



KAPASİTELİ P-MEDYAN VE KAPASİTELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ: BİR İLAÇ FİRMASINDA UYGULAMA

Işıl YAZICI^{1*}, Engin BAYTÜRK²

¹Samsun Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü, SAMSUN

ORCID No: <https://orcid.org/0009-0000-4989-3733>

²Samsun Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü, SAMSUN

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-9860-1581>

Anahtar Kelimeler Öz

*Kapasiteli P-Medyan
Problemi,
Tesis Yeri Seçimi,
Kapasiteli Araç
Rotalama Problemi.*

Günümüzde işletmelerin rekabet avantajını artırmalarında tesis yeri seçimi ve araç rotalama kararları kritik bir rol oynamaktadır. Bu kararlar, firmaların operasyonel maliyetlerinin büyük bir bölümünü oluşturan lojistik maliyetlerine direkt etki etmektedir. Bunun yanı sıra, bu kararlar, işletmelerin operasyonel verimliliğine, stok politikalarına ve müşteri memnuniyetine kadar birçok önemli göstergede büyük bir etkiye sebep olmaktadır. Tüm bu etkenlerden dolayı doğru bir tesis yeri seçimi ve araç rotalamasına karar vermek, işletmeler açısından stratejik kararlardan birini oluşturmaktadır.

Bu çalışma, Türkiye’de faaliyet gösteren bir ilaç firmasının mevcut tesis kapasitesinin yetersizliği nedeniyle karşılaştığı zorlukları ele alarak, tesis yeri seçimi ve araç rotalama problemlerini incelemektedir. Firma, büyüyüp gelişerek yeni müşteriler elde etmiş ve bu durum, mevcut tesisin kapasitesinin yetersiz kalmasına ve ulaşımda problemler yaşanmasına sebep

*Sorumlu yazar; e-posta : isilyazici00@gmail.com

doi : <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1553030>

olmuştur. Çalışmada, tesis yeri seçimi ve araç rotalama problemleri bütünleşik bir model olarak incelemektedir. Firma tarafından belirlenen alternatif tesis yerleri arasından toplam tesis kuruluş maliyeti ve toplam taşıma maliyetini en küçükleyen karma tam sayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilmiş modelin çözümünde GAMS (General Algebraic Modeling System) programı kullanılmıştır. Uygulama sonucunda en uygun tesis yeri alternatifler arasından seçilmiş ve mevcut ile yeni açılacak tesis için en uygun araç rotalama süreci gerçekleştirilmiştir.

CAPACITATED P-MEDIAN AND CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM: APPLICATION IN A PHARMACEUTICAL COMPANY

Keywords	Abstract
<i>Capacitated P-Median Problem, Facility Location Selection, Capacitated Vehicle Routing Problem.</i>	<i>Today, facility location and vehicle routing decisions play a critical role in increasing the competitive advantage of businesses. These decisions directly affect the logistics costs, that represent a significant portion of the operational costs of companies. In addition, these decisions have a great impact on many important indicators such as the operational efficiency of businesses, stock policies and customer satisfaction. Due to all these factors, making the correct facility location determination and vehicle routing decision constitutes one of the strategic decisions for businesses.</i> <i>This study addresses the challenges faced by a pharmaceutical company operating in Turkey due to the insufficient capacity of its existing facility and examines facility location selection and vehicle routing problems. The company has grown and acquired new customers, leading to inadequate facility capacity and transportation issues. In this study, facility location selection and vehicle routing problems are analyzed as an integrated model. A mixed-integer mathematical model is developed to minimize the total facility establishment cost and total transportation cost among the alternative facility locations determined by the company. The developed model is solved using the GAMS (General Algebraic Modeling System) software. As a result of the application, the optimal facility location was selected among the alternatives, and the most</i>

efficient vehicle routing process was determined for both the existing and the newly established facilities.

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 26.09.2024	Submission Date : 26.09.2024
Kabul Tarihi : 09.01.2025	Accepted Date : 09.01.2025

1.Giriş

Dünya genelindeki rekabetin artması ve hızla değişen müşteri talepleri, şirketlerin lojistik süreçlerini en iyi seviyeye getirmelerini zorunlu hale getirmiştir. Özellikle ilaç sektörü, yüksek maliyetler ve kritik zaman dilimlerine karşı duyarlılığı nedeniyle lojistikteki her adımı titizlikle planlamak zorundadır. İlaçların taşınması hem tedarik zincirinin etkinliğini hem de son kullanıcıya ulaşma sürecini doğrudan etkileyen bir faktör olduğundan, lojistik stratejilerinin doğru bir şekilde belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, tesis yeri seçimi (TYS) ve araç rotalama problemleri (ARP), ilaç firmalarının operasyonel verimliliğini artırmak ve maliyetlerini en küçükmek için kritik rol oynamaktadır.

TYS, üretim tesislerinin ve dağıtım merkezlerinin yerlerinin belirlenmesinde kullanılan bir optimizasyon problemidir. Tesisin konumu ve talep noktaları lojistik maliyetlerini ana unsurlardandır (Durak ve Yıldız, 2016). İlaç üretiminde ve dağıtımında, tesislerin stratejik konumlandırılması, tedarik zincirinin verimliliğini ve teslimat sürelerini doğrudan etkilemektedir. Doğru seçilmeyen tesis yeri yüksek lojistik maliyetlerine yol açarak rekabet ortamında gerilemeye neden olmaktadır (Belbağ, Deveci ve Uludağ, 2013). Bu sebeple tesis yeri seçimi önemli bir konuma gelmiştir.

Bunun yanında, ARP, ilaçların depolardan son kullanıcılara taşınması sürecinde en uygun rotaların belirlenmesini amaçlayan bir optimizasyon problemidir. ARP, taşıma maliyetlerini en aza indirmek için araçların kullanımını en iyi hale getirmeyi hedeflemektedir. Özellikle ilaç sektöründe, teslimat sürelerinin kesintisiz ve doğru şekilde yapılması, ürünlerin etkinliğini koruması açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, her bir teslimat noktasına en kısa mesafede ulaşmak ve taşıma süreçlerini verimli hale getirmek için rotaların doğru bir şekilde planlanması gerekmektedir.

TYS ve ARP, genellikle ayrı ayrı ele alınan iki farklı lojistik optimizasyon problemidir. Ancak bu iki problemin birlikte çözülmesi, büyük ölçekli operasyonlarda verimlilik artışı sağlamaktadır. YYS, tesislerin stratejik konumlarını belirlerken, ARP, bu tesislerden talep noktalarına yapılan taşıma süreçlerini en uygun hale getirmektedir. Bu iki problem birbirini tamamlar; doğru tesis konumu, taşıma maliyetlerini ve teslimat sürelerini etkileyerek ARP'nin etkinliğini arttırmaktadır. Tesis yerleri ve araç rotalarının birlikte en iyi hale edilmesi, maliyetleri düşürürken operasyonel verimliliği artırır ve müşteri memnuniyetini iyileştirir. Böylece, entegrasyon her iki problemin çözümünde

daha hızlı ve etkin sonuçlar elde edilmesini sağlayarak lojistik ağların verimliliğini arttırmaktadır.

Bu makale, ilaç sektöründeki lojistik süreçleri iyileştirmeye yönelik bir vaka çalışması sunmaktadır. Çalışmanın temel amacı, mevcut tesisin kapasite yetersizliği nedeniyle yaşanan sorunları çözmektir. İlaç firması yöneticileri tarafından belirlenen çeşitli kısıtlar doğrultusunda, TYS ve ARP aynı anda çözen bütünsel bir matematiksel model geliştirilmiştir. Firma tarafından alternatif tesis yerleri belirlenerek geliştirilen karma tam sayılı matematiksel model ile en uygun tesis seçilmiş ve iki tesis için araç rotalama yapılmıştır. Literatürde bu iki lojistik problem genellikle ayrı ayrı ele alınmakta, her iki problemi birleştirerek çözen modellere ise nadiren rastlanmaktadır. Vaka çalışmasının doğası gereği ilaç firmasına özgü talepleri doğrultusunda yeni kısıtlar modelde bulunmaktadır. Bu durum, makalenin sektöre sağladığı katkının özgünlüğünü ve ilaç lojistiği alanında daha etkin ve verimli bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Geliştirilen model, TYS ve ARP'nin bütünsel bir şekilde en iyi seviyeye getirilmesi gerektiğini vurgulamakta ve bu yönüyle alandaki literatüre değerli ve yenilikçi bir katkı sağlamaktadır.

Birinci bölümde genel problem üzerine bilgiler verilmektedir. İkinci bölümde konuya ilişkin literatür taraması yapılmıştır. Literatür taramasında tesis yeri seçimi, araç rotalama problemi ve ikisinin bir bütün olarak ele alındığı araştırmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde kapasiteli P-medyan problemi ve kapasiteli araç rotalama problemi tanımlanmış ve geliştirilen karma tam sayılı matematiksel model anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, öncelikle mevcut durum analiz edilmiştir. Ardından, geliştirilen karma tam sayılı matematiksel modelin çıktıları değerlendirilmiş ve en iyi çözüm belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kapsamlı bir şekilde sunulmuş ve detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Beşinci bölümde, elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2.Literatür Taraması

Literatür taramasında, TYS ve ARP konularının ayrı ayrı ele alındığı çalışmalara odaklanılmıştır. Ayrıca, bu iki problem arasındaki etkileşimi birleştiren ve birlikte çözmeyi hedefleyen sınırlı sayıda çalışma incelenmiştir.

TYS, literatürde ilk olarak Cooper (1963) tarafından ele alınmış ve bu çalışma, alanın temelini oluşturmıştır. Ardından, Kuenne ve Soland (1972), dal-sınır algoritmasını kullanarak problemin çözümüne yönelik bir model geliştirmiştir. Murtagh ve Niwattisyawong (1982), kapasiteli TYS üzerine bir model sunarken, Megiddo ve Supowit (1984), TYS'nin NP-zor sınıfında olduğunu matematiksel olarak kanıtlamışlardır. Murray ve Church (1996), benzetilmiş tavlama yöntemini kullanırken, Ohlemüller (1997) tabu arama, Hansen, Jaumard ve Taillard (1998) ise P-medyan ve Weber modelleri üzerine çalışmalar yaparak deterministik problemlere odaklanmıştır. Bu teorik çalışmaların yanı sıra,

literatürde yöntemlerin etkinliğini ortaya koyan uygulama odaklı çalışmalar da dikkat çekmektedir. Özçakar ve Bastı (2012), P-medyan problemi için parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını kullanarak üstün performans elde etmişlerdir. Durak ve Yıldız (2016), bir gıda firması için depo sayısını ve yerlerini belirlemiş, bu süreçte maliyet karşılaştırmaları gerçekleştirmişlerdir. Aydın, Ayvaz ve Küçükaşçı (2017), olası bir deprem için küme kapsama modeliyle depo yer seçimi yaparak farklı senaryolar üzerinde analizler gerçekleştirmişlerdir. Erşen ve Sel (2019), otomotiv sektöründe karbon salınımı ve taşıma maliyetini en küçükleme için yeşil tesis yer seçimi problemini çözerek, iki talep noktasına iki deponun açılmasını önermişlerdir. Şahin ve Hazırcı (2019), deprem sonrası afetzedeler için AHP ve P-medyan modeli kullanarak altı uygun iskan alanı belirlemişlerdir. Aydınöğlu, Ergül, Şişman ve Bovkır (2021), bir kargo şirketi konumlarını P-medyan tekniğiyle analiz ederek, dört yeni tesisin hizmet kalitesini artıracığını tespit etmiştir. Çayır Ervural (2022), bir gıda işletmesinin yer seçimini uygun hale getirmek için küme kapsama, en büyük kapsama ve P-medyan modellerini kullanarak üç aşamalı bir yaklaşım geliştirmiştir. Atay, Alhamad, Çetinkaya ve Seçkiner (2023), mülteci kampları ve depo yerlerini belirlemek için doğrusal programlama ve coğrafi bilgi sistemleri ile P-medyan ve küme kapsama modellerini kullanmışlardır. TYS için yapılan literatür taramasından sonra ARP için literatür taraması yapılmıştır.

ARP üzerine yapılan ilk önemli çalışma, Dantzig ve Ramser (1959) tarafından gerçekleştirilmiş ve bir filonun depodan çıkıp belirli müşterilere hizmet vererek en kısa mesafeyi kat etmesi gerektiği sorunu tanımlanmıştır. Clarke ve Wright (1964), maliyetleri en küçükleme için tasarruflar tablosu metodunu geliştirmiştir. Fisher ve Jaikumar (1981), heuristik bir yaklaşım önererek ARP'nin pratikteki uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Solomon (1987) ARP'nin farklı türlerini sınıflandırarak her biri için çözüm teknikleri geliştirmiştir. Bu teorik gelişmelerin yanı sıra ARP'nin uygulandığı bazı çalışmalara da değinilmiştir. Atmaca (2012), bir kargo şirketi için ARP modeliyle dağıtım ve toplama süreçlerini en uygun hale getirmiş, mevcut ve önerilen durumları karşılaştırarak iyileştirmeler gerçekleştirmiştir. Yazgan, Cömert ve Kılıç (2020) ise bir boya fabrikası için kapasiteli ARP modeli kullanarak, en düşük maliyetli rotaları Clarke-Wright ve yerel aramalı sezgisel algoritmalar ile belirlemişlerdir. Bozkurt Keser, Toprak, Ciğer, Demiröz ve Sarıçiçek (2021), 12 market için ARP'yi ceza-tabanlı genetik algoritma ile çözmüş ve tavlama benzetim algoritmasıyla karşılaştırarak genetik algoritma'nın daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Okur (2021), araç rota mesafelerini genetik algoritma ile iyileştirmiştir. Dağıstanlı (2023), askeri fabrikadaki ürünlerin taşınması için çok ürünlü ve çok depolu bir model oluşturmuştur. Akçakoca, Aydoğan, Delice ve Himmetoğlu (2023), bir mobilya firmasının personel servis araçları için heterojen filolu ve kapasite kısıtlı rotalama problemi çözmüştür. Li, Peng, Deng, Wang ve Liu, (2024), ilaç dağıtım rotasını müşteri önceliği ve karbon emisyonlarını dikkate alarak en uygun hale getirmek için bir hibrit genetik algoritma önermektedir. ARP için yapılan

literatür taraması tamamlandıktan sonra TYS ve ARP'yi içerisinde barındıran çalışmalardan bazıları incelenmiştir.

Tesis yeri seçimi ve araç rotalama problemi, son yıllarda giderek daha fazla dikkat çekmiştir. Maranzana (1964), taşıma maliyetlerini yer seçimi kararlarıyla birleştiren ilk çalışmalardan birine imza atmıştır. Takip eden yıllarda, yüksek atıf alan birçok makale bu alanda yayınlanmıştır. Perl ve Daskin (1985), depo ve araç kapasitelerini dikkate alarak karmaşık bir tam sayılı program geliştirmiştir. Laporte Nobert, ve Arpin (1986), araçların kapasiteli olduğu bir tesis yeri seçimi ve araç rotalama problemi için tam sayılı doğrusal program önermiştir. Laporte Nobert ve Taillefer (1988) maliyet sınırlı tesis yeri seçimi ve araç rotalama problemini ele alarak, rotaların maliyetlerinin belirli bir eşiği aşmaması gerektiğini vurgulamışlardır. Wu, Low ve Bai (2002), araçların heterojen olduğu ve her araç tipinin filosunun sınırlandırıldığı çok depo TYS ve ARP üzerine çalışmış, problemi alt parçalara ayırarak simüle tavlama algoritması ile çözüm geliştirmiştir. Schwardt ve Dethloff (2005), kendi kendini organize eden harita algoritmasını, kapasiteli tesis yerleşimi ve araç rotalama problemine entegre ederek tek tesis üzerinde incelemişlerdir. Alumur ve Kara (2007), çok amaçlı bir TYS ve ARP modeli geliştirmiştir. Bu model hem toplam maliyetlerin hem de taşıma riskinin en aza indirilmesini hedefleyen karmaşık bir tam sayılı program olarak tasarlanmıştır. Zohrehbandian (2007), Hamiltonian yapıyı kullanarak P-medyan Problemini daha etkin hale getiren bir formülasyon geliştirmiştir. Salhi ve Nagy (2009), kapasitesiz tesis yeri seçimi ve kapasiteli araç rotalama için son nokta algoritmasını entegre ederek, rotalama unsurlarının önemini vurgulamışlardır. Schwardt ve Fischer (2009), sinir ağı tabanlı bir yaklaşım kullanarak, sezgisel yöntemlerle karşılaştırıldığında iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Manzour-al-Ajdad, Torabi ve Salhi (2012), düzlemsel tek tesis yeri rotalama problemi için yeni bir hiyerarşik sezgisel yaklaşım önermiş ve testlerde mevcut yaklaşımlardan daha iyi performans göstermiştir. Govindan, Jafarian, Khodaverdi ve Devika (2014), sürdürülebilirlik ve gıda bozulabilirliği konularını içeren, zaman penceresi kısıtlı TYS ve ARP modeli üzerinde çalışmışlardır. Albareda-Sambola ve Rodríguez-Pereira (2019), TYS ve ARP üzerine çeşitli matematiksel modeller, sezgisel yöntemler ve konum-kenar rotalama problemleri ile ilgili kapsamlı bir analiz gerçekleştirmiştir. Rybicková, Mocková ve Teichmann (2019), sürekli tesis yeri seçimi ve araç rotalama problemine odaklanarak, maliyeti en aza indiren bir genetik algoritma geliştirmiştir. Ay, Akdoğan, Fidan ve Özbakır (2022), Covid-19 mRNA aşılı için iki aşamalı yerleştirme-rotalama modeli sunmuş ve raf ömrü ile kapasite kısıtlı matematiksel model geliştirmiştir, başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Makalede önerilen yaklaşım, ilaç sektöründe TYS ve ARP'yi birleştiren bütünlük bir model sunmaktadır. Bu modelde, kapasiteli P-medyan problemi ve kapasiteli araç rotalama problemi gibi iki önemli lojistik optimizasyon problemi, GAMS programı aracılığıyla çözülmüştür. Çalışma, teorik açıdan literatüre katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda endüstriyel uygulamalar için de değerli bir referans oluşturmaktadır. Sonuç olarak, bu araştırma, ilaç

firmalarının lojistik operasyonlarını daha verimli hale getirmelerine yardımcı olabilecek önemli bir kaynak olup hem akademik hem de pratik anlamda sektöre katkı sağlamaktadır.

3.Yöntem

Bu çalışmada, bir ilaç firmasında mevcut tesisteki kapasite yetersizliğinden dolayı mevcut tesis yerinin yanına alternatif tesisler arasından yeni açılacak tesis yerinin belirlenmesi ve yeni düzene göre araç rotalaması yapılması istenmektedir. Kapasiteli P-medyan problemi ve kapasiteli araç rotalama problemi ele alınmaktadır. Bu iki önemli lojistik optimizasyon problemi, tesis yerlerinin ve taşıma rotalarının aynı anda en uygun hale getirilmesini sağlayacak karma tam sayılı matematiksel model çerçevesinde çözümlenmiştir. İlk olarak, kapasiteli P-medyan problemi ve kapasiteli araç rotalama problemi teorik olarak anlatılmıştır. Ardından geliştirilen karma tam sayılı matematiksel modelin matematiksel formülasyonu ve açıklamaları yer almaktadır.

3.1.Kapasiteli P-medyan Problemi

P-medyan problemi, tesis yeri seçimi problemleri arasında en yaygın olarak bilinen ve kullanılan modellerden biridir (Alp, Erkut ve Drezner, 2003). Bu problemin temel amacı, talep noktalarına olan toplam mesafeyi en küçüklemek ve açılması planlanan p adet tesis yerinin ideal konumlarını belirlemektir (Bastı, 2012). Bu model, en küçük toplam maliyeti hedefler; ancak burada maliyet kavramı sadece parasal harcamalarla sınırlı değildir. Zaman, mesafe, enerji gibi farklı ölçütler de maliyet unsuru olarak kullanılabilir. P-medyan problemi, tesislerin yerleşimlerinin belirlenmesinde ve operasyonel verimliliğin artırılmasında önemli bir yer tutmaktadır.

P-medyan modelinde tesisler, yalnızca belirli şebeke düğümlerine kurulabilir. Bu düğümler, potansiyel tesis yerleşim alanlarını temsil etmektedir. Bu şekilde, bir tesis yerinin açılacağı yerler sınırlıdır. Modelin matematiksel formülasyonu, n düğüm ve p tesis arasındaki ilişkileri belirlemek için aşağıdaki kombinasyon hesaplamasına dayanmaktadır:

$$\binom{n}{p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} \quad (1)$$

Eşitlik (1), n düğümden p tesis yerinin seçilme olasılıklarını temsil eder. Bu sayı, potansiyel tesis yerleşimlerinin sayısını gösterir ve çözüm uzayını tanımlamaktadır (Bastı, 2012).

Kapasiteli P-medyan Problemi ise, bu modelin bir genişlemesidir ve tesislerin kapasite kısıtlamalarını içermektedir. Kapasiteli P-medyan Probleminde, her tesisin belirli bir kapasitesi vardır ve tesisler, bu kapasite sınırlarına göre hizmet verebilmektedir. Bu model, yalnızca tesislerin konumlarını değil, aynı zamanda

her tesisin talep kapasitesini de en uygun hale getirmeyi amaçlamaktadır. Bu, tesislerin yerlerini seçerken kapasite kısıtlamaları göz önünde bulundurulmak zorunda olduğu anlamına gelmektedir. Bu model, özellikle büyük ölçekli lojistik ve dağıtım ağlarında, tesislerin verimli kullanılmasını sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çözümü sırasında, her tesisin en fazla kapasiteye ulaşmadan talep noktalarına hizmet verecek şekilde yerleşim stratejileri oluşturulmaktadır. Bu sayede hem taşıma mesafeleri en küçüklenir hem de her tesisin kapasite kullanımı en iyi hale getirilmektedir.

3.2.Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi, lojistik ve dağıtım ağlarında önemli bir yer tutan bir optimizasyon problemidir. Bu problemde, tüm araçlar belirli bir kapasiteye sahiptir ve her araç aynı kapasiteye sahiptir. Araçlar, belirli bir depodan hareket eder ve yine aynı depoya geri dönerek rotalarını sonlandırmaktadır. Müşteri talepleri önceden belirlenmiştir ve her müşteriye yalnızca bir kez hizmet verilmektedir, yani her müşteri tek bir sevkiyat almaktadır.

Amaç, her müşteri için taleplerine göre sevkiyat yapılırken, tüm araçların kapasitelerini aşmadan, yol alınan toplam mesafeyi en küçüklemedir. Diğer bir deyişle, amaç, müşterilere yapılacak sevkiyatların toplam mesafesinin mümkün olan en düşük seviyeye çekilmesidir (Keskintürk, Topuk ve Özyeşil, 2015). Bu, lojistik operasyonlarının verimliliğini artıran ve taşıma maliyetlerini azaltan önemli bir yaklaşımdır.

3.3. Karma Tam Sayılı Matematiksel Model

İlaç firmasının mevcut tesis kapasitesinin yetersizliğini gidermek amacıyla, firmaya ait alternatif tesisler arasında seçim yapılması ve bu tesisler için araç rotalarının belirlenmesi süreci için bütünleşik bir matematiksel model geliştirilmiştir. TYS aşamasında, kapasiteli P-medyan problemi temel alınırken, ARP için ise kapasiteli araç rotalama problemi kullanılmıştır. Bu yaklaşım, her iki problemi birleştirerek daha verimli ve entegre bir çözüm önerisi sunmaktadır.

Tablo veya dizide belirli bir konumu gösteren indis, matematiksel modellerde kullanılan değişkenlerin tanımlandığı numaralardır. Parametreler ise modellerin karakteristik özelliklerini belirleyen sabit veya değişken değerlerdir, genellikle problemin verilerini veya sınırlamalarını temsil ederler.

Tablo 1

Karma Tam Sayılı Matematiksel Model İndisleri

İndisler	Açıklama
i	Başlangıç müşteri kümesi
j	Hedef müşteri kümesi
m	Tesis kümesi
k	Araç Kümesi

Tablo 2

Karma Tam Sayılı Matematiksel Model Temsilci Sembolleri

Temsilci Semboller	Açıklama
i, j, p	Aynı kümeye ait indislerin farklı şekillerde kullanılabileceğini belirtmektedir.

Tablo 3

Karma Tam Sayılı Matematiksel Model Parametreleri

Parametreler	Açıklama
A	Periyot Sayısı
$d_{(i,j)}$	Müşteri i ile j arasındaki mesafe
$dis_{(m,i)}$	Tesis m ile müşteri i arasındaki mesafe
$f_{(m)}$	Tesis m için sabit kurulum maliyeti
Q	Araç kapasitesi
$demand_{(i)}$	Müşteri i için talep miktarı

Değişkenler;

$$X_{i,j,k} = \begin{cases} 1 & k \text{ aracı } i. \text{ müşteri ile } j. \text{ müşteri arasında seyahat ediyorsa} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$Y_m = \begin{cases} 1 & m. \text{ tesis seçildiyse} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$U_{(i,k)} = k$ aracı ile i . müşteri arasında taşınan toplam talep

$Z =$ Toplam maliyet

$L_{(m,i,k)} = \begin{cases} 1 & k \text{ aracı } i. \text{ müşteriye hizmet verirken } m. \text{ tesisten geçiyorsa} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$

$T_{(i,m,k)} = \begin{cases} 1 & k \text{ aracı } i. \text{ müşteriden sonra } m. \text{ tesiste bir işlem yapıyorsa} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$

$$A \left(\sum_{i,j,k} d_{i,j} X_{i,j,k} + \sum_{i,m,k} L_{m,i,k} dis_{m,i} + \sum_{i,m,k} T_{i,m,k} dis_{m,i} \right) + \sum_m f_m Y_m \quad (2)$$

$$\sum_m Y_m \geq 2, \quad (3)$$

$$\sum_m L_{m,p,k} + \sum_i X_{i,p,k} - \sum_j X_{p,j,k} - \sum_i T_{p,m,k} = 0, \quad \forall_{p,k} \quad (4)$$

$$\sum_{i,j} X_{i,j,k} demand_j + \sum_{m,j} L_{m,j,k} demand_j \leq Q, \quad \forall_k \quad (5)$$

$$\sum_{i,j} X_{i,j,k} demand_j + \sum_{m,j} L_{m,j,k} demand_j \geq 0,5 Q, \quad \forall_k \quad (6)$$

$$\sum_{i,k} X_{i,j,k} demand_j + \sum_{k,m} L_{m,j,k} demand_j \geq demand_j, \quad \forall_j \quad (7)$$

$$u_{i,k} - u_{j,k} + QX_{i,j,k} \leq Q - demand_j, \quad (8)$$

$\forall_{i,j,k}$ şartıyla $i \neq j$ ve $demand_i + demand_j \leq Q$

$$X_{i,i,k} = 0 \quad \forall_{i,k} \quad (9)$$

$$\sum_{i,k} X_{i,j,k} + \sum_{m,k} L_{m,j,k} \geq 1, \quad \forall_j \quad (10)$$

$$\sum_{j,k} X_{i,j,k} + \sum_{m,k} T_{i,m,k} \geq 1, \quad \forall_i \quad (11)$$

$$L_{m,i,k} \leq Y_m, \quad \forall_{i,m,k} \quad (12)$$

$$T_{i,m,k} \leq Y_m, \quad \forall_{i,m,k} \quad (13)$$

$$\sum_i L_{m,i,k} = \sum_i T_{i,m,k}, \quad \forall_{m,k} \quad (14)$$

$$\sum_{i,m} L_{m,i,k} \geq \sum_i X_{i,j,k}, \quad \forall_{j,k} \quad (15)$$

$$\sum_{i,m} T_{i,m,k} \geq \sum_i X_{j,i,k}, \quad \forall_{j,k} \quad (16)$$

$$\sum_{i,k} T_{i,m,k} \geq Y_m, \quad \forall_m \quad (17)$$

$$\sum_{i,m} T_{i,m,k} \leq 1, \quad \forall_k \quad (18)$$

$$\sum_{i,m} L_{m,i,k} \leq 1, \quad \forall_k \quad (19)$$

Eşitlik (2) amaç fonksiyonudur. Toplam maliyeti en küçüklemeyi amaçlamaktadır. Buradaki toplam maliyet; açılması önerilen tesislerin kurulum maliyetleri ve toplam taşıma maliyetlerinden oluşmaktadır. Eşitlik (3) açılan tesislerin sayısının en az iki olması gerektiğini ifade etmektedir. Tesislerin sayısını belirleyen bir alt sınırdır. Eşitlik (4) müşteri noktalarında araçların akış dengesini sağlamaktadır. Eşitlik (5) araç kapasitesinin aşılmamasını sağlamaktadır. Eşitlik (6) araç kapasitesinin en az %50 oranında dolması gerektiğini zorunlu kılmaktadır. Eşitlik (7) her j. müşterinin talebinin mutlaka karşılanmasını sağlamaktadır. Eşitlik (8) Her bir k aracı için, aracın taşıma kapasitesini aşmaması gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca, iki müşteri arasındaki taşımacılıkta toplam talep miktarı araç kapasitesine eşit veya daha küçük olması gerektiğini ifade etmektedir. Araç kapasitesinin aşılmamasını ve aşırı yüklemeyi engellemektedir. Eşitlik (9) bir k aracının i. müşteriden çıkarken tekrar i. müşteriye girmesini engelleyen bir kısıttır. Eşitlik (10) j. müşteriye giden bir araç mutlaka ya bir müşteriden ya da bir tesisten gelmesi gerektiğini ifade etmektedir. Eşitlik (11) ise i. müşteriden çıkan bir araç mutlaka ya bir müşteriye ya da bir tesise geri dönmesi gerektiğini ifade etmektedir. Eşitlik (12) bir tesis seçilmemiş ise o tesisten çıkış yapılamayacağını, Eşitlik (13) ise bir tesis seçilmemişse o tesise dönülemeyeceğini ifade etmektedir. Bu iki kısıt yalnızca seçilen tesisler ile işlem yapılmasını sağlamaktadır. Eşitlik (14) bir tesisten bir araç çıktığında, aynı araç aynı tesise geri dönmesini sağlayan kısıttır. Eşitlik (15) bir müşteriye hizmet edilebilmesi için bir tesisten çıkılması gerekmektedir. Eşitlik (16) bir müşteriye hizmet edildiyse bir tesise dönülmesi gerekmektedir. Eşitlik (17) m. tesiste herhangi bir işlem yapılabilmesi için m. tesisin açık olması gerekmektedir. Eşitlik (18) bir k aracı bir tesisten sadece bir kez çıkış yapabildiğini ifade etmektedir. Eşitlik (19) ise bir k aracı bir tesise sadece bir kez giriş yapabildiğini ifade etmektedir.

Çalışmada kullanılan veriler anonim nitelikte olup, kişisel veri içermemektedir.

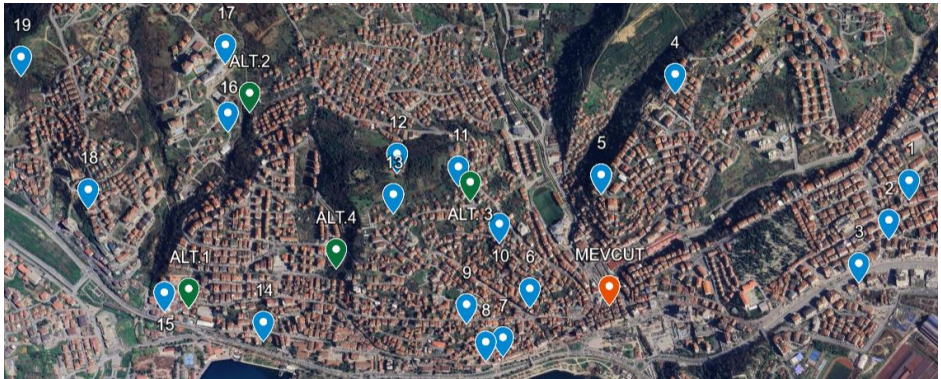
Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

4.Uygulama

İlaç firması, yeni müşteriler kazanarak büyüme sürecine girmiştir. Bu hızlı büyüme, mevcut tesis yerinin kapasitesinin yetersiz kalmasına ve lojistik süreçlerde çeşitli sorunların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Artan müşteri taleplerini karşılayabilmek ve hizmet kalitesini sürdürebilmek için firma, ikinci bir tesis açmayı planlamaktadır. Ancak, yeni tesis yerinin açılmasıyla birlikte, iki tesis arasında verimli bir ulaşım ve taşıma süreçlerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışma, ilaç firmasının mevcut tesis kapasitesinin yetersizliği nedeniyle yaşadığı sorunları ve bu sorunları çözebilmek için ikinci bir tesis açma süreci ile birlikte iki tesis için en uygun araç rotalama problemini ele almaktadır. Amacımız, iki tesis arasında taşıma süreçlerinin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlayarak, lojistik maliyetlerini azaltmak ve verimliliği artırmaktır.

Bu probleme çözüm önerisi getirmek için ilaç firması tarafından belirlenen aday tesis yerleri arasından, elde bulunan araçlar ile tesis yeri seçimi ve araç rotalama problemini bütünleşik olarak ele alan karma tam sayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen karma tam sayılı matematiksel model tesis yeri kuruluş maliyetlerinin ve toplam taşıma maliyetlerinin olduğu toplam maliyeti en küçükleme problemidir.

İlaç firması tarafından belirlenen dört farklı alternatif tesis yeri bulunmaktadır. Alternatif tesisler sırasıyla 1. alternatif tesis (ALT.1), 2. alternatif tesis (ALT.2), 3. alternatif tesis (ALT.3), 4. alternatif tesis (ALT.4) olarak adlandırılmıştır. İlaç firması tarafından belirlenen dört alternatif tesis yerinin konumları, her tesis yerinin kapasite sınırları, alternatif tesis yerlerinin kurulum maliyetleri ve müşteri portföyü gibi veri setleri toplanmıştır. Şekil 1’de ilaç firmasının mevcut tesis yeri, müşteriler ve alternatif dört adet tesis yerinin konumları gösterilmektedir.



Şekil 1 Mevcut Tesis, Alternatif Tesisler ve Müşteri Konumları

En az maliyet ile en verimli olacak alternatif tesis yerinin seçilmesi gerekmektedir. Tesis yerini seçmek için kapasiteli P-medyan probleminin temel yapısı baz alınmıştır. Alternatif tesisler arasından en verimli olanını seçmek üzere karma tam sayılı matematiksel model oluşturulmuştur. Karma tam sayılı matematiksel model GAMS programında çözümlenmiştir. Oluşturulan model; kısıtlar, optimizasyon hedefleri ve karar değişkenleri ile ilaç firmasının en uygun maliyetle en verimli tesis yerini tespit etmesini sağlamıştır. GAMS programında elde edilen sonuçlar doğrultusunda ALT.4'ün açılması gerektiği ifade edilmiştir. Mevcut tesis yerine 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11 ve 12 numaralı müşteriler atanırken, ALT.4 tesis yerine ise 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18 ve 19 numaralı müşteriler atanmıştır. GAMS programından elde edilen veriler ile mevcut tesis ile ALT.4'ün müşteri dağılımları Tablo 6'da verilmektedir.

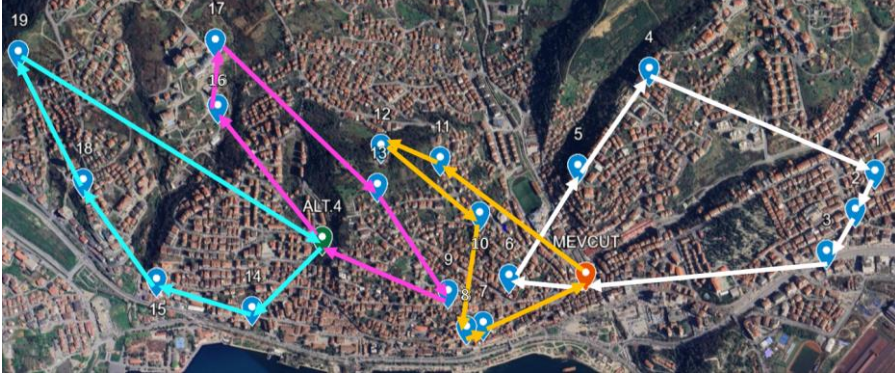
Tablo 4

Mevcut Tesis ve ALT.4 Tesis İçin Müşteri Dağılımı

Müşteri Numarası											
Mevcut Tesis	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12
4. Alternatif Tesis	9	13	14	15	16	17	18	19			

Araç rotalama aşamasında, ilaç firmasının toplam dört adet aracı bulunmaktadır. Kısıtlar ve optimizasyon hedefleri dikkate alınarak en uygun rotalar ve araç dağılımları belirlenmiştir. Taşıma araçlarının kapasitesi, müşterilerin talepleri ve tesisler arasındaki taşıma mesafeleri gibi önemli faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Karma tam sayılı matematiksel modelin çözümü sonucunda toplam dört adet araç mevcut tesis yerine iki adet, ALT.4 tesis yerine iki adet araç ataması yapmıştır.

Mevcut tesisten çıkan birinci araç sırasıyla 6, 5, 4, 1, 2 ve 3 numaralı müşteri sırası ile ikinci araç 11, 12, 10, 8 ve 7 numaralı müşteri sırası ile araç rotalama sürecinin en iyi sonucu verdiği analiz edilmiştir. ALT.4 tesis yerinden çıkan birinci araç sırasıyla 14, 15, 18 ve 19 numaralı müşteri sırası ile ikinci araç 16, 17, 13 ve 9 numaralı müşteri sırası ile araç rotalama sürecinin en iyi sonucu verdiği analiz edilmiştir. Mevcut tesis yeri ve ALT.4 tesis yeri için GAMS programı tarafından sağlanan en iyi rotalar ve bu rotalara göre dağıtılan araçların detayları Şekil 4'de yer almaktadır. Tablo 7'de de iki tesis içinde en iyi araç rota sırasının elde edildiği sonuçlar gösterilmektedir.



Şekil 2 Mevcut Tesis ve ALT.4 Tesis En İyi Araç Rotaları

Tablo 5

Mevcut Tesis ve ALT.4 Tesis En İyi Araç Rota Sırası

	Birinci Araç	İkinci Araç
Mevcut Tesis	6-5-4-1-2-3	11-12-10-8-7
İkinci Tesis (ALT.4)	14-15-18-19	16-17-13-9

Sonuç olarak, dört alternatif tesis yeri arasından ALT.4 tesis yerinin en iyi sonucu verdiği belirlenmiş ve bu tesisin açılmasına karar verilmiştir. Ayrıca, hangi tesisin hangi müşteriye hizmet vereceği ve dört adet aracın nasıl dağıtılacağı belirlenmiştir. İlaç firmasının araçları, mevcut tesis yerine ve ALT.4 tesis yerine eşit şekilde dağıtılmış olup, her aracın hangi müşteriye hizmet edeceği netleştirilmiştir. Tüm bu kararlar, tesis yeri seçimi ve araç rotalama problemlerini bütünlük olarak ele alan karma tam sayılı matematiksel model kullanılarak elde edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, tesis yeri kuruluş maliyetleri ve taşıma maliyetlerinin toplamını en düşük düzeye indirmekti. Karma tam sayılı modelin sonucunda, ALT.4 tesis yerinin seçilmesi ve dört aracın rotalarının en iyi halinin belirlenmesiyle, tesis yeri kuruluş maliyeti ve taşıma maliyeti toplamı 218.392 \$ olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, ilaç firmasının lojistik operasyonlarında maliyetleri düşürerek verimlilik sağlamasına yardımcı olmaktadır.

Ek olarak yapılan duyarlılık analizi sonucunda, en iyi çözümü sağlayan ALT.4 tesis yeri alternatifler arasında yer almadığı senaryo incelenmiştir. Bu durumda, diğer tesis alternatifleri üzerinden gerçekleştirilen duyarlılık analizi neticesinde, ALT.2 tesis yeri en uygun seçenek olarak belirlendiği görülmüştür. Bu tercihin sonucunda, elde edilen toplam maliyetin 232.929 \$ olarak hesaplandığı tespit

edilmiştir. ALT.4 tesis yerinin seçilmesi durumunda toplam maliyetin 218.392 \$ olarak hesaplanması ile ALT.2 tesis yerinin seçilmesi durumunda ortaya çıkan 232.929 \$ maliyeti arasında 14.537 \$'lık bir fark oluştuğunu göstermektedir. Bu fark, tesis yeri seçimi ve araç rotalama optimizasyonunun etkisini net bir şekilde ortaya koymaktadır.

5.Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, bir ilaç firmasının mevcut tesis kapasitesinin yetersizliğine çözüm olarak ikinci bir tesisin açılması ve her iki tesis için de en uygun araç rotalarının oluşturulması problemi ele alınmaktadır. Firmanın artan müşteri talepleri ve mevcut tesisin kapasite sınırlarının yetersiz kalması, lojistik ve operasyonel süreçlerde etkinliğin artırılmasını gerektirmiştir. Çalışmanın amacı, tesis yeri kuruluş maliyetleri ve taşıma maliyetlerini en küçükmek, böylece firmanın operasyonel verimliliğini artırmaktır. Çalışmada, tesis yeri seçimi ve araç rotalama problemleri bütünsel bir şekilde ele alınmıştır. Probleme çözüm sağlamak karma tam sayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen model, alternatif tesis yerleri ve araç rotaları arasından en uygun çözümü seçmek için kullanılmış ve GAMS programı ile çözülmüştür.

Tesis yeri seçimi için, ilaç firmasının mevcut tesisine ek olarak ilaç firmasının belirlediği dört farklı alternatif tesis yeri bulunmaktadır. Alternatif tesisler arasından en uygun olanı bulmak için karma tam sayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Karma tam sayılı matematiksel model oluşturulurken müşteri talepleri, tesislerin açılış maliyetleri ve tesislerin kapasiteleri dikkate alınmıştır. Model, tesislerin müşterilere olan toplam uzaklıklarını en küçüklemeyi ve tesislerin kapasitelerini uygun şekilde kullanmayı hedeflemiştir. Yapılan analizler neticesinde ALT.4 en uygun tesis olarak belirlenmiştir. Mevcut tesis yerine 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11 ve 12 numaralı müşteriler atanırken, ALT.4 tesis yerine ise 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18 ve 19 numaralı müşteriler atanmıştır. Araç rotalama için mevcut tesis ve ALT.4 tesis yeri karma tam sayılı matematiksel model sonucunda iki tesis için ikişer adet araç atanmıştır. Araçların müşterilere hizmet verirken izlemeleri gereken en uygun rotalar belirlenmiştir. Araçların kapasiteleri, müşteri talepleri ve rotalar arasındaki mesafeler dikkate alınarak toplam maliyetleri en küçüklemek amaçlamıştır. Sonuç olarak, mevcut tesisten çıkan birinci araç sırasıyla 6, 5, 4, 1, 2 ve 3 numaralı müşteri sırası, ikinci araç 11, 12, 10, 8 ve 7 numaralı müşteri sırası ile araç rotalama sürecinin en iyi sonucu verdiği analiz edilmiştir. ALT.4 tesisten çıkan birinci araç sırasıyla 14, 15, 18 ve 19 numaralı müşteri sırası ile, ikinci araç 16, 17, 13 ve 9 numaralı müşteri sırası ile araç rotalama sürecinin en uygun sonucu verdiği analiz edilmiştir.

TYS ve ARP'yi bütünsel olarak çözen karma tam sayılı matematiksel modelden elde edilen sonuçlar neticesinde ALT.4 tesis yerinin seçilmesi ve dört aracın rotalarının en iyi şekilde belirlenmesi sonucunda, tesis yeri kuruluş maliyeti ve taşıma maliyetlerinin toplamı 218.392 \$ olarak hesaplanmıştır.

Farklı coğrafi bölgelerde ve farklı sektörlerdeki firmalar için geniş çaplı uygulama konusunda sınırlamalar içermektedir. Karma tam sayılı matematiksel model belirli varsayımlar altında çözülmüştür. Örneğin, müşteri taleplerinin ve taşıma mesafelerinin sabit olduğu varsayılmıştır. Gerçek dünyada, bu parametreler zamanla değişebilir ve bu dinamiklerin modele dahil edilmemesi, sonuçların doğruluğunu etkileyebilir. Çalışmada tesis açılış maliyetleri ve taşıma maliyetleri dikkate alınmıştır. Ancak, diğer operasyonel maliyetler (örneğin, bakım maliyetleri, enerji maliyetleri) ve çevresel faktörler (örneğin, karbon emisyonları) göz ardı edilmiştir.

Bu çalışmanın bulguları ve metodolojik yaklaşımı, lojistik ve tedarik zinciri yönetimi alanında önemli katkılar sağlamakla birlikte, gelecekteki araştırmalar için çeşitli potansiyel alanlar ve fırsatlar sunmaktadır. Gelecek araştırmalar, dinamik ve stokastik tesis yeri seçimi ve araç rotalama problemleri üzerine odaklanarak, değişen müşteri talepleri ve lojistik koşullar altında daha esnek ve uyum sağlayabilen çözümler geliştirebilir. Genetik algoritmalar, yapay sinir ağları, bulanık mantık ve derin öğrenme gibi gelişmiş optimizasyon ve yapay zeka tekniklerinin kullanılması, daha verimli ve etkili çözümler elde edilmesine olanak sağlanabilir. Çoklu ürün tipleri ve çoklu teslimat noktaları gibi daha karmaşık senaryoları içeren modeller geliştirebilir. Ayrıca, tesis yeri seçimi ve araç rotalama problemlerini bütünsel çözen farklı bir matematiksel model geliştirilerek bu çalışmadaki model ile karşılaştırma yapılabilir. Gelecek araştırmaların, bu çalışmanın metodolojik temelini genişleterek ve derinleştirerek, lojistik ve tedarik zinciri yönetimi alanında daha kapsamlı ve yenilikçi çözümler sunması beklenmektedir. Bu yöndeki çalışmalar hem akademik literatüre katkı sağlayacak hem de pratik uygulamalarda önemli ilerlemelere yol açacaktır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Işıl YAZICI, çalışma fikrinin oluşturulması, literatürün taranması, matematiksel modelin geliştirilmesi ve makalenin yazılması; Engin BAYTÜRK, çalışma fikrinin oluşturulması, matematiksel modelin geliştirilmesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akçakoca, A. E., Aydoğan, E. K., Delice, Y. ve Himmetoğlu, S. (2023). Heterojen filolu ve kapasite kısıtlı yeşil araç rotalama problemi için bir matematiksel

- model ve endüstriyel bir uygulama. *Politeknik Dergisi*, 1, 1-1. Doi: <https://doi.org/10.2339/politeknik.1200084>
- Albareda-Sambola, M. ve Rodríguez-Pereira, J. (2019). Location-routing and location-arc routing. In G. Laporte, S. Nickel, & F. Saldanha da Gama (Eds.), *Location Science* (pp. 423-448). Springer, Cham. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-32177-2_15
- Alp, O., Erkut, E. ve Drezner, Z. (2003). An efficient genetic algorithm for the p-median problem. *Annals of Operations Research*, 122, 21-42. Doi: <https://doi.org/10.1023/A:1026130003508>
- Alumur, S. ve Kara, B. Y. (2007). A new model for the hazardous waste location-routing problem. *Computers & Operations Research*, 34(5), 1406-1423. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.06.012>
- Atay, M., Alhamad, M., Çetinkaya, C. ve Seçkiner, S. (2023). Suriye mülteci kamplarının ve insani yardım depo konumlarının coğrafi bilgi sistemi (CBS) ve doğrusal programlama ile modellenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 38(3), 633-645. Doi: <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1377216>
- Atmaca, E. (2012). Bir kargo şirketinde araç rotalama problemi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 5(2), 12-27. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/200962>
- Ay, M., Akdoğan, B., Fidan, E. M. ve Özbakır, L. (2022). Yerleştirme-rotalama problemi için iki aşamalı bir model: COVID-19 aşılmasının dağıtımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(4), 559-568. Doi: <https://doi.org/10.5505/pajes.2022.23316>
- Aydın, H., Ayvaz, B. ve Küçükbaşçı, E. Ş. (2017). Afet yönetiminde lojistik depo seçimi problemi: Maltepe ilçesi örneği. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 12, 1-13. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/720713>
- Aydinoğlu, A. Ç., Ergül, İ., Şişman, S. ve Bovkır, R. (2021). COVID-19 salgın döneminde işletmeler için ulaşım ağında uygun tesis yer seçimi analizi: Kargo örneği. In *International Turkic World Congress on Science and Engineering* (pp. 757-764). Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/356147911_Covid-19_Salgın_Doneminde_Isletmeler_icin_Ulasim_Agi_Tabanli_Uygun_Yer_Secimi_Tekniki_Kargo
- Bastı, M. (2012). P-medyan tesis yeri seçim problemi ve çözüm yaklaşımları. *AJIT-E: Academic Journal of Information Technology*, 3(7), 47-75. Doi: <https://doi.org/10.5824/1309-1581.2012.2.004x>
- Belbağ, S., Deveci, M. ve Uludağ, A. (2013). Comparison of two fuzzy multi-criteria decision methods for potential airport location selection. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Operations Research and Enterprise Systems -*

Volume 1: ICORES (pp. 270-276). Doi: <https://doi.org/10.5220/0004279702700276>

- Bozkurt Keser, S., Toprak, A., Ciğer, F. E., Demiröz, M. ve Sarıçiçek, İ. (2021). Genetik algoritma ile eş zamanlı topla-dağıt araç rotalama: İstanbul Anadolu Yakası için bir uygulama. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(3), 1686-1699. Doi: <https://doi.org/10.21597/jist.816991>
- Clarke, G. ve Wright, J.W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568-581. Doi: <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>
- Cooper L. (1963). Location-allocation problems, *Operations Research*, 11, 331-344. Doi: <https://doi.org/10.1287/opre.11.3.331>
- Çayır Ervural, B. (2022). Çok aşamalı yer seçim modelleriyle satış mağazası yerinin belirlenmesi: Konya örneği. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 34(4), 489-503. Doi: <https://doi.org/10.7240/ijeps.1085547>
- Dağıstanlı, H. A. (2023). Çok ürünlü çok depolu araç rotalama problemi: Askeri ilaç fabrikası örneği. *Politeknik Dergisi*, 1, 1-1. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2852011>
- Dantzig, G. B. ve Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80-91. Doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>
- Durak, İ. ve Yıldız, M. (2016). P-medyan tesis yeri seçim problemi: Bir uygulama. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 7(2), 87-104. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/201831>
- Erşen, M. A. ve Sel, Ç. (2019). Türkiye’de otomotiv yan sanayinde çevreci tesis yeri seçimi problemi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(1), 202-209. Doi: <https://doi.org/10.29137/umagd.567193>
- Fisher, M. ve Jaikumar, R. (1981). A generalized assignment heuristic for vehicle routing. *Networks*, 11(2), 109-124. Doi: <https://doi.org/10.1002/net.3230110205>
- Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R. ve Devika, K. (2014). Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. *International Journal of Production Economics*, 152, 9-28. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.12.028>
- Hansen, P., Jaumard, B. ve Taillard, E. (1998). Heuristic solution of the multisource Weber problem as a p-median problem. *Operations Research Letters*, 22, 55-62. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-6377\(98\)00004-2](https://doi.org/10.1016/S0167-6377(98)00004-2)

- Keskintürk, T., Topuk, N. ve Özyeşil, O. (2015). Araç rotalama problemleri ve çözüm yöntemleri. *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2), 77-107. Doi: <https://doi.org/10.22139/ibd.84127>
- Kuenne, R., E. ve Soland, R., M. (1972), Exact and approximate solutions to the multisource Weber problem, *Mathematical Programming*, 3, 193–209. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF01584989>
- Laporte, G., Nobert, Y. ve Arpin, D. (1986). An exact algorithm for solving a capacitated location-routing problem. *Annals of Operations Research*, 6(1), 291–310. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF02023807>
- Laporte, G., Nobert, Y. ve TAILLEFER, S. (1988). Solving a family of multi-depot vehicle routing and location-routing problems. *Transportation Science*, 22(3), 161–172. Doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.22.3.161>
- Li, J., Peng, K., Deng, X., Wang, J. ve Liu, A. (2024). Model and algorithm for pharmaceutical distribution routing problem considering customer priority and carbon emissions. *Data-Centric Engineering*, 5, e16. Doi: <https://doi.org/10.1017/dce.2024.13>
- Manzour-al-Ajjad, S. M. H., Torabi, S. A. ve Salhi, S. (2012). A hierarchical algorithm for the planar single-facility location routing problem. *Computers & Operations Research*, 39(2), 461-470. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.05.013>
- Maranzana, F. E. (1964). On the location of supply points to minimize transport costs. *Journal of the Operational Research Society*, 15(3), 261–270. Doi: <https://doi.org/10.1057/jors.1964.47>
- Megiddo, N. ve Supowit, K. J. (1984). On the complexity of some common geometric location problems. *SIAM Journal on Computing*, 13(1), 182–196. Doi: <https://doi.org/10.1137/0213014>
- Murray, A. T. ve Church, R. L. (1996). Applying simulated annealing to location-planning models. *Journal of Heuristics*, 2(1), 31–53. <https://doi.org/10.1007/BF00226292>
- Murtagh, B. ve Niwattisyawong, S. (1982). An efficient method for the multi-depot location-allocation problem. *Journal of the Operational Research Society*, 33(7), 629–634. Doi: <https://doi.org/10.2307/2581725>
- Ohlemüller, M. (1997). Tabu search for large location-allocation problems. *Journal of the Operational Research Society*, 48(7), 745–750. Doi: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600409>
- Okur, E. (2019). *Genetik algoritma ile araç rotalama probleminin çözümü ve bir uygulama denemesi* (Yüksek Lisans Tezi). Anadolu Üniversitesi. Erişim adresi: https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/330354/yok_AcikBilim_10270014.pdf?sequence=-1

- Özçakar, N. ve Bastı, M. (2012). P-medyan kuruluş yeri seçim probleminin çözümünde parçacık sürü optimizasyonu algoritması yaklaşımı. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 41(2), 241-257. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/98233>
- Perl, J. ve Daskin, M. (1985). A warehouse location-routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 19(5), 381-396. Doi: [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(85\)90052-9](https://doi.org/10.1016/0191-2615(85)90052-9)
- Rybicková, A., Mocková, D. ve Teichmann, D. (2019). Genetic algorithm for the continuous location-routing problem. *Neural Network World*, 29(3), 173-187. Doi: <https://doi.org/10.14311/NNW.2019.29.012>
- Salhi, S. ve Nagy, G. (2009). Local improvement in planar facility location using vehicle routing. *Annals of Operations Research*, 167, 287-296. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-007-0223-z>
- Schwardt, M. ve Dethloff, J. (2005). Solving a continuous location-routing problem by use of a self-organizing map. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35(6), 390-408. Doi: <https://doi.org/10.1108/09600030510611639>
- Schwardt, M. ve Fischer, K. (2009). Combined location-routing problems—a neural network approach. *Annals of Operations Research*, 167, 253-269. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-008-0377-3>
- Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations Research*, 35(2), 254-265. Doi: <https://doi.org/10.1287/opre.35.2.254>
- Şahin, Y. ve Hazırcı, M. (2019). Geçici iskân alanlarının seçimi için AHP temelli P-medyan modeli: Burdur örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 403-417. Doi: <https://doi.org/10.21923/jesd.443206>
- Wu, T.H., Low, C. ve Bai, J.W. (2002). Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems. *Computers & Operations Research*, 29(10), 1393-1415. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(01\)00038-7](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(01)00038-7)
- Yazgan, H. R., Ercan Cömert, S. ve Nükte Kılıç, E. (2020). Araç rotalama probleminin sezgisel algoritmalar ile çözülmesi: Bir boya fabrikasında uygulama. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(2), 549-563. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1482735>
- Zohrehbandian, M. (2007). A new formulation of the Hamiltonian p-median problem. *Applied Mathematical Sciences*, 1(8), 355-361. Erişim adresi: <https://www.m-hikari.com/ams/ams-password-2007/ams-password5-8-2007/zohrehbandianAMS5-8-2007.pdf>