

PAPER DETAILS

TITLE: KARGO OTOMATI YER SEÇİMİ PROBLEMİ İÇİN BİR MATEMATİKSEL MODEL

AUTHORS: Orhan Alp KARABULUT, Metehan Kerem SEYRET, Mualla Gonca AVCI

PAGES: 26-41

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2484283>



KARGO OTOMATI YER SEÇİMİ PROBLEMİ İÇİN BİR MATEMATİKSEL MODEL

Orhan Alp KARABULUT¹, Metehan Kerem SEYRET², Mualla Gonca AVCI^{3*}

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-0621-374X>

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-1852-5839>

³Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-7591-1616>

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Son kilometre lojistiği, kargo otomati, yer seçimi problemi, matematiksel modelleme</i>	<i>Son yıllarda e-ticaretteki büyüme ve artan rekabet nedeniyle son kilometre lojistik faaliyetleri gittikçe karmaşıklaşmakta ve bu faaliyetlere ilişkin maliyetler artmaktadır. Bu nedenle kargo şirketleri teslimat maliyetlerini düşürme ve hizmet kalitesini artırma amaçlarıyla alternatif teslimat şekillerini benimsemektedirler. Bu alternatiflerden biri kargo otomati vasıtasıyla yapılan teslimatlardır. Kargo otomatları teslimat maliyetlerinden önemli miktarda tasarruf sağlarken teslimat zamanı açısından esneklik sağlamaktadır. Fakat kargo otomatları şehirlerin merkezi yerlerine kurulduğu için yüksek bir kiralama maliyetine yol açmaktadır. Bu kapsamda kargo otomat ağının tasarlanması önemli bir tesis yeri seçimi problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada kargo otomati yer seçimi problemi için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Önerilen model ile İzmir ili Buca ilçesinde kurulacak beş kargo otomatının yerleri belirlenmiştir. Buna ek olarak önerilen model farklı parametre değerleri için analiz edilmiştir.</i>

*Sorumlu yazar; e-posta: gonca.yunusoglu@deu.edu.tr

doi : <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1130216>

Analizlerden elde edilen sonuçlara göre kurulacak kargo otomatı sayısının karşılanan talep oranı üzerinde dikkate değer bir etkisi vardır. Buna ek olarak analiz sonuçları kargo otomatı kapasitesinde ve indirim sisteminde yapılacak değişikliklerle yeni bir kargo otomatı yatırımı yapmadan karşılanan talebin önemli miktarda arttırılabileceğini göstermiştir.

A MATHEMATICAL MODEL FOR THE PARCEL LOCKER LOCATION PROBLEM

Keywords	Abstract
<i>Last mile logistics, parcel locker, location problem, mathematical modeling</i>	<i>Due to the growth and increasing competition in e-commerce in recent years, the last mile logistics activities are getting more and more complex and the costs related to these activities are increasing. For this reason, cargo companies adopt alternative delivery methods to reduce delivery costs and increase service quality. One of these alternatives is parcel locker delivery. Parcel lockers provide significant savings in delivery costs while providing flexibility in terms of delivery time. However, since parcel lockers are located into the central areas of the cities, they incur high rental costs. In this context, design of a parcel locker network emerges as an important facility location problem. In this study, a mathematical model has been developed for the cargo vending machine location problem. By using the proposed model, the locations of five parcel lockers in Buca district of İzmir province were determined. In addition, the proposed model is analyzed for different parameter values. According to the results obtained from the analyzes, the number of parcel lockers has a significant effect on the demand fill rate. In addition, the results of the analysis showed that with the changes in parcel locker capacity and discount system, the filled demand can be increased significantly without investing in a new parcel locker.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 14.06.2022	Submission Date : 14.06.2022
Kabul Tarihi : 24.02.2023	Accepted Date : 24.02.2023

1. Giriş

E-ticarette ve internet satışlarındaki sürekli büyüme son kilometre lojistiğini giderek daha karmaşık ve maliyetli hale getirmektedir. Bu koşullar ve müşterilerin değişen beklentileri son kilometre lojistiği alanında yenilikçi yaklaşımların doğmasına neden olmuştur. Bu kapsamda kargo otomatları özellikle son yıllarda standart adrese teslimata bir alternatif oluşturmaktadır (Rohmer ve Gendron, 2020). Kargo otomatları sayesinde kargo şirketleri ulaştırma maliyetinde ölçek ekonomisinden yararlanabilmekte ve müşteriye adresinde bulamama sorunundan kurtulmaktadır. Müşteriler açısından ise kargo otomatları adrese teslimata göre daha esnek bir teslimat alternatiftir. Buna ek olarak birçok firma müşterilerine kargo otomatlarını kullanmaya teşvik edici indirimler sunmaktadır. Bu avantajlarından dolayı kargo otomatları giderek daha fazla tercih edilen bir teslimat alternatifi haline gelmiştir.

Gerçek hayattaki ticari uygulamalarda kargo otomatı yerlerinin kira bedelleri çok yüksek olduğu için genellikle sınırlı sayıda kargo otomatının yerlerinin belirlenmesi problemi ile ilgilenilir. Bu kapsamda bu çalışmanın amacı karşılanan talebi maksimize edecek şekilde belirli sayıda kargo otomatının yerlerinin belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda kargo otomatı yer seçimi problemi için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Önerilen matematiksel model kargo otomatlarının müşteriden uzaklıklarına göre indirim miktarlarını belirleyen bir katmanlı indirim sistemi içermektedir. Bu sisteme göre müşterinin hizmet aldığı kargo otomatı müşterinin hangi uzaklık katmanındaysa müşteriye o katman için belirlenen bir indirim sunulmaktadır. Önerilen yer seçimi modelinin ilgili literatürde mevcut diğer modellerden farkı kargo otomatlarının sınırlı bir kapasiteye sahip olması ve müşteriye teşvik için verilen toplam indirim için bir bütçe kısıtının olmasıdır. Önerilen model İzmir ili Buca ilçesinde kurulacak beş kargo otomatının yerlerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Buna ek olarak kargo otomatı sayısı, kapasitesi ve katman genişliği gibi model parametrelerinin elde edilen sonuçlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Analiz sonuçları kargo otomatı ağı tasarımı kargo otomatı sayısı ile kargo otomatı kapasitesi ve katman genişliği arasındaki dengenin önemini göstermiştir.

Makalenin ikinci bölümünde çalışma kapsamında ele alınan problem açıklanmış ve problem için geliştirilen matematiksel model sunulmuştur. Üçüncü bölüm geliştirilen modelin hesaplamalı analizlerine ayrılmıştır. Dördüncü bölümde ise sonuçlara ilişkin değerlendirmeler yer almaktadır.

2. Literatür Araştırması

Literatürde kargo otomatları ile ilgili çalışma sayısı az olmakla birlikte son yıllarda son kilometre lojistiği alanındaki araştırmacıların kargo otomatları ile ilgili problemlere ilgisi artmıştır. Lachapelle, Burke, Brotherton ve Leung (2018) Avustralya'da beş şehirde kargo otomatlarının yer seçiminde etkili olan özellikleri ve kargo otomatlarının ulaşım planlarına etkilerini lojistik regresyon

yöntemi ile analiz etmişlerdir. Orenstein, Raviv ve Sadan (2019) tek depodan kargo otomatlarına dağıtım yapılması ile ilgili rotalama problemi için geniş komşuluklu yasaklı arama algoritması önermişlerdir. Enthoven, Jargalsaikhan, Roodbergen, Uit het Broek ve Schrotenboer (2020) teslimatta kargo otomatları ve kargo bisikletlerinin kullanıldığı iki kademeli bir araç rotalama problemini ele almışlardır. Pan, Zhang, Thompson ve Ghaderi (2021) farklı kargo şirketleri tarafından paylaşımlı olarak kullanılacak kargo otomatu ağlarının tasarımı için bir minimum maliyetli ağ akış modeli geliştirmişlerdir. Yu, Lian ve Yang (2021) kargo otomatu hizmetinin fiyatlandırılmasında maliyet hesabı için gezgin satıcı modelini kullanmışlardır. Schnieder, Hinde ve West (2021) modüler kargo otomatlarının kullanıldığı bir teslimat sistemi ile kargo otomatlarının teslimat ve dağıtım noktaları ile birlikte kullanıldığı bir sisteminin faydalı kullanım oranlarını karşılaştırmıştır. Vincent, Susanto, Jodiawan, Ho, Lin ve Huang (2022) kargo otomatının bir teslimat alternatifi olarak ele alındığı bir araç rotalama probleminin çözümü için bir benzetim tavlama algoritması geliştirmişlerdir. Ghaderi, Zhang, Tsai ve Woo (2022) kargo otomatlarına yapılan teslimatlarda kitle kaynak kullanımının etkilerini analiz etmiştir.

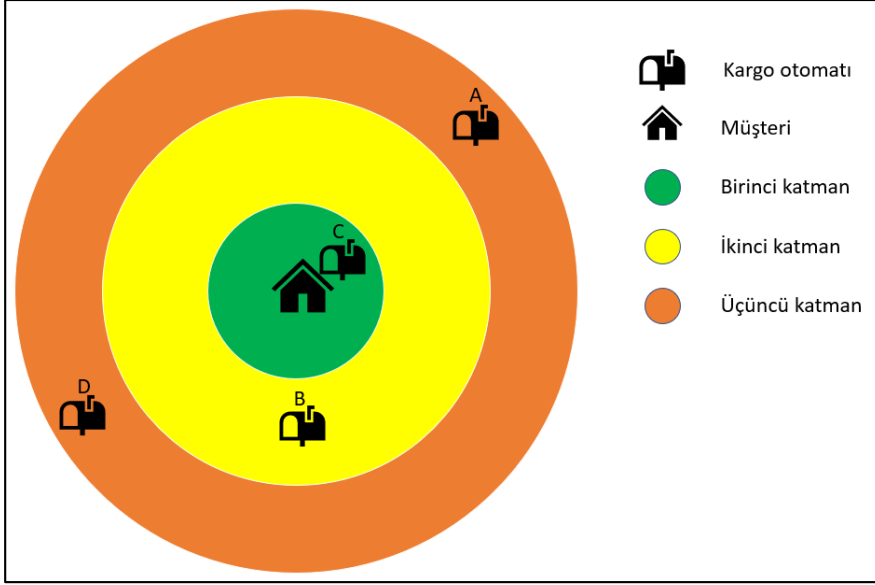
Kargo otomatları çok sayıda kişinin ulaşabileceği otobüs durakları, alışveriş merkezleri gibi merkezi yerlerde kurulmaktadır. Fakat bu tip yerlerin kiralama maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle kargo otomatları yerlerinin doğru belirlenmesi firmaların teslimat maliyetleri açısından kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda kargo otomatlarının yerlerinin seçilmesi ile ilgili birkaç çalışma yayınlanmıştır. Deutsch ve Golany (2018) kargo otomatu yer seçimi problemini kapasitesiz tesis yerleşimi problemi olarak modellemişlerdir. Önerilen matematiksel modelin amaç fonksiyonu toplam karın maksimizasyonu olup toplam kar hesabında tesislerin sabit ve operasyonel maliyetleri ile müşterilere sağlanan indirimler dikkate alınmıştır. Yang ve diğ. (2020) kargo otomatlarının yer seçimi problemi için iki seviyeli programlama modeli önermişlerdir. Modelin yukarı seviyesinin amaç fonksiyonu toplam maliyetin minimizasyonu iken, aşağı seviyesi müşterilerin teslim alma maliyetini minimize etmektedir. Schwerdfeger ve Boysen (2020) mobil kargo otomatlarının yer seçimi problemi için bir model ve bir kesin çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Modelin amacı minimum mobil kargo otomatu filosu ile tüm müşteri taleplerini karşılamaktır. Çalışmada mobil kargo otomatlarının etkinliği stabil kargo otomatları ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Diğer çalışmalarında Schwerdfeger ve Boysen (2022) mobil kargo otomatlarının yer değiştirmesi ile ilgili alternatifleri matematiksel modeller kullanarak değerlendirmişlerdir. Bu alternatifler, otonom sürüş, kargo otomatının bir araca monte edilmesi ve birden fazla kargo otomatının tek araç tarafından taşınmasıdır. Luo, Ji ve Ji (2022) kargo otomatu yer seçimi problemini çok amaçlı çerçevede ele alarak bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Birinci amaç kargo otomatlarının kurulum maliyetinin minimizasyonu iken ikinci amaç kargo otomatlarının müşteriler tarafından ulaşılabilirliğinin maksimizasyonudur. Yazarlar problemin çözümü için bir aktif öğrenen Pareto evrimsel algoritma önermişlerdir. Lin, Wang, Lee ve Chew (2022) kargo otomatu

yer seçimi problemi için iki konik karesel kar maksimizasyonu modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde müşterinin kargo otomatı hizmetini tercihi eşik Luce modeli ile tahmin edilmiştir.

Kargo otomatları ile ilgili yer seçimi problemlerine odaklanan çalışmaların çoğunluğunda müşterileri kargo otomatı kullanmaya yönelten teşvik yöntemleri üzerinde durulmamıştır. Bildiğimiz kadarıyla teşvik yöntemlerini içeren tek çalışma Deutsch ve Golany (2018) tarafından yapılmıştır. Deutsch ve Golany (2018) kargo otomatına uzak konumlardaki müşterilerin kargo otomatını tercih etmesi için bir indirim mekanizması geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın Deutsch ve Golany (2018) tarafından yapılan çalışmadan farkı kargo otomatlarının sınırlı kapasiteye sahip oluşu ve toplam indirim miktarı için bir bütçe kısıtının olmasıdır. Böylelikle bu çalışma sınırlı kargo otomatı kapasitesinin ve sınırlı indirim olanaklarının sistem performansı üzerindeki etkilerinin ortaya çıkarılması doğrultusunda literatüre katkı sağlamaktadır.

2. Problemin Tanımı ve Matematiksel Model

Kargo otomatları genellikle müşterilerin günlük hayatlarında sık sık ziyaret ettikleri otobüs durakları, alışveriş merkezleri, iş merkezleri gibi merkezi yerlere yerleştirilirler. Bu tip merkezi yerlerin kiralari yüksek olduğu için kargo otomatı yerlerinin seçiminde kurulum maliyeti kritik öneme sahiptir. Yüksek kurulum maliyetleri nedeniyle bu çalışmada ele alınan problemde kurulabilecek kargo otomatı sayısı sınırlandırılmıştır. Kargo otomatı sayısının sınırlandırılması ilgilenilen bölgedeki tüm talebin karşılanamamasına ya da müşterilerin bulundukları konumdan uzak bir kargo otomatından hizmet almasına neden olabilir. Bu durumda müşteri memnuniyetini garanti etmek ve müşterileri kargo otomatı kullanmaya teşvik etmek amacıyla bir indirim sistemine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada müşterilerin hizmet alacakları kargo otomatına olan uzaklıklarını dikkate alan bir indirim sistemi kullanılmıştır. Bu indirim sistemi her müşteri için mesafeye dayalı bir katman sistemi temel alınarak tasarlanmıştır. Bu sistemin yapısı Şekil 1’de görselleştirilmiştir. Şekil 1’de müşteri etrafında üç katman tanımlanmıştır. Müşterinin birinci katmanda yer alan C kargo otomatından hizmet alması durumunda herhangi bir indirim yapılmamaktadır. Müşteri ikinci katmandaki B kargo otomatından hizmet alırsa teslimat ücretinde belirli bir indirim yapılmaktadır. Eğer müşteri üçüncü katmandaki A kargo otomatından hizmet alacaksa, müşteriye ikinci katman için yapılan indirimin iki katı indirim verilecektir.



Şekil 1. Katmanlara Dayalı İndirim Sistemi

N talep bölgesi ve K aday kargo otomatı yeri ile tanımlanmış bir kargo otomatı yer seçimi problemi için geliştirilen matematiksel model aşağıda açıklanmıştır:

Parametreler:

d : İndirim katsayısı

c : Bir kargo otomatının kapasitesi

b : Kurulacak maksimum kargo otomatı sayısı

p : Standart adrese teslimat ücreti

$l_{ij} = \begin{cases} 0, & j \text{ kargo otomatı } i \text{ talep bölgesinin birinci katmanında ise} \\ 1, & j \text{ kargo otomatı } i \text{ talep bölgesinin ikinci katmanında ise} \\ 2, & j \text{ kargo otomatı } i \text{ talep bölgesinin üçüncü katmanında ise} \end{cases}$

t_i : i talep bölgesinin talep miktarı

a : Verilecek maksimum toplam indirim için katsayı

Karar değişkenleri:

y_j : j kargo otomatı açıldıysa 1, aksi halde 0

x_{ij} : i talep bölgesi j kargo otomatına atanmış ise 1, aksi halde 0

Matematiksel model:

$$Maks \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K t_i x_{ij} \quad (1)$$

Öyle ki:

$$\sum_{j=1}^K x_{ij} \leq 1, \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N t_i x_{ij} \leq c y_j \quad j = 1, \dots, K \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K l_{ij} d x_{ij} \leq a p \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^K y_j \leq b \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, K \quad (6)$$

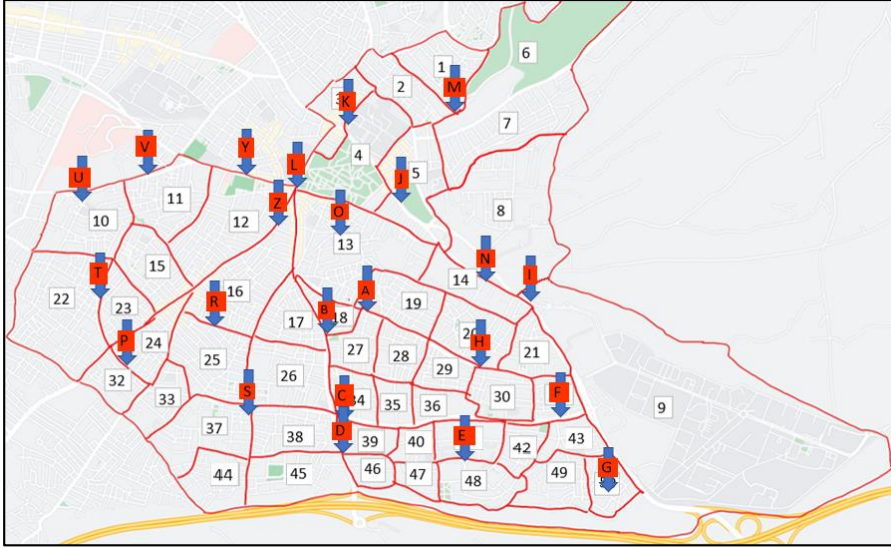
$$y_j \in \{0,1\}, \quad j = 1, \dots, K \quad (7)$$

Modelin amaç fonksiyonu (1) toplam karşılanan talebin maksimize edilmesidir. Kısıt grubu (2) her talep bölgesinin en fazla bir kargo otomatına atanmasını sağlar. Kısıt grubu (3) her kargo otomatına atanan toplam talep miktarının kargo otomatının kapasitesini aşmasını engeller. Kısıt (4) toplam indirimin en fazla standart adrese teslimat ücretinin belirli bir oranı kadar olması gerektiğini ifade eder. Kısıt (5) kurulacak kargo otomatı sayısını sınırlandırır. (6) ve (7) numaralı kısıtlar karar değişkenlerinin özelliğini ifade eder.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3. Hesaplamalı Analizler

Geliştirilen model İzmir ilinin Buca ilçesinde kurulacak beş kargo otomatının yerinin belirlenmesi problemi üzerinde analiz edilmiştir. Hesaplamalı analizler için Buca ilçesinde nüfus yoğunluğunun fazla olduğu sekiz mahalle seçilmiştir. Bu mahalleler $N = 50$ talep bölgesine ayrılmıştır. Bu talep bölgeleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Talep Bölgeleri ve Aday Kargo Otomatı Yerleri

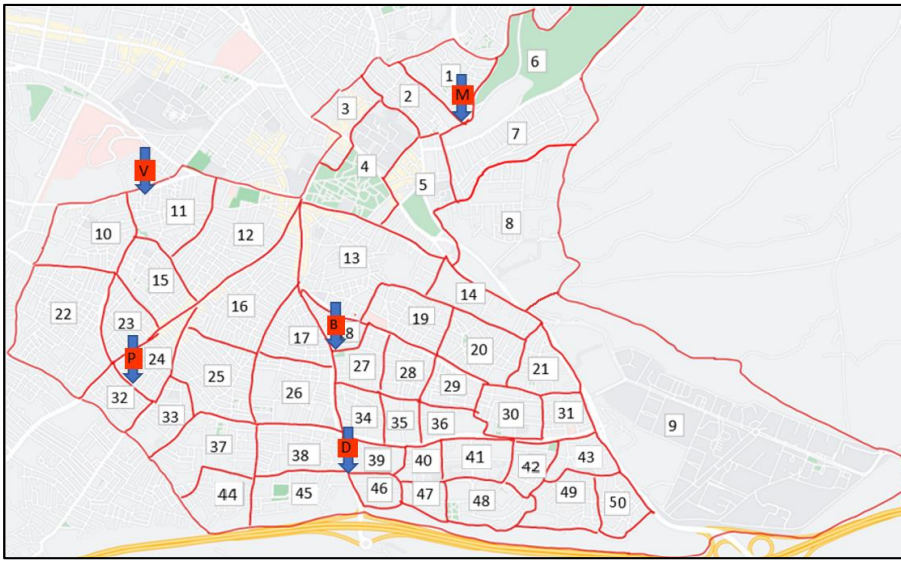
Bölgelerin talep miktarları bölge nüfusu, internetten alışveriş oranı ve rakip firmalar göz önüne alınarak belirlenmiştir. Bölgelerin nüfusları bölge yüzölçümleri ile bölgelerin bağlı oldukları mahallelerin nüfus yoğunlukları dikkate alınarak hesaplanmıştır. 9 numaralı bölge Dokuz Eylül Üniversitesi yerleşkesidir. Bu bölgenin nüfusu üniversitede çalışan personelin ve öğrenim gören öğrencilerin sayılarının toplamıdır. Ülkemizde 2021 yılında internetten alışveriş yapan nüfus oranının %44,3 olduğu (TÜİK, 2021) bilgisi kullanılarak bölgelerin toplam taleplerinin nüfuslarının %44,3'ü kadar olacağı varsayılmıştır. Ele alınan bölgede altı adet kargo şirketi faaliyet göstermektedir. Bu çalışmada bölgede yeni faaliyete geçecek bir kargo şirketinin kargo otomatlarının yerlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Dolayısıyla kurulacak beş kargo otomatının hedef pazarının bölgelerin toplam talebinin yedide biri kadar olacağı tahmin edilmektedir. Özetle bölge nüfusları internetten alışveriş yapma oranı (%44,3) ile çarpılıp yediye bölünerek bölgelerin talepleri (t_i) elde edilmiştir.

Ele alınan bölgede $K = 23$ tane aday kargo otomatı yeri otobüs durağı, market, hastane ve cami gibi merkezi konumlarda olacak şekilde seçilmiştir. Aday yerler Şekil 2'de gösterilmiştir. Bir kargo otomatının kapasitesi $c = 30$ birimdir. Standart adrese teslimat ücreti $p = 25$ TL'dir. Bölgelere uygulanacak indirimler bu ücret üzerinden hesaplanmaktadır. Uygulanan toplam indirim standart adrese teslimattan elde edilen gelirin %10'unu ($a = \%10$) geçemez (Kısıt (4)).

İndirimlerde dikkate alınacak katman genişliği 300 m olarak belirlenmiştir. Bir bölgenin orta noktası merkez olarak alındığında 300 m çapındaki alan bölgenin

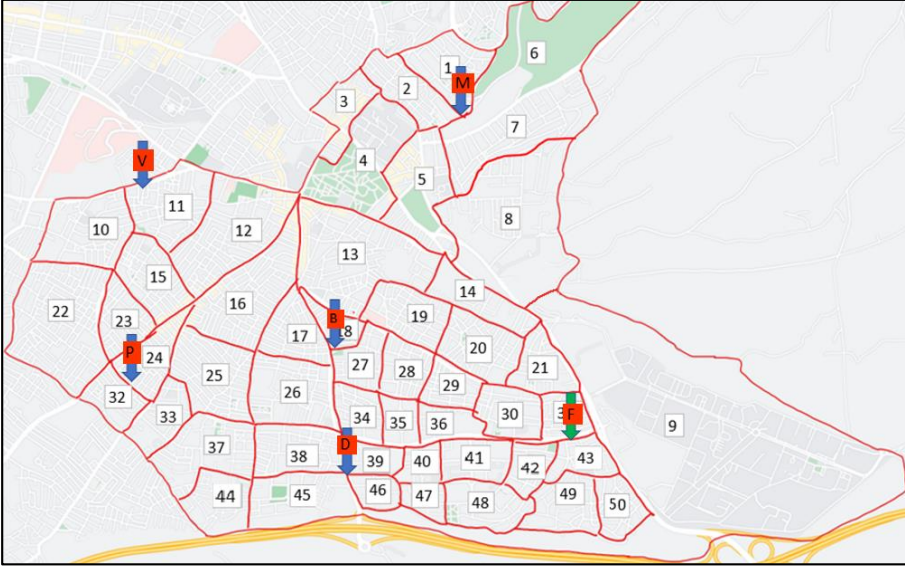
birinci katmanını oluşturmaktadır. Birinci katman için herhangi bir indirim uygulanmamaktadır. Bölgenin merkezine 300 ile 600 metre uzaklıkta olan alan bölgenin ikinci katmanını oluşturmaktadır. Bir bölge ikinci katmanında yer alan bir kargo otomatına atandığında standart adrese teslimat ücretinin %20'si kadar indirim almaktadır. Bir bölgeye 600 metreden daha uzak olan yerler o bölgenin üçüncü katmanı olarak belirlenmiştir. Bir bölge üçüncü katmanındaki bir kargo otomatına atandığında standart adrese teslimat ücretinin %40'ı kadar indirim almaktadır. Dolayısıyla modelde indirim katsayısı $d = p \times (\%20) = 5$ olarak belirlenmiştir.

Yukarıda açıklanan parametre değerleri kullanılarak Denklem (1-7)'de gösterilen matematiksel model Matlab 2019b üzerinde kodlanmış ve Gurobi 9.5.1 çözücüsü kullanılarak bir optimal çözüm elde edilmiştir. Optimal çözümde beş kargo otomatı ile toplam talebin %43,4'ü karşılanmıştır. Açılması gereken kargo otomatlarının yerleri Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Beş Kargo Otomatı için Optimal Çözüm

Kargo otomatı ağında gelecekte bir büyüme kararı alınması durumunda yeni bir kargo otomatının nerede açılması gerektiğini bulmak için Şekil 3'te gösterilen kargo otomatlarının açılmasını zorunlu tutup Kısıt (5)'te $b = 1$ alınarak model tekrar çalıştırılmıştır. Optimal çözümde yeni kargo otomatı için F konumu seçilmiştir. Yeni kurulan kargo otomatı sayesinde talep karşılama oranı %43,4'ten %49,8'e yükselmiştir.

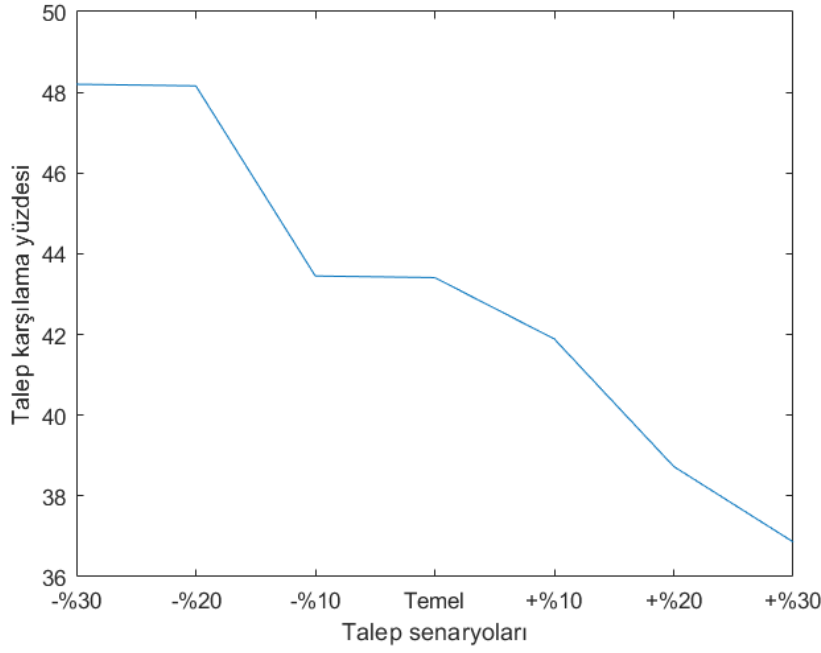


Şekil 4. Altıncı Kargo Otomatının Kuruluş Yeri için Optimal Çözüm

3.1 Duyarlılık Analizleri

3.1.1 Talebin Performans Üzerindeki Etkisi

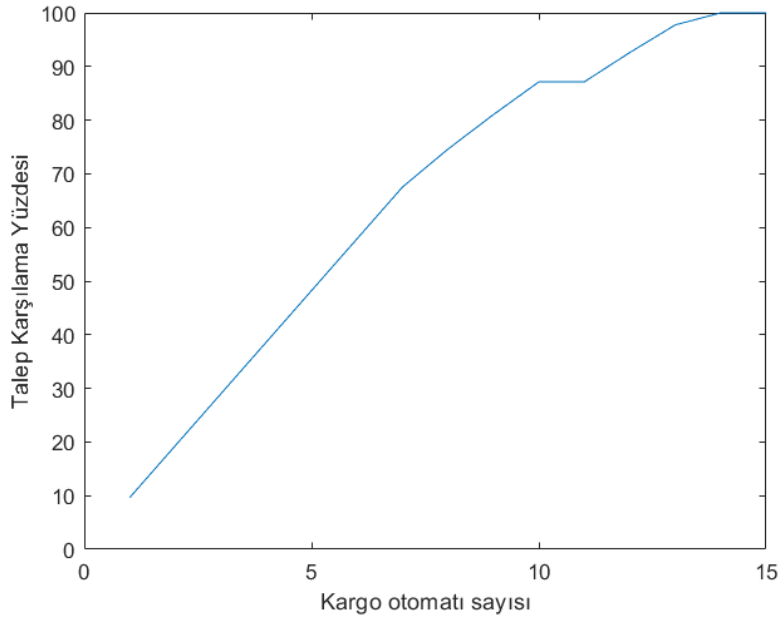
Hesaplamalı analizlerde bölgelerin talepleri, bölgelerin nüfus yoğunluğu ve internette alışveriş yapan nüfus oranı dikkate alınarak belirlenmiştir. Dolayısıyla belirlenen talep miktarları beklenen talep miktarlarıdır. Gerçek talep miktarlarının beklenen değerlerden farklı olabileceği düşüncesi ile bu bölümde talep miktarları için alternatif senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryolar kullanılarak bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu analizde temel senaryoya alternatif olarak tüm bölgelerin taleplerinin %20 ve %30 daha az ve daha fazla olduğu “-%20” ve “-30” ile “+%20” ve “+%30” senaryoları dikkate alınmıştır. Bu senaryolar için elde edilen optimal çözümlerin talep karşılama yüzdeleri Şekil 5’teki grafikte gösterilmiştir. Şekil 5’te görüldüğü üzere talep miktarı yükseldikçe talebi karşılama yüzdesi neredeyse doğrusal olarak azalmaktadır. Düşük talep senaryolarında ise talep karşılama yüzdesi kademeli olarak değişmektedir. Talebin %20 ve daha fazla oranlarda düşmesi durumunda talep karşılama yüzdesinde belirgin bir artış gözlenmemektedir. Bu durum kargo otomatlarının kapsama mesafelerinin sınırlı olması ile açıklanabilir. Ele alınan bölgedeki talep yoğunluğunun çok düşük olması durumunda indirim sistemindeki katman genişlikleri yeniden değerlendirilerek kargo otomatlarının kapsama mesafeleri arttırılabilir.



Şekil 5. Farklı Talep Senaryoları Altında Talep Karşılama Yüzdesinin Değişimi

3.1.2 Kargo Otomatı Sayısının Performans Üzerindeki Etkisi

Kurulacak kargo otomatı sayısının karşılanan talep yüzdesi üzerindeki etkisini analiz etmek amacıyla farklı kargo otomatı sayısı kısıtları altında çözümler elde edilmiştir. Bu çözümlerin talep karşılama oranları Şekil 6’te verilmiştir. Şekil 6’da görüleceği üzere kargo otomatı sayısını arttırmak talep karşılama oranını dikkate değer şekilde iyileştirmektedir. Tüm talebin karşılanabilmesi için 14 kargo otomatı kurulması gerekmektedir.



Şekil 6. Kargo Otomati Sayısının Talep Karşılama Oranı Üzerindeki Etkisi

3.2 Performansı Arttırmak için Alternatif Stratejiler

Bir önceki bölümde yapılan analizin sonuçlarına göre kargo otomati sayısını arttırmanın karşılanan talep oranını dikkate değer ölçüde iyileştirmektedir. Fakat yeni bir kargo otomati kurmak yüksek kiralar nedeniyle oldukça maliyetlidir. Bu nedenle talep karşılama oranını arttırmak için alternatif stratejiler analiz edilmiştir. Bu stratejilerden birincisi kargo otomati kapasitesi arttırmaktır. Burada kargo otomati sayısı değişmemekte, sadece kargo otomatının boyutları arttırılmaktadır. Dolayısıyla bu değişikliği yapmanın yaratacağı eklenti maliyet yeni bir kargo otomati yeri kiralamaktan daha düşüktür. İkinci alternatif strateji ise indirim sisteminde kullanılan katman genişliklerinin arttırılmasıdır. Böylece müşterilere verilen indirimler azaltılıp toplam indirim kısıtı altında (Denklemler (4)) daha fazla müşteriye hizmet verilebilecektir. Bu stratejinin herhangi bir ek maliyeti olmamakla birlikte müşteri memnuniyetinin azalma riski vardır.

Birinci stratejiyi test etmek için tüm model parametreleri sabit tutulup kargo otomati kapasitesi 40 birime çıkarılmıştır. Elde edilen optimal çözümde talep karşılama oranı %47,9 olmuştur. Talep karşılama oranı yaklaşık %10 artmıştır. İkinci stratejiyi test etmek için katman genişlikleri 400 metreye çıkarılmıştır. Yeni durumda talep karşılama oranı yaklaşık %11 yükselerek %48,2 olmuştur.

Her iki durumda da talep karşılama oranı fazladan bir kargo otomatı kurulduğu durumda gerçekleşen talep karşılama oranının (%49.8) altında kalmıştır. Bu nedenle iki stratejinin birlikte uygulandığı durum test edilmiştir. Bu durum “Üçüncü strateji” olarak adlandırılmıştır. Bu analizde kargo otomatı kapasitesi 40 birime, katman genişliği ise 400 metreye çıkarılmıştır. Bu durumda talep karşılama oranı %63,3’e yükselmiştir. İki stratejiyi birlikte uygulayarak yeni bir kargo otomatı kurmaya gerek kalmadan daha iyi bir performans elde edilebilmiştir. Tablo 1’de alternatif stratejilerin sonuçları temel durum için elde edilen sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 1

Alternatif Stratejilerin Talep Karşılama Yüzdesine Etkisi

Stratejiler	Kapasite	Katman Genişliği	Talep Karşılama Yüzdesi
Temel Durum	30	300	%43,4
Birinci Strateji	40	300	%47,9
İkinci Strateji	30	400	%48,2
Üçüncü Strateji	40	400	%63,3

4. Tartışma

Bu çalışmada kargo otomatı yer seçimi problemi için bir matematiksel model önerilmiş ve önerilen model gerçek hayat verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Öncelikle modelin talep miktarındaki ve kurulması planlanan kargo otomatı sayısındaki değişimlere karşı duyarlılığı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sınırlı kargo otomatı sayısı kısıtı altında talep miktarındaki değişiklikler talep karşılama yüzdesini belirgin şekilde etkilemektedir. Buna ek olarak kurulması planlanan kargo otomatı sayısının performans üzerinde önemli bir etkisi vardır. Fakat yüksek kira bedelleri nedeniyle yeni bir kargo otomatı kurmak oldukça maliyetlidir. Bu nedenle daha düşük maliyetli alternatif stratejiler için ek analizler yapılmıştır. Bu kapsamda kargo otomatı kapasitesinin yükseltilmesi ve katman genişliğinin artırılması durumları incelenmiştir. Bu stratejilerin ayrı ayrı uygulanmasının performans üzerinde sınırlı bir iyileşme sağladığı tespit edilmiştir. İki stratejinin birlikte uygulanması ile yeni bir kargo otomatı kurulması ile elde edilecek performans artışından dahi yüksek bir performans artışı sağlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar ışığında bir kargo otomatı ağının performansının doğru bir yer seçiminin yanında doğru belirlenmiş kapasiteler ve iyi tasarlanmış bir indirim sistemine bağlı olduğu söylenebilir. Bu nedenle kargo otomatı ağ

tasarımında yeni bir kargo otomatını kurma maliyeti ile kargo otomatlarını yenileme maliyetleri ve müşteri memnuniyetindeki kayıplar arasındaki denge göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kapsamda önerilen model uygulayıcılara kargo otomati ağlarının tasarımında yatırım maliyetlerinin ve indirim sistemlerinin analizinde kolaylık sağlayacaktır.

5. Sonuçlar

Son kilometre lojistiğinde kargo otomatları düşük teslimat maliyetleri ve teslimatta sağladıkları esneklik nedenleriyle giderek daha fazla tercih edilen bir teslimat alternatifi haline gelmiştir. Bu çalışmada kargo otomati yerlerinin belirlenmesi için bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen model kısıtlı kargo otomati ile karşılanan talep miktarını maksimize etmeyi amaçlamıştır. Modelde kargo otomatının müşteriye uzaklığı katmanlar ile ifade edilmiş ve her katman için bir indirim oranı belirlenmiştir. Oluşturulan model İzmir ili Buca ilçesine ilişkin gerçek hayat verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Öncelikle Buca ilçesinde kurulacak beş kargo otomatının optimal yerleri bulunmuştur. Buna ek olarak kargo otomati ağında olası bir büyüme durumu ele alınarak optimal yerleri belirlenmiş beş kargo otomatına ek olarak kurulacak yeni bir kargo otomatının yeri belirlenmiştir. Daha sonra kargo otomati sayısının karşılanan talep oranı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Analiz sonuçları kargo otomati sayısının karşılanan talep oranı üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Son olarak kargo otomati sayısını artırma stratejisine alternatif iki strateji olan kargo otomati kapasitesini artırma ve indirim sistemindeki katman genişliğini artırma stratejileri test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bu iki stratejinin tek tek uygulanmasından ziyade birlikte uygulanması karşılanan talep oranını arttırmada daha etkilidir.

Gelecek araştırmalarda kargo otomatlarının müşteriye teslimatın yanı sıra müşteriden kargo teslim alma amacıyla da kullanıldığı bir sistem ele alınabilir. Diğer yandan paketlerin kargo otomatlarına dağıtımının da dikkate alınması ile ortaya çıkacak yer seçimi ve rotalama problemleri bir bütünleşik yaklaşımla çözülebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada Orhan Alp KARABULUT, verilerin toplanması, kullanıma hazır hale getirilmesi, modelin kurulması, kodlanması, hesaplamalı analizlerin yapılması; Metehan Kerem SEYRET, verilerin toplanması, kullanıma hazır hale getirilmesi, modelin kurulması, kodlanması, hesaplamalı analizlerin yapılması; Mualla Gonca AVCI, kavramsal çerçevenin tasarımı, modelin kurulması, hesaplamalı analizlerin yapılması, sonuçların değerlendirilmesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Cinsiyete Göre Bireylerin Kişisel Kullanım Amacıyla İnternet Üzerinden Mal veya Hizmet Siparişi Verme ya da Satın Alma Oranı. (2021). Erişim adresi : <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo?p=D1pCqZsEhgPwEK8RSDgSO4ND/7Txo6XnjzRSsvgKvQFv378v30dIpD0SqzWiccwZ>
- 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. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1395490>
- Enthoven, D. L., Jargalsaikhan, B., Roodbergen, K. J., Uit het Broek, M. A., & Schrottenboer, A. H. (2020). The two-echelon vehicle routing problem with covering options: City logistics with cargo bikes and parcel lockers. *Computers & Operations Research*, 118, 104919. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104919>
- Ghaderi, H., Zhang, L., Tsai, P. W., & Woo, J. (2022). Crowdsourced last-mile delivery with parcel lockers. *International Journal of Production Economics*, 251, 108549. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108549>
- Lachapelle, U., Burke, M., Brotherton, A., & Leung, A. (2018). Parcel locker systems in a car dominant city: Location, characterisation and potential impacts on city planning and consumer travel access. *Journal of Transport Geography*, 71, 1-14. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.06.022>
- Lin, Y., Wang, Y., Lee, L. H., & Chew, E. P. (2022). Profit-maximizing parcel locker location problem under threshold Luce model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, 102541. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102541>
- Luo, R., Ji, S., & Ji, Y. (2022). An Active-Learning Pareto Evolutionary Algorithm for Parcel Locker Network Design Considering Accessibility of Customers. *Computers & Operations Research*, 105677. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105677>
- Orenstein, I., Raviv, T., & Sadan, E. (2019). Flexible parcel delivery to automated parcel lockers: models, solution methods and analysis. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 8(5), 683-711. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13676-019-00144-7>
- Pan, S., Zhang, L., Thompson, R. G., & Ghaderi, H. (2021). A parcel network flow approach for joint delivery networks using parcel lockers. *International*

Journal of Production Research, 59(7), 2090-2115. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1856440>

Rohmer, S., & Gendron, B. (2020). A Guide to Parcel Lockers in Last Mile Distribution: Highlighting Challenges and Opportunities from an OR Perspective. *Teknik Rapor*, CIRRELT-2020-11. Erişim adresi: <https://www.cirrelt.ca/documentstravail/cirrelt-2020-11.pdf>

Schnieder, M., Hinde, C., & West, A. (2021). Combining parcel lockers with staffed collection and delivery points: An optimization case study using real parcel delivery data (London, UK). *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(3), 183. Doi: <https://doi.org/10.3390/joitmc7030183>

Schwerdfeger, S., & Boysen, N. (2020). Optimizing the changing locations of mobile parcel lockers in last-mile distribution. *European Journal of Operational Research*, 285(3), 1077-1094. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.02.033>

Schwerdfeger, S., & Boysen, N. (2022). Who moves the locker? A benchmark study of alternative mobile parcel locker concepts. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 142, 103780. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103780>

Vincent, F. Y., Susanto, H., Jodiawan, P., Ho, T. W., Lin, S. W., & Huang, Y. T. (2022). A simulated annealing algorithm for the vehicle routing problem with parcel lockers. *IEEE Access*, 10, 20764-20782. Doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3152062>

Yang, G., Huang, Y., Fu, Y., Huang, B., Sheng, S., Mao, L., Huang, S., Xu, Y., Le, J., Ouyang Y. & Yin, Q. (2020). Parcel locker location based on a bilevel programming model. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 5263689. Doi: <https://doi.org/10.1155/2020/5263689>

Yu, Y., Lian, F., & Yang, Z. (2021). Pricing of parcel locker service in urban logistics by a TSP model of last-mile delivery. *Transport Policy*, 114, 206-214. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.10.002>