

## Araştırma Makalesi

# Muğla'da faaliyet gösteren bir işletme için lojistik depo yeri belirleme ve araç rotalama problemlerine bütünlük bir yaklaşım

Erkan Turhan<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Lojistik Programı, Dalaman Meslek Yüksekokulu, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye.

\*Correspondence: [eturhan@mu.edu.tr](mailto:eturhan@mu.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1691393

**Özet:** Bu çalışmanın amacı, akıllı ulaşım sistemlerinin önemli bir bileşeni olan filo yönetim sistemleri kapsamında, Muğla'da madeni yağ sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin lojistik süreçlerini iyileştirmek için depo yeri seçimi yapmak ve araç rotalama problemine entegre bir çözüm sunmaktır. Çalışma, bu doğrultuda iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, beş aday depo yeri AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemleriyle değerlendirilmiş ve en uygun depo yeri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, seçilen depo esas alınarak EZTDARP (Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi)'ni ele alınmış, GAMS (General Algebraic Modeling System) yazılımı kullanılarak beş farklı senaryo için matematiksel model çözümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, depo yeri seçiminde ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemlerinin etkinliğini ortaya koyarken, belirlenen rotaların lojistik maliyetleri önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Literatürde depo yeri seçimini ve araç rotalama problemlerini birlikte ele alan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu çalışmada her iki problem entegre bir yaklaşımla ele alınarak literatüre katkı sunulmaktadır. Araştırma bulgularının, lojistik optimizasyon literatürüne teorik katkı sağlamasının yanı sıra, pratik uygulamada ele alınan işletmenin operasyonel verimliliğini artırmasına katkı sağlandığı görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Araç rotalama problemi, çok kriterli karar verme, depo yeri seçimi, optimal çözüm, filo yönetimi sistemleri

## An integrated approach to logistics depot location and vehicle routing problems for a company operating in Muğla

**Abstract:** The aim of this study is, within the scope of fleet management systems, which is one of the basic components of intelligent transport systems, is to firstly select a depot location in order to improve the logistics processes of an enterprise operating in the mineral oil sector in Muğla and then to provide an integrated solution to the vehicle routing problem. To achieve this, the study has been conducted in two stages. In the first stage, five candidate depot locations were evaluated using AHP (Analytical Hierarchy Process) and TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) methods, and the most suitable depot location was determined. In the second stage, based on the selected depot, the VRPSPD (Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery) was addressed, and mathematical model solutions for five different scenarios were performed using GAMS (General Algebraic Modeling System) software. The findings indicate the effectiveness of the Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods in depot location selection and show that the determined routes significantly reduced logistics costs. There are limited studies in the literature that address both depot location and vehicle routing problems together. In this study, both problems are addressed with an integrated approach, contributing to the literature. It is observed that the research findings not only provide a theoretical contribution to the logistics optimization literature but also contribute to increasing operational efficiency for the company addressed in the practical application.

**Keywords:** Vehicle routing problem, multi-criteria decision-making, depot location selection, optimal solution, fleet management system

\* Corresponding author.

ORCID: 0009-0002-8545-1873

Received 04.05.2025; Received in revised form 29.05.2025, 08.07.2025; Accepted 26.08.2025

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University. This work is licensed under CC BY 4.0.

APA Citation Info: Turhan, E. (2025). Muğla'da Faaliyet Gösteren Bir İşletme için Lojistik Depo Yeri Belirleme ve Araç Rotalama Problemlerine Bütünlük Bir Yaklaşım. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 8(2), 158-182.

<https://doi.org/10.51513/jitsa.1691393>

## 1. Giriş

Modern işletmeler, rekabet avantajını sürdürülebilir kılabilmek için lojistik operasyonlarını etkili biçimde yönetme gerekliliği ile karşı karşıyadır. Lojistik, ürünlerin tedarik zinciri boyunca hareket etmesini sağlayan tüm faaliyetlerin entegre bir biçimde yönetilmesini ifade eder (Turhan, 2024). Etkili bir lojistik yönetimi, işletmelerin operasyonel maliyetlerini düşürerek kaynakları daha verimli kullanmalarına olanak tanır ve aynı zamanda müşterilerinin memnuniyetini artırır. Lojistik süreçlerin bu iki unsuru dengelemesi, işletmelere rekabet avantajı kazandırmakta, pazar konumlarını sağlamlaştırmakta ve uzun vadeli sürdürülebilirliği sağlamaktadır. Bu nedenle, lojistik süreçlerin optimizasyonu, işletmelerin sektördeki rekabetçiliğini güçlendiren stratejik bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

Lojistik maliyetlerin, işletmelerin toplam maliyetleri içinde önemi oldukça büyüktür (Cavmak ve Aksoylu, 2024). Taşımacılık, depolama, stok yönetimi gibi faaliyetlerden kaynaklanan lojistik maliyetler, küreselleşme ile birlikte daha da kritik bir boyut kazanmıştır (Ercan, 2018). İyi bir lojistik yönetimi, maliyetlerin optimize edilmesini ve işletmelerin müşteri beklentilerine uygun, hızlı ve uygun maliyetli çözümler sunmasını sağlar. Araştırmalara göre lojistik maliyetlerin, işletmelerin toplam cirosuna oranı %10'a kadar çıkabilmektedir (Engblom vd., 2012). Örneğin; dünyanın önde gelen e-ticaret şirketlerinden Amazon.com'un lojistik operasyonlarında önemli bir yer tutan taşıma maliyetlerinin, 2023 yılında 89,5 milyar dolar olduğu belirtilmiştir (Statista, 2024). Bu durum, lojistik maliyetlerin optimize edilmesi gerektiğini göstermekte ve maliyet avantajı sağlamanın işletmelerin pazardaki gücünü artırmada stratejik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Günümüzde işletmeler; maliyetlerini düşürürken, aynı zamanda müşterilerin, hükümetlerin ve toplumun çevresel beklentileri doğrultusunda yürüttükleri lojistik faaliyetleri daha çevreci hâle getirmek için çaba sarf etmek zorundadır (Seroka-Stolka, 2014). Yeşil lojistik olarak adlandırılan bu çaba, tedarik zinciri süreçlerinin çevresel etkilerini azaltmaya yönelik stratejilerin uygulanmasını kapsamaktadır. Bu kapsamda; uygun depo yeri seçimi, etkin filo yönetimi, ambalaj kullanımının azaltılması, enerji verimliliği gibi uygulamalar önemli rol oynamaktadır (Perotti ve Colicchia, 2023; Branca vd., 2024).

Kuruluş ve/veya depo yeri seçimi, lojistik süreçlerin kesintisiz sürdürülmesinde önemli bir etkidir (Aktepe ve Ersöz, 2014). Stratejik olarak uygun bir şekilde konumlandırılmış kuruluş, lojistik maliyetlerini azaltmanın yanı sıra taşıma sürelerini kısaltır ve müşteri memnuniyetini artırır. Bu bağlamda, altyapıya ve tedarikçilere yakınlık, stok yönetimi süreçlerinin daha etkin yürütülmesini sağlarken lojistik maliyetlerde ciddi azalmalar sağlar. Doğru kuruluş ve/veya depo yeri seçimi, işletmeye rekabet avantajı kazandırırken tedarik zincirindeki potansiyel aksaklıkları önlemeye de katkıda bulunur (Huang vd., 2020). İşletmelerin kuruluş yeri seçiminde, ÇKKV yöntemlerinin kullanılması, farklı kriterler arasındaki dengeyi sağlamalarına olanak tanır ve en uygun yerin belirlenmesi için etkili çözümler sunar. Yöneylem araştırmasının alt dallarından biri olarak öne çıkan ÇKKV yöntemleri, işletmelerin yer seçimi süreçlerini stratejik ve bütünsel bir yaklaşımla ele almalarına olanak tanımaktadır (Göktaş ve Güçlü, 2024).

ARP; lojistik sektöründe işletmelere maliyet azaltma, hizmet sunumunu zamanında gerçekleştirme, müşteri memnuniyetini artırma ve rekabet avantajı sağlama gibi çeşitli alanlarda katkı sunan bir problem olarak dikkat çekmektedir (Erdoğan ve Karabulut, 2022). ARP, genellikle dağıtım ağlarının optimizasyonu, kaynakların etkin kullanımı ve zaman yönetimi unsurlarını içerir. Etkili bir ARP'nin çözümü, işletmelere maliyet tasarrufu sağlarken aynı zamanda teslimat sürelerini kısaltarak müşteri memnuniyetini artırır. Ancak ARP'nin NP-Zor (Nondeterministic Polynomial Time-Hard) sınıfında yer alması, büyük ölçekli problemlerde kesin çözümler bulmayı güçleştirir. Kısıtlar arttıkça problemin karmaşıklık düzeyi de yükselir; bu nedenle, sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler büyük problemler için daha hızlı ve başarılı sonuçlar sunduğu için tercih edilir (Yazgan vd., 2020). Bu yöntemler, işletmelerin lojistik süreçlerinde etkili kararlar alarak maliyet avantajı sağlamalarına katkıda bulunur.

Bu çalışmada, Muğla'da faaliyet göstermeyi planlayan madeni yağ sektöründe bir işletmenin en uygun depo yeri seçimi ve araçlarının müşteri isteklerine göre optimal rotalamasını içeren lojistik problemine odaklanılmıştır. Bu problemi çözmek için iki aşama oluşturulmuştur. Birinci aşamada, beş aday depo yeri için ÇKKV yöntemlerinden AHP ile TOPSIS kullanılarak en uygun depo yeri belirlenmiştir. İkinci aşamada, birinci aşamada seçilen depo yeri temel alınmış; işletmeden alınan bilgiler doğrultusunda

oluşturulan beş farklı senaryoya göre araç rotalama problemi, GAMS yazılımı ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, işletmenin gerçek bir problemini ele alarak lojistik sürecin en uygun çözümünü bulmaktır. Bu çalışmanın literatüre katkısı, araç rotalama ve depo yeri seçimini entegre ele alan bir çözüm sunmasıdır. Çalışma kapsamında, “İşletme için yatırım yapacağı en uygun depo yeri nedir?” ve “Müşterilerin taleplerini karşılayacak optimal rota hangisidir?” iki temel sorularına yanıt aramaktadır. Literatürde, depo yeri seçimi ve araç rotalama ile ilgili birçok çalışma bulunmasına rağmen, her iki konuyu bir arada ele alan çalışmaların sayısı oldukça azdır.

Bu çalışma, Giriş ve Sonuç bölümleri de dahil olmak üzere toplam beş bölümden oluşmaktadır. Önce araştırmanın amacı ve kapsamı genel hatlarıyla tanıtılmış, Literatür taraması kısmında konu ile ilgili yapılan önceki çalışmalar değerlendirilmiştir. Yöntemler kısmında çalışmada kullanılan araştırma yöntemleri detaylandırılmış, Uygulama ve bulgular bölümünde, ele alınan lojistik problemin çözüm süreci açıklanmıştır. Sonuç bölümünde ise, elde edilen bulgular ve bunlara dayalı sonuçlar ve öneriler okuyucuyla paylaşılmıştır.

## 2. Literatür taraması

Lojistik yönetiminin önemli konularından biri olan ARP ve depo yeri seçimi, literatürde geniş ilgi görmüş ve çeşitli çözüm yöntemleriyle ele alınmıştır. Bu bağlamda, ARP üzerine yapılan çalışmalar dağıtım optimizasyonuna odaklanırken, depo yeri seçimi çalışmaları stratejik konumlandırma kararlarının etkinliğini artırmaya yönelik yaklaşımlar sunmaktadır. Bu bölümde, öncelikle ARP çalışmalarına ilişkin literatüre yer verilmiştir.

Atmaca (2012), Ankara’da faaliyet gösteren bir kargo şirketinin dağıtım ve toplama faaliyetlerini optimize etmek amacıyla EZTDARP’ni ele almıştır. Bu problem, GAMS yazılımında oluşturulan matematiksel bir modelle çözümlenmeye çalışılmıştır. Yazar tarafından önerilen model ile, araçların kat ettiği mesafelerde %26 oranında bir iyileşme sağlanmıştır.

Keskintürk vd. (2015), ARP matematiksel modelleri, çeşitleri ve çözüm yöntemlerini ele almıştır. Bu çalışmada, Ege bölgesinde bir işletme için tasarruf algoritması ve süpürme algoritması kullanılarak işletmenin araçlarının rotalaması yapılmıştır. Yapılan araştırmanın sonucunda, her iki algoritmada aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Pala ve Aksaraylı (2018) araştırmalarında servis araçlarıyla konaklama tesisleriyle havalimanı arasında turist taşımacılığı yapan bir turizm işletmesinin, yolcuların ulaşımında geçirdiği ortalama süreleriyle toplam tur sürelerini minimize etmeyi hedeflemiştir. Araçlardaki yolcu taşıma kapasitesi sınırlamaları göz önünde bulundurularak, bu problemin çok amaçlı kapasite kısıtlı ARP olduğu tespit edilmiş ve bu problemin çözümü için tasarlanmış karınca kolonisi algoritması kullanılmıştır.

Yazgan ve Büyükyılmaz (2018) tarafından ana deposundan 76 adet müşterisine şişe süt sağlayan bir işletmenin EZTDARP’ni ele alınmıştır. En az araç kullanımı ve minimum mesafe kat edilerek optimal rotaların oluşturulması amaçlanmıştır. Literatürden alınan matematiksel model temel alınarak sezgisel bir algoritma geliştirilmiş ve problem çözülmüştür. Probleme ilişkin farklı veri setleriyle geliştirilen algoritmalar uygulanarak, elde edilen sonuçlar regresyon analizi yöntemiyle incelenmiştir.

Ercan Cömert vd. (2019), çalışmalarında bir işletmenin merkez deposundan 78 adet müşterisine yapılan dağıtım sürecini ele alarak EZTDARP problemini incelemişlerdir. Problemin çözümü için iki aşamalı bir yaklaşım sunulmuştur: Birinci aşamada, müşteriler K-Medoids ve K-Means algoritmalarıyla kümelenecek, ikinci aşamada ise her bir kümeye ait müşteriler için rotalama yapılmıştır. Kümeleme algoritmalarının etkinliği, ANOVA testi ile karşılaştırılmış ve her iki algoritmanın benzer sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Yazgan vd. (2020) araştırmalarında, Gebze merkezli boya sektöründeki bir fabrikanın, mevcut müşterilerinin taleplerini karşılamak için optimal araç rotalarının belirlenmesi amacıyla kapasite kısıtlı ARP incelemiştir. Yerel aramalı sezgisel ve Clarke Wright tasarruf algoritmaları kullanılarak çözümler elde edilmiş. Elde edilen sonuçlar, Afyon ve Trabzon’da iki ana deposu bulunan bir işletmenin gerçek verileriyle karşılaştırılmış; yerel aramalı sezgisel algoritmanın performansının daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Bozkurt Keser vd. (2021) çalışmalarında İstanbul'daki bir perakende işletmesinin 12 tane marketine eş zamanlı dağıtım ve toplama hizmeti sağlayan EZTDARP'ni ele almıştır. Çalışmada, çözüm için ceza-tabanlı genetik algoritma önerilmiş ve benzetimli tavlama algoritması ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen genetik algoritmanın mesafe ve işlem süresi açısından daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Problemin çözümüne ilişkin önerilen algoritma, MS C# .NET yazılımında kodlanmıştır.

Demirbilek (2021) araştırmasında Dinamik EZTDARP'ni ele alınmıştır. Yazar, bu problemi çözmek için En Yakın Komşu Algoritması kullanarak, talep dalgalanması ve farklı müşteri sayıları gibi gerçek dünya faktörlerini modele dahil etmiştir. Sonuçlar, rotalama periyotlarının süresinin uzamasıyla müşteri bekleme sürelerinin arttığını ve seyahat sürelerinin azaldığını ortaya koymuştur.

Ercan Cömert vd. (2022); Marmara Bölgesi'ndeki bir süpermarket zincirinin 78 şubesine yönelik olarak, 20 haftalık sevkiyat verilerini kullanarak homojen filolu, tek depolu yeşil ARP'ni ele almışlardır. Bu çalışmada, araçlara müşterilerin atanmasında K-Means ve K-Medoids kümeleme algoritmalarından yararlanılmıştır. Müşteri atama süreci tamamlandıktan sonra ise, Hopfield tipi yapay sinir ağları kullanılarak Gezgin Satıcı Problemi doğrultusunda rotalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Çözüm modelinin geçerliliği, Friedman testi ile değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar bu yöntemle analiz edilmiştir. Algoritma, Python programlama dili ile kodlanmıştır.

Altundaş vd. (2023); kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer olaylara karşı mücadelede erken teşhis için gerekli olan test kitlerinin dağıtımı ve toplanması amacıyla EZTDARP'ni ele almıştır. Ankara'daki hastanelere test kitlerinin dağıtımı ve sonuçların toplanması için matematiksel model önermiş ve modelin etkinliği farklı senaryolarla değerlendirmiştir. Model, belirli bir düğüm sayısına kadar etkili olmuş ancak 40 adet düğümden fazla olan problemler için uygun çözüm sağlayamamıştır. Problemin çözümü için GAMS dili kullanılmıştır.

Akçakoca vd.'nin (2024) çalışmasında, operasyonel kriterlerin yanı sıra çevresel faktörler ve sürdürülebilirlik kavramları da dikkate alınarak yeşil ARP incelenmiştir. Karbon salınımının önemine vurgu yapılarak, bu problem matematiksel olarak modellenmiş ve IBM ILOG CPLEX yazılımıyla çözümlenmiştir. Geliştirilen model, mobilya sektöründeki bir işletmenin servis araçlarının optimal rotalarının belirlenmesinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, başarılı bir çözüm sunabileceğini göstermektedir.

Dağıstanlı (2024) çalışmasında askeri sağlık lojistiği kapsamında, ecza ürünlerinin taleplere hızlı ve etkili bir şekilde cevap verebilmesi için ARP'yi ele almaktadır. Müşteri taleplerinin çeşitlenmesi ve tek bir depo ile karşılanamaması gibi gerçek hayatın karmaşıklıklarını dikkate alarak, çok depolu ve çok ürünlü ARP için matematiksel model geliştirilmiştir. Daha sonra alınan gerçek veriler ile çeşitli senaryolar oluşturulup GAMS programı ile çözümlenmiştir.

Türkan ve Parlak (2024), restoranların çevrimiçi yemek siparişlerini gerçekleştiren motorlu kuryeler için ARP'yi ele almışlardır. Çalışmada, gerçek zamanlı siparişler ve mevcut kurye sayısı dikkate alınarak bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modelde, teslimat süresi ve taşıma kısıtları da göz önünde bulundurulmuştur. Önerilen model, kurye taşıma maliyetlerini minimize eden en uygun çözümü sunmuştur. Ayrıca; yapılan duyarlılık analizleri ile çeşitli senaryolarda kurye sayısındaki değişimin, teslimat süresi ve dağıtım maliyetleri üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

Indrianti vd. (2025) çalışmasında LPG dağıtım sürecini ele almıştır. Çalışmada; eş zamanlı topladağıtım, zaman penceresi ve heterojen filo gibi gerçekçi kısıtları içeren yeşil ARP için matematiksel model geliştirilmiştir. Günümüzün popüler konularından olan karbon emisyonları ve karbon vergisi maliyet fonksiyonuna entegre edilerek hem ekonomik hem çevresel hedeflerin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Modelin çözümünde genetik algoritma kullanılmış ve bu algoritma, Microsoft Excel 2021'e eklenti olarak entegre edilen XL Optimizer ticari yazılımı aracılığıyla çözülmüştür.

Lu ve Wang (2025) çalışmasında sürdürülebilir lojistik ve yeşil araç rotalama problemleri kapsamında özellikle karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik güncel yaklaşımlar ele alan bir ARP'ni incelemiştir. Literatürde son yıllarda artan çevresel farkındalıkla birlikte; taşıma faaliyetlerinin yalnızca ekonomik açıdan değil, aynı zamanda çevresel etkiler açısından da optimize edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu çerçevede, kesme çiçek dağıtımı gibi tazelik ve zaman duyarlılığı yüksek olan bir

sektörde; soğuk zincir gereklilikleri, zaman pencereleri, tazelik fonksiyonları ve karbon salımı gibi değişkenler entegre edilerek ele aldıkları probleme özgü bir matematiksel model önerilmiştir.

Kuruluş ve/veya depo yeri seçimi, lojistik maliyetlerin azaltılması ve hizmet hızının artırılması amacıyla ÇKKV yaklaşımlarının sıkça kullanıldığı stratejik bir lojistik problemidir. Aşağıda, bu konu ile ilgili literatürdeki önemli çalışmalar, kullanılan çözüm yöntemleri ve bu alandaki güncel gelişmeler ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Erdal ve Yumurtacı Aydoğmuş (2019) tarafından yapılan çalışmada, İTKİB (İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri)'nin yönetiminde tekstil sektörüne hizmet verecek lojistik merkezin olabilecek en uygun konumunun belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, ÇKKV problemlerinden yaygın olarak kullanılan AHP yöntemi uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, Tuzla'nın en uygun lojistik merkez olabileceği belirlenmiştir.

Erşen ve Sel (2020), Türkiye genelinde otomotiv sektöründe hizmet veren bir firmanın uygun bayilik yerlerini belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmada, taşıma maliyetleri ve karbon salınımını en aza indirerek bayiliklerin konumlandırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, literatürde yaygın olarak kullanılan p-medyan tesis yeri seçimi problemi ele alınarak, bayilerin talep noktalarına olan uzaklıklarına göre mesafe maliyetleri hesaplanmıştır. Ayrıca, bayilerin talep noktalarına taşıma kaynaklı karbon salınımı miktarları da dikkate alınmıştır. Bu uzaklık ve karbon salınım değerleri bir matematiksel model aracılığıyla değerlendirilmiş ve firmanın çevresel hassasiyeti gözetilerek en uygun bayilik yerleşimi önerilmiştir.

Sağnak (2020) çalışmasında perakende sektöründeki büyük bir kuruluş için en uygun depo yerinin seçilmesi amacıyla bulanık AHP ve bulanık TODIM (Interactive and Multicriteria Decision Making) teknikleri kullanılarak bütünlük bir yöntem geliştirilmiştir. Kriterler literatür taramasıyla belirlenmiş ve bulanık AHP ile ağırlıklandırılmış, ardından alternatifler bulanık TODIM tekniğiyle değerlendirilmiştir.

Yapıcı vd. (2020) sağlık sorunlarının artmasıyla birlikte ilaç ve tıbbi malzeme endüstrisine olan talebi karşılamak için lojistik faaliyetlerin önemini vurgulamışlardır. Çalışmada medikal depo yeri seçimi problemi, ÇKKV yöntemleri olan AHP ve ANP (Analytic Network Process) yöntemleriyle ele alınmıştır. İşletme için Kırıkkale'nin ilçeleri olan Yahşihan, Keskin, Delice ve Sulakyurt incelenerek en uygun depo yeri belirlenmiştir.

Kabadayı ve Çakır Esen (2021) tarafından bir 4. Parti lojistik (4PL) firmasının yeni depo yeri seçimi kararı için Gri Temelli TOPSIS yöntemi kullanılarak bir model geliştirilmiştir. Böylelikle alternatif bir yöntemin önerilmesi ve geniş bir depo yer seçimi kriter setinin oluşturulmasıyla literatüre katkı sağlamıştır. Çalışmada uluslararası firma depo yeri seçimi için 3 adet alternatifin 21 adet kritere göre belirlenmesi ele alınmıştır.

Arıkan ve Öztürk (2022) çalışmalarında, belediyelerde otobüs sürücüsü istihdamında dikkate alınacak kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması üzerine odaklanmıştır. Literatür taraması sonucunda belirlenen 15 adet istihdam kriteri, Mersin Büyükşehir Belediyesi'nde sürücü alımlarından sorumlu üç uzman tarafından AHP ve SWARA yöntemleri kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. İki yöntemin sonuçları karşılaştırılarak bulguların tutarlılığı değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın, personel seçimini daha objektif ve güvenilir kılmak suretiyle kurumlara katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Kaplan vd. (2023), süt ürünlerinin depolanması için en uygun depo yerinin seçimine yönelik bir araştırma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, ürün kalitesinin korunması için depolarda bulunması gereken kriterler belirlenmiş ve bu kriterler AHP yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Alternatif depo seçenekleri ise TOPSIS yöntemi aracılığıyla analiz edilmiştir. Araştırmanın bulgularına göre, Konya'daki deponun en uygun seçenek olduğu belirlenmiştir.

Tezcan vd. (2023), Kırıkkale ilinde geçici depo yerinin seçilmesi ve yiyecek dağıtım planlamasının yapılması amacıyla üç basamaklı bir yöntem önermektedir. İlk basamakta, dört ilçe arasından seçilecek alternatifler belirlenmiştir. İkinci basamakta, altı farklı lokasyonun ÇKKV yöntemiyle sıralaması yapılmıştır. Son basamakta ise belirlenen depo konumu için yiyecek dağıtım rotaları dört farklı senaryo

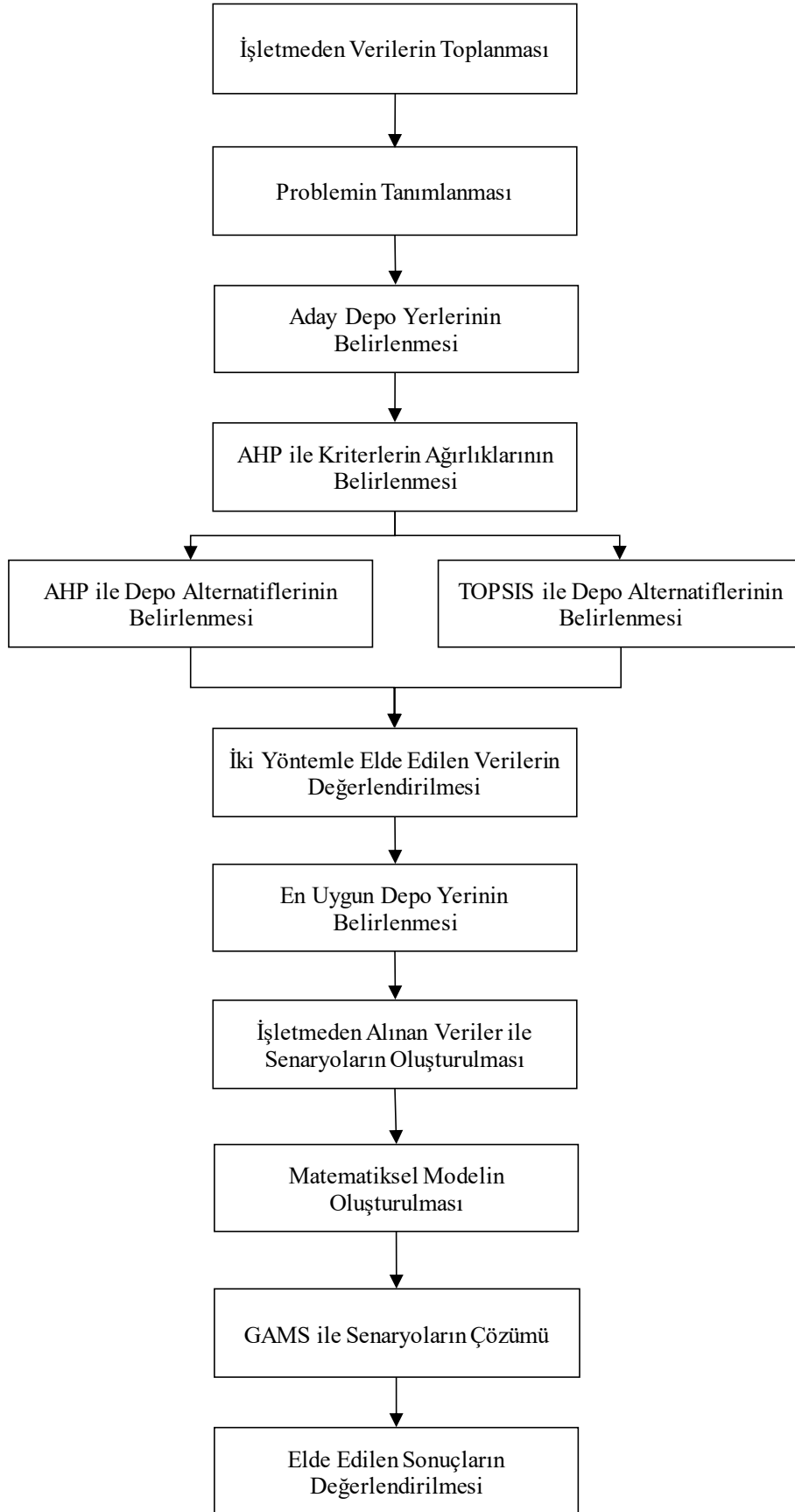
ile belirlenmiştir. Bu çalışma, depo yerinin seçimi ve dağıtım planlaması için bütünsel bir yaklaşımın önemine vurgu yapmaktadır.

Nebati (2024) çalışmasında afet durumlarında sağlık ürünlerinin hızlı bir şekilde ulaştırılabilmesi için uygun medikal depo yerlerinin seçilmesinin önemini vurgulamaktadır. Literatürde çok az örneği olan Tereddütlü Bulanık SWARA yöntemi kullanılarak, medikal depo yer seçiminde dikkate alınması gereken faktörler değerlendirilmiştir. Bulgular, ulaştırma maliyetinin en önemli faktör olduğunu göstermektedir.

### 3. Materyal ve yöntem

Bu çalışmada, madeni yağ dağıtım sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin depo yeri seçimi ve araç rotalama problemleri, ÇKKV teknikleri ve matematiksel modelleme yöntemleri kullanılarak çözülmüştür. İlk olarak, depo yeri seçimi için AHP ve TOPSIS yöntemleri ile alternatifler değerlendirilmiştir. Ardından, araç rotalama problemini çözmek için ARP yaklaşımı benimsenmiş ve matematiksel modelleme teknikleri uygulanmıştır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen çözüm modelinin temsili akış şeması, Şekil 1’de sunulmaktadır. Bu metodolojik çerçeve, işletmenin operasyonel verimliliğini artırmayı ve maliyetleri optimize etmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmada, çözüm modeli; 13. Nesil Intel Core i7-13700H 2.40 GHz işlemcili, 64 GB RAM’e sahip, Windows 11 Pro yüklü Monster marka bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. İlk aşamada, AHP ve TOPSIS yöntemlerinin hesaplamaları Microsoft Excel 2019 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise MATLAB 2015b’deki hazır fonksiyondan yararlanılmış ve GAMS yazılımının 23.5.1. versiyonu kullanılmıştır.



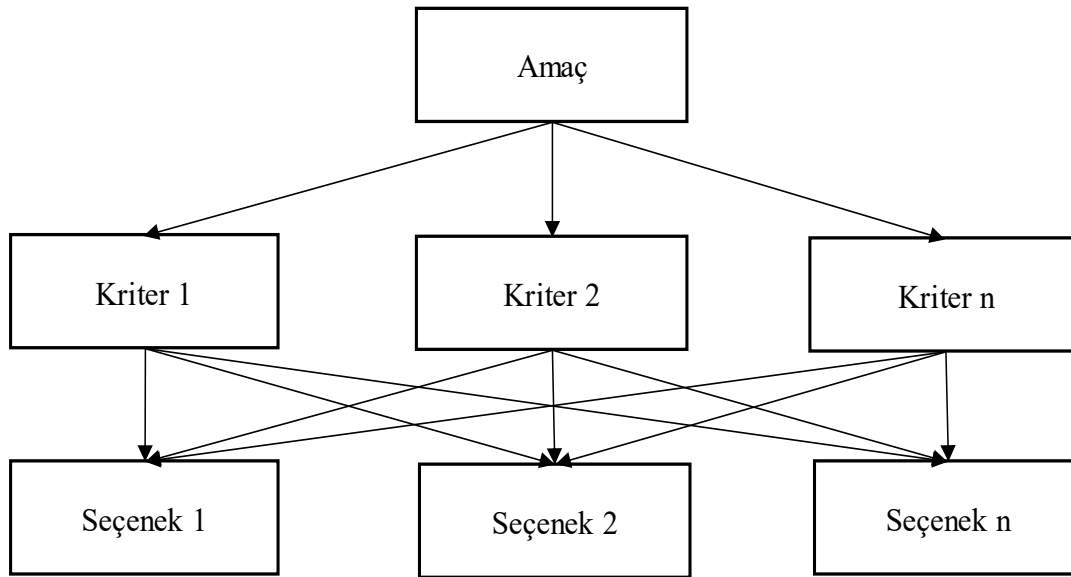
Şekil 1. Araştırmanın çözüm modelinin temsili akış şeması

### 3.1. AHP yöntemi

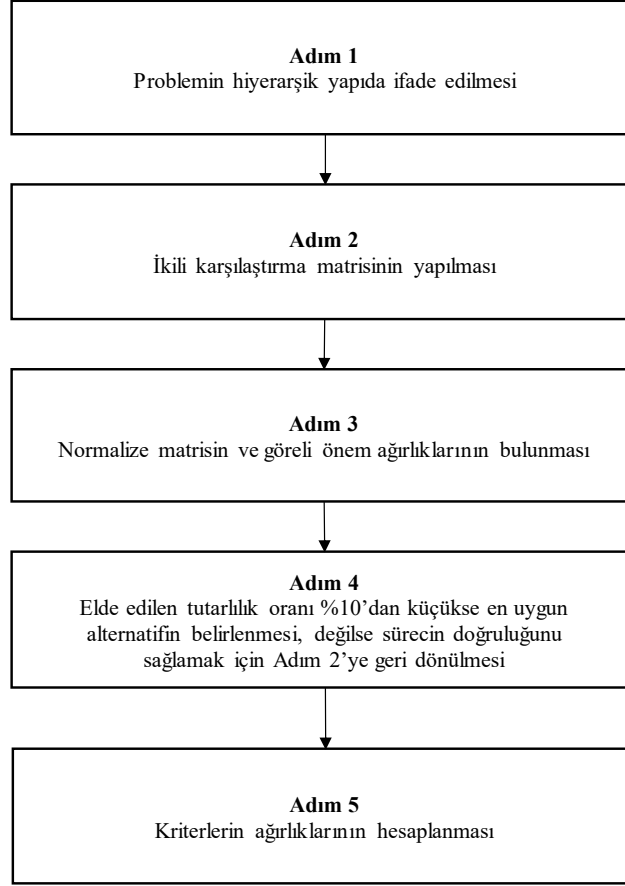
AHP, 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ÇKKV yöntemlerinden birisidir (Tayyar vd., 2014). Literatür incelendiğinde, ÇKKV’de en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olduğu görülmektedir (Haliloğlu ve Odabaş, 2018). AHP; personel, makine, kuruluş yeri belirleme gibi çeşitli alanlarda ve anlaşmazlıkların çözümünde sıkça kullanılmaktadır (Vargas, 1990; Kaçaroglu ve Organ, 2020). AHP ile seçim karar vericinin öncelikleri belirlemesine yardımcı olmaktadır (Kaplan vd., 2023).

AHP yönteminde, öncelikle problem hiyerarşik bir yapıya dönüştürülür. Problemin amacı ve değerlendirme kriterleri belirlenir, daha sonra alternatifler oluşturulur (Kaplan vd., 2023). AHP yöntemine ait örnek bir üç aşamalı hiyerarşik yapı, Şekil 2’de yer almaktadır. Bu şekil, ÇKKV sürecinde kullanılan hiyerarşik bir modeli göstermektedir. En üstte yer alan amacın altında belirlenen kriterler ve bu kriterlerin çeşitli seçeneklerle ilişkileri, karar sürecindeki etkileşimleri temsil etmektedir.

Kriterler, ikili karşılaştırma matrisi ile değerlendirilir ve her bir kriterin diğerine göre ne kadar önemli olduğu puanlanır. Puanlama işlemi sonrasında, kriterlerin göreceli önem değerlerini belirlemek amacıyla normalize edilmiş bir matris oluşturulur. Bu matrisin tutarlılık oranı hesaplanır; literatüre göre bu oran %10’dan küçükse yapılan işlemler geçerli kabul edilir (Erdaş ve Ecer, 2022). AHP’in adımları, Şekil 3’te bir akış şeması olarak gösterilmiştir. Bu şekilde; ilk olarak problem tanımlanır ve kriterler belirlenir, ardından ikili karşılaştırmalarla bu kriterlerin göreceli önemi hesaplanır. Karşılaştırma matrisinin normalize edilmesiyle, her kriterin ağırlıkları elde edilir ve tutarlılık oranı hesaplanarak kararın doğruluğu kontrol edilir. Son olarak, alternatifler belirlenen kriterlere göre değerlendirilerek en uygun çözüm seçilir. Bu adımlar, AHP’nin karar verme sürecindeki tutarlılığı ve doğruluğu sağlamaya yönelik sistematik bir yaklaşım sunar. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulurken temel ölçek tablosu kullanılır. Temel ölçek tablosu Tablo 1’de, rassal tutarlılık indeksi (RI) değerleri ise Tablo 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Üç seviyeli hiyerarşik yapı (Gürel vd., 2022; Ekin ve Dolanbay, 2024)



**Şekil 3.** AHP yönteminin akış şeması (Kaplan vd., 2023)

**Tablo 1.** Temel ölçek tablosu (Demirkol, 2021)

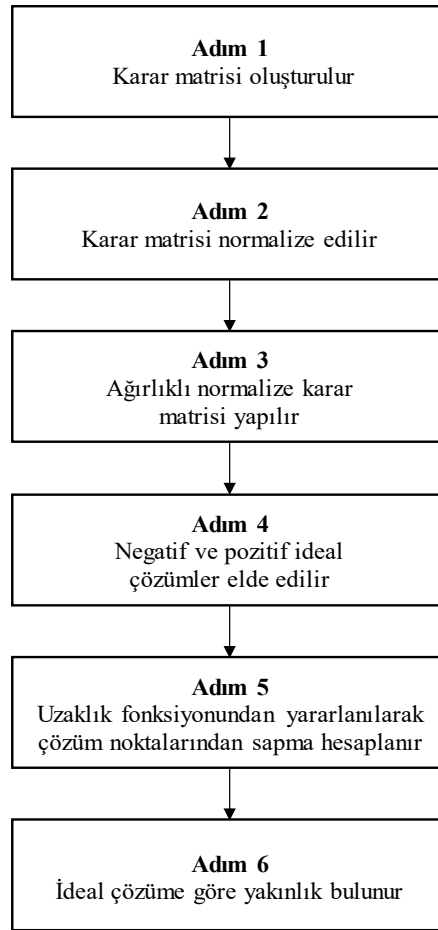
Değer	Tanım	Açıklama
2,4,6,8	Ara Değer	İki faktör arasındaki değerlendirme aralığı
1	Eşit Önemli	Her iki faktör de eşit derecede önemli
3	Orta Önemli	Bir faktör, diğerine göre hafif bir önem farkına sahip
5	Önemli	Bir faktör, diğerine göre belirgin şekilde daha önemli
7	Çok Önemli	Bir faktör, diğerine göre çok daha güçlü bir öneme sahip
9	Aşırı Önemli	Bir faktör, diğerine göre aşırı derecede daha önemli

**Tablo 2.** RI değerleri (Özden, 2008)

<b>Boyut</b>	<b>Rassal Tutarlılık İndeksi</b>
1	0
2	0
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,25
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49

### 3.2. TOPSIS yöntemi

TOPSIS yöntemi, Ching-Lai Hwang ve Kwangsun Yoon tarafından 1981 yılında akademik dünyaya kazandırılmış olup, AHP'den sonra en yaygın ve popüler ikinci ÇKKV yöntemidir (Çelikkbilek ve Tüysüz, 2020). Bu yöntem; lojistik, tedarik zinciri yönetimi, tasarım, mühendislik, üretim sistemleri, işletme, insan kaynakları, pazarlama ve sağlık gibi farklı disiplinlerde sıkça uygulanmaktadır (Behzadian, 2012). Bu yöntem, negatif ideal ve pozitif ideal çözümleri belirleyerek, bu çözümlere en yakın olan alternatifi bulmayı amaçlar. Her alternatifin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm noktalarına göre oluşan sapmalarını hesaplamak için Öklidyen Uzaklık Fonksiyonu kullanılır (Youssef, 2020; Kaplan vd., 2023). Şekil 4'te TOPSIS yönteminin akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 4. TOPSIS yöntemi akış şeması (Kaplan vd., 2023)

### 3.3. ARP'nin tanıtımı

ARP, 1959 yılında George Dantzig ile John Ramser tarafından literatüre kazandırılmıştır. Dantzig ve Ramser, akaryakıt istasyonlarına dağıtım sorununa odaklanarak bu sorunun çözümü için tam sayılı matematiksel bir model geliştirmişlerdir (Tan ve Yeh, 2021). Clarke ve Wright ise 1964 yılında Dantzig ve Ramser'in çalışmalarına uygulaması kolay yeni bir sezgisel algoritma önererek, araç rotalama problemlerine olan ilgiyi artırmışlardır (Laporte, 2009). Başlangıçta sınırlı bir ilgi gören ARP, günümüzde birçok disiplinin inceleme alanına girmiş ve çözümüne yönelik farklı yöntemlerin geliştirilmesiyle önemli bir akademik araştırma alanı olarak öne çıkmıştır (Toth ve Vigo, 2002).

ARP; tek veya daha fazla depoya sahip bir işletmenin, farklı coğrafi noktalarda konumlanan müşterilere ürün teslim ederken toplam maliyetini, seyahat mesafesini veya süresini minimum düzeye indirmeyi

amaçlayan bir rota planlama problemidir (Boumpa, 2023). ARP'nin temel hedefi, dağıtım ya da toplama işlemlerinde kullanılan araçların, müşterilere en düşük maliyetle ve en kısa mesafeyi kat ederek ulaşmasını sağlamaktır.

ARP, Gezgin Satıcı Probleminin genel bir uyarlaması olduğundan NP-Zor sınıfına girmektedir. Bu nedenle, problem belirli bir büyüklüğe kadar kesin yöntemlerle çözülebilir. Ancak, problem büyüdükçe, kesin yöntemlerin etkinliği azalır ve bu durumda sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler kullanılarak kesin ya da yaklaşık çözümler elde edilmeye çalışılır (Kuzu vd., 2014). ARP'nin çözümünde kullanılan yöntemler; kesin çözüm, sezgisel ve meta sezgisel algoritmaları olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır (Turhan, 2024). Belirli bir problemin en uygun çözümünü bulmayı amaçlayan ve bu çözümü garanti eden teknikler kesin çözüm teknikleridir. Bu tür yöntemler arasında dal ve sınır algoritması, dinamik programlama gibi yöntemler yer alır. Sezgisel algoritmalar ise, belirli bir probleme özgü olarak tasarlanmış ve genellikle yaklaşık çözümler üreten algoritmalar; örnek olarak Clarke-Wright Kazanma algoritması ve en yakın komşuluk algoritması verilebilir. Meta-sezgisel algoritmalar ise daha geniş bir uygulama alanına sahip olup, farklı problemlere uyarlanabilen benzetimli tavlama ve tabu arama gibi algoritmaları içerir. Bu algoritmalar, genellikle karmaşık problemlerin çözümünde kullanılır ve belirli bir problem türüne bağlı kalmaksızın çeşitli senaryolara uyarlanabilir. ARP problemlerinin çözümünde ifade edilen bu üç algoritmaya ek olarak, literatürde hipersezgisel ve hibrit algoritmalar da bulunmaktadır (Garside vd., 2024).

G. B. Dantzig ve J. H. Ramser tarafından kapasite kısıtlı ARP'nin matematiksel modeli geliştirilmiştir (Agardi vd., 2022). Bu model, Eşitlik (1) ile (7) arasında ayrıntılı olarak açıklanmış olup, temel olarak depo ve müşteriler arasındaki bağlantı noktaları ile araçlar olmak üzere iki ana bileşeni içermektedir (Erol, 2006). Problemin varsayımları şu şekildedir: Dağıtım çıkan araçlar, taşıma kapasitelerini aşmadan rotalarındaki müşterilerin taleplerini karşılamalı, her müşteri yalnızca bir kez ziyaret edilmeli ve tüm araçlar dağıtım işlemini tamamladıktan sonra depoya geri dönmelidir.

Kapasite Kısıtlı ARP'nin matematiksel modeli,  $G=(N, A)$  çizgesi üzerinde tanımlanmıştır. Bu çizgede,  $N=\{0, 1, 2, 3, \dots, n\}$  kümesi, düğümleri temsil etmektedir. Depo, 0 numaralı düğüm ile ve müşteriler ise diğer düğümler ile gösterilmektedir. Modeldeki tüm müşteriler  $N_c=\{1, 2, 3, \dots, n\}$  kümesi ile tanımlanır. Araçlar homojendir; araç sayısı  $q$  ve her bir aracın taşıma kapasitesi  $Q$  ile belirtilmektedir. Araçlar kümesi ise  $V=\{1, 2, 3, \dots, q\}$  olarak tanımlanır. Bu matematiksel modelde kullanılan indisler, parametreler, karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıda belirtilmiştir.

#### İndisler

$N$	Tüm noktaların kümesi
$N_c$	Tüm müşterilerin kümesi
$V$	Tüm araçların kümesi
$i, j$	Noktalarda kullanılacak indisler
$k$	Araçlar için indis

#### Parametreler

$C_{ij}$	$i$ . ve $j$ . noktaları arasındaki uzaklık	$(i, j \in N)$
$d_i$	$i$ . müşterinin dağıtım talebi	$(i \in N_c)$

#### Karar Değişkenleri

$X_{ijk}$	$i$ . noktadan $j$ . noktaya $k$ . araç ile gidiliyorsa 1, yoksa 0
-----------	--

#### Amaç Fonksiyonu

$$Z_{min} = \sum_{k=1}^V \sum_{j=0}^N \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^N C_{ij} * X_{ijk} \quad (1)$$

#### Kısıtlar

$$\sum_{k=1}^V \sum_{j=1}^N X_{ijk} = q \quad i = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^V \sum_{i=0}^N X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N_c \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^V \sum_{j=0}^N X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N_c \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{i0k} \leq 1 \quad \forall k \in V \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N d_i \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N X_{ijk} \leq Q \quad \forall k \in V \quad (6)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in V, \forall i, j \in N \quad (7)$$

Eşitlik (1)'deki amaç fonksiyonu, mesafenin minimize edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Eşitlik (2), depodan çıkan toplam araç sayısının  $q$  olduğunu belirtmektedir. Eşitlikler (3) ve (4), her bir müşteri için sadece bir araç tarafından hizmet verilmesi gerektiğini ve müşteriye ulaşan yol ile müşteriden ayrılan yol arasında yalnızca birinin kullanılmasının zorunlu olduğunu ifade etmektedir. Eşitlik (5), her aracın yalnızca bir kez depodan çıkacağını ve bu nedenle rotalamada bir kez kullanılacağını göstermektedir. Eşitlik (6), araca yapılan yüklemelerin, aracın kapasite sınırı olan  $Q$ 'yu aşmaması gerektiğini açıklamaktadır. Eşitlik (7) ise, karar değişkeninin ikili (binary) değişken olduğunu ifade etmektedir (Erol, 2006; Turhan, 2024).

#### 4. Bulgular ve uygulama

Bu çalışmada, madeni yağ sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin lojistik süreçleri incelenmiştir. Özellikle, Muğla ilindeki en uygun depo yeri seçimi ve bu depo lokasyonundan taşıma maliyetlerini minimize edecek rotaların belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS teknikleri kullanılarak, lojistik depo yerinin en uygun şekilde belirlenmesi sağlanmıştır. İkinci aşamada, seçilen depo noktasından müşterilere yapılan dağıtım ve toplama işlemleri için en verimli rotalar GAMS yazılımı ile hesaplanmış; bu süreçte kesin ya da yaklaşık çözümler elde edilmiştir.

##### 4.1. Aşama 1

Bu aşamada öncelikle uygun depo yeri belirleyebilmek için AHP ve TOPSIS yöntemleri için işletme yetkilileri ve akademisyenler ile görüşülerek kriterler belirlenmiştir. Bu seçim problemi için deponun şehir merkezine uzaklığı, deponun kullanım alanı, deponun kiralama maliyeti, deponun geri dönüşüm firmasına uzaklığı ve deponun sahip olduğu enerji sınıfı olarak beş kriter belirlenmiş ve işletmeden alınan bilgiler sonucunda 5 aday depo yeri tespit edilerek bu seçim problemine eklenmiştir. Bu gerçek hayattaki problemin kriter ağırlıklarını belirlemek için AHP yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan kriterler, Tablo 3'te gösterilmiştir. Kriterlerin AHP ile ağırlıklandırılması, Dalalah vd. (2010), Mosadeghi vd. (2015), Haseli vd. (2020) gibi birçok çalışmada kullanılmıştır. Çalışmada üç uzmanın görüşleri alınmış olup, puanlamalar ortalama alınarak değerlendirilmiş ve Tablo 4'te AHP yöntemine ait kriterlerin ikili karşılaştırma matrisine dair veriler sunulmuştur.

Literatürde, tutarlılık oranının (CR) %10'un altında olması, yapılan karşılaştırmaların tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, tutarlılık oranı (CR) %5,4 olarak hesaplanmış olup, AHP yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları Tablo 5'te sunulmaktadır.

Tablodaki verilere göre, depo seçiminde en önemli kriter %50,3 ile Kiralama Maliyeti ( $K3$ ), bu da ekonomik maliyetlerin karar verme sürecinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Kullanım Alanı ( $K2$ ) %26,0 ağırlıkla ikinci sırada gelirken, depo alanının operasyonel süreçler için önemini vurgulamaktadır. Şehir Merkezine Uzaklık ( $K1$ ) %13,4 ile üçüncü sırada yer almakta ve lojistik maliyetlerde etkili bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Geri Dönüşüm Firmasına Uzaklık ( $K4$ ) %6,8 oranında ağırlığa sahipken, Enerji Sınıfı ( $K5$ ) %3,5 ile en düşük öneme sahiptir; bu da çevresel faktörlerin diğer kriterlere göre daha az belirleyici olduğunu işaret etmektedir. Probleme ait normalleştirilmiş karar matrisi ve AHP yöntemiyle elde edilen sonuç Tablo 6'da görülmektedir. Bu tabloya göre en iyi değere sahip seçenek AHP yöntemi uygulandığında, *Aday3* olduğu görülmüştür. Bunu sırasıyla *Aday4*, *Aday1*, *Aday2* ve *Aday5* takip etmektedir.

**Tablo 3.** Kriterlerin açıklanması

<b>Kriterler</b>	<b>Açıklama</b>
Deponun Şehir Merkezine Uzaklığı ( <i>K1</i> )	Depo yerinin şehir merkezine uzaklığı; tedarik zinciri yönetiminde lojistik maliyetleri, teslimat sürelerini etkileyebilecek faktördür.
Deponun Kullanım Alanı ( <i>K2</i> )	Deponun kullanım alanı; kullanım alanı büyüklüğü ölçüsünde lojistik faaliyetler (elleçleme, paketleme, depolama vb.) daha verimli gerçekleştirilir.
Deponun Kiralama Maliyeti ( <i>K3</i> )	Deponun kiralama maliyeti; işletmelerin lojistik harcamalarını doğrudan etkileyen temel bir kriterdir.
Deponun Geri Dönüşüm Firmasına Uzaklığı ( <i>K4</i> )	Deponun geri dönüşüm firmasına uzaklığı; işletmenin müşterilerinden aldığı atıkların etkin bir şekilde geri dönüşüm tesisine ulaştırılma süresi ve taşıma maliyeti üzerinde doğrudan etkili olan önemli bir kriterdir.
Deponun Sahip Olduğu Enerji Sınıfı ( <i>K5</i> )	Deponun sahip olduğu enerji sınıfı; binanın enerji verimliliğini belirleyen bir ölçüttür. A sınıfından G sınıfına kadar enerji sınıfları vardır. Bu kriter, literatürde oldukça az sayıda çalışmada tartışılmaktadır.

**Tablo 4.** AHP yönteminde elde edilen ikili karşılaştırma matrisi

	<i>K1</i>	<i>K2</i>	<i>K3</i>	<i>K4</i>	<i>K5</i>
<i>K1</i>	1	0,333	0,2	3	5
<i>K2</i>	3	1	0,333	5	7
<i>K3</i>	5	3	1	7	9
<i>K4</i>	0,333	0,2	0,142	1	3
<i>K5</i>	0,2	0,142	0,111	0,333	1

**Tablo 5.** AHP yöntemiyle elde edilen kriterlerin ağırlıkları

<b>Kriterler</b>	<b>Ağırlık</b>
<i>K1</i>	0,134
<i>K2</i>	0,260
<i>K3</i>	0,503
<i>K4</i>	0,068
<i>K5</i>	0,035

**Tablo 6.** AHP yöntemi ile genel sonucun elde edilmesi

Seçenekler	<i>K1</i>	<i>K2</i>	<i>K3</i>	<i>K4</i>	<i>K5</i>	Sonuç Değeri
<i>Aday1</i>	0,326	0,221	0,138	0,155	0,333	0,193
<i>Aday2</i>	0,152	0,237	0,162	0,200	0,333	0,189
<i>Aday3</i>	0,159	0,169	0,306	0,23	0,111	0,238
<i>Aday4</i>	0,181	0,21	0,212	0,177	0,167	0,203
<i>Aday5</i>	0,181	0,163	0,183	0,238	0,056	0,177

Bu çalışmada, en uygun depo yerinin belirlenmesi amacıyla AHP yöntemi ile birlikte TOPSIS yöntemi de kullanılmıştır. Depo yeri seçiminde TOPSIS yöntemi ile yapılan değerlendirme sürecinin ilk aşamasında, alternatifler belirlenen kriterler doğrultusunda analiz edilmiştir. Bu kapsamda, karar matrisi mevcut veriler üzerinden ölçeklendirilerek oluşturulmuştur. TOPSIS yönteminde, her bir elemanın normalizasyonu gerçekleştirilerek 5x5 boyutundaki normalleştirilmiş karar matrisi elde edilmiş ve bu matris Tablo 7’de gösterilmiştir.

Normalleştirilmiş karar matrisi ile hesaplanan kriter ağırlıklarının çarpımı neticesinde elde edilen sonuçlar Tablo 8’de sunulmaktadır. TOPSIS yöntemi uygulandığında, en yüksek ağırlığa sahip seçenek *Aday3* olarak birinci sırada yer almakta; bunu sırasıyla *Aday4*, *Aday5*, *Aday2* ve *Aday1* takip etmektedir.

**Tablo 7.** Normalleştirilmiş karar matrisi

	<i>K1</i>	<i>K2</i>	<i>K3</i>	<i>K4</i>	<i>K5</i>
<i>Aday1</i>	0,248	0,489	0,586	0,555	0,647
<i>Aday2</i>	0,532	0,524	0,498	0,43	0,647
<i>Aday3</i>	0,508	0,374	0,264	0,375	0,216
<i>Aday4</i>	0,446	0,465	0,381	0,486	0,323
<i>Aday5</i>	0,446	0,360	0,440	0,361	0,108

**Tablo 8.** TOPSIS'e göre sonuç değeri

Seçenekler	Sonuç Değeri
<i>Aday1</i>	0,249
<i>Aday2</i>	0,342
<i>Aday3</i>	0,748
<i>Aday4</i>	0,613
<i>Aday5</i>	0,422

Ekin ve Dolanbay (2024) çalışmasında olduğu gibi, bu çalışmada da problemde hesaplanan AHP ve TOPSIS yöntemlerinin sonuçları, ortalamaları ve sıralamaları Tablo 9'da sunulmuştur. Bu tabloya göre, depo yeri seçimi açısından *Aday3* birinci sırada yer alırken, onu sırasıyla *Aday4*, *Aday5*, *Aday2* ve son sırada *Aday1* takip etmektedir. Bu bulgular doğrultusunda, en uygun depo yeri seçeneği olarak *Aday3* öne çıkmaktadır.

**Tablo 9.** Hesaplanan sonuç tablosu

Seçenekler	AHP	TOPSIS	İki Yöntemin Ortalaması	Sıralama
<i>Aday1</i>	0,193	0,250	0,221	5
<i>Aday2</i>	0,189	0,343	0,266	4
<i>Aday3</i>	0,238	0,749	0,494	1
<i>Aday4</i>	0,203	0,613	0,408	2
<i>Aday5</i>	0,177	0,423	0,300	3

#### 4.2. Aşama 2

Önceki aşamada ÇKKV yöntemiyle belirlenen en uygun depo yeri, *Aday3* olarak tespit edilmiştir. Bu aşamada ise tespit edilen depo yerini esas alarak işletmenin müşterilerine dağıtım ve toplama yapabileceği en uygun rota tespit edilecektir. Bu çalışmada, gerçek hayattan alınan bir problem üzerine odaklanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda problemin, EZTDARP olduğu tespit edilmiştir. Bu çerçevede, işletmenin karşılaştığı problemlere çözüm sunan bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen modelin çözümüne yönelik varsayımlar ise aşağıda sıralanmıştır:

- Araçlar filosu homojendir ve her bir aracın kapasitesi 3000 kg'dır.
- Müşterilerin tüm talepleri bir depodan karşılanmaktadır.
- Tüm müşteri taleplerinin karşılanmak zorundadır.
- Araçlar, rotalarına depodan başlamakta ve servis süreci tamamlandıktan sonra tekrar depoya dönmektedir.
- Araçların, depoda hazır durumda olduğu varsayılmaktadır.

- Dağıtım ve toplama taleplerinin tek bir ziyarette yerine getirilmesi gerekmektedir; yani bu talepler bölünemez.
- Müşterilerin konumları, müşterilerin birbiri arasındaki mesafeleri, müşterilerin toplama ve dağıtım talepleri önceden bilinmekte ve bu talepler sabit kabul edilmektedir.
- Araç arızası, olumsuz trafik koşulları, sürücü kaynaklı olası durumlar gibi etkenlerin olmadığı varsayılmaktadır.

Çalışmada kullanılan matematiksel model, Turhan (2024)'ın çalışmasından esinlenerek önerilmiştir. Başka bir deyişle, bu çalışmadaki matematiksel modele, EZTDARP için uygun bir amaç fonksiyonu, karar değişkenleri ile kısıtlar eklenerek veya çıkarılarak, Eşitlik (8)-(24) arasındaki formülasyonda sunulan matematiksel model oluşturulmuştur. Söz konusu model; araçlar, depo ve müşteriler olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Her bir müşteri için toplama ve dağıtım işlemleri aynı anda gerçekleştirilebilmektedir. Depo ve müşteriler, nokta biçiminde temsil edilmiştir. EZTDARP,  $G=(N, A)$  çizgesi üzerinde tanımlanır. Müşteri sayısı  $n$ , depo sayısı  $l$  ve araç sayısı  $q$ 'dur. Araçlar kümesi  $V=\{1, 2, 3, \dots, q\}$ , toplam noktalar kümesi  $N=\{1, 2, 3, \dots, n, n+1\}$ , depo kümesi  $N_d=\{n+1\}$ , müşteri kümesi  $N_c=\{1, 2, 3, \dots, n\}$  ve bağlantı kümesi ise  $A$ 'dır. Ele alınan modelde kullanılan indisler, parametreler, karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar aşağıda sıralanmıştır:

#### İndisler

$i, j, h$	Noktalarda kullanılacak indisler
$k$	Araçlarda kullanılacak indis
$N$	Tüm noktaların kümesi
$V$	Tüm araçların kümesi
$N_d$	Deponun kümesi
$N_c$	Tüm müşterilerin kümesi

#### Parametreler

$C_{ij}$	$i$ . ile $j$ . noktaları arasındaki mesafe	$(i, j \in N)$
$d_i$	$i$ . müşterinin dağıtım talebi	$(i \in N_c)$
$p_i$	$i$ . müşterinin toplama talebi	$(i \in N_c)$

#### Skaler İfadeler

$N$	Tüm noktaların sayısı
$Q$	Aracın kapasitesi

#### Karar Değişkenleri

$X_{ijk}$	$i$ . noktadan $j$ . noktaya $k$ . araç ile gidiliyorsa 1, yoksa 0
$u_i$	Alt turları engelleyen karar değişkeni
$y_{ij}$	$i$ . noktadan $j$ . noktaya gelene kadar toplanan kümülatif yük miktarı
$z_{ij}$	$i$ . noktadan $j$ . noktaya gelene kadar dağıtılan kümülatif yük miktarı

#### Amaç Fonksiyonu

$$Z_{min} = \sum_{k=1}^V \sum_{j=1}^N \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N C_{ij} * X_{ijk} \quad (8)$$

#### Kısıtlar

$$\sum_{k=1}^V \sum_{i=1}^N X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N_c \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^V \sum_{j=1}^N X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N_c \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{ihk} - \sum_{j=1}^N X_{hjk} = 0 \quad \forall h \in N, \forall k \in V \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{N_d} \sum_{j=1}^{N_c} X_{ijk} \leq 1 \quad \forall k \in V \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^{N_d} \sum_{i=1}^{N_c} X_{ijk} \leq 1 \quad \forall k \in V \quad (13)$$

$$X_{ijk} = 0 \quad \forall i, j \in N, \forall k \in V, i = j \quad (14)$$

$$u_i - u_j + N * X_{ijk} \leq N - 1 \quad \forall i, j \in N_c, \forall k \in V, i \neq j \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^{N_d} y_{ij} = 0 \quad \forall j \in N_c \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^{N_d} z_{ij} = 0 \quad \forall i \in N_c \quad (17)$$

$$y_{ij} + z_{ij} \leq \sum_{k=1}^V Q * X_{ijk} \quad \forall i, j \in N \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^N z_{ij} - \sum_{i=1}^N z_{ji} = d_j \quad \forall j \in N_c \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^N y_{ji} - \sum_{i=1}^N y_{ij} = p_j \quad \forall j \in N_c \quad (20)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, \forall k \in V \quad (21)$$

$$u_i \geq 0 \quad \forall i \in N_c \quad (22)$$

$$y_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \in N \quad (23)$$

$$z_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \in N \quad (24)$$

Önerilen matematiksel modelin amaç fonksiyonu, Eşitlik (8)'de belirtildiği gibi, araçların kat ettiği toplam mesafeyi en aza indirmeye çalışmaktadır. Eşitlik (9) ve (10)'daki kısıtlar, her noktaya sadece bir kez gidilmesini sağlar. Eşitlik (11), turun sürekliliğini sağlayarak aynı araçla müşterilere hizmet verilmesini temin eder. Eşitlik (12) ve (13) aracın depodan çıkışını ve tekrar depoya dönüşünü garanti altına alır. Eşitlik (14), aracın aynı noktayı tekrar ziyaret etmesini engeller. Eşitlik (15) ise alt tur oluşumunu engeller. Eşitlik (16), aracın topladığı yükün tur başında sıfır; Eşitlik (17)'de aracın dağıttığı yükün, turun sonunda sıfır olması gerektiğini açıklar. Eşitlik (18), rota içindeki herhangi bir müşteride aracın kapasitesini aşmamasını belirtir. Eşitlik (19), aracın dağıtması gereken yükün, aracın rota boyunca azalarak izlenmesini sağlar. Eşitlik (20) ise aracın toplaması gereken yükün, rota boyunca artarak izlenmesini sağlar. Eşitlik (21), karar değişkeninin ikili (binary) değişken olduğunu gösterir. Eşitlik (22), (23) ve (24) ise sırasıyla alt turları engelleme kısıtının, toplanan yük miktarının ve dağıtılan yük miktarının sıfır veya sıfırdan büyük olduğunu ifade eder.

Bu çalışmada, işletmeden elde edilen veriler doğrultusunda rotalama problemini temsil eden beş farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryo kurgulanırken; işletmenin faaliyet gösterdiği coğrafi bölge, müşteri gruplarının hizmet sıklığına ilişkin öncelikleri, araç planlamasına dair kısıtları vb. dikkate alınmıştır. İşletmeden alınan veriler; deponun ve müşterilerin koordinat bilgileri ile müşterilerin dağıtım ve toplama taleplerini kapsamaktadır. Koordinat bilgileri kullanılarak MATLAB ortamında *distance()* fonksiyonu yardımıyla mesafe matrisleri hesaplanmıştır. Daha sonra, oluşturulan matematiksel model her bir senaryo için GAMS yazılımında çalıştırılmıştır. GAMS genellikle optimal çözüme uzun sürede ulaşabildiğinden, çözüm süresi 3600 saniye (1 Saat) ile sınırlandırılmış ve bu amaçla modele *Option Reslim=3600* komutu eklenmiştir. Tablo 10'da matematiksel modelin senaryolara göre çalıştırılması sonucu elde edilen bulgular sunulmaktadır.

**Tablo 10.** Senaryo bazlı optimizasyon performans özeti

Senaryo	Müşteri Sayısı	Araç Sayısı	$Z_{min}$	CPU(s)	Optimal Çözüm Sağlandı mı?
<i>Senaryo1</i>	15	4	594 km	3600	Hayır
<i>Senaryo2</i>	15	4	546 km	1815	Evet
<i>Senaryo3</i>	13	4	679 km	293	Evet
<i>Senaryo4</i>	18	5	660 km	3600	Hayır
<i>Senaryo5</i>	19	5	794 km	3600	Hayır

*Senaryo1*'de 15 müşteri ve 4 araçla gerçekleştirilen rotalama sonucunda, 594 km'lik bir amaç fonksiyonu değeri elde edilmiştir ve bu sonuca 3600 saniyede ulaşılmıştır. *Senaryo2*'de aynı müşteri ve araç sayıları ile 546 km'lik amaç fonksiyonu değeri elde edilmiş olup, bu sonuç 1815 saniyede elde edilmiştir. *Senaryo3*'te 13 müşteri ve 4 araçla yapılan rotalama sonucunda, 679 km'lik bir mesafe kat edilmiş ve bu sonuca 293 saniyede ulaşılmıştır. *Senaryo4*'te 18 müşteri ve 5 araçla 630 km'lik sonuç 3600 saniyede elde edilmiştir. Son olarak, *Senaryo5*'te 19 müşteri ve 5 araçla 794 km'lik bir sonuç elde edilmiş ve bu sonuca 3600 saniyede ulaşılmıştır. *Senaryo2* ve *Senaryo3*'te kesin (optimal) sonuçlara ulaşılmışken, *Senaryo1*, *Senaryo4* ve *Senaryo5*'te belirlenen süre sınırı (3600 saniye) nedeniyle optimal çözümler elde edilememiştir.

Bu durumun temel nedeni; söz konusu üç senaryonun, *Senaryo2* ve *Senaryo3*'e göre çok daha geniş bir arama uzayına sahip olmasıdır. Tablo 11'de, senaryolara göre depo ve teslimat noktaları arasındaki rotalar ile her bir senaryoya ait rota uzunlukları gösterilmektedir. Bu tabloya göre, her bir senaryo için oluşturulan araç rotalarını ve bu rotalara ait toplam mesafe değerlerini ayrıntılı biçimde sunarak, dağıtım süreçlerinin verimliliğini nicel olarak karşılaştırmaya olanak tanımaktadır. Özellikle *Senaryo2*'nin en düşük toplam rota uzunluğuna sahip olması, optimizasyon modelinin maliyet azaltıcı etkisini somut biçimde ortaya koymaktadır.

**Tablo 11.** Senaryolara göre rotalar ve uzunlukları

<i>Senaryo1</i>	Rota 1: Depo-14-9-7-15-Depo	Rota Uzunluğu=112 km
	Rota 2: Depo-4-3-2-6-Depo	Rota Uzunluğu=178 km
	Rota 3: Depo-10-13-12-Depo	Rota Uzunluğu=140 km
	Rota 4: Depo-8-5-1-11-Depo	Rota Uzunluğu=164 km
	<b>Toplam Rota Uzunluğu= 594 km</b>	
<i>Senaryo2</i>	Rota 1: Depo-24-23-30-Depo	Rota Uzunluğu=152 km
	Rota 2: Depo-29-28-22-26-Depo	Rota Uzunluğu=87 km
	Rota 3: Depo-27-16-19-21-Depo	Rota Uzunluğu=167 km
	Rota 4: Depo-25-20-18-17-Depo	Rota Uzunluğu=140 km
	<b>Toplam Rota Uzunluğu= 546 km</b>	
<i>Senaryo3</i>	Rota 1: Depo-36-32-41-43-Depo	Rota Uzunluğu=118 km
	Rota 2: Depo-33-40-31-Depo	Rota Uzunluğu=131 km
	Rota 3: Depo-38-42-34-Depo	Rota Uzunluğu=201 km
	Rota 4: Depo-39-37-35-Depo	Rota Uzunluğu=229 km
	<b>Toplam Rota Uzunluğu= 679 km</b>	
<i>Senaryo4</i>	Rota 1: Depo-52-56-57-Depo	Rota Uzunluğu=74 km
	Rota 2: Depo-47-48-61-55-Depo	Rota Uzunluğu=154 km
	Rota 3: Depo-44-59-45-49-Depo	Rota Uzunluğu=162 km
	Rota 4: Depo-50-46-60-51-Depo	Rota Uzunluğu=163 km
	Rota 5: Depo-54-58-53-Depo	Rota Uzunluğu=107 km
	<b>Toplam Rota Uzunluğu= 660 km</b>	
<i>Senaryo5</i>	Rota 1: Depo-76-80-66-65-Depo	Rota Uzunluğu=214 km
	Rota 2: Depo-78-70-74-71-Depo	Rota Uzunluğu=143 km
	Rota 3: Depo-75-63-79-68-Depo	Rota Uzunluğu=192 km
	Rota 4: Depo-64-69-62-77-Depo	Rota Uzunluğu=186 km
	Rota 5: Depo-72-67-73-Depo	Rota Uzunluğu=59 km
	<b>Toplam Rota Uzunluğu= 794 km</b>	

## 5. Sonuç ve öneriler

Günümüzün hızlı değişim gösteren ve rekabetçi iş dünyasında, lojistik işletmelerin başarısını doğrudan etkileyen kritik bir faktör haline gelmiştir. Lojistiğin temel bileşenlerinden olan depo yeri seçimi ve dağıtım güzergahlarının belirlenmesi, işletmelerin verimliliğini ve hizmet kalitesini doğrudan etkileyen önemli kararlardır. Bu bağlamda; alınan iki karar ile, işletmelere hem maliyet tasarrufu hem de pazar payı açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

ÇKKV yöntemlerinin etkin bir şekilde kullanılması, lojistik kararların doğruluğunu artırmada büyük rol oynamaktadır. Bu çalışmada, AHP ve TOPSIS gibi yaygın olarak kullanılan ÇKKV yöntemleri, depo yerinin belirlenmesi ve en verimli dağıtım rotalarının optimize edilmesinde kullanılmıştır. Bu yöntemler, farklı kriterlerin birbirleriyle ilişkisini değerlendirerek, karar vericilere daha kapsamlı ve tutarlı sonuçlar sunmaktadır. Depo yeri seçimi aşamasında, AHP ve TOPSIS yöntemlerinin kullanılmasıyla, her bir aday yerin avantajları ve dezavantajları objektif bir şekilde değerlendirilmiş, en uygun depo yeri olarak *Aday3* belirlenmiştir. Bu bulgu, her iki yöntemin birbirini destekleyen sonuçlar sunduğunu ve seçilen depo yerinin optimum olduğuna dair tutarlı bir kanıt oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca; *K4* ve *K5* sürdürülebilirlik odaklı kriterlerin de dikkate alınması, yeşil lojistik hedefleriyle uyumlu kararlar alınmasını sağlamıştır.

İkinci aşama ise, belirlenen depodan müşteri taleplerini karşılayacak rotaların belirlenmesi ve dağıtım planlaması sürecini içermektedir. Burada, ele alınan problemin EZTDARP olduğu tespit edilmiş ve bu problem için GAMS yazılımında bir matematiksel model önerilmiştir. Bu model, beş farklı senaryo üzerinde test edilmiş ve her bir senaryo için optimal veya optimale yakın çözümler elde edilmiştir. GAMS yazılımının kullanılması, çözüm sürecinde hızlı ve doğru sonuçlar alınmasını sağlamış, rotaların optimize edilmesiyle birlikte verimlilik artışı sağlayacak öneriler sunulmuştur.

Bu çalışmada hem en uygun depo yeri seçimi hem de optimal araç rotası tespitinin birlikte ele alındığı bir araştırmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu nedenle, elde edilen sonuçların diğer çalışmalarla doğrudan karşılaştırılması mümkün olmamıştır. Çalışmanın literatüre katkısı, depo yeri seçimi ile araç rotası optimizasyonunun entegre bir model ile çözülmesidir. Ayrıca, çalışma gerçek bir işletmenin verileri esas alınarak hazırlanmış ve uygulama açısından da özgünlük taşımaktadır.

Bu araştırmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Uygun depo yerini belirlerken gerekli veriler zamanında elde edilememiştir. Bu durum, analizlerin güncelliğini etkilemiş ve kararların doğruluğunu kısıtlamıştır. Ayrıca, matematiksel modelde tüm parametreler dikkate alınmamış ve bazı varsayımlar yapılmıştır. Örneğin, mesafe hesaplamalarında öklidyen mesafe kullanılmıştır, ancak bu, gerçek dünya koşullarındaki mesafeleri tam olarak yansıtmayabilir. Çalışmada sürücü davranışları, araç arızaları ve trafik koşulları gibi faktörler göz önünde bulundurulmamıştır. Ancak, gerçek dünyada bu tür faktörler lojistik süreçlerde önemli bir rol oynar ve işletmenin lojistik maliyetlerin artışı üzerinde etkilidirler.

Sonuç olarak; bu çalışmada AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak madeni yağ dağıtımını yapan bir işletme için lojistik depo yeri seçimi yapılmış, ardından bu depoya göre EZTDARP çözülmüştür. Bu çalışma, lojistik yönetimi alanında literatüre bir katkı sunmaktadır. Ele alınan çalışma ile, lojistik süreçlerin giderek daha karmaşık hale geldiği günümüz iş dünyasında, ÇKKV yöntemlerinin ve matematiksel modellemenin etkin kullanımının önemini vurgulamaktadır. Gelecek çalışmalarda, lojistik optimizasyonu için yapay zekâ ve makine öğrenmesi tekniklerinin entegrasyonu, daha ileri düzeyde çözümler geliştirilmesine olanak tanıyacaktır. Ayrıca, sürdürülebilir lojistik uygulamalarının artan önemi göz önüne alındığında, çevresel faktörlerin ve enerji verimliliğinin de matematiksel modele dahil edilmesi önerilmektedir. Böylece, lojistik süreçlerin daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi sağlanabilir.

### Destek ve Teşekkür Beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Kaynakça

- Agardi, A., Kovács, L., & Bányai, T.** (2022). Mathematical Model for The Generalized VRP Model. *Sustainability*, 14(18), pp.1-22. <https://doi.org/10.3390/su141811639>
- Akçakoca, A. E., Kızılkaya Aydoğan, E., Delice, Y., & Himmetoğlu, S.** (2024). Heterojen Filolu ve Kapasite Kısıtlı Yeşil Araç Rotalama Problemi için Bir Matematiksel Model ve Endüstriyel Bir Uygulama. *Politeknik Dergisi*, 27(4), ss.1345-1352. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1200084>
- Aktepe, A., & Ersöz, S.** (2014). AHP-Vikor ve Moora Yöntemlerinin Depo Yeri Seçim Probleminde Uygulanması. *Endüstri Mühendisliği*, 25(1), ss.2-15.
- Altundaş, A., Kurtay, K. G., & Dağıstanlı, H. A.** (2023). KBRN Kiti Dağıtım Ağı Tasarımı Optimizasyonu için Eş Zamanlı Topla Dağıtım Araç Rotalama Problemi Yaklaşımı. *Savunma ve Savaş Araştırmaları Dergisi*, (1), ss.171-196. <https://doi.org/10.54078/savsad.1370431>
- Arıkan, Ö. U., & Öztürk, E.** (2022). Belediyelerin Otobüs Sürücülerinin İstihdam Kriterlerinin AHP ve SWARA Yöntemleri ile Belirlenmesi: Mersin Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 13(36), ss.1186-1207. <https://doi.org/10.21076/vizyoner.1098247>
- Atmaca, E.** (2012). Bir Kargo Şirketinde Araç Rotalama Problemi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 5(2), ss.12-27.
- Branca, G., Resciniti, R., & Babin, B. J.** (2024). Sustainable packaging design and the consumer perspective: a systematic literature review. *Italian Journal of Marketing*, 2024(1), 77-111. <https://doi.org/10.1007/s43039-023-00084-1>
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J.** (2012). A State-of-the-Art Survey of TOPSIS Applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), pp.13051-13069. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- Boumpa, E., Tsoukas, V., Chioktour, V., Kalafati, M., Spathoulas, G., Kakarountas, A., ..., & Malindretos, G.** (2023). A Review of The Vehicle Routing Problem and The Current Routing Services in Smart Cities. *Analytics*, 2(1), pp.1-16. <https://doi.org/10.3390/analytics2010001>
- Bozkurt Keser, S., Toprak, A., Ciğer, F. E., Demiröz, M., & Sarıççek, İ.** (2021). Genetik Algoritma ile Eş Zamanlı Topla-Dağıtım Araç Rotalama: İstanbul Anadolu Yakası İçin Bir Uygulama. *İğdir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(3), ss.1686-1699. <https://doi.org/10.21597/jist.816991>
- Cavmak, D., & Aksoylu, S.** (2024). What is the Cost of Logistics Activities in Healthcare Businesses? A Case Study of A Medical Centre in Türkiye. *Journal of Health Management*, 09720634241246904. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/09720634241246904>
- Çelikkbilek, Y., & Tüysüz, F.** (2020). An In-Depth Review of Theory of the TOPSIS Method: An Experimental Analysis. *Journal of Management Analytics*, 7(2), pp.281-300. <https://doi.org/10.1080/23270012.2020.1748528>
- Dağıstanlı, H. A.** (2024). Çok Ürünlü Çok Depolu Araç Rotalama Problemi: Askeri İlaç Fabrikası Örneği. *Politeknik Dergisi*, 27(3), ss.1017-1027. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1224140>
- Dalalah, D., Al-Oqla, F., & Hayajneh, M.** (2010). Application of The Analytic Hierarchy Process (AHP) in Multi-Criteria Analysis of The Selection of Cranes. *Jordan Journal of Mechanical Industrial Engineering*, 4(5), pp.567-578.
- Demirbilek, M.** (2021). Dinamik Eş Zamanlı Toplamalı ve Dağıtım Araç Rotalama Problemi için Statik Periyodik Çözüm Stratejisi. *Acta Infologica*, 5(1), ss.1-12. <https://doi.org/10.26650/acin.831973>
- Demirkol, İ.** (2021). International Supplier Selection Using AHP Method. *Third Sector Social Economic Review*, 56(1), 353-370. <https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.21.03.1497>
- Ekin, E., & Dolanbay, G.** (2024). AHP Temelli TOPSIS Yöntemi ile Yer Seçim Problemine İlişkin Bir Uygulama. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1), ss.301-317. <https://doi.org/10.17336/igusbd.1209399>

- Engblom, J., Solakivi, T., Töyli, J., & Ojala, L.** (2012). Multiple-Method Analysis of Logistics Costs. *International Journal of Production Economics*, 137(1), pp.29-35. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.01.007>
- Ercan, C.** (2018). Lojistik Maliyetler ve Muhasebeleştirilmesi. *Uluslararası Ticaret ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 2(2), ss.86-95.
- Ercan Cömert, S., Yazgan, H. R., & Görgülü, N.** (2019). Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi için İki Aşamalı Bir Çözüm Yöntemi Önerisi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 31(2), ss.107-117. <https://doi.org/10.7240/jeps.461528>
- Ercan Cömert, S., Yazgan, H., & Türk, G.** (2022). Hopfield Neural Network Based on Clustering Algorithms for Solving Green Vehicle Routing Problem. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 13(4), pp.573-586. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2022.6.002>
- Erdal, H., & Yumurtacı Aydoğmuş, H.** (2019). Analitik Hiyerarşi Süreci ile Lojistik Merkezi Yeri Seçimi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(6), ss.129-136. <https://doi.org/10.18506/anemon.506321>
- Erdaş, Y., & Ecer, F.** (2022). Covid-19 Salgınında Sanal Alışveriş Platformlarının Performanslarının Ölçülmesi: AHP-MAIRCA Modeli. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 13(34), ss.619-641. <https://doi.org/10.21076/vizyoner.949281>
- Erdoğan, K., & Karabulut, K.** (2022). Bi-Objective Green Vehicle Routing Problem. *International Transactions in Operational Research*, 29(3), pp.1602-1626. <https://doi.org/10.1111/itor.13044>
- Erol, V.** (2006). *Araç Rotalama Problemleri için Populasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi İstanbul.
- Erşen, M. A., & Sel, Ç.** (2020). Türkiye’de Otomotiv Yan Sanayinde Çevreci Tesis Yeri Seçimi Problemi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(1), ss.202-209. <https://doi.org/10.29137/umagd.567193>
- Garside, A. K., Ahmad, R., & Muhtazaruddin, M. N. B.** (2024). A Recent Review of Solution Approaches for Green Vehicle Routing Problem and Its Variants. *Operations Research Perspectives*, 12(100303), pp.1-35. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2024.100303>
- Göktaş, F., & Güçlü, F.** (2024). Yeni Birçok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı ‘Olabilirlik Değerlendirme Sistemi’: Katılım Fonları Üzerine Bir Uygulama. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 7(1), ss.1-8. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.1341340>
- Gürel, O., Şenol, Y. E., & Kum, S.** (2022). Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı ile Çatma Kusur Oranlarının Belirlenmesi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 5(2), 102-116. <https://doi.org/10.51513/jitsa.1143303>
- Haliloğlu, M., & Odabaş, M. S.** (2018). Çok Ölçütlü Karar Vermede AHP Yöntemi. *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(2), ss.13-18.
- Haseli, G., Sheikh, R., & Sana, S. S.** (2020). Base-Criterion on Multi-Criteria Decision-Making Method and Its Applications. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 15(2), pp.79-88. <https://doi.org/10.1080/17509653.2019.1633964>
- Huang, S. W., Liou, J. J., Tang, W., & Tzeng, G. H.** (2020). Location Selection of A Manufacturing Facility From The Perspective of Supply Chain Sustainability. *Symmetry*, 12(9), 1418, pp.1-23. <https://doi.org/10.3390/sym12091418>
- Indrianti, N., Leuveano, R. A. C., Abdul-Rashid, S. H., & Ridho, M. I.** (2025). Green Vehicle Routing Problem Optimization for LPG Distribution: Genetic Algorithms for Complex Constraints and Emission Reduction. *Sustainability*, 17(3), 1144. <https://doi.org/10.3390/su17031144>

- Kabadayı, N., & Çakır Esen, T. E.** (2021). Gri İlişkisel Temelli TOPSIS Yöntemi ile Depo Yeri Seçimi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(1), ss.169-184. <https://doi.org/10.18506/anemon.761624>
- Kaçaroğlu, M. O., & Organ, A.** (2020). Sosyal Girişimciliğin Sürdürülebilirliğini Etkileyen Faktörlerin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Alanya Akademik Bakış*, 4(1), ss.157-171. <https://doi.org/10.29023/alanyaakademik.634788>
- Kaplan, S. N., Üner, Ü. C., Danişan, T., & Eren, T.** (2023). Süt ve Süt Ürünleri için Uygun Depo Yeri Seçimi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), ss.134-143. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1103493>
- Keskintürk, T., Topuk, N., & Özyeşil, O.** (2015). Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri. *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2), ss.77-107.
- Kuzu, S., Önay, O., Şen, U., Tunçer, M., Yıldırım, B., & Keskintürk, T.** (2014). Gezgin Satıcı Problemlerinin Metasezgiseller ile Çözümü. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 43(1), ss.1-27.
- Laporte, G.** (2009). Fifty Years of Vehicle Routing. *Transportation Science*, 43(4), pp.408-416. <https://doi.org/10.1287/trsc.1090.0301>
- Lu, M., & Wang, S.** (2025). An Improved Spider Wasp Optimizer for Green Vehicle Route Planning in Flower Collection. *Applied Sciences*, 15(9), 4992. <https://doi.org/10.3390/app15094992>
- Mosadeghi, R., Warnken, J., Tomlinson, R., & Mirfenderesk, H.** (2015). Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in A Spatial Multi-Criteria-Decision-Making Model for Urban Land-Use Planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, 49(2015), pp.54-65. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.10.001>
- Nebati, E. E.** (2024). Afet Yönetimi Sürecinde Medikal Depo Yer Seçimi için Etkili Faktörlerin Değerlendirilmesi. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 15(1-Deprem Özel Sayısı-), ss.139-149. <https://doi.org/10.54688/ayd.1405883>
- Özden, Ü.** (2008). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile İlkokul Seçimi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(1), ss.299-320.
- Pala, O., & Aksaraylı, M.** (2018). Çok Amaçlı Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi Çözümünde Bir Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması Yaklaşımı. *Alphanumeric Journal*, 6(1), ss.37-48. <https://doi.org/10.17093/alphanumeric.366852>
- Sağnak, M.** (2020). Depo Yeri Seçimi: Perakende Sektöründe Melez Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 15(59), ss.615-623. <https://doi.org/10.19168/jyasar.689277>
- Seroka-Stolka, O.** (2014). The Development of Green Logistics for Implementation Sustainable Development Strategy in Companies. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 151, 302-309. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.028>
- Statista.** (2024). Amazon's Shipping Costs from 2011 to 2023. Erişim Tarihi: 4 Mayıs 2025 <https://www.statista.com/statistics/806498/amazon-shipping-costs/>
- Tan, S. Y., & Yeh, W. C.** (2021). The Vehicle Routing Problem: State-of-The-Art Classification and Review. *Applied Sciences*, 11(21), 10295, pp.1-28. <https://doi.org/10.3390/app112110295>
- Tayyar, N., Akcanlı, F., Genç, E., & Erem, I.** (2014). BİST'e Kayıtlı Bilişim ve Teknoloji Alanında Faaliyet Gösteren İşletmelerin Finansal Performanslarının Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Gri İlişkisel Analiz (GİA) Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (61), ss.19-40. <https://doi.org/10.25095/mufad.396447>
- Tezcan, B., Alakaş, H. M., Özcan, E., & Eren, T.** (2023). Afet Sonrası Geçici Depo Yeri Seçimi ve Çok Araçlı Araç Rotalama Uygulaması: Kırıkkale İlinde Bir Uygulama. *Politeknik Dergisi*, 26(1), ss.13-27. <https://doi.org/10.2339/politeknik.906704>

**Toth, P., & Vigo, D.** (2002), Branch-And-Bound Algorithms for the Capacitated VRP. P. Toth ve D. Vigo (Ed.), *The Vehicle Routing Problem*, 1st Edition, SIAM Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, pp.29-51. <https://doi.org/10.1137/1.9780898718515>

**Turhan, E.** (2024). *Çok Depolu Eş Zamanlı Topla Dağıt Yeşil Araç Rotalama Problemi için Hibrit Meta Sezgisel Algoritma Önerisi ve Bir Uygulama*. Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Bölümü, Doktora Tezi, Denizli.

**Türkan, Y. S., & Parlak, G.** (2024). Yemek Siparişleri Dağıtım Araç Rotalama Problemi için Bir Optimizasyon Modeli. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 25(1), ss.261-274. <https://doi.org/10.31671/doujournal.1344958>

**Vargas, L. G.** (1990). An Overview of The Analytic Hierarchy Process and its Applications. *European Journal of Operational Research*, 48(1), pp.2-8. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90056-H](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056-H)

**Yapıcı, S., Yumuşak, R., & Eren, T.** (2020). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Medikal Depo Yeri Seçimi. *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi E-Dergi*, 9(2), ss.203-221.

**Yazgan, H. R., & Büyükyılmaz, R. G.** (2018). A Solution Approach for Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), pp.436-449.

**Yazgan, H. R., Cömert, S. E., & Kılıç, E. N.** (2020). Araç Rotalama Probleminin Sezgisel Algoritmalar ile Çözülmesi: Bir Boya Fabrikasında Uygulama. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(2), ss.549-563. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.314330>

**Youssef, A. E.** (2020). An Integrated MCDM Approach for Cloud Service Selection Based on TOPSIS and BWM. *IEEE Access*, 8, pp.71851-71865. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2987111>