

Journal of Transportation and Logistics

Araştırma Makalesi | Research Article

🔓 Açık Erişim | Open Access

Sürdürülebilir Son Kilometre Teslimatları: Kargo Otomatları İçin Stratejik Konumlandırma Yaklaşımı

Sustainable Last-Mile Deliveries: A Strategic Location Approach for Parcel Lockers



Fatma Betül Yeni¹ , Eda Uçar¹  & Bahar Baştan¹ 

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

Öz

Son kilometre teslimat, tedarik zincirinin son halkasını oluşturarak, ürünlerin nihai tüketicilere zamanında ve doğru bir şekilde ulaştırılmasını sağlamaktadır. Bu aşama, operasyonel maliyetlerin büyük bir kısmını kapsarken, müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyen en kritik süreçlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Artan şehirleşme, trafik yoğunluğu ve çevresel sürdürülebilirlik ihtiyacı, son kilometre lojistiğin önemini her geçen gün artırmaktadır. Özellikle e-ticaretin hızla yaygınlaşmasıyla karmaşık bir yapıya bürünen teslimat süreçleri, daha verimli ve çevre dostu çözümlerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, kargo otomatları, teslimat maliyetlerini düşürme, süreleri kısaltma ve çevresel etkileri azaltma gibi avantajlarıyla yenilikçi bir çözüm olarak dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada, Trabzon ili Ortahisar ilçesi için kargo otomatlarının stratejik konumlandırılmasını hedefleyen analitik bir metodoloji önerilmiştir. İlk olarak, DEMATEL yöntemi kullanılarak karar sürecini etkileyen kriterlerin önem derecesi belirlenmiştir. Ardından TOPSIS yöntemiyle kargo otomatlarının konumlandırılabilceği alternatif lokasyonlar değerlendirilmiş ve sıralanmıştır. Son aşamada, P-Medyan modeli ile optimal otomat yerleşim planı oluşturulmuştur. Bu yaklaşımla, kentsel lojistikte son kilometre teslimat operasyonlarının maliyet, zaman ve enerji verimliliği açısından iyileştirilmesi edilmesi hedeflenmiştir. Önerilen bu bütünlük yöntem, kentsel lojistik süreçlerinde sürdürülebilirlik ve müşteri memnuniyeti hedeflerini birleştirerek, şehir içi trafik yoğunluğunu ve karbon emisyonlarını azaltmak suretiyle çevresel ve operasyonel faydalar sağlayan etkili bir çözüm sunmaktadır.

Abstract

Last-mile delivery represents the final and often most expensive step of the supply chain, directly impacting both operational efficiency and customer satisfaction. As urban areas grow and traffic congestion worsens, the need for sustainable and efficient delivery methods becomes increasingly urgent—especially with the rapid growth of e-commerce. This surge in demand adds complexity to delivery processes, prompting the search for innovative solutions. In this context, parcel lockers offer a smart alternative by reducing costs, shortening delivery times, and lowering environmental impact.

This study proposes an analytical methodology to strategically position parcel lockers in the Ortahisar district of Trabzon. First, the DEMATEL method is employed to determine the relative importance of the criteria affecting the decision-making process. Then, the TOPSIS method is used to evaluate and rank alternative locations for parcel lockers. Finally, the P-Median model is applied to design an optimal locker placement plan. This integrated approach improves the cost, time, and energy efficiency of last-mile delivery operations within urban logistics. By integrating sustainability and customer satisfaction objectives, the proposed methodology provides an effective solution that reduces urban traffic congestion and carbon emissions, contributing to both environmental and operational benefits.

Anahtar Kelimeler Kent içi lojistik • Son km teslimat • ÇKKV • Yer seçimi

Keywords Urban logistics • Last-mile delivery • MCDM • Location problem



“ Atıf | Citation: Yeni, F. B., Uçar, E. & Baştan, B. (2025). Sustainable last-mile deliveries: A strategic location approach for parcel lockers. *Journal of Transportation and Logistics*, 10(2), 408-429. <https://doi.org/10.26650/JTL.2025.1610908>

© This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. 

© 2025. Yeni, F. B., Uçar, E. & Baştan, B.

✉ Sorumlu Yazar | Corresponding author: Fatma Betül Yeni fb.yeni@ktu.edu.tr



Extended Summary

The challenges posed by rapid urbanization, increasing traffic congestion, and the rising demand for environmentally responsible solutions underscore the critical importance of last-mile delivery in modern urban logistics systems. As cities continue to expand, and consumer expectations evolve—particularly with the increase of e-commerce—ensuring fast, reliable, and sustainable delivery has become a significant priority. In this context, parcel lockers have gained attention as an innovative alternative that can streamline delivery processes, reduce costs, enhance energy efficiency, and mitigate the environmental impact of urban freight transportation. This study introduces a comprehensive and sustainable approach for optimizing last-mile delivery operations by strategically locating parcel lockers in the Ortahisar district of Trabzon. The proposed system is designed to improve delivery efficiency, lower operational costs, reduce energy consumption, and enhance overall customer satisfaction. The core objective is to develop a decision support system to guide the optimal placement of parcel lockers, with a particular focus on cost-effectiveness, time savings, and energy optimization.

To achieve this goal, the study employs a three-stage integrated methodology that brings together both analytical and mathematical decision-making techniques. In the first stage, the DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) method is used to analyze and quantify the interrelationships among seven critical evaluation criteria: Population Density, Cost, Infrastructure Availability, Accessibility, Security, Proximity to Warehouses, and Proximity to Social Areas. These criteria are identified based on insights gathered from domain experts and a thorough review of relevant literature.

In the second stage, the TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) method is employed to evaluate and rank 24 candidate locations for parcel locker installation. This multi criteria decision-making technique assesses each alternative based on its relative closeness to an ideal solution—representing the best possible performance across all criteria—and its distance from the negative ideal solution. In the final stage, a P-Median optimization model is developed to determine the most suitable number and geographic placement of parcel lockers within the study area. From the 24 initially ranked locations, 12 primary demand points are identified as key delivery hubs based on their strategic importance and accessibility. The P-Median model seeks to minimize the total travel distance between these demand points and the selected locker locations, thereby improving operational efficiency and service coverage. Furthermore, the model incorporates varying demand scenarios, allowing for flexible planning that accounts for fluctuations in user needs and urban logistics dynamics.

The computational phase of the proposed methodology is carried out using GAMS 23.6 with the CPLEX solver on a PC equipped with a 3.00 GHz processor and 64 GB RAM. The model is executed efficiently, yielding optimal solutions within seconds. Based on different parcel locker scenarios, the optimal locations are determined through an integrated DEMATEL-TOPSIS-P-Median approach. For the scenario where five lockers are to be installed ($p=5$), the selected locations are A1, A2, A5, A7, and A12. In the case of six lockers ($p=6$), the model recommended locations A1, A2, A4, A5, A7, and A12. When seven lockers are considered ($p=7$), A1, A2, A4, A5, A7, A9, and A12 emerged as the most suitable placements. Notably, the consistency of certain locations (e.g., A1, A2, A5, and A7) across multiple scenarios confirms the robustness and reliability of the proposed methodology. These outcomes reflect the model's ability to balance demand coverage with infrastructure, security, and accessibility factors while minimizing overall delivery distances.

This study contributes to the literature on sustainable last-mile delivery by integrating the DEMATEL, TOPSIS, and P-Median models into a comprehensive framework for decision-making. The results demonstrate that strategically positioned parcel lockers can reduce urban traffic congestion and carbon emissions, offer faster and more flexible delivery options, and enhance customer satisfaction through secure and accessible delivery solutions.

Sürdürülebilir Son Kilometre Teslimatları: Kargo Otomatları İçin Stratejik Konumlandırma Yaklaşımı

Lojistik, mal ve hizmetlerin üretimden tüketiciye kadar etkili bir şekilde taşınmasını, depolanmasını ve dağıtılmasını sağlayan, tedarik zincirinin temel bir bileşenidir. Tedarik Zinciri Uzmanları Konseyi (CSCMP), lojistiği; üretim ve tüketim arasındaki malların taşınması, depolanması ve müşteri ihtiyaçlarını karşılamak üzere bu sürecin planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi olarak tanımlamaktadır (Ha, 2023). Lojistik, başlangıçta askeri kökenli bir disiplin olarak ortaya çıkmış ve özellikle İkinci Dünya Savaşı sırasında orduların malzeme ve mühimmat gereksinimlerini karşılamak için kullanılmıştır. Ancak 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren ticari bağlamda yaygın bir şekilde uygulanmaya başlamıştır (Ballou and Srivastava, 2007).

Hızla artan dünya nüfusu ve şehirleşme oranı, kentsel lojistik sistemlerinin önemini daha da artırmaktadır. Yoğun trafik, altyapı eksiklikleri ve çevresel sürdürülebilirlik ihtiyacı, şehir içi taşımacılık süreçlerinin daha verimli bir şekilde yönetilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Kentsel lojistik, mal ve hizmetlerin şehir içinde verimli bir şekilde taşınmasını, depolanmasını ve dağıtılmasını sağlayarak ekonomik kalkınmanın sürdürülebilirliğini destekler (Russo ve Comi, 2016). Bunun yanı sıra, kentsel lojistik, zaman ve enerji tasarrufu sağlarken, trafik güvenliğini artırarak şehir yaşamını daha düzenli ve sürdürülebilir hale getirmektedir (Taniguchi vd., 2006).

Son kilometre lojistik, tedarik zincirinin nihai aşaması olarak, ürünlerin nihai tüketicilere ulaştırılmasında kritik bir rol oynamaktadır (Gevaers vd., 2014). Bu süreç, operasyonel maliyetlerin büyük bir kısmını oluştururken müşteri memnuniyetini doğrudan etkiler. Özellikle e-ticaretin hızla yaygınlaşmasıyla birlikte, son kilometre teslimat süreçleri daha karmaşık ve maliyetli bir hal almıştır. Bunun sonucunda, çevresel etkileri en aza indiren, maliyetleri düşüren ve teslimat sürelerini kısaltan yenilikçi çözümlere olan ihtiyaç artmıştır (Savelsbergh ve Van Woensel, 2016).

Son kilometre lojistik, tedarik zincirinin en kritik aşamalarından biri olarak akademik literatürde de sıklıkla çalışılmaktadır. Özellikle kargo otomatları, drone'lar, elektrikli araçlar ve diğer yenilikçi teknolojiler bu alandaki çalışmalarda öne çıkan konular arasındadır. Deutsch ve Golany (2017), kargo otomatlarının sayısını, konumlarını ve boyutlarını optimize etmek amacıyla bir matematiksel model geliştirmiştir. Çalışma, otomatların operasyonel verimliliğini artırmayı hedeflemiş ve konumlandırma kararlarının müşteri memnuniyeti üzerindeki etkilerini vurgulamıştır. Lin vd. (2020), müşterilerin tercihlerini dikkate alarak kargo otomatlarının en uygun konumlandırılmasını incelemiş ve QT-LA algoritmasını matematiksel modellerle karşılaştırmıştır. Sonuçlar, QT-LA algoritmasının doğrusal programlama modellerine kıyasla daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Aynı yıl, Wang vd. (2020), talepteki belirsizlikleri göz önünde bulundurarak kargo otomatlarının sayısını ve yerleşim planlarını optimize eden bir matematiksel model sunmuşlardır. Caggiana vd. (2020), sıfır emisyon hedefini desteklemek amacıyla kargo bisikletlerinin kullanımını vurgulamış, bu araçların çevresel sürdürülebilirlik açısından sağladığı avantajları bir matematiksel modelle değerlendirmiştir. Benzer şekilde, Chen vd. (2021) ise iki aşamalı algoritmaların sınırlı kapasiteyle kaliteli çözümler üretebildiğini göstermiştir. Simić vd. (2021), Belgrad'da gerçekleştirdikleri çalışmada, drone ve otonom araçlarla karşılaştırıldığında kargo otomatlarının 7/24 kullanılabilirlik, maliyet etkinliği ve çevresel sürdürülebilirlik avantajlarını öne çıkarmıştır. WASPAS yöntemi ile gerçekleştirilen değerlendirme, kargo otomatlarının kullanıcı memnuniyetini artırmada etkili olduğunu göstermiştir.

Drone ve kara araçlarının iş birliği ile yapılan dağıtımlar üzerine bir simülasyon çalışması yapan Yetiş vd. (2021) bu entegre sistemin maliyet avantajı sağladığını ancak toplam mesafenin arttığını gözlemlemiştir. Naumov ve Pawlus (2021) ise kargo bisikletleri için 3D yükleme kısıtlamalarına ve yüke bağlı zamanlara sahip

birleşik bir araç rota problemi oluşturmuş ve problemin çözümü için matematiksel model ve metasezgisel yöntemlerden faydalanmışlardır. Novotna vd. (2022), Çek Cumhuriyeti Pardubice'deki son kilometre teslimat süreçlerinde mikro-aktarma merkezi konumlarının seçimi için çok kriterli karar verme yöntemleri olan BWM, CRITIC ve WASPAS yöntemlerini kullanmıştır. Çalışma, mikro merkezlerin doğru bir şekilde konumlandırılmasının teslimat verimliliğine olan katkısını vurgulamaktadır. Kahr (2022), COVID-19 pandemisi sürecinde artan teslimat sorunlarına çözüm olarak kargo otomatlarını değerlendirmiştir. Viyana, Graz ve Linz şehirlerinde gerçekleştirilen vaka çalışmasında, kargo otomatlarının pandemi sırasında artan talebi karşılamada etkili bir çözüm sunduğu ortaya koyulmuştur. Borghetti vd. (2022), drone kullanımının trafik sıkışıklığını ve kirlenici emisyonları azaltabileceğini, pandemi döneminde temas riskini en aza indirebileceğini belirtirken, Turgut ve Şeker (2022) yaptıkları çalışmada, drone kullanımının taşımacılıkta maliyetleri azalttığını, süreçleri kısalttığını ve insan kaynağına olan ihtiyacı düşürdüğünü ifade etmiştir.

Karabulut vd. (2023), İzmir ili Buca ilçesinde kargo otomatlarının yer seçimi için bir matematiksel model geliştirmiştir. Bu çalışmada, otomat sayısının karşılanan talep üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Benzer şekilde, Moslem ve Pilla (2023), Dublin'deki kargo otomatlarının en uygun yerlerini belirlemek için AHP ve bulanık kümeler yöntemlerini kullanmış ve postanelerin en ideal lokasyonlar olduğunu tespit etmiştir. Benzer şekilde, Özbekler (2020) çok kriterli karar verme yöntemleri ile kentsel lojistikte mikro tesis yer seçimini ve çok aktörlü yaklaşımlar aracılığıyla teslimat alternatiflerini değerlendirmiştir. Güzel ve Kavalcı (2023), Erzurum'daki üniversite öğrencilerinin akıllı dolap kullanma niyetlerini incelemiş ve bu sistemlerin zaman tasarrufu sağladığını, müşteri memnuniyetini artırdığını belirtmiştir.

Moslem vd. (2024), son kilometre teslimatında kargo otomatlarının en uygun lokasyonlarını belirlemek amacıyla Decomposed Fuzzy Analytical Hierarchy Process (DF-AHP) ve Decomposed Fuzzy Combinative Distance-based Assessment (DF-CODAS) yöntemlerini entegre eden yenilikçi bir model geliştirmiştir. Dublin'deki lojistik süreçlere odaklanan çalışmanın temel amacı, çevresel sürdürülebilirlik, erişilebilirlik ve operasyonel verimliliği artırmayı hedeflemek olmuştur. Yine Moslem ve Pilla (2024) Dublin'de kargo otomatlarının yer seçimi için yaptıkları çalışmalarında son kilometre teslimatlarındaki verimsizlikleri gidermek amacıyla, kargo otomatlarının en uygun yerlerini belirlemek için Spherical Fuzzy Analytical Hierarchy Process (SF-AHP) ve Euclidean Distance-Based Aggregation Method (EDBAM) yöntemlerini entegre eden yenilikçi bir model geliştirmiştir. Literatürdeki çalışmaların karşılaştırılmalı analizi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1

Son kilometre teslimat yöntemleri ile ilgili literatür analizi

Yazarlar	Kargo teslim yöntemi	Çalışmanın amacı	Yöntem	Uygulama
Deutsch ve Golany (2017)	Kargo otomatları	Operasyonel verimliliğinin artırılması	Matematiksel model	✓
Lin vd. (2020)	Kargo otomatları	Yer seçimi planlaması	QT-LA algoritması ve Matematiksel model	✓
Wang vd. (2020)	Kargo otomatları	Talep belirsizliği durumunda yer seçimi	Matematiksel model	
Caggiana vd. (2020)	Kargo bisikleti	Minimum maliyeti sağlayan optimal rotanın belirlenmesi	Matematiksel model	✓
Chen vd. (2021)	Otonom robotlar	Minimum taşıma zamanı sağlayan optimal rotanın belirlenmesi	Matematiksel model ve Metasezgisel yöntem	✓

Yazarlar	Kargo teslim yöntemi	Çalışmanın amacı	Yöntem	Uygulama
Yetiş vd. (2021)	Araç-İHA iş birliği	Minimum maliyeti sağlayan optimal rotanın belirlenmesi	Simülasyon	
Naumov ve Pawlus (2021)	Kargo bisikleti	3D yükleme kısıtlamaları ile kargo bisikleti dağıtım ağının optimizasyonu	Matematiksel model ve Metasezgisel yöntem	
Novotna vd. (2022)	Kargo aktarımı	Mikro-aktarma merkezi konumlarının belirlenmesi	BWM, CRITIC ve WASPAS	✓
Kahr (2022)	Kargo otomatları	Lokasyon ve yerleşim planlaması	Matematiksel model	✓
Borghetti vd. (2022)	Drone taşımacılığı	Dron kullanımının trafik ve emisyon üzerindeki etkilerinin analizi	Matematiksel model	✓
Turgut ve Şeker (2022)	Drone taşımacılığı	Drone kullanımının maliyetleri azaltma ve süreçleri kısaltma etkisi	Matematiksel model	
Karabulut vd. (2023)	Kargo otomatları	Yer seçimi planlaması	Matematiksel model	✓
Moslem ve Pilla (2023)	Kargo otomatları	Yer seçimi planlaması	AHP ve Bulanık Kümeler	✓
Güzel ve Kavalcı (2023)	Kargo otomatları	Tüketici analizi	Anket ve istatistiksel analiz	✓
Moslem vd. (2024)	Kargo otomatları	Yer seçimi planlaması	DF-AHP ve DF-CODAS	✓
Moslem ve Pilla (2024)	Kargo otomatları	Yer seçimi planlaması	SF-AHP ve EDBAM	✓

QT-LA: Quadratic Transform with Linear Alternating / BWM: Best-Worst Method / CRITIC: Criteria Importance Through Intercriteria Correlation / WASPAS: Weighted Aggregated Sum Product Assessment / AHP: Analytic Hierarchy Process / DF-AHP: Decomposed Fuzzy Analytic Hierarchy Process / DF-CODAS: Decomposed Fuzzy Combinative Distance based Assessment / EDBAM: Euclidean Distance-Based Aggregation Method / SF-AHP: Spherical Fuzzy Analytic Hierarchy Process

Son kilometre teslimatı ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, kargo otomatlarının standart adrese teslimat yöntemine alternatif bir çözüm olarak öne çıktığı görülmektedir. Bu sistemler, teslimat süreçlerinin maliyet etkinliğini artırırken, tüketicilere esnek teslimat seçenekleri sunarak müşteri memnuniyetini artırmakta ve karbon emisyonlarını azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır (Rossolov, 2023). Ancak, kargo otomatlarının sağladığı bu avantajların tam anlamıyla gerçekleştirilebilmesi, doğru bir stratejik konumlandırmayı gerektirmektedir. Bir kargo otomatının başarılı bir şekilde işlemesi, tüketiciler tarafından kolay erişilebilir olması, güvenli bir alanda bulunması ve lojistik ağlara uyumlu bir şekilde entegre edilmesi gibi bir dizi faktöre bağlıdır. Erişilebilirlik, otomatların potansiyel kullanıcıların günlük hareket yollarına yakın olmasını gerektirirken, güvenlik hem müşterilerin hem de taşınan ürünlerin korunmasını garanti altına alacak önlemleri kapsamalıdır. Ayrıca, otomatların bulunduğu lokasyonlar, trafik yoğunluğunu artırmayacak şekilde planlanmalı ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine uyum sağlamalıdır. Bu bağlamda, kargo otomatlarının doğru bir şekilde konumlandırılması hem lojistik maliyetleri düşürmek hem de son kilometre teslimat sürecinin verimliliğini artırmak için kritik öneme sahiptir.

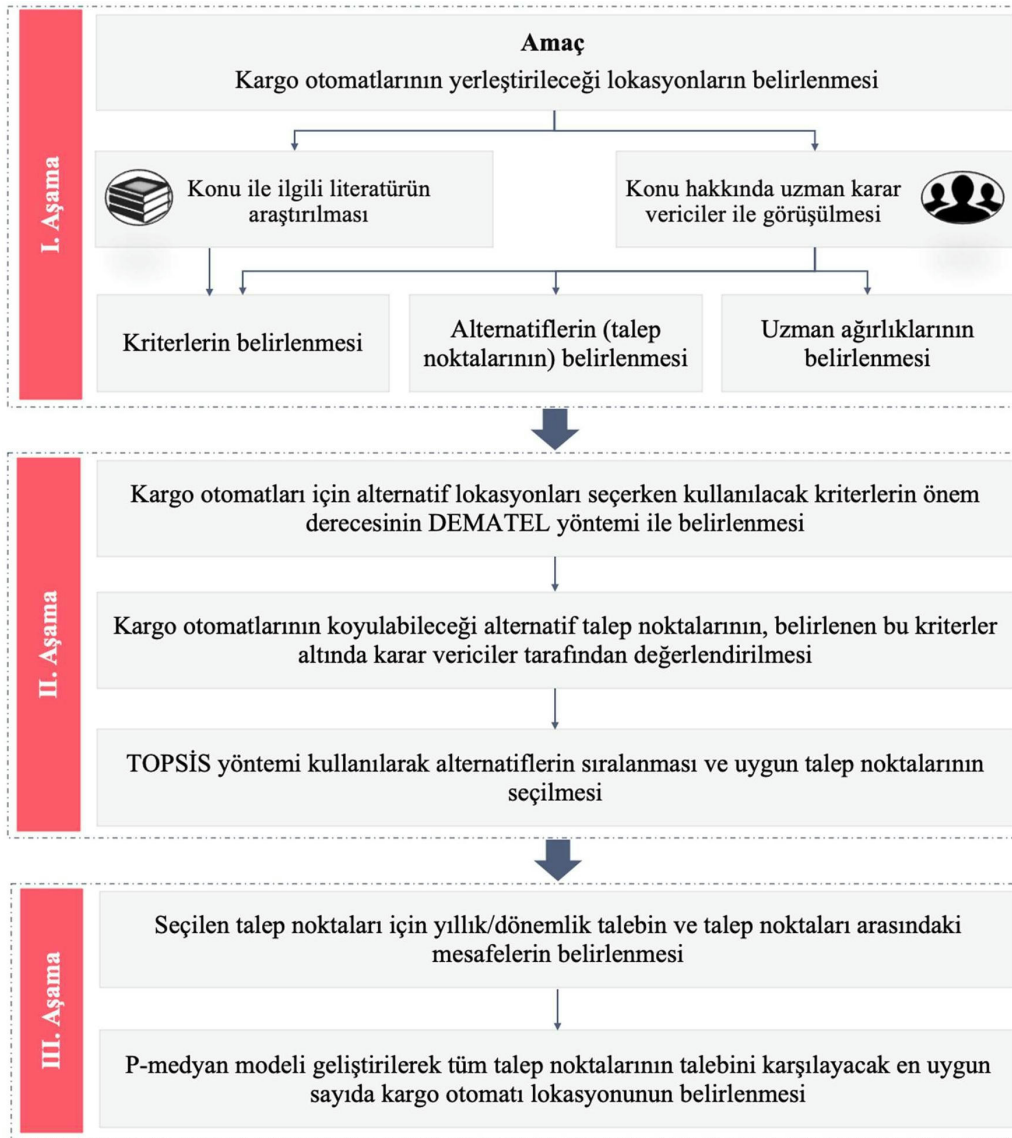
Bu çalışmanın motivasyonu, kargo otomatlarının sağladığı avantajları en verimli şekilde kullanabilmek adına, bu sistemlerin stratejik konumlandırılmasını optimize etmektir. Literatürde yapılan çalışmalar, kargo otomatlarının lojistik maliyetleri düşürmede ve teslimat süreçlerini hızlandırmada önemli bir etkiye sahip

olduğunu göstermektedir. Ancak, bu çalışmaların çoğu teorik düzeyde kalmış veya belirli kısıtlamalar altında değerlendirilmiştir. Bu eksikliği gidermek amacıyla, bu çalışmada Trabzon ili Ortahisar ilçesi için gerçek veriler kullanarak kargo otomatlarının en uygun noktalara konumlandırılması hedeflenmiştir. Çalışmanın temel amacı, maliyet, zaman ve enerji verimliliğini artırırken aynı zamanda erişilebilirlik ve güvenliği ön planda tutarak sürdürülebilirliği teşvik eden yenilikçi bir çözüm sunmaktır. Bu bağlamda, çalışmada DEMATEL yöntemi ile kriterler arasındaki ilişkiler analiz edilerek, hangi faktörlerin kargo otomatlarının konumlandırılmasında daha belirleyici olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra, TOPSIS yöntemi kullanılarak alternatif lokasyonlar sıralanmış ve en uygun noktalar belirlenmiştir. Son olarak, P-medyan modeli ile en iyi yerleşim planı oluşturulmuştur. Böylece, kentsel lojistikte son kilometre teslimat operasyonlarını optimize eden kapsamlı bir metodoloji sunulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde önerilen metodoloji ve kullanılan yöntemler açıklanmış, üçüncü bölümünde Trabzon ili Ortahisar ilçesinde gerçekleştirilen uygulamaya yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise dördüncü bölümde tartışılmıştır.

Şekil 1

Önerilen metodoloji



Metodoloji

Kentsel lojistiğin son kilometre dağıtım ağı problemlerinden biri olan kargo teslimatı problemi kapsamında ele alınan “kargo otomatları için stratejik konumlandırma” problemi için önerilen metodoloji, DEMATEL, TOPSIS ve P-Medyan yöntemlerinin bütünleşik kullanımına dayanmaktadır. Bu yöntemlerin seçilmesindeki temel amaç, kargo otomatlarının stratejik konumlandırılmasını kapsamlı bir analiz süreci ile belirlemektir. DEMATEL yöntemi, kriterler arasındaki nedensel ilişkileri analiz ederek karar sürecinde etkili faktörleri belirlemek için tercih edilmiştir. TOPSIS yöntemi, alternatif lokasyonları objektif bir şekilde sıralayarak karar vericilere en uygun konumları belirlemede yardımcı olmaktadır. Son olarak, P-Medyan modeli, belirlenen en iyi alternatifler arasından en uygun lokasyonları seçerek son kilometre lojistiği için en verimli kargo otomatı yerleşim planını optimize etmektedir. Bu yöntemlerin birlikte kullanımı, çok kriterli karar verme sürecinin analitik bir çerçevede ele alınmasını sağlamakta ve son kilometre teslimat süreçlerinin lojistik maliyetler, müşteri memnuniyeti ve sürdürülebilirlik açısından optimize edilmesine olanak tanımaktadır. Önerilen metodolojiye ait akış Şekil 1’de verilmektedir.

I. Aşama: Çalışma kapsamında ilk olarak kentsel lojistik ve son kilometre lojistiğinde kargo otomatlarının kullanımı ile ilgili çalışmalar incelenecektir. Scopus, Google Scholar, Web of Science gibi veri tabanlarının kullanılması ile elde edilecek çalışmalar analiz edilerek kargo otomatlarının yer seçiminde dikkate alınması gereken kriterlere karar verilecektir. Çalışma kapsamında değerlendirme yapacak karar verici uzmanlar uzmanlık alanlarına göre ağırlıklandırılacaktır. Kriterler belirlendikten sonra kargo otomatlarına ihtiyaç duyulan alternatif talep noktaları belirlenecektir.

II. Aşama: Yer seçimi, aynı anda birden çok faktörün dikkate alındığı bir problemdir. Kargo otomatları için en uygun alanların belirlenmesi sürecinde de nüfus yoğunluğu, trafik, ulaşım, güvenlik, eğitim/iş merkezlerine yakınlık gibi farklı pek çok kriter bulunmaktadır. Ancak her kriter birbiri ile eşit öneme sahip değildir. Bu nedenle, çalışma kapsamında dikkate alınacak kriterlerin önem derecesinin belirlenmesinde DEMATEL yöntemi kullanılacaktır. Kriter ağırlıkları belirlendikten sonra kargo otomatına ihtiyaç duyulan talep noktaları (alternatifler) bu kriterler bazında TOPSIS yöntemi ile değerlendirilecektir. Değerlendirme matrisleri önceden karar verilen uzmanlar tarafından doldurulacaktır.

III. Aşama: Önerilen metodolojinin ikinci aşamasında çok sayıdaki talep noktası değerlendirilmekte ve içlerinden belirli sayıda önemli talep noktası seçilmektedir. Bu aşamada ise ilk olarak bu talep noktalarının yıllık/dönemlik bazda kargo talepleri belirlenecektir. Burada bölgede hizmet veren kargo firmaları ile görüşmeler yapılacak ve her bir nokta için tahmini talepler elde edilecektir. Her noktanın talebi belirlendikten sonra P-Medyan modeli kullanılarak tüm talep noktalarının talebini karşılayacak optimal sayıda kargo otomat lokasyonu seçilecektir.

DEMATEL Yöntemi

Karmaşık sistemlerde faktörler arasındaki nedensel ilişkileri analiz etmek ve görselleştirmek amacıyla 1970’li yıllarda Cenevre’deki Battelle Memorial Enstitüsü’nde Gabus ve Fontela (1974) tarafından geliştirilen DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) yöntemi, özellikle çok kriterli karar verme problemlerinde kriterler arasındaki etkileşimleri belirlemek için kullanılmaktadır (Bai ve Sarkis, 2013).

Bu yöntem, faktörler arasındaki karşılıklı bağımlılıkları ve etki düzeylerini nicel olarak değerlendirerek, karar vericilere sistemin yapısını daha iyi anlama ve kritik faktörleri tespit etme imkânı sunmaktadır. DEMATEL yönteminin adımları şu şekildedir (Erdal ve Korucuk, 2019);

Adım 1: Direkt ilişki matrisinin oluşturulması

İlk olarak kriterler arasındaki ilişkileri belirlemek için ikili karşılaştırmalara dayalı direkt ilişki matrisi oluşturulmaktadır. Çalışma kapsamında Tablo 2’de verilen karşılaştırma skalası kullanılmıştır (Dey vd., 2012)

Tablo 2

DEMATEL Metodu için Karşılaştırma Skalası

Sayısal Değer	Tanım
0	Etkisiz
1	Düşük Etki
2	Orta Etki
3	Yüksek Etki
4	Çok Yüksek Etki

Bu aşamada n kriter için, her bir kriterin diğer bir kriter üzerindeki doğrudan etkisinin derecesi belirlenmektedir. Bu amaçla uzmanların her birine i. kriterin, j. kriteri hangi derecede etkilediği sorulmakta ve k uzmanın her biri tarafından n x n matris oluşturulmaktadır. Bu matrislerin ortalaması alınarak aşağıda gösterildiği gibi direkt ilişki matrisi oluşturulmaktadır.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Adım 2: Normalize direkt ilişki matrisinin oluşturulması

Denklem (1) ve Denklem (2) kullanılarak normalize edilmiş direkt ilişki matrisi M oluşturulmaktadır.

$$k = Maks \left(maks \sum_{j=1}^n a_{ij}, maks \sum_{i=1}^n a_{ij} \right) i, j \in \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (1)$$

$$M = A/k \quad (2)$$

Adım 3: Toplam ilişki matrisinin oluşturulması

Denklem (3) ve Denklem (4) kullanılarak M matrisi birim matristen çıkarılmakta ve tersi alınarak tekrar kendisi ile çarpılmaktadır. Bu sayede toplam ilişki matrisi S elde edilmektedir.

$$S = M + M^2 + M^3 + \dots = \sum_{i=1}^{\infty} M^i \quad (3)$$

$$S = M(I - M)^{-1} \quad (4)$$

Burada I, birim matristir.

Adım 4: Etkilenen ve etkileyen (gönderici ve alıcı) kriter gruplarının belirlenmesi

Bir önceki adımdaki işlemler sonucu Denklem (5)’de verilen S matrisi elde edilmektedir. Bu matrisin i. satırının toplamı (D_i), i kriteri tarafından diğer kriterlere gönderilen etkilerin doğrudan ve dolaylı toplamını göstermektedir. Sütun toplamı (R_i) ise aynı kriter için diğer kriterlerden gelen etkilerin toplamını ifade etmektedir.

$$S = [s_{ij}]_{n \times n} \quad i, j \in \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (5)$$

$$R_i = \sum_{j=1}^n S_{ij} \quad (6)$$

$$D_i = \sum_{j=1}^n S_{ji} \quad (7)$$

S matrisindeki sütunların toplamı (R) ve satırların toplamı (D) hesaplandıktan sonra, D-R ve D+R değerleri kullanılarak kriterlerin diğerleri üzerindeki etki seviyeleri ve birbirleriyle olan ilişki düzeyleri belirlenmektedir. Pozitif D-R değerine sahip kriterler, diğer kriterler üzerinde daha güçlü bir etkiye sahiptir ve bu nedenle daha yüksek öncelikli kabul edilir. Bu tür kriterler, '**gönderici**' olarak adlandırılmaktadır. Negatif D-R değerine sahip kriterler ise diğer kriterlerden daha fazla etkilenmekte ve daha düşük öncelikli kabul edilmektedir; bu kriterler '**alıcı**' olarak tanımlanmaktadır. Öte yandan, D+R değeri, bir kriterin diğer kriterlerle olan ilişki düzeyini ifade etmektedir ve D+R değeri yüksek olan kriterler diğer kriterlerle daha fazla ilişki içerisindeyken, düşük D+R değerine sahip olan kriterlerin diğerleriyle ilişkisi daha sınırlıdır.

Adım 5: Eşik değerin hesaplanması ve etki diyagramının çizilmesi

Uygun bir etki-yön grafiği oluşturulabilmesi için, karar vericilerin etki seviyesine ilişkin bir eşik değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu eşik değer, uzmanlar veya karar vericiler tarafından sezgisel olarak tanımlanabileceği gibi, toplam ilişki matrisindeki değerlerin aritmetik ortalaması alınarak da hesaplanabilir. Eşik değerin üzerinde etkiye sahip olan elemanlar seçilerek, etki-yön grafiği oluşturulmaktadır. Bu grafik, yatay eksen (D+R) ve dikey eksen (D-R) olan bir koordinat düzleminde, belirlenen noktaların görselleştirilmesi ile elde edilmektedir.

Adım 6: Kriter ağırlıklarının belirlenmesi

Kriter ağırlıkları D+R ve D-R değerleri yardımıyla Denklem (8) ve Denklem (9) kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$w_i = \sqrt{(D_i + R_i)^2 + (D_i - R_i)^2} \quad (8)$$

$$W_i = \frac{w_1}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (9)$$

TOPSIS Yöntemi

1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), çok kriterli karar verme problemlerinde kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu yöntem, alternatifleri belirli kriterler doğrultusunda değerlendirerek, ideal çözüme en yakın ve negatif ideale en uzak olan alternatifi seçmeyi hedeflemektedir (Yoon ve Kim, 2017). TOPSIS yöntemi, karar sürecinde kriter ağırlıklarını dikkate alarak, alternatiflerin performanslarını objektif bir şekilde sıralama imkânı sunarken olumlu ve olumsuz kriterlerin etkilerini bir arada değerlendirmektedir. TOPSIS yönteminin aşamaları şu şekildedir (Korkmaz, 2012):

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması

Satırlarında karar alternatifleri, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme kriterleri yer alan karar matrisi karar verici tarafından doldurulan başlangıç matrisidir.

Adım 2: Normalize karar matrisinin oluşturulması

Bu adımda, normalize edilmiş karar matrisleri hesaplanarak oluşturulmaktadır. Matrisin elemanları, her bir kriterin değerlerinin karelerinin toplamının kareköküne bölünmesiyle, Denklem (10)'de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m (x_{ij}^2)} \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots \quad (10)$$

Denklem (10) yardımıyla elemanları hesaplanan normalize edilmiş karar matrisi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & \dots & r_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n}$$

Adım 3: Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin oluşturulması

Bu aşamada, normalize edilmiş değerler, her bir kriterin önem derecelerini belirten $w_j = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$ ağırlıkları ile çarpılmaktadır. Ağırlıklı normalize karar matrisinin son hali ise aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & w_3 r_{13} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & w_3 r_{23} & \dots & w_n r_{2n} \\ w_1 r_{31} & w_2 r_{32} & w_3 r_{33} & \dots & w_n r_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & w_3 r_{m3} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n}$$

Adım 4: Pozitif ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi

Bu adımda, $i = 1, 2, \dots, m$ ve $j = 1, 2, \dots, n$ için, pozitif ideal çözüm A^+ ve negatif ideal çözüm A^- Denklem (11) ve Denklem (12) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$A^+ = \left\{ \left(\frac{\max v_{ij}}{j} \in J^+ \right), \left(\frac{\min v_{ij}}{j} \in J^- \right) \right\} \quad (11)$$

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, v_{j+1}^+, \dots, v_n^+)$$

$$A^- = \left\{ \left(\frac{\min v_{ij}}{j} \in J^+ \right), \left(\frac{\max v_{ij}}{j} \in J^- \right) \right\} \quad (12)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, v_{j+1}^-, \dots, v_n^-)$$

Burada J^+ fayda kriterlerini ve J^- maliyet kriterlerini ifade etmektedir.

Adım 5: Uzaklıkların hesaplanması

Belirlenen karar veya çözümün her iki seçeneğe olan uzaklığı Denklem (13) ve Denklem (14) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

Adım 6: İdeal çözüme izafi yakınlığın hesaplanması

Her bir alternatifin ideal çözüme olan izafi yakınlığının hesaplanması için Denklem (15)'te verilen eşitlik kullanılmaktadır.

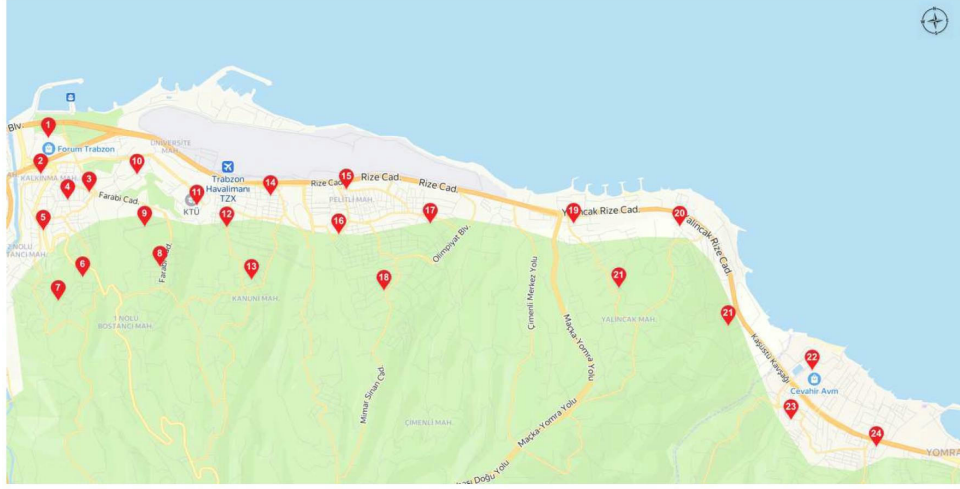
$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (15)$$

Bu aşamada ideal çözüme olan yakınlığa göre sıralama alternatifler sıralanmaktadır.

Uygulama

Kriter ve Alternatiflerin Belirlenmesi

Bu çalışmada önerilen metodoloji, Trabzon ili Ortahisar ilçesinde gerçek bir vaka çalışması ile test edilmiştir. İlk aşamada, kargo otomatlarının konulabileceği alternatif lokasyonlar belirlenmiştir. Şekil 2'de verilmekte olan bu lokasyonların seçimi sırasında bölgenin demografik yapısı, altyapı özellikleri ve potansiyel kullanıcıların ihtiyaçları dikkate alınmıştır.

Şekil 2*Kargo otomatlarının konulabileceği alternatif noktalar*

Literatürde bu alanda yapılan benzer çalışmalar incelenmiş ve lojistik yönetimi alanında uzman görüşlerinden faydalanılmıştır. Bu doğrultuda, kargo otomatlarının stratejik konumlandırılması için kullanılacak değerlendirme kriterleri titizlikle belirlenmiştir. Çalışmanın amacı doğrultusunda seçilen kriterler şunlardır:

- **Nüfus Yoğunluğu (C1):** Kargo otomatlarının konumlandırılacağı bölgelerdeki nüfus yoğunluğu / kullanıcı sayısı ilişkisi
- **Maliyet (C2):** Otomatların kurulumu ve işletilmesi ile ilgili ekonomik maliyetler
- **Altyapı (C3):** Bölgenin altyapısal özelliklerinin otomatların kurulumu ve operasyonel süreçleri açısından istenilen özelliklerde olması
- **Ulaşılabilirlik (C4):** Otomatların potansiyel kullanıcılar tarafından kolayca erişilebilir olması
- **Güvenlik (C5):** Otomatların bulunduğu bölgelerin kullanıcılar ve taşınan ürünler açısından güvenli olması
- **Depolara Yakınlık (C6):** Kargo otomatlarının lojistik ağlara entegrasyonu için depolara olan mesafesi
- **Sosyal Alanlara Yakınlık (C7):** Kullanıcıların yoğun olduğu üniversite, iş merkezi, park gibi sosyal alanlara yakın olması

Bu kriterler, Trabzon ili Ortahisar ilçesindeki lojistik ağlar, demografik veriler ve saha incelemelerinden elde edilen bilgiler doğrultusunda tanımlanmış ve değerlendirme sürecine entegre edilmiştir.

Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Çalışma kapsamında kullanılacak kriterlere karar verildikten sonra bu kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi için DEMATEL yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak bu alanda çalışan 5 uzman tarafından, kriterler arasındaki ilişkileri belirlemek için ikili karşılaştırmalara dayalı direkt ilişki matrisleri oluşturulmuştur. Tablo 1’de verilen karşılaştırma skalasını dikkate alarak doldurulan bu matrislerin ortalaması alınarak Tablo 3’te verilen direkt ilişki matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 3*Direkt ilişki matrisi*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0,00	1,20	3,00	3,80	1,80	2,60	3,40
C2	0,40	0,00	1,60	2,40	1,20	2,00	1,20
C3	2,40	1,80	0,00	3,80	2,00	2,80	3,00

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C4	2,00	2,00	2,00	0,00	1,40	2,00	1,60
C5	1,80	1,00	1,80	3,80	0,00	2,20	2,20
C6	3,00	0,80	2,00	3,20	2,20	0,00	1,80
C7	3,60	1,00	3,20	3,80	2,00	1,80	0,00

Elde edilen direkt ilişki matrisi Denklem (1) ve Denklem (2) kullanılarak normalize edilmiştir. Ardından, Denklem (4) kullanılarak toplam ilişki matrisi elde edilmiştir.

Matristeki sayıların ortalaması eşik değeri olarak alınmıştır. Buna göre eşik değeri **0,25** olarak hesaplanmıştır. Eşik değerinden büyük olan değerler Tablo 4'te verilen toplam ilişki matrisinde işaretlenmiştir. Dikey kriterler etkileyen, yatay kriterler ise etkilenenler kümesini oluşturmaktadır.

Tablo 4

Toplam ilişki matrisi ve eşik değer ilişkisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0,21	0,18	0,34	0,46	0,25	0,31	0,35
C2	0,14	0,07	0,19	0,27	0,15	0,20	0,16
C3	0,31	0,21	0,21	0,45	0,25	0,32	0,33
C4	0,23	0,18	0,23	0,21	0,18	0,23	0,21
C5	0,25	0,15	0,25	0,40	0,13	0,25	0,26
C6	0,30	0,15	0,26	0,39	0,23	0,17	0,25
C7	0,36	0,17	0,34	0,46	0,25	0,28	0,20

Toplam ve fark matrislerinin kullanılması ile ağırlıklandırılmış matris hesaplanmıştır. Denklem (8) kullanılarak D ve R'nin toplam etkilerinin ($D_i + R_i$) ve net etkilerinin ($D_i - R_i$) kareli ortalaması alınmış ve kriter ağırlıkları (W_i) hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar Tablo 5'te verilmektedir

Tablo 5

Etkilenen ve etkileyen kriter gruplarının belirlenmesi ve kriter ağırlıklarının hesaplanması

	D	R	D+R	D-R	W _i
C1	2,10	1,80	3,90	0,30	3,91
C2	1,18	1,11	2,29	0,07	2,29
C3	2,07	1,82	3,89	0,25	3,90
C4	1,48	2,65	4,13	-1,16	4,29
C5	1,68	1,44	3,12	0,24	3,13
C6	1,76	1,76	3,51	0,00	3,51
C7	2,06	1,76	3,83	0,30	3,84

Son olarak Denklem (9) kullanılarak elde edilen kriter ağırlıkları normalize edilmiş ve Tablo 6'da sunulmuştur. Kriterler arasındaki ilişkileri gösteren etki diyagramı da Şekil 3'te verilmektedir.

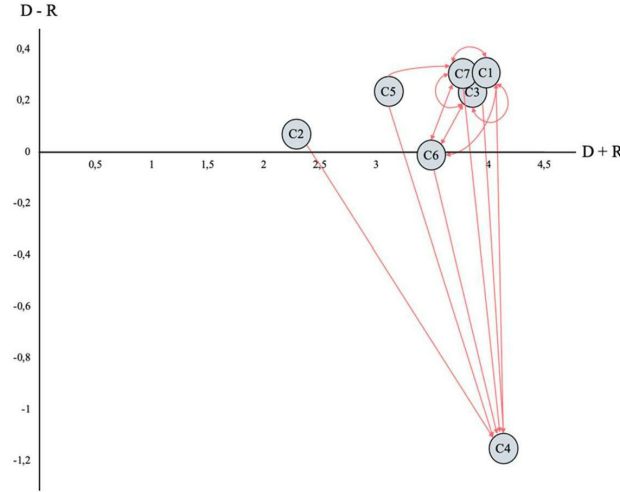
Tablo 6

Elde edilen kriter ağırlıkları

Kriterler	Kriter Ağırlıkları
Nüfus Yoğunluğu	0,15
Depolara Yakınlık	0,08
Ulaşılabilirlik	0,15

Kriterler	Kriter Ağırlıkları
Maliyet	0,19
Güvenlik	0,13
Altyapı (internet, elektrik vb.)	0,14
Sosyal Alanlara Yakınlık (AVM, Okul vb.)	0,16

Şekil 3
Etki Yönlü Graf Diyagramı



Etki yönlü graf diyagramı incelendiğinde C1 kriterinin C3, C4, C6 ve C7 kriterini; C2 kriterinin C4 kriterini; C3 kriterinin C1, C4, C6 ve C7 kriterini; C5 kriterinin C4 ve C7 kriterini; C6 kriterinin C1, C3, C4 ve C7 kriterini; C7 kriterinin C1, C3, C4 ve C6 kriterini etkilediği görülmektedir. En çok etkilenen kriterin C4 (ulaşılabilirlik) olduğu da yine Şekil 3'ten anlaşılmaktadır.

Alternatif Lokasyonların Sıralanması

DEMATEL yöntemiyle kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra, bu ağırlıklar 24 alternatif noktanın değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu süreçte TOPSIS yöntemi kullanılmış, her bir alternatifin pozitif ideal çözüme olan yakınlığı ve negatif ideal çözüme olan uzaklığı dikkate alınarak alternatifler sıralanmıştır. Bu amaçla ilk olarak 7 kriter ve 24 alternatif için karar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrisi doldurulurken C1 ve C2 kriterleri için resmi kaynaklardan elde edilen gerçek değerler kullanılırken C3-C7 arası kriterler için uzman görüşüne başvurularak 1-10 arası değerlendirme skalası kullanılmıştır. Ardından Denklem (10) kullanılarak bu matris normalize edilmiş ve tüm veriler 0-1 aralığına getirilmiştir. Normalize karar matrisi Tablo 7'de verilmektedir.

Tablo 7

Normalize edilmiş karar matrisi

Alternatifler	Kriterler						
	$W_1: 0,15$	$W_2: 0,08$	$W_3: 0,15$	$W_4: 0,19$	$W_5: 0,13$	$W_6: 0,14$	$W_7: 0,16$
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	0,05	0,11	0,27	0,27	0,25	0,25	0,34
A2	0,05	0,11	0,24	0,27	0,25	0,25	0,30
A3	0,05	0,08	0,21	0,21	0,22	0,25	0,30
A4	0,05	0,09	0,21	0,21	0,22	0,25	0,27

Alternatifler	Kriterler						
	$W_1: 0,15$	$W_2: 0,08$	$W_3: 0,15$	$W_4: 0,19$	$W_5: 0,13$	$W_6: 0,14$	$W_7: 0,16$
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A5	0,04	0,12	0,15	0,18	0,20	0,19	0,30
A6	0,02	0,15	0,12	0,18	0,14	0,17	0,27
A7	0,02	0,17	0,12	0,15	0,14	0,17	0,23
A8	0,18	0,14	0,15	0,18	0,17	0,19	0,23
A9	0,18	0,09	0,24	0,21	0,22	0,22	0,23
A10	0,18	0,02	0,21	0,18	0,25	0,22	0,27
A11	0,18	0,08	0,24	0,18	0,22	0,25	0,27
A12	0,05	0,14	0,18	0,15	0,20	0,19	0,15
A13	0,03	0,10	0,15	0,12	0,17	0,19	0,08
A14	0,05	0,87	0,24	0,18	0,20	0,19	0,11
A15	0,04	0,03	0,24	0,21	0,20	0,19	0,08
A16	0,20	0,02	0,18	0,21	0,17	0,19	0,08
A17	0,20	0,06	0,24	0,18	0,22	0,19	0,11
A18	0,18	0,10	0,15	0,15	0,20	0,19	0,08
A19	0,10	0,08	0,24	0,27	0,22	0,19	0,08
A20	0,10	0,16	0,12	0,24	0,20	0,22	0,08
A21	0,10	0,14	0,12	0,24	0,22	0,17	0,11
A22	0,22	0,06	0,27	0,21	0,25	0,22	0,27
A23	0,59	0,07	0,21	0,21	0,17	0,19	0,11
A24	0,59	0,08	0,24	0,21	0,20	0,17	0,19

Ardından normalize edilmiş karar matrisi kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi oluşturulmuştur.

Denklem (11) ve Denklem (12) kullanılarak ağırlıklı normalize karar matrisini üzerinden pozitif ve negatif ideal çözümler belirlenmiştir. A^+ seti için matrisin her bir sütunundaki en büyük değer, A^- seti için matrisin her bir sütunundaki en küçük değerler seçilerek oluşturulan pozitif ve negatif ideal çözümler Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8

Pozitif ve negatif ideal çözümler

A^+	0,09	0,00	0,04	0,02	0,03	0,04	0,06
A^-	0,00	0,07	0,02	0,05	0,02	0,02	0,01

Alternatiflerin pozitif ideal ve negatif ideal çözümden sapmalarını bulabilmek için Denklem (13) ve Denklem (14) kullanılmıştır. Böylece her bir alternatif için S_i^+ ve S_i^- değerleri hesaplanmıştır. Son olarak Denklem (15) kullanılarak her bir alternatifin ideal çözüme olan izafi yakınlığını belirten C_i^+ değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar Tablo 9'da verilmektedir.

Tablo 9

Alternatiflerin izafi yakınlık değerleri ve sıralaması

Alternatifler	S_i^+	S_i^-	C_i^+	Alternatiflerin Sıralaması
A1	0,09	0,08	0,48	10
A2	0,09	0,08	0,47	13

Alternatifler	S_i^+	S_i^-	C_i^+	Alternatiflerin Sıralaması
A3	0,08	0,08	0,48	11
A4	0,08	0,07	0,47	14
A5	0,09	0,07	0,46	15
A6	0,09	0,07	0,42	19
A7	0,09	0,07	0,41	20
A8	0,07	0,07	0,50	8
A9	0,07	0,08	0,53	6
A10	0,06	0,08	0,57	4
A11	0,06	0,08	0,56	5
A12	0,09	0,07	0,43	18
A13	0,10	0,07	0,41	21
A14	0,11	0,03	0,20	24
A15	0,10	0,07	0,43	17
A16	0,08	0,07	0,50	9
A17	0,07	0,08	0,52	7
A18	0,08	0,07	0,48	12
A19	0,09	0,07	0,43	16
A20	0,09	0,06	0,39	23
A21	0,09	0,06	0,41	22
A22	0,06	0,08	0,58	3
A23	0,04	0,11	0,71	2
A24	0,03	0,11	0,77	1

Bu değerlendirme sonucunda kargo otomatlarının konumlandırılabilceği 24 alternatif lokasyondan ilk 12'si olası lokasyon olarak seçilmiştir.

Kargo Otomatları için Optimal Lokasyon Seçimi

TOPSİS yöntemi ile değerlendirilen alternatif lokasyonlar arasından en yüksek öneme sahip 12 lokasyon olası kargo otomatı lokasyonu ya da diğer bir ifadeyle ana talep noktası olarak dikkate alınmıştır. Bu aşamada bu 12 lokasyonun ihtiyaçlarını karşılayacak minimum sayıda lokasyona kargo otomatı konulması amacıyla bu problem P-Medyan problemi olarak dikkate alınmıştır.

Geliştirilen matematiksel modelinin amaç fonksiyonunda kullanılmak üzere bu 12 talep noktasının birbirleri arasındaki uzaklıklara ve kargo talep verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu aşamada lokasyonlar arası uzaklık matrisi için Google Maps uygulamasından yararlanılmıştır. Kargo talep verileri ise hipotetik olarak oluşturulmuştur. Bu veriler oluşturulurken 6 farklı senaryo üzerinde durulmuştur ve her bir senaryoda nüfusun belirli bir orasına belirli bir miktarda kargo gelmesi üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Çalışma kapsamında dikkate alınan talep verileri ve bunlarla ilişkili senaryolar şu şekildedir;

- 1.Senaryo (Nüfusun %40'ı ayda 3 kargo alıyor)
- 2.Senaryo (Nüfusun %50'si ayda 4 kargo alıyor)
- 3.Senaryo (Nüfusun %60'ı ayda 5 kargo alıyor)
- 4.Senaryo (Nüfusun %30'u ayda 5 kargo alıyor)
- 5.Senaryo (Nüfusun %60'ı ayda 3 kargo alıyor)

- 6.Senaryo (Nüfusun %70'i ayda 2 kargo alıyor)

Buna göre, ilgili mahallelerin nüfus sayıları kullanılarak, tüm senaryolar için talep verileri Tablo 10'daki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 10

Alternatif lokasyonlar için farklı senaryolar altında kargo talep verileri

Alternatif Konum	Nüfus Sayısı	1. Senaryo	2.Senaryo	3.Senaryo	4.senaryo	5.senaryo	6.Senaryo
A24	49721	715982,40	1193304,00	1789956,00	894978,00	1073973,60	835312,80
A23	49721	715982,40	1193304,00	1789956,00	894978,00	1073973,60	835312,80
A22	18249	262785,60	437976,00	656964,00	328482,00	394178,40	306583,20
A10	15355	221112,00	368520,00	552780,00	276390,00	331668,00	257964,00
A11	15355	221112,00	368520,00	552780,00	276390,00	331668,00	257964,00
A9	15355	221112,00	368520,00	552780,00	276390,00	331668,00	257964,00
A17	17126	246614,40	411024,00	616536,00	308268,00	369921,60	287716,80
A8	15355	221112,00	368520,00	552780,00	276390,00	331668,00	257964,00
A16	17126	246614,40	411024,00	616536,00	308268,00	369921,60	287716,80
A1	4261	61358,40	102264,00	153396,00	76698,00	92037,60	71584,80
A3	4261	61358,40	102264,00	153396,00	76698,00	92037,60	71584,80
A18	15503	223243,20	372072,00	558108,00	279054,00	334864,80	260450,40

İlgili talep noktalarını kapsayacak şekilde minimum lokasyonun seçimi için geliştirilen matematiksel model şu şekilde kurulmuştur:

Parametreler

d_{ij} : Talep noktası i ile j arasındaki mesafe

n : Toplam talep noktası sayısı

a_i : i noktasındaki talep

p : Hizmet verecek olan kargo otomatı (medyan) sayısı.

Karar Değişkenleri

$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } i \text{ talep noktası } j \text{ otomatına atanmışsa} \\ 0 & \text{d.d} \end{cases}$

$y_j = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } j \text{ talep noktasında bir otomat açılmışsa} \\ 0 & \text{d.d} \end{cases}$

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{12} a_i \cdot d_{ij} \cdot z_{ij} \quad (16)$$

Öyle ki

$$\sum_{j=1}^{12} z_{ij} = 1 \quad i \in \{1, 2, \dots, 12\} \quad (17)$$

$$z_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, 12\}, \forall j \in \{1, 2, \dots, 12\} \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^{12} y_j = p \quad (19)$$

$$z_{ij} \in \{0, 1\}, y_j \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, 12\}, \forall j \in \{1, 2, \dots, 12\} \quad (20)$$

Bu oluşturulan modelde amaç, 12 talep noktasının her birisinin kendisine en yakın kargo otomatından hizmet almasını sağlayarak toplam mesafeyi minimize etmektir. Her talep noktası yalnızca bir kargo otomatı tarafından kapsanmalıdır. Denklem (17) tüm talep noktalarının hizmet almasını garanti etmektedir. Denklem (18) kurulacak kargo otomatına sadece ilgili talep noktasının atanma kısıtını ifade etmektedir. Denklem (19) kurulacak kargo otomatı sayısının p adet ile sınırlandırıldığını belirtmektedir. Bu çalışmada kargo otomatlarının 12 lokasyonu kapsayan daha az noktaya kurulması istenmektedir. Bu nedenle açılacak kargo otomatı sayısı yani p ; 5, 6, 7 olacak şekilde dikkate alınmıştır.

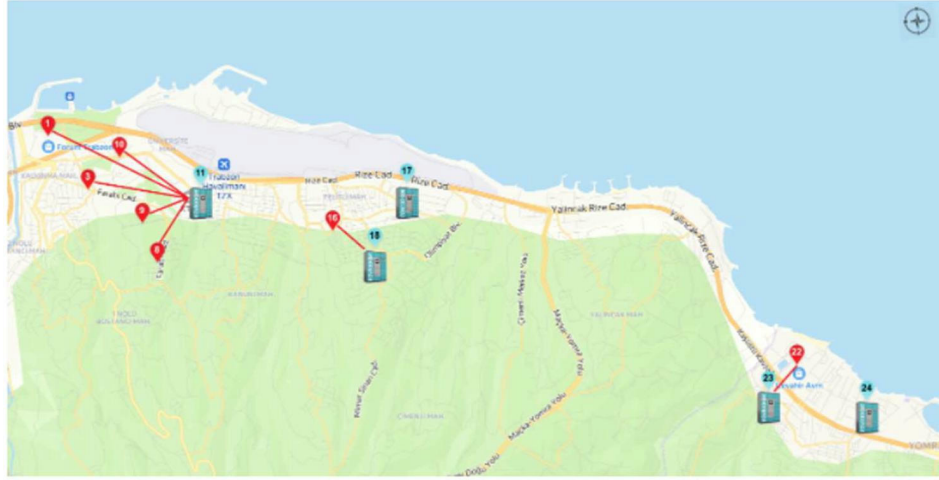
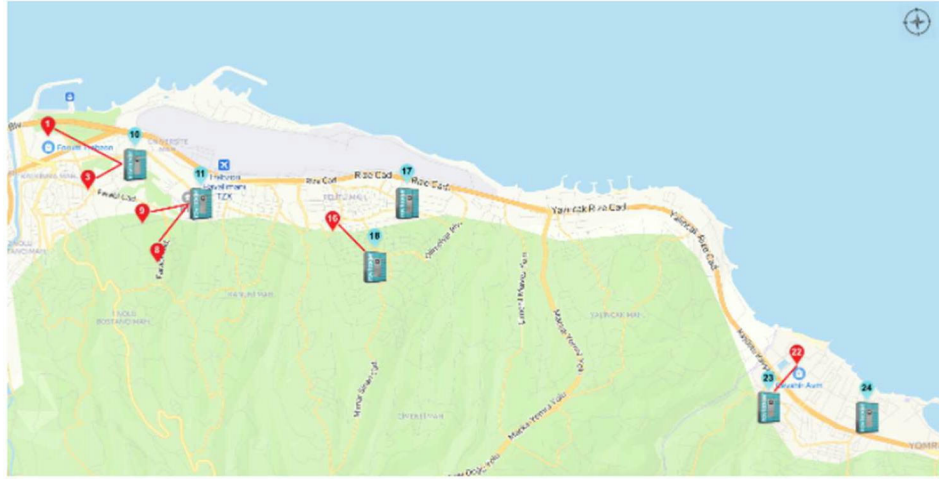
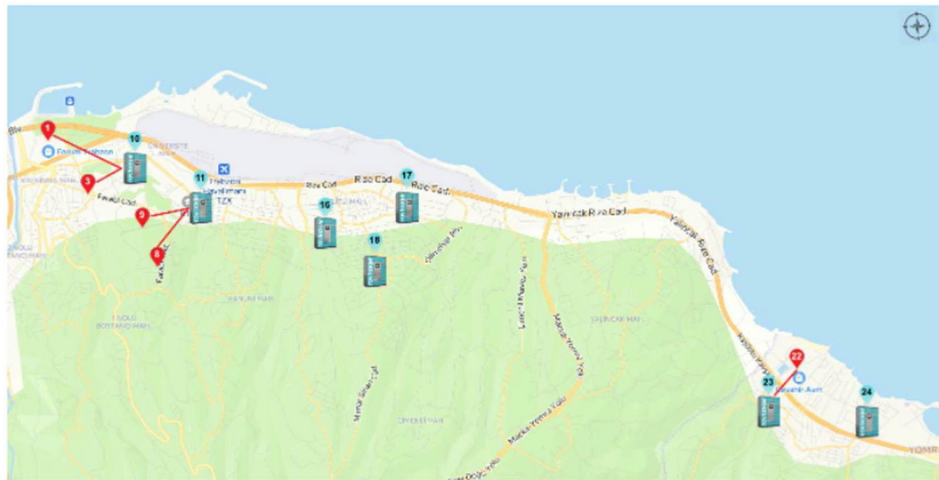
Geliştirilen matematiksel model, GAMS 23.6 yazılımında CPLEX çözücü kullanılarak kodlanmış ve 3.00 GHz işlemcili, 64 GB RAM'e sahip bir bilgisayarda çözülmüştür. Model, 12 alternatif lokasyon, 6 farklı senaryo, 5, 6 ve 7 tane kargo otomatı açılma durumu için çalıştırılmış ve saniyeler içinde optimal çözüme ulaşmıştır. Optimal lokasyonları içeren çözümler Tablo 11'de verilmektedir.

Tablo 11

Kargo otomatları için seçilen optimal lokasyonlar

Kargo Otomatlarının Konulacağı Lokasyonlar	
1.Senaryo ($p=5$)	1 2 5 7 12
1.Senaryo ($p=6$)	1 2 4 5 7 12
1.Senaryo ($p=7$)	1 2 4 5 7 9 12
2.Senaryo ($p=5$)	1 2 5 7 12
2.Senaryo ($p=6$)	1 2 4 5 7 12
2.Senaryo ($p=7$)	1 2 4 5 7 9 12
3.Senaryo ($p=5$)	1 2 5 7 12
3.Senaryo ($p=6$)	1 2 4 5 7 12
3.Senaryo ($p=7$)	1 2 4 5 7 9 12
4.Senaryo ($p=5$)	1 2 5 7 12
4.Senaryo ($p=6$)	1 2 4 5 7 12
4.Senaryo ($p=7$)	1 2 4 5 7 9 12
5.Senaryo ($p=5$)	1 2 5 7 12
5.Senaryo ($p=6$)	1 2 4 5 7 12
5.Senaryo ($p=7$)	1 2 4 5 7 9 12
6.Senaryo ($p=5$)	1 2 5 7 12
6.Senaryo ($p=6$)	1 2 4 5 7 12
6.Senaryo ($p=7$)	1 2 4 5 7 9 12

Elde edilen sonuçlara göre, $P=5$ durumunda tüm senaryolarda ideal sıralamaya göre A1, A2, A5, A7 ve A12 numaralı lokasyonlara kargo otomatı yerleştirilmesi gerektiği belirlenmiştir. $P=6$ durumunda ideal sıralamaya göre A1, A2, A4, A5, A7 ve A12 numaralı lokasyonlar en uygun noktalar olarak seçilmiştir. $P=7$ durumunda ise ideal sıralamaya göre A1, A2, A4, A5, A7, A9 ve A12 numaralı lokasyonlara kargo otomatı yerleştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. 5, 6, ve 7 kargo otomatı yerleştirme durumunu içere senaryolarına ait konumlar sırasıyla Şekil 4'te görselleştirilmiştir.

Şekil 4*Farklı senaryolar altında kargo otomatları için seçilen optimal lokasyonlar***(a) 5 kargo otomatı için seçilen optimal noktalar****(b) 6 kargo otomatı için seçilen optimal noktalar****(c) 7 kargo otomatı için seçilen optimal noktalar**

Sonuç ve Değerlendirme

Son kilometre lojistiği, kentsel lojistik süreçlerinin en karmaşık ve maliyetli adımı olarak öne çıkmakta, aynı zamanda müşteri memnuniyeti ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda kritik bir öneme sahip olmaktadır. Bu çalışmada, kentsel lojistiğin verimliliğini artırmak, maliyetleri düşürmek ve çevresel etkileri en aza indirerek sürdürülebilir bir çözüm sunmak amacıyla kargo otomatlarının stratejik yer seçimine odaklanılmıştır. Çalışmada geliştirilen metodoloji, analitik ve matematiksel yöntemleri bir araya getirerek, kargo otomatlarının yerleştirilmesinde etkili bir karar destek sistemi sunmaktadır. İlk olarak, DEMATEL yöntemi ile nüfus yoğunluğu, maliyet, altyapı, ulaşılabilirlik, güvenlik, depolara yakınlık ve sosyal alanlara yakınlık gibi kriterler arasındaki ilişkiler analiz edilmiş ve kriterlerin önem ağırlıkları belirlenmiştir. Ardından, TOPSIS yöntemi ile 24 alternatif nokta sıralanarak en uygun talep noktaları tespit edilmiştir. Son aşamada ise P-medyan modeli uygulanarak, belirlenen alternatif noktalar arasından en uygun kargo otomatı yerleşim planı oluşturulmuştur.

Önerilen metodoloji, literatürde kargo otomatlarının yer seçimine yönelik yapılan önceki çalışmalarla örtüşmekle birlikte, DEMATEL-TOPSIS-P-medyan gibi çok yönlü bir yaklaşımla çözüm üretmesi bakımından özgün bir katkı sunmaktadır. Literatürdeki birçok çalışma müşteri tercihlerine dayalı bir model önerirken, bu çalışma hem müşteri odaklı hem de lojistik verimlilik açısından optimizasyon sağlamaktadır. Ayrıca, çok kriterli karar verme teknikleriyle birlikte optimizasyon sürecinin desteklenmesi, karar vericilere kapsamlı bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır.

Trabzon ili özelinde gerçekleştirilen analizde, en uygun kargo otomatı noktalarının belirlenmesinde ulaşılabilirlik ve güvenlik kriterlerinin öncelikli olduğu görülmüştür. Özellikle yoğun nüfuslu bölgeler, ticari alanlar ve toplu taşıma durakları, kargo otomatlarının yerleştirilmesi açısından avantajlı bölgeler olarak tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, belirlenen en uygun yerleşim noktalarının alternatif senaryolar altında da tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle P=5, P=6 ve P=7 senaryolarında, ideal sıralamalardaki belirli lokasyonların tekrarlı olarak en iyi seçenekler arasında yer alması, önerilen metodolojinin doğruluğunu ve uygulama güvenilirliğini desteklemektedir. Bununla birlikte, senaryolar arasında bazı farklılıklar da gözlemlenmiştir. Örneğin, P=5 senaryosunda belirlenen kargo otomatı noktaları ağırlıklı olarak ticari ve merkezi bölgelere konumlandırılmışken, P=7 senaryosunda daha geniş bir alana yayılan otomat yerleşimleri önerilmiştir. Bu durum, otomat sayısının artırılmasıyla birlikte teslimat ağının genişleyebileceğini ve kullanıcı erişiminin artırılabilirliğini göstermektedir. Bulgular ayrıca, kargo otomatlarının konumlandırılmasında nüfus yoğunluğunun en belirleyici faktörlerden biri olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, yalnızca nüfus yoğunluğunun dikkate alınması durumunda güvenlik ve erişilebilirlik kriterlerinin göz ardı edilme riski bulunmaktadır. Bu nedenle, önerilen çok kriterli karar verme yaklaşımı, yalnızca talep odaklı değil, aynı zamanda operasyonel ve güvenlik gerekliliklerini de içeren kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır.

Bu çalışmanın akademik literatüre ve lojistik yönetimine teorik ve pratik katkıları bulunmaktadır:

- Teorik katkılar açısından, literatürde ilk kez DEMATEL-TOPSIS-P-medyan bütünleşik yöntemi kullanılarak kargo otomatlarının yer seçimi problemi ele alınmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemleri ile optimizasyon tekniklerini birleştiren bu yaklaşım, kargo otomatlarının konumlandırılmasına dair daha kapsamlı bir değerlendirme süreci sunmaktadır. Bu bağlamda, çalışma kentsel lojistik yönetiminde karar alıcılara yenilikçi bir metodoloji sunarak literatüre özgün bir katkı sağlamaktadır.
- Pratik katkılar açısından ise, bu çalışma lojistik firmaları ve yerel yönetimler için uygulanabilir bir karar destek mekanizması sunmaktadır. Trabzon'daki uygulama örneği, kargo otomatlarının stratejik konumlandırılmasının şehir içi trafik yoğunluğunu azaltabileceğini ve teslimat süreçlerini hızlandırabileceğini göstermektedir. Farklı senaryolar altında oluşturulan model, karar vericilere maliyet ve hizmet dengesi açısından esneklik sağlamaktadır.

Bununla birlikte çalışmanın bazı sınırları da bulunmaktadır. Çalışma kapsamında belirlenen en uygun lokasyonların etkinliği uzun vadede değerlendirilmelidir. Kullanıcı taleplerinin değişmesi ve lojistik ağlarının gelişmesi ile birlikte, kargo otomatlarının konumlandırılmasının dinamik olarak güncellenmesi gerekebilir. Bu nedenle, gelecekte yapılacak çalışmalarda simülasyon teknikleri kullanılarak farklı senaryolar altında kargo otomatlarının etkinliği test edilebilir. Farklı şehirlerdeki kentsel lojistik süreçleri düşünüldüğünde daha geniş bir veri seti ile modelin uygulanması metodolojinin doğruluğunu artırabilir. Ayrıca, çalışmada yalnızca kargo otomatlarının yer seçimi ele alınmış, işletme maliyetleri, bakım gereksinimleri ve kullanıcı deneyimi gibi ek faktörler detaylı olarak incelenmemiştir.

Gelecekteki çalışmalarda:

- Yapay zekâ ve makine öğrenmesi tabanlı modellerle dinamik yer seçimi analizleri gerçekleştirilebilir,
- Simülasyon teknikleri kullanılarak, şehir genelindeki lojistik süreçleri daha geniş kapsamlı olarak analiz edilebilir,
- Kargo otomatlarının uzun vadeli işletme stratejileri, müşteri kabul oranları ve kullanım alışkanlıkları gibi konular detaylı olarak incelenebilir.



Hakem Değerlendirmesi	Dış bağımsız.
Yazar Katkısı	Çalışmanın Konsepti/Tasarımı: F.B.Y., E.U., B.B.; Veri Toplama- E.U., B.B.; Verilerin Analizi/Yorumlanması- F.B.Y., B.B.; Yazı Taslağı: F.B.Y., E.U.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi – F.B.Y., B.B., E.U.; Son Onay ve Sorumluluk F.B.Y., B.B., E.U.
Çıkar Çatışması	Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemiştir.
Finansal Destek	Yazarlar finansal destek beyan etmemiştir.

Peer Review	Externally peer-reviewed.
Author Contributions	Conception/Design of Study- F.B.Y., E.U., B.B.; Data Acquisition- E.U., B.B.; Data Analysis/ Interpretation- F.B.Y., B.B.; Drafting Manuscript- F.B.Y., E.U.; Critical Revision of Manuscript - F.B.Y., B.B., E.U.; Final Approval and Accountability- F.B.Y., B.B., E.U.
Conflict of Interest	Authors declared no conflict of interest.
Grant Support	Authors declared no financial support.

Yazar Bilgileri	Fatma Betül Yeni (Dr. Öğr. Üyesi)
Author Details	¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye  0000-0002-6544-7976  fb.yeni@ktu.edu.tr

Eda Uçar

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye
 0009-0005-3317-7413  edaucar61@hotmail.com

Bahar Baştan

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye
 0009-0009-7846-794X  baharbastan23@gmail.com

Kaynakça | References

- Bai, C., & Sarkis, J. (2013). A grey-based DEMATEL model for evaluating business process management critical success factors. *International Journal of Production Economics*, 146(1), 281-292.
- Ballou, R. H., & Srivastava, S. K. (2007). *Business logistics/supply chain management: planning, organizing, and controlling the supply chain*. Pearson Education, India.



- Borghetti, F., Caballini, C., Carboni, A., Grossato, G., Maja, R., & Barabino, B. (2022). The use of drones for last-mile delivery: A numerical case study in Milan, Italy. *Sustainability*, 14(3), 1766.
- Caggiani, L., Colovic, A., Prencipe, L. P., & Ottomanelli, M. (2021). A green logistics solution for last-mile deliveries considering e-vans and e-cargo bikes. *Transportation Research Procedia*, 52, 75-82.
- Chen, C., Demir, E., Huang, Y., & Qiu, R. (2021). The adoption of self-driving delivery robots in last mile logistics. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 146, 102214.
- Deutsch, Y., & Golany, B. (2018). A parcel locker network as a solution to the logistics last mile problem. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 251-261.
- Dey, S., Kumar, A., Ray, A., & Pradhan, B. B. (2012). Supplier Selection: Integrated Theory using DEMATEL and Quality Function Deployment Methodology. *Procedia Engineering*, 38, 3560-3565.
- Erdal, H., & Korucuk, S. (2019). İlaç Lojistiği Kapsamında Lojistik Kriterlerin Dematel Yöntemi ile Belirlenmesi: Erzurum İli Örneği. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(1), 155-166.
- Fontela, E., & Gabus, A. (1974). DEMATEL: Progress achieved. *Futures*, 6, pp. 329-333.
- Gevaers, R., Van de Voorde, E., & Vanelander, T. (2014). Cost modelling and simulation of last-mile characteristics in an innovative B2C supply chain environment with implications on urban areas and cities. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 125, 398-411. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1483>
- Güzel, D., & Kavalcı, K. (2023). Lojistik son adım teslimat hizmetinde tüketicilerin akıllı dolapları benimseme niyeti üzerine bir araştırma. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 24(1), 379-398.
- Ha, N. T. T. (2023). Factors affecting the efficiency of logistics on regeneral energy industry e-trade in vietnam. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 1643-1653.
- Kahr, M. (2022). Determining locations and layouts for parcel lockers to support supply chain viability at the last mile. *Omega*, 113, 102721.
- Karabulut, O. A., Seyret, M. K., & Avcı, M. G. (2023). Kargo otomati yer seçimi problemi için bir matematiksel model. *Endüstri Mühendisliği*, 34(1), 26-41.
- Korkmaz, M. (2012). Analysis of economic efficiency at forest enterprises with TOPSIS method. *Turkish Journal of Forestry*, 13(1), 14-20.
- Lin, Y. H., Wang, Y., He, D., & Lee, L. H. (2020). Last-mile delivery: Optimal locker location under multinomial logit choice model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 142, 102059.
- Moslem, S., & Pilla, F. (2023). A hybrid decision making support method for parcel lockers location selection. *Research in Transportation Economics*, 100, 101320.
- Moslem, S., & Pilla, F. (2024). Planning location of parcel lockers using group Analytic Hierarchy Process in Spherical Fuzzy environment. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 24, 101024.
- Moslem, S., Gündoğdu, F. K., Saylam, S., & Pilla, F. (2024). A hybrid decomposed fuzzy multi-criteria decision-making model for optimizing parcel lockers location in the last-mile delivery landscape. *Applied Soft Computing*, 154, 111321.
- Naumov, V., & Pawluś, M. (2021). Identifying the optimal packing and routing to improve last-mile delivery using cargo bicycles. *Energies*, 14(14), 4132.
- Novotná, M., Švadlenka, L., Jovčić, S., & Simić, V. (2022). Micro-hub location selection for sustainable last-mile delivery. *Plos one*, 17(7), e0270926.
- Özbekler, T. M., & Karaman Akgül, A. (2020). Last mile logistics in the framework of smart cities: A typology of city logistics schemes. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 44, 335-337.
- Rossolov, A. (2023). A last-mile delivery channel choice by E-shoppers: assessing the potential demand for automated parcel lockers. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 26(8), 983-1005.
- Russo, F., & Comi, A. (2016). Urban freight transport planning towards green goals: Synthetic environmental evidence from tested results. *Sustainability*, 8(4), 381. <https://doi.org/10.3390/su8040381>
- Savelsbergh, M., & Van Woensel, T. (2016). 50th anniversary invited article—City logistics: Challenges and opportunities. *Transportation Science*, 50(2), 579-590. <https://doi.org/10.1287/trsc.2016.0675>
- Simić, V., Lazarević, D., & Dobrodolac, M. (2021). Picture fuzzy WASPAS method for selecting last-mile delivery mode: a case study of Belgrade. *European Transport Research Review*, 13, 1-22.
- Taniguchi, E., Thompson, R. G., & Yamada, T. (2016). New opportunities and challenges for city logistics. *Transportation research procedia*, 12, 5-13.
- Turğut, M., & Şeker, B. (2022). İnsansız hava araçlarının (İHA) taşımacılıkta kullanımına yönelik keşfedici bir araştırma: drone taşımacılığı ve uygulamaları. *Journal of Intelligent Transportation Systems & Applications*, 5(2).
- Wang, Y., Bi, M., Lai, J., & Chen, Y. (2020). Locating movable parcel lockers under stochastic demands. *Symmetry*, 12(12), 2033.

- Yetiş, H., Güngör, Z., & Karaköse, M. (2021). Araç-İHA İş birliği ile Kargo Teslimatları İçin Ortak Rota Optimizasyonu. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 33(2), 135-144.
- Yoon, K. P., & Kim, W. K. (2017). The behavioral TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 89, 266-27.

