulamasıdır. Daha önce vurgulandığı gibi OP' nin birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Ancak bunlardan en çok bilinen ve üzerinde en çok çalışma yapılanı turist gezisi tasarımıdır. Campell vd (2011) yolculuk ve servis sürelerinin stokastik olduğu varsayılmıştır. Problemin çözümü için Dinamik Programlama ve Değişken Komşu Arama Sezgiseli Kullanılmıştır.

OP' nin uygulandığı farklı bir alan da sağlık olmuştur. Nuraiman & Ozlen (2022) evde sağlık hizmetinde yeterli sayıda hasta bakımının bulunmaması ya da talebin fazla olması durumlarında karşılaşılan problemi OP' ye uyarlamıştır. Daha sonra hasta filtrelemeli uzamsal-zamansal ayrıştırma adı verilen verimli bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Su & Nan (2023), firmaların sıkışık kentsel alanlarda müşterilere mal teslim ettiği pratik durumlardan kaynaklanan çoklu teslimatçıları dikkate alan zaman pencereli bir takım oryantiring problemi (ZP-TOP) önermektedir. Problemin çözümü için çeşitli sezgisel ve metasezgisel yöntemler denenmiş ve uygulanması için de CPLEX kullanılmıştır.

Tablo 1. Literatür taraması özeti

Çalışma	Çözüm Yöntemi	Ele Alınan Problem	Uygulama Alanı	Lokasyon
(Ke, Archetti, & Feng, 2008)	Statik Kombinatoriyal Optimizasyon için Algoritma	Karınca Kolonisi Optimizasyonu	TOP için Optimal Sonucu Veren Yöntemin Araştırılması	Brescia, İtalya
(Campbell, Gendreau, & Thomas, 2011)	Dinamik Programlama	Seyahat ve Hizmet	Turizm	Kanada ve ABD
(Li & Hu, 2011)	Buluşsal ve Kesin Algoritma ve Doğrusal Programlama	Rotalama ile toplam geliri en üst düzeye çıkarılması	Simülasyon Örneği olarak	Beijing, Çin
(Vansteenwegen vd., 2011)	Stokastik ve Deterministik Algoritma	Maksimum Toplama Sorunu	Anket ve Genel yoklama	Leuven, Belçika
(Mann, Zion, Rubinstein, Linker, & Shmulevich, 2016)	Dinamik Programlama	Robotik Tarım	Tarım	New York, ABD
(Chou, Gambardella, & Montemanni, 2018)	Meta Sezgisel ve Sezgisel Algoritma	Stokastik Seyahat ve Hizmet Süreleri	Lojistik ve turizm	Manno, İsviçre
(Wibowo & Handayani, 2019)	Genetik Algoritma ve K- Means Algoritma	Seyahat Programı ve Restoran Seçimi	Lojistik ve turizm	Yogyakarta, Indonesia
(Wang, Lin, & Lee, 2018)	Karışık Tamsayı Programlama	Tur Planlaması	Turizm	Penghu Archipelago, Çin
(Gunawan, Lau, & Lu, 2018)	Deney Tasarımı (DoE), Yinelemeli Yerel Arama ve Simüle Tavlama ve Yinelemeli Yerel Arama Hibridizasyonu	Uyarlanabilir Operatör Sıralaması	Üretim, İmalat, Nakliye ve Lojistik	Singapur
(Sohrabi, Ziarati, & Keshtkaran, 2020)	Greedy Rastgele Uyarlanabilir Arama Prosedürü	Hotel Seçimi	Turizm	Shiraz, İran
(Tenemaza, Lujan-Mora, De Antonio, & Ramirez, 2020)	Genetik Algoritma ve K- Means Algoritma	Güzergâh/R ota İyileştirme Çalışması	Turizm	Paris, Fransa
(Bayliss, Juan, Currie, & Panadero, 2020)	Makine Öğrenimi Algoritması ve Matematiksel Programlama	Drone Rotalama	Ulaşım, Teknoloji	İspanya
(Demange, Ellison, & Jouve, 2021)	Açgözlü Algoritma	Çevrimiçi zamanlama ve orman yangınları acil durum yönetimi	Acil Durum Yönetimi	Avustralya ve Fransa
(Choachaicharenkul, Coit, & Wattanapongsakorn, 2022)	Açgözlü Algoritma	Gezi Planlaması	Turizm	Rattanakosin Island, Tayland
(Yadav & Tanksale, 2022)	MIP tabanlı ayrıştırma buluşsal yöntemi ve Genetik Algoritma	Toplam seyahat süresi/mesafe e ile sınırlı yol belirleme/rotalama	Üretim, İmalat, Nakliye ve Lojistik	Singapur
(Nuraiman & Ozlen, 2022)	Hasta Filtrelemeyle Mekansal ve Zamansal Ayrıştırma	Evde Sağlık Hizmeti Yönlendirme si ve Planlaması	Sağlık	Siclován
(Khodadadian, Divsalar, Verbeeck, Gunawan, & Vansteenwegen, 2022)	Değişken Mahalle Araması ve Matematiksel Modelleme	Turistik Gezi Planlaması	Turizm	Shiraz, İran
(Vu, Kergosien, Mendoza, & Desport, 2022)	Şube ve Kontrol Yöntemleri, Matematiksel Modelleme	Turistik Gezi Planlaması	Turizm	Val de Loire, Fransa
(Su & Nan, 2023)	Gelişmiş Sezgisel Yöntem	Teslimat süreci	Tedarik Zinciri	Brezilya
(Moosavi Heris, Ghannadpour, Bagheri, & Zandieh, 2022)	Çok Amaçlı Genetik Algoritma	Seyahat rotalama	Turizm	Tahran, İran

Yapılan literatür taraması sonucunda bu çalışmaya en benzer çalışma olarak Wang vd'nin 2018 yılında Çin'de yaptığı çalışma tespit edilmiştir (Wang vd., 2018). Wang vd., sınırlı menzile sahip elektrikli araçları dikkate alarak ZP-OP genişletmektedir. Önerilen model, zaman pencereleri ile elektrikli araç veya intermodal turist gezisi tasarımı problemini çözebilmektedir (Wang vd., 2018). Bu çalışmada ise farklı olarak turizm noktalarının fayda puanları ÇKKV yöntemleri kullanılarak belirlenmektedir. Ayrıca gerçek hayat problemlerine uygun olarak bazı zorunlu ziyaretler modele dahil edilmiştir.

Bu bağlamda, bu çalışmanın yenilikçi yönleri mevcuttur. Çalışmada, OP'de fayda puanlarının ÇKKV yöntemleri ile belirlenmesi gibi yenilikçi bir yaklaşım benimsenmektedir. Bu yöntem, OP'yi farklı açılardan ele almaya olanak tanırken, aynı zamanda gerçek

hayat problemlerine daha yakın bir model sunmaktadır. Ayrıca, ilk ve son ziyaret noktalarını sabitleyerek OP daha pratik ve gerçekçi bir temelde ele alınmaktadır. Bu yaklaşım, OP'nin uygulamaları sırasında karşılaşılan koşulları daha iyi yansıtmaya olanak tanmaktadır. Bu nedenle, bu çalışma literatüre önemli bir katkı sunarken ve OP alanında yeni bir bakış açısı getirecektir.

4. Önerilen Metodoloji

Bu çalışmanın temelini oluşturan önerilen metodoloji, OP ele alırken yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yaklaşım, iki temel parçadan oluşmaktadır ve OP'nin daha etkili çözümünü amaçlamaktadır.

İlk adımda, ziyaret noktalarının fayda puanları belirlenmektedir. Bu adım, geleneksel yöntemlerden farklı olarak hibrit bir ÇKKV metodolojisi kullanmaktadır. ÇKKV, fayda puanlarını belirlerken çoklu kriterleri dikkate alarak daha kapsamlı bir değerlendirme sağlar. Bu sayede, ziyaret noktalarının önem sıralamaları daha hassas bir şekilde yapılabilir ve OP'nin ana amacı olan toplam faydayı maksimize etme hedefi daha iyi karşılanabilir.

İkinci adımda, belirlenen fayda puanlarıyla desteklenen ziyaret noktalarını içeren bir karışık tamsayı matematiksel model oluşturulmuştur. Bu model, OP'yi daha sistematik bir şekilde ele almayı mümkün kılar. Karışık tamsayı programlama kullanılarak oluşturulan bu model, OP'nin karmaşıklığını ve farklı kısıtlamalarını göz önünde bulundurarak en iyi rotanın belirlenmesine yardımcı olur.

4.1. Fayda Puanlarının Belirlenmesi

Ele alınan problemde seçilen alternatiflerin ve kriterlerin değerlendirilmesi aşamasında bazı ÇKKV tekniklerinden yararlanılmıştır. Uygulanan bu yöntemler karşılaştırma sürecinin sağlıklı bir şekilde ilerlemesine olanak sağlamıştır.

Ziyaret noktalarının fayda puanlarının belirlenmesinde etkili olan kriterler ÇKKV yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile ağırlıklandırılırken, ziyaret noktalarının fayda puanlarının belirlenmesinde Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution (TOPSIS) yöntemine başvurulmuştur.

4.1.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi

AHP 1977'de Thomas L. Saaty (1977) tarafından geliştirilmiş olup, grup ve/veya bireylerin öncelikleri üzerine inşa edilmiştir. Nicel ve nitel ölçütleri bir arada değerlendirebilen bu teknikte karar vericinin tecrübesi, bilgisi ve sezgisi de yapıya dahil edilebilmekte, subjektif ve objektif yargılar bir arada bulunmaktadır (Ayyıldız & Taskin, 2022). Kurulan bu yöntemle karar vericilerin daha etkin karar vermeleri amaçlanmıştır. Yöntemin algoritmik adımları ve problemdeki uygulanması aşağıdaki biçimdedir (Ömürbek, 2014);

Adım 1. Problem Belirlenir. Gerekli ölçütler ve bu ölçütlerin öncelikleri belirlenir.

Adım 2. İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Karşılaştırma matrisinde köşegen elemanları 1 olacak şekilde birbirlerine göre 1-9 arası önem dereceleri belirlenmiş kare bir matris oluşturulur. "a_{ij}" ifadesi, i ölçütü j ölçütüne göre ne derecede tercih edilmelidir? sorusunun cevabını ifade eder ve buna karşılık a_{ji} ifadesi ise 1/a_{ij} den elde edilir. Matrislerde kullanılan 1-9 karşılaştırma ölçütleri Saaty (1977) tarafından önerilmiştir ve Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. Karşılaştırma Ölçeği Tablosu

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit öneme sahip	İki seçenekte eşit derecede öneme sahiptir.
2	Zayıf ya da hafif	
3	Biraz önemli	Bir ölçüt diğerine göre biraz daha baskındır.
4	Makul artı	
5	Fazla Önemli	Bir ölçüt diğerine göre çok daha önemlidir.
6	Güçlü artı	
7	Çok fazla önemli	Ölçüt diğerine göre kesinlikle daha önemlidir.
8	Çok çok güçlü	
9	Son derece önemli	Ölçütün diğerine göre son derece önemli olduğu bilgilere

Adım 3. Karşılaştırma matrisleri normalize edilir. Matristeki her değer kendi sütun toplamına bölünerek normalizasyon gerçekleştirilir. Normalize edilmiş matrislerin her birinin toplamı 1 olur.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}; i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

formülü kullanılır.

Adım 4. Önem ağırlıklarının hesaplanmasıdır. Normalize edilmiş matriste her satırın toplamı matris boyutuna bölünerek ortalaması alınır. Böylelikle her ölçüt için önem ağırlıkları hesaplanmış olur.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n a'_{ij}; i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

formülü kullanılır.

Adım 5. Tutarlılık oranı hesaplanır. Önceliklerin belirlenmesinin ardından tutarlılık oranı hesaplamaları yapılır. Bu oranın hesaplanması için birçok yöntemden bir tanesi olan “Tutarlılık İndeksi (Consistency Index-CI)” adı verilen katsayının hesaplanması gerekir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right) \quad (4)$$

Ayrıca tutarlılığı değerlendirebilmek için “Rassal İndeks (Random Index-RI)” değerinin bilinmesi gerekir. n boyutlu karşılaştırma matrisleri için tanımlanan RI değerleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Karşılaştırma matrislerinin boyutlarına göre RI değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

CI ve RI değerleri belirlendikten sonra “Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio-CR)” hesaplanır. $CR = \frac{CI}{RI}$ eşitliğinin 0,10’den küçük olması durumunda matrisin tutarlı olduğu kararına varılır.

Adım 6. Karar seçenekleri sıralanır. Elde edilen önem ağırlıkları sıralanır. Öncelikler belirlenmiş olur.

4.1.2. TOPSIS

TOPSIS, Hwang & Yoon (1981) tarafından bir ÇKKV metodolojisi olarak geliştirilmiş ve on yıllar boyunca birçok farklı uygulama alanında büyük bir başarıyla uygulanmıştır (Biscaia, Braghini Junior, & Colmenero, 2021). TOPSIS, negatif ideal çözüme maksimum ve pozitif ideal çözüme minimum uzaklığa sahip en iyi alternatifi belirlemeye çalışır (Hezer, Gelmez, & Özceylan, 2021). TOPSIS, birden fazla alternatifi seçmek ve/veya sıralamak için kullanışlı bir yöntemdir (Elibal & Özceylan, 2022; Yorulmaz, Yıldırım, & Yıldırım, 2021). Yöntem, kullanıcı dostu yapısı ve diğer tekniklerden avantajları nedeniyle akademisyenler ve uygulayıcılar tarafından çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Bertolini, Esposito, & Romagnoli, 2020). TOPSIS oldukça güvenilir yapısı ile öne çıkmaktadır (Bertolini vd., 2020). Yöntemin adımları ve problemimizde elde ettiğimiz veriler aşağıdaki gibidir (Yıldız, Guneri, Ozkan, Ayyıldız, & Taskin, 2022).

Adım 1. Karar Matrisi (A) oluşturulur.

Karar matrisinin satırlarında $i=1,2,\dots,m$ alternatifler, sütunlarında ise $j=1,2,\dots,n$ kriterler yer almaktadır. A matrisi karar verici tarafından oluşturulan veri matrisidir. Karar matrisi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$a_{ij} = [a_{11} \dots a_{1n} \dots a_{m1} \dots a_{mn}] \quad (5)$$

Adım 2. Normalize karar matrisi (R) oluşturulur.

TOPSIS yönteminde normalize edilmiş karar matrisi için vektör normalizasyonu kullanılmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (6)$$

$$R_{ij} = [r_{11} \dots r_{1n} \dots r_{m1} \dots r_{mn}] \quad (7)$$

Adım 3. Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi (V) oluşturulur. Adım 3. Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi (V) oluşturulur.

Öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri w_i belirlenir. $\sum_{i=1}^n w_{i=1}$ Daha sonra R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili değeri ile çarpılarak V matrisi oluşturulur. V matrisi aşağıda gösterilmiştir:

$$V_{ij} = [w_1 r_{11} \dots w_n r_{1n} \dots w_1 r_{m1} \dots w_n r_{mn}] \quad (8)$$

Adım 4. Pozitif İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) çözümler oluşturulur.

$$A^* = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (9)$$

$$A^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (10)$$

$$A^* = \{v_1^* v_2^* \dots v_n^*\} \quad (11)$$

$$A^- = \{v_1^- v_2^- \dots v_n^-\} \quad (12)$$

Adım 5. Her alternatifin pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüme uzaklıkları hesaplanır. Yöntemde her bir alternatife ilişkin ölçüt değerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm setinden uzaklıklarının belirlenmesinde Öklid Uzaklık Yaklaşımından yararlanılmaktadır. Buradan elde edilen alternatiflere ilişkin uzaklık değerleri ise Pozitif İdeal çözüme uzaklık (S_i^*) ve Negatif İdeal çözüme uzaklık (S_i^-) olarak adlandırılmaktadır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (13)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (14)$$

Adım 6. İdeal çözüme göreceli yakınlık değerleri hesaplanır.

Her bir alternatifin ideal çözüme göreceli yakınlığının (C_i^*) hesaplanmasında pozitif idealden ve negatif idealden uzaklık ölçüleri kullanılmaktadır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad (15)$$

Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^* = 1$ ilgili alternatifin pozitif ideal çözüm noktasında bulunduğunu, $C_i^* = 0$ ilgili alternatifin negatif ideal çözüm noktasında bulunduğunu gösterir.

4.2. Karışık Tamsayılı Matematiksel Model

Ele alınan problemde amaç maksimum faydayı sağlayacak noktaların ziyaret edilmesidir. Modelde her nokta maksimum bir defa ziyaret edilebilir. Her ziyaret noktasının belirli bir fayda puanı, v_i ve orada geçirilecek süresi O_i vardır. Ayrıca her düğüm noktası için açılış ve kapanış saatleri mevcuttur. Problemde D düğümler kümesi, P ziyaret edilebilecek düğümler kümesi, Z zorunlu noktalar kümesi olarak tanımlanmıştır. 1 numaralı düğüm oteli, n numaralı düğüm de havaalanını temsil etmektedir. Başlangıç ve bitiş noktası olarak belirlenen otel ve havaalanı düğümler kümesinde yer almakla beraber ziyaret noktalarından sayılmamaktadırlar. Modelde düğüm noktalarına giriş için belirli süre kısıtı dahilinde bekleme imkânı eklenmiştir ve ayrıca uğranılması zorunlu tutulan noktalar belirlenmiştir. Düğümler arası gidiş sürelerinin eşit olduğu ($T_{ji} = T_{ji}$) varsayılmıştır. Otelden 0 anında çıkılıp tur sonunda

belirlenen süreden önce havalimanında olunması gerektiği de eklenmiştir. Çalışmalar neticesinde hazırlanan Karışık Tamsayılı Programlama matematiksel modeli aşağıda verilmiştir.

Parametreler:

i ve j düğüm indisleri $i, j \in 1, 2, 3, \dots, n \ i \neq j$

D düğümler kümesi $1, 2, \dots, n$

P ziyaret edilebilecek noktalar kümesi $2, 3, \dots, 18 \ P \subset D$

Z Zorunlu ziyaret edilecek düğümler kümesi $(2, 4, 9, 18) \ Z \subset D, P$

T_{ij} i . düğümden j . düğüme gidiş süresi

X_i i düğümünün fayda puanı

E_i i düğümün açılış zamanı

G_i i düğümün kapanış zamanı

O_i Ziyareti noktasındaki geçirilen süre

M Yeterince büyük bir sayı

α Rota tamamlanma süresi

β Maksimum bekleme zamanı

Karar Değişkenleri:

A_i i . düğümden ayrılma zamanı

V_i i . düğüme varış zamanı

B_i i . Düğümünün açılışını bekleme süresi

$$Y_{ij} \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ ile } j \text{ arasındaki yol kullanılıyorsa;} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$$

$$C_i \begin{cases} 1, & \text{eğer düğüm } i \text{ ziyaret edilirse;} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Max} Z = \sum_{i=2}^{n-1} X_i C_i \quad (16)$$

Kısıtlar:

$$V_i + B_i \geq E_i; \forall i \in D \quad (17)$$

$$A_i \leq G_i; \forall i \in D \quad (18)$$

$$A_i = V_i + O_i + B_i; \forall i \in D \quad (19)$$

$$A_1 = 0 \quad (20)$$

$$V_i \leq \alpha; \forall i \in D \quad (21)$$

$$V_n \geq V_i; \forall i \in P \quad (22)$$

$$V_{(n-1)} \geq V_i; \forall i \in P \quad (23)$$

$$V_4 \leq V_i; \forall i \in P \quad (24)$$

$$V_1 \leq V_i; \forall i \in P \quad (25)$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} Y_{ij} \leq 1; \forall j \in D; \quad (26)$$

$$\sum_{i=2}^{n-1} Y_{ij} - \sum_{i=2}^{n-1} Y_{jk} = 0; \forall j, k \in P, i \neq k \quad (27)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{1j} - \sum_{i=1}^n Y_{i1} \geq 1 \quad (28)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_{i19} - \sum_{j=1}^n Y_{19j} \geq 1 \quad (29)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{ij} \geq 1; \forall i \in Z \quad (30)$$

$$T_{ij} \leq V_J - A_i + (M1 - Y_{ij}); \forall i, j \in D \quad (31)$$

$$T_{ij} \geq V_J - A_i + (MY_{ij} - 1); \forall i, j \in D \quad (32)$$

$$C_J \beta \geq B_J; \forall j, \in D \quad (33)$$

$$A_i, V_i, B_i \geq 0; \forall i, \in D \quad (34)$$

$$C_J = \sum_{i=1}^n Y_{ij}; \forall j, \in D \quad (35)$$

$$C_i = \{0, 1\}; \forall i \in D \quad (36)$$

$$Y_{ij} = \{0, 1\}; \forall i \in D \quad (37)$$

Amaç fonksiyonu (16) uğranılan düğümlerin toplam faydasını maksimize eder. Kısıt (17) herhangi bir düğüme varış zamanı ve bekleme süresinin toplamının açılış zamanına eşit ya da büyük olması gerektiğini ifade eder. Kısıt (18) ayrılma zamanının kapanış zamanından önce olmasını ifade eder. Kısıt (19) herhangi bir düğümden ayrılma süresini o düğüme varış zamanına servis süresini ve bekleme süresini ekleyerek bulmayı sağlar. Kısıt (20) ve (21) başlangıç anında otelden ayrılmayı ve son gezi saatinden önce havalimanında olmayı ifade eder. Kısıt (22) havalimanına varış zamanının diğer düğümlere varış zamanından büyük olması gerektiğini ifade eder. Kısıt (23) havalimanından önce gidilmesi gereken ziyaret noktasını belirlemektedir. Bu kısıt ile birlikte turistlerin havalimanından önce nereye gideceği belirlenmiştir ve böylece alışveriş yaparak ekonomiye katkı sağlamaları amaçlanmaktadır. Kısıt (24) otelden çıkıldıktan sonra ziyaret edilecek ilk noktayı belirlemektedir. Bu noktada yolcuların kahvaltı yaparak güne hazırlanmaları amaçlanmaktadır. Kısıt (25) turun otelden başlamasından dolayı otelin varış süresinin diğer noktalardan daha küçük olması gerektiğini belirlemektedir. Kısıt (26) her noktanın en fazla 1 kere ziyaret edilmesini sağlar. Kısıt (27) başlangıç ve bitiş noktaları hariç denge kısıtıdır. Kısıt (28) ve (29) otel ve havalimanı için denge kısıtıdır. Kısıt (30) zorunlu ziyaret noktalarını sağlar. Kısıt (31) ve (32) ulaşılan düğüme varış zamanından bir önceki düğümden ayrılış zamanının çıkarılmasıyla yolculuk süresini bulmayı amaçlar. Kısıt (34), uğranılan noktalarda en fazla maksimum bekleme zamanı kadar beklemenin mümkün olduğunu ifade eder. Kısıt (35) pozitiflik kısıtıdır. Kısıt (36) ziyaret edilen noktaların belirlenmesini sağlar. Kısıt (37) ve (38) ise karar değişkeni kısıtlarıdır.

5. Uygulama

Günümüzde yerli ve yabancı misafirlerinin memnuniyetle ayrıldığı en önemli durak noktalarından biri Trabzon'dur. Popüler mekanları, hala korumaya devam edilen doğal güzelliklerinin yanı sıra Karadeniz insanının misafirperverliği ile her geçen gün Trabzon'u durak noktası bilen turistlerin sayısı artmaktadır. 2022 yılı Aralık ayı itibarıyla Trabzon' a sadece dış hatlardan gelen uçak sayısı 2 bin 640'ı geçtiği kayıtlara geçmiştir. Dış hatlar yolcu sayısı 370 binin üzerine çıkmıştır. Trabzon şehri özellikle yılın ilk yarısında yabancı turistlerin ilgi odağı olmuştur. Büyümesiyle adından söz ettiren Trabzon şehrinde her geçen gün turizm sektörü büyüdüğü gibi problemleri de bu doğrultuda büyümektedir (URL-1, 2022).

Karadeniz'in en önemli şehirlerinden biri olan Trabzon'da oryantiring problemi kapsamında yapılan bir çalışma örneği bulunmaktadır. Bununla beraber ise her geçen yıl turist sayısında önemli bir artış görülmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın Trabzon'da yapılmasına karar verilmiştir. Ziyaret edilecek düğüm noktaları seçimi kapsamında bölge halkından ve tur şirketlerinden görüşler alınmıştır. Trabzon Belediyesi' nin verilerinden faydalanılmıştır.

Son zamanlarda yerli ve yabancı turistlerin sıklıkla tercih ettiği 17 nokta belirlenmiştir. Bu noktalardan bazıları doğal güzellikleri ile ön plana çıkmışken bazıları ise tarihi yapısından dolayı turistlerin ilgisini çekmiştir. Trabzon şehrinin tarihte çeşitli inançlardaki toplumlara ev sahipliği yapmasından dolayı tarihi ve dini yapıların varlığı da söz konusudur. Tarihi yapılar olarak modele eklenmiş noktalardan biri Atatürk Köşkü olmuştur. Atatürk Köşkü, Atatürk' ün 1934 ve 1937 yıllarındaki şehri ziyareti ile bu adı almıştır. Sümela Manastırı, Ayasofya Müzesi, Kızlar Manastırı ve Vazelon Manastırı, şehirde inanç turizminin gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Doğal güzellikleri ile tanınan Trabzon' da çok sayıda yayla bulunmaktadır. Modele eklenmiş olan yaylalar da son zamanlarda sık tercih edilen bölgeler olarak tercih edilmiştir. Hıdırnebi yaylası, Karadağ yaylası, Uzungöl, Hamsiköy, Şahinkaya, Haçkallı yaylası, Uçarsu Şelalesi ve Karadağ yaylası bu bölgelere örnek olarak gösterilebilir. Bakırcılık geleneğini de halen sürdürmekte olan Trabzon halkının ürünlerini ürettiği atölyelerinin ve satışların yapıldığı dükkanların bulunduğu Bakırcılar Çarşısı da turistlerin ilgisini çekmektedir ve modele eklenmiştir. Modelde kullanılan 19 düğüm noktasının harita gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Düşüm Noktalarının Harita Gösterimi

5.1. Fayda Puanlarının Belirlenmesi

Ele alınan problemde seçilen alternatiflerin ve kriterlerin değerlendirilmesi aşamasında bazı ÇKKV tekniklerinden yararlanılmıştır. Uygulanan bu yöntemler karşılaştırma sürecinin sağlıklı bir şekilde ilerlemesine olanak sağlamıştır.

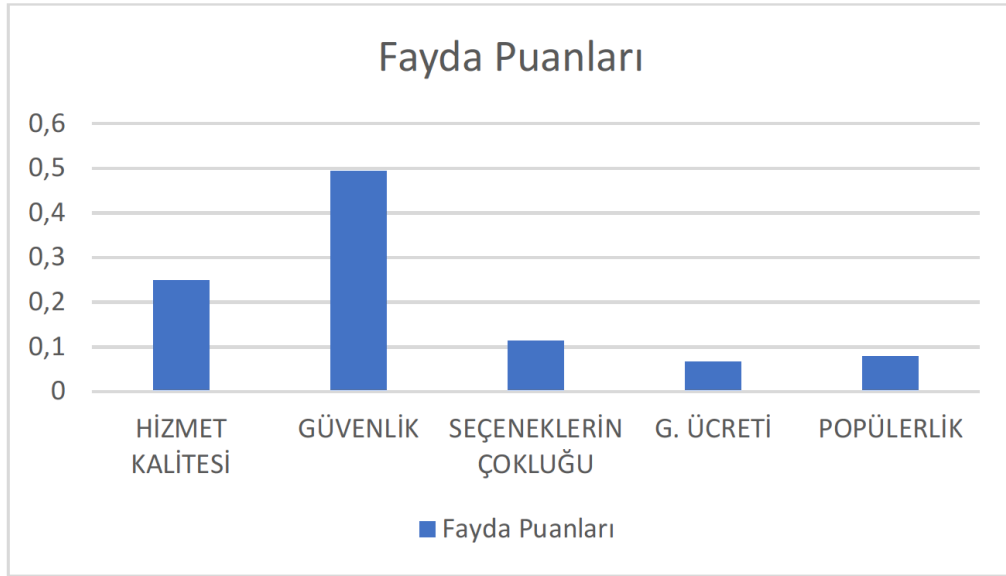
Belirlenen kriterler ÇKKV yöntemlerinden AHP ile değerlendirilirken, alternatifler (gezi noktaları) için yine ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS' e başvurulmuştur.

Ele aldığımız problemde çeşitli uzman görüşleri ve grup kararı doğrultusunda kriterlerin ağırlıkları aşağıdaki tablolarda belirtildiği gibi oluşturulmuştur. Tablo 4' te kriterlerin amaç temelinde ikili karşılaştırma matrisi verilmiştir. Adımları yukarıda verilen AHP'nin tutarlılık oranı (Consistency Ratio-CR) hesaplanmıştır ve CR=9,2% bulunmuştur. Bulunan bu değer 10%'dan küçük olması istenmekte ve bu koşul sağlanmaktadır.

Tablo 4. Amaç temelinde kriterler

	Hizmet Kalitesi	Güvenlik	Seçeneklerin Çokluğu	Giriş Ücreti	Popülerlik
Hizmet Kalitesi	1	0,25	4	2	6
Güvenlik	4	1	4	6	6
Seçeneklerin Çokluğu	0,25	0,25	1	2	2
Giriş Ücreti	0,5	0,17	0,5	1	0,5
Popülerlik	0,17	0,17	0,5	2	1
Satır	5,917	1,834	10	13	15,5

Daha sonra yöntemin adımı uygulanmış ve kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Şekil 2, her bir kriterin AHP yöntemiyle elde edilmiş ağırlıklarının grafiksel gösterimidir.



Şekil 2. Fayda Puanları / Satır Ortalamaları

Daha sonra her bir ziyaret noktasının belirlenen kriterler özelinde değerlendirilmesi yapılmıştır. Tablo 5’de alternatifler ve kriterler için oluşturulan karar matrisi gösterilmektedir. Bu matris TOPSIS uygulamasına temel oluşturmuştur.

Tablo 5. TOPSIS için karar matrisi

	Hizmet Kalitesi	Güvenlik	Seçeneklerin Çokluğu	Giriş Ücreti	Popülerlik
1-Atatürk köşkü	9	9	3	5	7
2-Sümela manastırı	9	9	4	9	5
3-Ayasofya müzesi	7	9	2	4	4
4-Boztepe	3	3	2	1	5
5-Ortamahalle evleri	3	1	4	1	2
6-Vazelon manastırı	1	3	4	1	1
7-Çal mağarası	8	5	2	5	5
8-Uzungöl	9	5	6	1	9
9-Hıdırmehi yaylası	8	1	3	1	2
10-Hamsiköy	6	1	3	1	4
11-Şahinkaya	8	3	4	4	3
12-Haçka yaylası	3	1	2	1	1
13-Uçarsu şelalesi	3	1	2	1	2
14-Sera gölü	7	5	4	3	2
15-Sürmene Çamburnu	9	3	6	2	6
16-Karadağ yaylası	3	1	2	1	2
17-Meydan Parkı	6	5	3	1	8

Karar matrisi elde edildikten sonra TOPSIS yönteminin diğer adımları uygulanmıştır ve alternatif noktaların fayda puanları elde edilmiştir. Fayda puanları ve bu puanların sıralaması Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. Fayda puanları

Düğüm Noktaları	Ci*	Sıralama
1-Atatürk köşkü	0,871	1
2-Sümela manastırı	0,820	2
3-Ayasofya müzesi	0,817	3
4-Boztepe	0,297	10
5-Ortamahalle evleri	0,178	14
6-Vazelon manastırı	0,273	11
7-Çal mağarası	0,528	6
8-Uzungöl	0,583	4
9-Hıdırnebi yaylası	0,269	12
10-Hamsiköy	0,234	13
11-Şahinkaya	0,359	9
12-Haçka yaylası	0,167	17
13-Uçarsu şelalesi	0,169	15
14-Sera gölü	0,520	7
15-Sürmene Çamburnu	0,406	8
16-Karadağ yaylası	0,169	16
17-Meydan Parkı	0,535	5

Yapılan TOPSIS hesaplamasında kriter karşılaştırmalarındaki değerleri ile en büyük değerlere sahip olan Atatürk Köşkü, Sümela Manastırı ve Ayasofya Müzesi sırasıyla tablonun ilk üç değerini oluşturmaktadır.

5.2. Önerilen Matematiksel Modelin Uygulanması

Seçilen düğüm noktalarının birbirleri arasındaki mesafeler Google Maps üzerinden hesaplanmış ve Tablo 7’de verilen mesafe matrisi oluşturulmuştur. Her düğümün kendisine olan uzaklığı model çözümünü sekteye uğratmaması için çok büyük bir sayı olan ‘9999’ ile ifade edilmiştir.

Tablo 7. Mesafe matrisi

Mesafe Matrisi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1-Otel	9999	13	57	6	6	20	37	54	85	53	47	60	60	38	13	40	71	2	9
2-Atatürk köşkü	13	9999	62	12	14	24	41	58	93	57	52	64	64	60	18	48	72	14	17
3-Sümela	57	62	9999	54	56	59	36	103	131	103	47	110	81	108	60	83	126	52	52
4-Ayasofya müzesi	6	12	54	9999	11	9	39	50	89	50	48	57	55	53	9	41	69	6	9
5-Boztepe	6	14	56	11	9999	17	41	58	89	56	49	63	62	60	17	43	76	9	11
6-Ortamahalle	20	24	59	9	17	9999	45	45	95	44	53	52	49	47	7	48	61	13	18
7-Vazelon	37	41	36	39	41	45	9999	85	116	81	27	88	60	85	44	66	106	37	36
8-Çal Mağarası	54	58	103	50	58	45	85	9999	138	67	95	9	39	62	51	88	42	53	57
9-Uzungöl	85	93	131	89	89	95	116	138	9999	138	124	145	144	143	95	51	158	84	81
10-Hıdırnebi	53	57	103	50	56	44	81	67	138	9999	96	75	87	69	52	90	26	52	56
11-Hamsiköy	47	52	47	48	49	53	27	95	124	96	9999	101	77	110	65	88	116	56	57
12-Şahinkaya	60	64	110	57	63	52	88	9	145	75	101	9999	46	67	57	97	48	59	62
13-Haçka Yaylası	60	64	81	55	62	49	60	39	144	87	77	46	9999	37	57	96	68	58	62
14-Uçarsu Şelalesi	38	60	108	53	60	47	85	62	143	69	110	67	37	9999	46	92	80	55	42
15-Sera Gölü	13	18	60	9	17	7	44	51	95	52	65	57	57	46	9999	48	68	13	16
16-Sürmene	40	48	83	41	43	48	66	88	51	90	88	97	96	92	48	9999	112	38	35
17-Karadağ	71	72	126	69	76	61	106	42	158	26	116	48	68	80	68	112	9999	71	75
18-Meydan Parkı	2	14	52	6	9	13	37	53	84	52	56	59	58	55	13	38	71	9999	9
19-Havalimanı	9	17	52	9	11	18	36	57	81	56	57	62	62	42	16	35	75	9	9999

Tablo 8’da koyu renk ile gösterilmiş düğüm noktaları modelde uğranılması zorunlu olarak seçilmiş noktalar. Ayrıca tabloda her bir noktanın fayda puanını, ziyaret süresini ve başlangıç-bitiş saatini görebilmekteyiz. Ziyaret süreleri uğranılacak yerlerdeki yapılabilecek aktiviteler göz önüne alınarak atanmıştır. Maksimum bekleme süresi olarak 30 dk. alınmıştır.

Tablo 8. Düğüm verileri

Düğüm	Gezi Yerleri	Başlangıç Saati	Bitiş Saati	Fayda Puanı	Ziyaret Süresi
1	Otel	9:00	23:00	0	0
2	Atatürk köşkü	9:00	17:00	0,871	45 dk
3	Sümela Manastırı	9:00	19:00	0,820	150 dk
4	Ayasofya Müzesi	7:30	17:00	0,817	120 dk
5	Boztepe	18:00	22:00	0,297	75 dk
6	Ortamahalle Evleri	15:00	19:00	0,178	45 dk
7	Vazelon Manastırı	9:00	15:00	0,273	30 dk
8	Çal Mağarası	9:00	17:00	0,528	45 dk
9	Uzungöl	7:00	14:00	0,583	90 dk
10	Hıdırnebi Yaylası	7:00	17:30	0,269	90 dk
11	Hamsiköy	7:00	17:30	0,234	60 dk
12	Şahinkaya	7:00	17:30	0,359	60 dk
13	Haçka Yaylası	7:00	17:30	0,167	60 dk
14	Uçarsu Şelalesi	7:00	17:30	0,169	30 dk
15	Sera Gölü	18:00	22:00	0,520	60 dk
16	Sürmene Çamburnu	7:00	22:00	0,406	60 dk
17	Karadağ Yaylası	12:00	17:30	0,169	60 dk
18	Meydan Parkı	17:00	23:00	0,535	120 dk
19	Havaalanı	7:00	23:00	0	0

ILOG CPLEX Optimization Studio, bir optimizasyon yazılım paketidir. Version 22.1.1 kullanılarak projede kurulan karışık tamsayılı matematiksel model için çözüm alınmıştır. CPLEX programında modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları programa uygun kodlanarak Excel üzerine işlenen matrisler ve düğüm noktaları verileri bağlanmıştır. Karışık tamsayılı matematiksel modelin CPLEX programı üzerinde kodlanmasıyla çözüm elde edilmiştir. Elde edilen çözüme göre optimal rota Tablo 9’da gösterildiği gibidir. Başlangıç düğümü olan otel ve bitiş düğümü olan havalimanına ek olarak modelde 17 ziyaret noktası düğümü bulunmaktadır. Optimal rota planına göre 19 düğüm noktasından tur kapsamında 10 noktaya uğrandığı görülmektedir. Çözümde elde edilmiş verilere göre kısıt sayısı 998 iken değişken sayısı 437 olmuştur. Çözüm süresi ve amaç fonksiyonu değerleri de Tablo 9’da verildiği gibidir.

Tablo 9. Model sonuçları

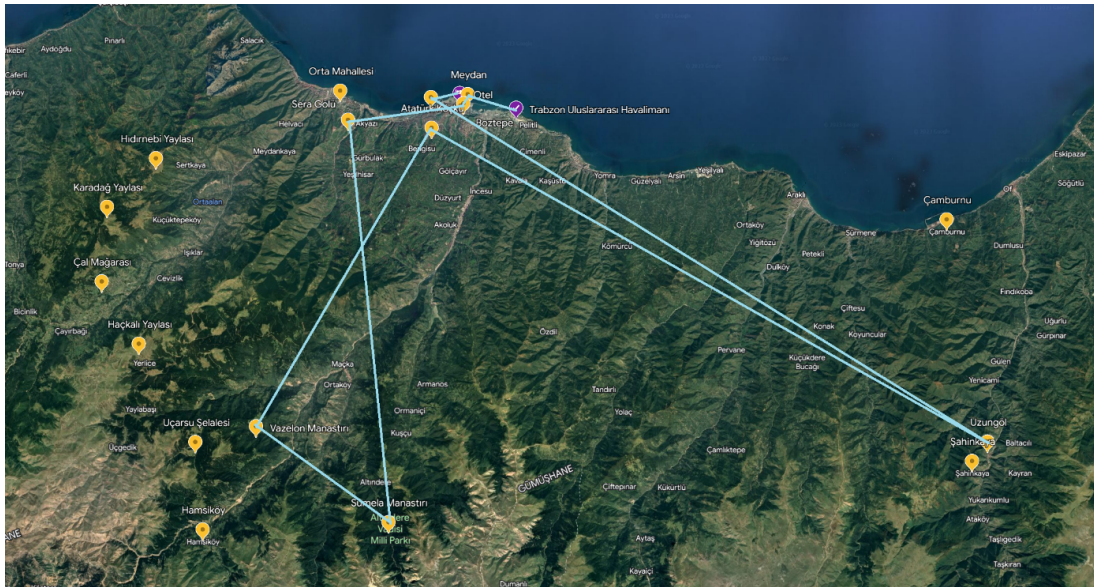
Toplam Düğüm Sayısı	Rota	Kısıt Sayısı	Değişken Sayısı	Çözüm Süresi (sn)	Amaç Fonk. Değeri	Nokta Adedi
19	1-4-9-2-7-3-15-5-18-19	998	437	309,61	4,718	10

Optimal çözüme göre rotadaki 10 noktadan 4’ü (2,4,9,18) zorunlu ziyaret noktalarıdır. Oluşturulan kısıtlar neticesinde 4 numaralı düğüm otelden sonra bireylerin kahvaltı yapması için özellikle 2. uğrak noktası olarak belirlenmiştir. Ayrıca yine 18 numaralı düğümün havalimanından önce uğranılması zorunlu kılınmış ve kısıtlarda ifade edilmiştir. 18 numaralı düğüm noktası olan meydan parkında turistlerin alışveriş yapması mümkün kılınmıştır. Oluşturulan rotada yer alan tüm düğümler için o noktadan ayrılış ve o noktaya geliş zamanları Tablo 10’ da verilmiştir. Ayrıca ziyaret noktaları için maksimum 30 dakika olarak belirlenen bekleme süresinin aşılmadığı ve hiçbir düğüm noktasında beklenmediği görülmüştür. Varış değerleri ziyaret noktalarına varış zamanlarını ifade etmektedir. Turun otelden başlaması sebebi ile 1. düğümün (otel) varış değeri sıfır olarak gösterilmiştir. Ayrıca yine sıfır anında otelden ayrılmak gerektiği tabloda belirtilen bir başka değerdir. Turun havalimanında son bulması sebebi ile 19. düğümde ayrılış zamanı 0 olarak verilmiştir.

Tablo 10. Oluşan tur planı

Düğüm Noktası	Variş	Servis (dk)	Ayrılış	Seyahat (dk)
Otel		0	0	6
Ayasofya Müzesi	7:06	60	8:06	89
Uzungöl	9:35	90	11:05	93
Atatürk Köşkü	12:38	45	13:23	41
Vazelon Manastırı	14:04	30	14:34	36
Sümela Manastırı	15:10	150	17:40	60
Sera Gölü	18:40	60	19:40	17
Boztepe	19:57	45	20:42	9
Meydan Parkı	20:51	120	22:51	9
Havalimanı	23:00			

19 gezi noktası içerisinde CPLEX programı ile elde edilen rotanın düğümleri bir harita üzerine aktarılmıştır. Şekil 3'te 10 adet noktanın sırası ile ziyaret edildiği gösterilmiştir.



Şekil 3. Rotanın harita görünümü

6. SONUÇ

Bu çalışma, oryantiring problemi üzerine odaklanarak turizm rotası optimizasyonu uygulamayı amaçlanmıştır. Trabzon şehri, zengin turistik destinasyonları ve artan turist sayısı nedeniyle bu çalışmanın uygulama alanı olarak seçilmiştir. Şehirde popüler olan 17 gezi noktası, başlangıç ve bitiş düğümleri olarak belirlenmiştir. Çalışmanın odak noktası, bu noktaların fayda puanlarını belirlemektir ve bu amaçla ÇKKV teknikleri olan AHP ve TOPSIS kullanılmıştır. Problemin temel amacı, belirli bir zaman kısıtlaması altında maksimum fayda puanını toplamaktır, ancak her noktaya yalnızca bir kez uğrama hakkı vardır. Başlangıç ve bitiş düğümleri sabit olarak belirlenmiş ve otel ile havalimanı olarak tanımlanmıştır.

Çalışma kapsamında, belirli kısıtlar ve parametrelerle uyumlu bir karışık tam sayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Model, gerçek verilere uygun olarak başlangıç ve bitiş saatleri ile zaman pencerelerini içermektedir. Ayrıca, rotanın daha sağlıklı bir şekilde belirlenmesi için düğümlere maksimum 30 dakika bekleme süresi opsiyonu da eklenmiştir. Modelin çözümü için, CPLEX programı kullanılarak kodlar hazırlanarak ve mesafe matrisi ile zaman pencereleri entegre edilmiştir.

Çalışma sonucunda, Trabzon şehrindeki bir günlük gezi rotası için bir rota oluşturulmuştur. Bu rota, belirlenen fayda puanlarına göre ve zorunlu uğramaları gereken noktaları içerecek şekilde tasarlandı. Bu rota, otelden başlayıp havalimanında sona erdi ve ziyaret edilen noktalar şunlardır: Ayasofya Müzesi, Uzungöl, Atatürk Köşkü, Vazelon Manastırı, Sümela Manastırı, Sera Gölü, Boztepe ve Meydan Parkı.

Sonuç olarak, bu çalışma ele alınan problemin çeşitli açılardan ele alınabileceğini göstermektedir. Farklı şehirlerde uygulanabilir, ziyaret noktaları azaltılabilir veya artırılabilir ve farklı kriterler altında farklı fayda puanları kullanılabilir. Ayrıca, farklı başlangıç ve bitiş düğümleri seçilerek alternatif turlar oluşturulabilir. Gelecekteki çalışmalar, hedef programlama ile maksimum fayda puanı yanı sıra mesafe minimizasyonu gibi ek amaçları içerebilir. Bu çalışma, turizm rotası optimizasyonu alanında daha fazla araştırma ve uygulama fırsatları sunmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, daha büyük ölçekli şehirlerde veya farklı turistik destinasyonlarda bu yöntemlerin nasıl uygulanabileceğini daha fazla inceleyebilir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

Finansal Destek: Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından Desteklenmiştir. Proje numarası: FLÖ-2023-10653

Yazar Katkıları: Çalışma Konsepti/Tasarım- E.A., M.C.; Veri Toplama- B.K., E.Ö., M.C.; Veri Analizi/Yorumlama- E.A., B.K., E.Ö., M.C.; Yazı Taslağı- B.K., E.Ö., M.C.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi- E.A.; Son Onay ve Sorumluluk- E.A., B.K., E.Ö., M.C.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: This study was supported by Karadeniz Technical University Scientific Research Projects Unit. Project number: FLÖ-2023-10653

Author Contributions: Conception/Design of Study- E.A., M.C.; Data Acquisition- B.K., E.Ö., M.C.; Data Analysis/Interpretation- E.A., B.K., E.Ö., M.C.; Drafting Manuscript- B.K., E.Ö., M.C.; Critical Revision of Manuscript- E.A.; Final Approval and Accountability- E.A., B.K., E.Ö., M.C.

Yazarların ORCID ID'leri / ORCID IDs of the authors

Betül Kara	0009-0007-8707-8992
Ezgi Öztürk	0009-0006-2908-7826
Minel Canbaz	0009-0000-1084-0415
Ertuğrul Ayyıldız	0000-0002-6358-7860

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Ayyıldız, E., & Taskin, A. (2022). Humanitarian relief supply chain performance evaluation by a SCOR based Trapezoidal type-2 fuzzy multi-criteria decision making methodology: An application to Turkey. *Scientia Iranica*, 29(4), 2069–2083. <https://doi.org/10.24200/sci.2020.52592.2786>
- Bayliss, C., Juan, A. A., Currie, C. S. M., & Panadero, J. (2020). A learnheuristic approach for the team orienteering problem with aerial drone motion constraints. *Applied Soft Computing Journal*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106280>
- Bertolini, M., Esposito, G., & Romagnoli, G. (2020). A TOPSIS-based approach for the best match between manufacturing technologies and product specifications. *Expert Systems with Applications*, 159, 113610. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2020.113610>
- Bianchessi, N., Mansini, R., & Speranza, M. G. (2018). A branch-and-cut algorithm for the Team Orienteering Problem. *International Transactions in Operational Research*, 25(2). <https://doi.org/10.1111/itor.12422>
- Biscaia, R. V. B., Braghini Junior, A., & Colmenero, J. C. (2021). Selection of projects for automotive assembly structures using a hybrid method composed of the group-input compatible, best-worst method for criteria weighting and TrBF-TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 184, 115557. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2021.115557>
- Campbell, A. M., Gendreau, M., & Thomas, B. W. (2011). The orienteering problem with stochastic travel and service times. *Annals of Operations Research*, 186(1). <https://doi.org/10.1007/s10479-011-0895-2>
- Chao, I. M., Golden, B. L., & Wasil, E. A. (1996). The team orienteering problem. *European Journal of Operational Research*, 88(3), 464–474. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00289-4](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00289-4)
- Choachaicharoenkul, S., Coit, D., & Wattanapongsakorn, N. (2022). Multi-Objective Trip Planning With Solution Ranking Based on User Preference and Restaurant Selection. *IEEE Access*, 10. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3144855>
- Chou, X., Gambardella, L. M., & Montemanni, R. (2018). Monte Carlo Sampling for the Probabilistic Orienteering Problem. İçinde *AIRO Springer Series* (C. 1). https://doi.org/10.1007/978-3-030-00473-6_19
- Çolak, S. (2010). Genetik Algoritmalar Yardımı İle Gezgin Satıcı Probleminin Çözümü Üzerine Bir Uygulama. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(3).
- Demange, M., Ellison, D., & Jouve, B. (2021). Orienteering problem with time-windows and updating delay. *Theoretical Computer Science*, 863. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2021.01.003>

- Deveci Kocakoç, İ., & Pulat, M. (2019). Gezin Satıcı Probleminin Genetik Algoritmalar Kullanarak Çözümünde Çaprazlama Operatörlerinin Örnek Olaylar Bazlı İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 34(2). <https://doi.org/10.24988/ije.2019342825>
- Dündar, A. O., & Öztürk, R. (2020). Kargo dağıtım operasyonunun gezgin satıcı problemi ve çoklu gezgin satıcı problemi kullanılarak yeniden düzenlenmesi üzerine bir uygulama. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (49), 41–54.
- Elibal, K., & Özceylan, E. (2022). Comparing industry 4.0 maturity models in the perspective of TQM principles using Fuzzy MCDM methods. *Technological Forecasting and Social Change*, 175, 121379. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2021.121379>
- Gavalas, D., Konstantopoulos, C., Mastakas, K., & Pantziou, G. (2014). A survey on algorithmic approaches for solving tourist trip design problems. *Journal of Heuristics*, 20(3), 291–328. <https://doi.org/10.1007/s10732-014-9242-5>
- Gavalas, D., Konstantopoulos, C., Mastakas, K., Pantziou, G., & Vathis, N. (2015). Heuristics for the time dependent team orienteering problem: Application to tourist route planning. *Computers and Operations Research*, 62, 36–50. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.03.016>
- Gunawan, A., Lau, H. C., & Lu, K. (2018). ADOPT: Combining parameter tuning and Adaptive Operator Ordering for solving a class of Orienteering Problems. *Computers and Industrial Engineering*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.016>
- Gunawan, A., Lau, H. C., & Vansteenwegen, P. (2016). Orienteering Problem: A survey of recent variants, solution approaches and applications. *European Journal of Operational Research*, 255(2), 315–332. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.04.059>
- Hashim, Z., Ismail, W. R., & Ahmad, N. (2013). Determination of optimal self-drive tourism route using the orienteering problem method. *AIP Conference Proceedings*, 1522. <https://doi.org/10.1063/1.4801296>
- Hezer, S., Gelmez, E., & Özceylan, E. (2021). Comparative analysis of TOPSIS, VIKOR and COPRAS methods for the COVID-19 Regional Safety Assessment. *Journal of Infection and Public Health*, 14(6), 775–786. <https://doi.org/10.1016/J.JIPH.2021.03.003>
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Methods for Multiple Attribute Decision Making*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3
- Kadar, A., Shahjalal, M., Faisal, M., & Iqbal, M. (2011). Solving the Vehicle Routing Problem using Genetic Algorithm. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2(7). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2011.020719>
- Karabulut, K., & Tasgetiren, M. F. (2020). An evolution strategy approach to the team orienteering problem with time windows. *Computers and Industrial Engineering*, 139(October 2019), 106109. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106109>
- Ke, L., Archetti, C., & Feng, Z. (2008). Ants can solve the team orienteering problem. *Computers & Industrial Engineering*, 54(3), 648–665. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2007.10.001>
- Khodadadian, M., Divsalar, A., Verbeeck, C., Gunawan, A., & Vansteenwegen, P. (2022). Time dependent orienteering problem with time windows and service time dependent profits. *Computers and Operations Research*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.105794>
- Kolae, M. H., Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J., & Jabbarzadeh, A. (2023). A local search-based non-dominated sorting genetic algorithm for solving a multi-objective medical tourism trip design problem considering the attractiveness of trips. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106630>
- Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59(3). [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90192-C](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90192-C)
- Laporte, G., & Martello, S. (1990). The selective travelling salesman problem. *Discrete Applied Mathematics*, 26(2–3), 193–207. [https://doi.org/10.1016/0166-218X\(90\)90100-Q](https://doi.org/10.1016/0166-218X(90)90100-Q)
- Li, Z., & Hu, X. (2011). The orienteering problem with compulsory nodes and time window. *8th International Conference on Service Systems and Service Management - Proceedings of ICSSSM'11*. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2011.5959526>
- Lin, S. W., & Yu, V. F. (2017). Solving the team orienteering problem with time windows and mandatory visits by multi-start simulated annealing. *Computers and Industrial Engineering*, 114(October), 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.10.020>
- Mann, M., Zion, B., Rubinstein, D., Linker, R., & Shmulevich, I. (2016). The Orienteering Problem with Time Windows Applied to Robotic Melon Harvesting. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 168(1). <https://doi.org/10.1007/s10957-015-0767-z>
- Moosavi Heris, F. S., Ghannadpour, S. F., Bagheri, M., & Zandieh, F. (2022). A new accessibility based team orienteering approach for urban tourism routes optimization (A Real Life Case). *Computers and Operations Research*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105620>
- Muflig, A., & Utamima, A. (2023). Genetic Algorithm and Local Search for Optimization of Tourism Trips as an Orienteering Problem. *ISDFS 2023 - 11th International Symposium on Digital Forensics and Security*. <https://doi.org/10.1109/ISDFS58141.2023.10131734>
- Nuraiman, D., & Ozlen, M. (2022). A decomposition approach for the prioritised home health care problem with synchronised visits and multi-period planning. *Computers and Industrial Engineering*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108722>
- Ömürbek, N. (2014). Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Süreci Yöntemleri ile Online Alışveriş Site Seçimi. *Journal of Management and Economics Research*, (22), 306–306. <https://doi.org/10.11611/jmer214>
- Paulavičius, R., Stripinis, L., Sutavičiūtė, S., Kočegarov, D., & Filatovas, E. (2023). A novel greedy genetic algorithm-based personalized travel recommendation system. *Expert Systems with Applications*, 230. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120580>
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Sohrabi, S., Ziarati, K., & Keshkaran, M. (2020). A Greedy Randomized Adaptive Search Procedure for the Orienteering Problem with Hotel Selection. *European Journal of Operational Research*, 283(2), 426–440. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.11.010>
- Su, X., & Nan, H. (2023). An enhanced heuristic for the team orienteering problem with time windows considering multiple deliverymen. *Soft Computing*, 27(6). <https://doi.org/10.1007/s00500-022-07577-9>
- Tenemaza, M., Lujan-Mora, S., De Antonio, A., & Ramirez, J. (2020). Improving itinerary recommendations for tourists through metaheuristic algorithms: An optimization proposal. *IEEE Access*, 8. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2990348>
- URL-1. (2022). Trabzon'a turizmin o dalında da ilgi var! 117 ülkeden turist geldi - Haber61. Tarihinde 20 Temmuz 2023, adresinden erişildi

- <https://www.haber61.net/trabzon-haber/trabzona-turizmin-o-dalinda-da-ilgi-var-117-ulkeden-turist-geldi-h463232.html>
- Vansteenkeweg, P., Souffriau, W., & Oudheusden, D. Van. (2011). The orienteering problem: A survey. *European Journal of Operational Research*, 209(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.03.045>
- Verbeeck, C., Vansteenkeweg, P., & Aghezzaf, E. H. (2017). The time-dependent orienteering problem with time windows: a fast ant colony system. *Annals of Operations Research*, 254(1–2), 481–505. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2409-3>
- Vu, D. M., Kergosien, Y., Mendoza, J. E., & Desport, P. (2022). Branch-and-check approaches for the tourist trip design problem with rich constraints. *Computers and Operations Research*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105566>
- Wang, Y. W., Lin, C. C., & Lee, T. J. (2018). Electric vehicle tour planning. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.04.016>
- Westerlund, A., Göthe-Lundgren, M., & Larsson, T. (2006). A stabilized column generation scheme for the traveling salesman subtour problem. *Discrete Applied Mathematics*, 154(15), 2212–2238. <https://doi.org/10.1016/j.dam.2005.04.012>
- Wibowo, B. S., & Handayani, M. (2019). A Genetic Algorithm for Generating Travel Itinerary Recommendation with Restaurant Selection. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2019-Decem.* <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607677>
- Yadav, N., & Tanksale, A. (2022). An integrated routing and scheduling problem for home healthcare delivery with limited person-to-person contact. *European Journal of Operational Research*, 303(3). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.03.022>
- Yildiz, A., Guneri, A. F., Ozkan, C., Ayyildiz, E., & Taskin, A. (2022). An integrated interval-valued intuitionistic fuzzy AHP-TOPSIS methodology to determine the safest route for cash in transit operations: a real case in Istanbul. *Neural Computing and Applications*, 34(18), 15673–15688. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07236-y>
- Yorulmaz, Ö., Yıldırım, S. K., & Yıldırım, B. F. (2021). Robust Mahalanobis Distance based TOPSIS to Evaluate the Economic Development of Provinces. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 4(2), 102–123. <https://doi.org/10.31181/ORESTA20402102Y>

Atf Biçimi / How cite this article

Kara, B., Öztürk, E., Canbaz, M., & Ayyıldız, E. (2023). The orienteering problem with time windows for optimizing Trabzon city's tourism route. *Journal of Transportation and Logistics*, 8(2), 285-302. <https://doi.org/10.26650/JTL.2023.1334476>