



Bir E-Ticaret Firmasındaki Son Adım Teslimat Probleminin Farklı Senaryolar Altında İncelenmesi

Fatma Duygu Yılmaz¹, Harun Reşit Yazgan², Serap Ercan Cömert^{3*}

^{1,2,3} Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye
duyguyedekci@gmail.com, yazgan@sakarya.edu.tr, serape@sakarya.edu.tr

Öz

COVID-19 salgınının getirdiği yaşam koşulları ile birlikte dünya ticaretine birçok olumsuz etkisine rağmen e-ticarette hızlı bir gelişmeye yol açmıştır. Talebe istinaden artan e-ticaret hacminin vazgeçilmez unsuru olan lojistik kısmı üzerine daha fazla çalışmalar ve yatırımlar yapılmaya başlanmıştır. Lojistik maliyetlerinin en büyük kısmını oluşturduğu iddia edilen son adım teslimatı üzerine yapılan çalışmalarla birlikte kısıtlı kaynaklarla yüksek miktardaki talebe cevap verirken maliyetlerin de kontrol altında tutulabilmesi için çeşitli lojistik modelleri ortaya çıktığı görülmüştür.

Bu çalışmada, mobilya sektöründe e-ticaret faaliyeti yürüten bir firmanın en uygun son adım teslimatı stratejisini belirleyebilmek için çeşitli lojistik modelleri üç farklı senaryo altında incelenmiştir. Senaryoları çözümlenebilmek için p-medyan problemi, kümeleme analizi ve yerel arama destekli Clarke ve Wright tasarruf algoritmasına dayanan hiyerarşik bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Belirlenen üç senaryodan elde edilen sonuçlar firmanın mevcut durumu ile karşılaştırılıp son adım teslimatı maliyetini minimize edecek olan en uygun seçenek yönetime sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Son adım teslimat, Kümeleme analizi, Clarke ve Wright tasarruf algoritması, Yerel arama

Examining the Last Mile Delivery Problem in an E-Commerce Company under Different Scenarios

Abstract

Despite the living conditions brought by the COVID-19 epidemic and its many adverse effects on world trade, it has led to a rapid development in e-commerce. Based on demand, more studies and investments have begun to be made in logistics, which is an indispensable element of the increasing e-commerce volume. With the studies on last-mile delivery, which is claimed to constitute the most significant part of logistics costs, it has been observed that various logistics models have emerged to keep costs under control while responding to high demand with limited resources.

This study examined various logistics models under three different scenarios to determine the most appropriate last-mile delivery strategy for a company operating e-commerce in the furniture industry. A hierarchical optimization model based on the p-median problem, cluster analysis, and local search-supported Clarke and Wright savings algorithm is proposed to analyze the scenarios. The results obtained from the three determined scenarios were compared with the company's current situation, and the most suitable option that would minimize the last step's delivery cost was presented to the management.

Keywords: Last Mile Delivery, Clustering Analysis, Clarke and Wright Savings Algorithm, Local Search

1. Giriş (Introduction)

Teknolojinin hızlı ilerleyişi ve küreselleşmenin etkisi ile tüketicilerin alışkanlıkları ve buna bağlı olarak davranışları her geçen gün değişiklik

göstermektedir. Geleneksel alışveriş şekilleri yerlerini internet alışverişine bırakırken 2020 başlarında ülkemizde de görülmeye başlanan koronavirüs sebebiyle bu davranış değişikliği daha hızlı gelişme göstermiştir. Pandemi süresince alınan önlemler ile birlikte uzun zaman dilimleri boyunca uygulanan

* Sorumlu yazar.
E-posta adresi: serape@sakarya.edu.tr

Alındı : 14 Ocak 2024
Revizyon : 1 Şubat 2024
Kabul : 4 Mart 2024

sokağa çıkma yasakları insanların ihtiyaçlarını evden çıkmaya gerek duymadan internet üzerinden karşılamaya yönlendirmiştir. Bu durum hali hazırda başlamış olan alışveriş davranışı değişikliğini hızlandırmıştır. İnternet alışverişinin avantajlarından biri müşteriye istediği ürünün evden çıkmadan kendisine getirilmesidir. Müşterinin ürüne gittiği bir alışveriş modelinden ürünün müşteriye iletildiği bir alışveriş modeline olan değişim pandeminin de etkisiyle hızlanmıştır. Ürünün müşteriye iletilmesi hali hazırdaki lojistik süreçlerini daha da yoğun ve karmaşık hale getirmiştir.

Lojistik süreçlerinde ürünler birçok lojistik aracı üzerinden ve birçok dağıtım noktasından geçebilmekte ve birçok transfer noktasında kalabilmektedir. Lojistik süreçlerinde çeşitli taşımacılık yöntemleri ve araçları kullanılmaktadır. Her ne yöntem kullanılsa da lojistik sürecinin en son adımı son adım teslimatı olarak adlandırılmaktadır. Son adım teslimatı, lojistik süreçlerinin en son adımı olup müşteriye ürünün ulaştığı son lojistik adımdır. Son adım teslimatı dağıtım deposundan çıkan ürünün müşteriye teslim edildiği adım olabileceği gibi dağıtım deposundan müşterinin teslim alacağı teslimat noktasına yapılan lojistik adımı da olabilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda lojistik maliyetleri incelendiğinde son adım teslimatının “tüm lojistik zincirinin en pahalı, en az verimli ve çevresel olarak incelendiğinde havayı en çok kirleten seçenek” olduğu kabul edilmektedir (Gevaers vd., 2011). Bu durumda son adım teslimatı konusu hem mali açıdan hem de çevresel açıdan büyük bir önem arz etmektedir.

Bu çalışmada yurtdışında faaliyet gösteren bir e-ticaret firmasının son adım teslimat problemi ele alınmıştır. Ele alınan problemde son adım teslimatta ortaya çıkan maliyetleri minimize etmek için üç farklı alternatif senaryo oluşturulup bu senaryolar üzerinden elde edilen maliyetler firmanın mevcut durumu ile karşılaştırılacaktır. Firmadaki mevcut son adım teslimatı bir lojistik firması tarafından kargo hizmet alınarak gerçekleştirilmektedir. Birinci senaryoda ise, p-medyan problemi çözümlenerek bir depo yeri belirlenmiş, tüm müşteri teslimatları bu depodan sağlanacak şekilde rotalar oluşturulup son adım teslimatı yapılmıştır (rotalama). Senaryo 1 de, mevcut durumdan farklı olarak kiralanan depo sebebiyle personel istihdamı ve araç kiralama maliyetleri de toplam maliyete eklenmiştir. İkinci senaryoda pareto analizine göre sipariş büyüklüğü en fazla olan bölgelerin verileri kullanarak yeni depo yeri belirlenmiş (p-medyan) ve bu noktalara teslimat yapılması sağlanmış (rotalama), diğer bölgelere olan teslimatlar için kargo firması aracılığıyla teslimatlar planlanmıştır. Bu senaryoda da senaryo 1'deki gibi personel istihdamı ihtiyacı hâsıl olmuş olup araç kiralama maliyetiyle birlikte toplam maliyete eklenmiştir. Üçüncü senaryoda ise pareto analizi ile sipariş yoğunluğunu oluşturduğu görülen 1. ve 2. bölgedeki müşteriler kümeleme algoritması yardımıyla gruplanmıştır. P-medyan problemi

çözülerek kümelenen 5 müşteri bölgesi için 5 ayrı müşteri teslimat noktaları belirlenmiş, teslimatların bu noktalardan yapılması durumu dikkate alınmıştır. Katımlı teslimat modeline teşvik için müşterilere bir sonraki siparişlerinde kullanılmak üzere hediye çeki tanımlanmış ve bu maliyet de senaryo maliyetine eklenmiştir.

Son adım teslimatı aşamasında ortaya çıkan araç rotalama problemini (ARP) çözmek amacıyla literatürde birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel yöntemler olarak iki ana kategoride incelenmektedir. ARP, NP-zor problem sınıfına girdiği için problemin boyutu büyüdükçe problemin kesin çözüm yöntemleri kullanılarak çözümü zorlaşmakta hatta bazen imkansız hale gelmektedir. Bu nedenle, genellikle makul çözüm süresi içerisinde optimuma yakın çözümler sağlama potansiyeline sahip olan sezgisel yöntemler geliştirilmiştir (Lenstra ve Rinnooy Kan, 1981). Üç senaryoda da rotaların elde edilmesinde sezgisel yöntemlerden Clarke ve Wright tasarruf algoritması kullanılmıştır. Clarke ve Wright tasarruf algoritmasının anlaşılmasının kolay olması ve diğer çözüm yöntemleri içerisinde uygulanabilirliği açısından esnek bir yöntem olması sayesinde geliştirildiği yıldan günümüze gerek klasik gerekse çeşitli varyasyonları ile birçok çalışmada kullanılarak geçerli sonuçlar elde ettiği literatürde görülmektedir (Cipta ve Hasibuan, 2023; Pamosoaji vd., 2019; Hariati vd., 2021).

Çalışmanın ikinci bölümünde son adım teslimat problemi ile ilgili detaylı bilgi ile probleme yönelik literatür çalışmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümünde ele alınan son adım teslimat probleminde kullanılan çözüm metodolojisi anlatılmıştır. Dördüncü bölümde uygulama kısmına yer verilmiş önerilen senaryolar ayrı ayrı analiz edilmiş ve sonuç bölümünde ise çıkarımlar yapılarak gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. Son Adım Teslimat Problemi (Last Mile Delivery Problem)

"Son adım" terimi, telekomünikasyon ağının son aşaması olarak telekomünikasyon alanında ortaya çıkmıştır (Lim vd., 2018). Tedarik zincirlerinde Lim vd. (2018) son adım teslimatını, sipariş girişi noktasından başlayarak müşterinin tercih ettiği teslimat yerine kadar uzanan, işletmeden tüketiciye (B2C) teslimat sürecinin son ayağı olarak tanımlamıştır. Teslimat yöntemleri eve teslimat, teslimat noktası ve hibrit model olmak üzere üç başlıkta incelenmektedir.

Eve teslimat yöntemi, dağıtıcının, ürünü dağıtım deposundan doğrudan müşterinin adresine teslim etmesidir. Bu teslimat yönteminde son adım teslimatı adımı dağıtım deposundan müşteri adresine olan kısımdır. E-ticaret perakendeciliğinde en çok tercih edilen bu yöntemde teslimat zamanında belirtilen adreste bulunmalı ve ürün müşteri tarafından teslim alınmalıdır (Sanders, 2020). Müşteriye konfor

sağlaması avantajının yanı sıra adreste bulunamayan müşterilerin teslimatlarının sağlanamaması durumunda tekrar edilen teslimatın getirdiği maliyet yükü de dezavantajdır. Eve teslimat yönteminde ürünler müşteri adreslerine zamanında teslim edilmelidir. Bu teslimat yönteminde araçların zaman, kapasite ve mesafe kısıtları olmakta ve bu kısıtların yönetimi için araç rotalama problemleri ortaya çıkmaktadır.

Teslimat noktaları teslim yönteminde satıcı ürünleri müşteriye önceden belirttiği adrese teslim eder, müşteri gerekli bilgileri teslimat noktasındaki kişiler ile paylaşarak ürününü teslim alır (Ratchford vd., 2023). Bu yöntemin avantajı müşteriye teslimatın kesin olarak gerçekleşmesini sağlayıp tekrarlı işlemleri ortadan kaldırarak lojistik maliyetlerinin artmasını önlemesidir. Ayrıca paketleri müşterilere teslim ederek son mil teslimatını da kısaltmaktadır. İki tür teslim alma noktası bulunmaktadır. Bunlar; katılımlı teslim alma noktaları ve otomatik paket dolapları yani genel ismiyle katılımsız teslim alma noktalarıdır (Morganti vd., 2014; Weltevreden, 2008). Katılımlı teslim alma noktaları aynı zamanda hizmet noktaları olarak da adlandırılır ve müşterinin ödeme yapmak, paketini almak veya iade etmek için gidebileceği mağazalar, benzin istasyonları veya postaneler olabilmekte ve genellikle mesai saatleri içerisinde haftanın altı günü açıktır (Weltevreden, 2008). Otomatik paket dolapları akıllı dolap bankaları veya otomatik paket istasyonları olarak adlandırılır ve müşterilerin paketlerini pin kodu veya akıllı telefon kullanarak aldıkları paket dolap istasyonlarıdır ve genellikle hafta boyunca 24 saat açıktır (Faugere ve Montreuil, 2017a; Weltevreden, 2008). UPS, DHL ve Amazon gibi şirketler Kuzey Amerika ve Avrupa'da otomatik paket dolapları kullandığından beri dünya çapında popülerlikleri artmıştır (Faugere ve Montreuil, 2017a).

Son adım teslimatı probleminin çözümü, Dantzig ve Ramser'in (1959) bir ARP olan kamyon sevkiyatı problemini ele aldığı 1959 yılına kadar uzanmaktadır. Kamyonların sevk istasyonlarına olan toplam seyahat mesafesini en aza indirmek için kamyonlara istasyon atama problemini çözmüşlerdir (Dantzig ve Ramser, 1959).

Deutsch ve Golany (2018), otomatik teslimat dolaplarının yerlerinin belirlenmesi problemini ele almıştır. Çalışmada, problemin çözümü için ise 0-1 tamsayı bir matematiksel model önerilmiştir. Geliştirdikleri modelde gelir ile maliyetler arasındaki fark yani kar maksimize edilmeye amaçlanmıştır. Maliyetler arasında teslimat dolaplarının kurulumu, operasyonel maliyetler ve otomatik dolapların kullanımından kaynaklanan potansiyel müşteri kaybı yer almaktadır.

Eş Yürek (2018) yaptığı çalışmada kamyon ve insansız hava aracının eş zamanlı dağıtım problemini çalışmıştır. İlk olarak 2-aşamalı yinelemeli bir çözüm yaklaşımı geliştirdiğini, böylece aynı süre içinde dağıtım yapılabilecek müşteri sayısının %30 artabileceğini iddia etmiştir. İkinci olarak ise, orta ve

büyük boyutlu problemlerin çözümü için melez bir genetik algoritma (MGA) geliştirmiş, bundan elde edilen sonucun önceki yöntemden daha iyi sonuç ürettiği ama çözüm zamanı açısından daha kötü olduğunu rapor etmiştir.

Charisis ve Kaiser (2019), son adım teslimatı için bir hizmet noktaları ağı tasarlayarak, çoğunlukla paket sevkiyatları olmak üzere kargo teslimatı için alternatif bir yöntem önermiştir. Ortaya çıkan kapasiteli tesis yer seçimi problemi için çok amaçlı bir matematiksel model formüle etmişlerdir. Modeldeki ilk amaç ağdaki toplam maliyetlerin en aza indirilmesidir. Toplam maliyetler; her aday tesisin kullanımına ilişkin sabit maliyetler ve kargonun seçilen tesislere taşınmasına ilişkin maliyetler olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. İkinci amaç ise seçilen tesislerden maksimum düzeyde faydalanılmasıdır. Son olarak, modelde yer alan önemli bir amaç, seçilen tesisler ile hedef düğümler arasındaki mesafelerin en aza indirilmesi, hedeflere yakın ve kolay erişilebilir konumların çıktı olarak sağlanmasıdır.

Janjevic vd. (2019) çalışmalarında toplama ve teslimat noktalarını çok kademeli dağıtım ağlarının tasarımına entegre etmek için bir yöntem önermiştir. Dağıtım ve toplama noktalarının konum kararlarını dikkate alan doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Çalışmada büyük boyutlu problemlerin çözümü için ise sezgisel bir yöntem önerilmiştir.

Karaoğlu (2019) yaptığı çalışmada ARP için yeni bir doğrusal matematiksel model geliştirdiğini, büyük boyutlu problemler için ise iki aşamadan oluşan yeni bir sezgisel algoritma geliştirdiğini, yöntemlerini örnek veri seti üzerinde sınamalar yapmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre, geliştirdiği yöntemin en yakın komşuluk yöntemine göre %9 oranda daha iyi sonuçlar elde ettiğini belirtmektedir.

Orenstein vd. (2019), otomatik teslimat dolaplarının yerlerinin belirlenmesi problemini ele almıştır. Çalışmada, araçların seyahat maliyetleri, teslim edilmeyen paketlere ilişkin cezalar ve kullanılan her araç için sabit maliyetlerin toplamı olmak üzere toplam maliyeti en aza indirecek matematiksel model geliştirilmiştir. Problemin çözümü için ise tasarruf sezgiseli, petal sezgiseli ve geniş komşuluk aramalı tabu arama yöntemine dayanan bir çözüm yöntemi önerilmiştir.

Guerrero- Lorente vd. (2020) ise dağıtım merkezlerini, ara depoları ve otomatik teslimat dolaplarını konumlandırarak çok kademeli konumlandırma problemini ele almıştır. Problemin çözümü için önerdikleri modelde kapıdan teslimatı seçen müşterilere paketleri teslim edememenin maliyetlerini dikkate alınmıştır. Buna ek olarak, paketlerini iade etmeyi seçen müşterilerden paket toplama maliyetleri de dahil edilmiştir.

Kedia vd. (2020) ise çalışmasında şehir demografisi, nüfus sayısı ve potansiyel tesis konumları arasındaki seyahat mesafelerini dikkate alarak en az

sayıda otomatik paket dolaplarının en uygun yerlere kurulması problemini ele almıştır. Christchurch şehrinde örnek bir uygulama sunmuştur.

Lin vd. (2020)'de çalışmasında Kedia vd. (2020)'nin çalışmasında olduğu gibi otomatik paket dolaplarının en uygun konumlarının belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Singapur'da örnek bir uygulama yaparak müşterilerin hizmet seviyesini en üst düzeye çıkarmayı düşünmüştür.

Nurcan (2020) çalışmasında üç farklı senaryoyu çalışmıştır. Senaryoları değerlendirirken performans kriteri olarak maliyet ve müşteri bekleme sürelerini dikkate almıştır. Yaptığı çalışmada zaman pencereli simetrik kapalı uçlu çok amaçlı ve çok seferli bir problemi tam sayılı programlama olarak modellemiş ve sonucunda maliyetlerde %32 oranda iyileşme sağlandığını iddia etmiştir.

Schwerdfeger ve Boysen (2020) çalışmalarında gün içinde yerlerini otonom olarak veya bir insan sürücü tarafından hareket ettirilerek değiştirebilen mobil otomatik teslimat dolaplarının konumlarının optimize edilmesi üzerine odaklanmıştır. Mobil teslimat dolapları gün içinde esnek bir şekilde konumlarını değiştirebilir, bu da konumları değişen müşteriler için erişilebilirliği artırır. Böylece müşteri memnuniyetini arttırmak amaçlanmaktadır.

Johnson ve Chaniotakis (2021) yaptığı çalışmada Washington D.C. kentsel ortamında son adım teslimatı kaynaklı çevresel kirliliği azaltmak amacıyla K-means yöntemi kullanarak en uygun teslimat noktası konumlarının belirlendiğini, teslimat içinde, E-kargo bisikletleri ile tamamladıklarını ifade etmişlerdir.

Liu vd. (2021)'de Guerrero-Lorente vd. (2020)'nin çalışmasında olduğu gibi çok modlu dağıtım beklentilerini karşılamak için, dağıtım merkezlerini, ara depoları ve otomatik teslimat dolaplarını konumlandırarak iki kademeli bir dağıtım sistemi üzerinde çalışmıştır. Çok modlu son adım teslimat sistemini iki aşamalı konum yönlendirme problemi olarak formüle etmiş ve çok amaçlı matematiksel model geliştirmiştir. Çalışmada, problemin çözümü için ise sezgisel bir algoritma önerilmiştir.

Tezkoşar (2022), son adım teslimatında kullanılan araçların motor düzeneklerinde kural tabanlı sistem tasarımı yerine derin öğrenme algoritmaları kullanarak kullanıcının kullanma şekline dayalı hangi çalışma şartlarında elektrikle, hibrit ya da yalnızca içten yanmalı motorun kullanılacağına karar verecek şekilde yapılabilecek olan düzenlemelerin karbon ayak izine etkisi üzerine çalışmıştır.

Bu çalışmada son adım teslimatı yöntemlerinden eve teslimat yöntemi ve teslimat noktaları yöntemleri dikkate alınarak farklı senaryolarda en doğru teslimat seçeneği belirlenmeye çalışılmıştır. Teslimat noktalarının yerleri zaman ve maliyet açısından müşteri adres noktalarına en uygun şekilde belirlenmelidir. Hem dağıtım noktaları (depo yerleri) hem de teslimat yöntemlerinin belirlenmesinde ileride detayları verilecek kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Dağıtım

noktaları da belirlendikten sonra araç rotalama planlanması yapılarak dağıtım yöntemlerine göre en kısa sürede ve en az maliyetle dağıtımın sağlanabilmesi amaçlanmıştır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada önerilen senaryoların çözümü için hiyerarşik bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Önerilen model ve senaryolarda kullanılan adımları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 1. Hiyerarşik çözüm modeli (Hierarchical solution model)

Aşamalar	Senaryolar		
	1	2	3
Aşama 1: Kümeleme analizi ➤ <i>K-means algoritması</i>			✓.
Aşama 2: P-medyan problemi	✓.	✓.	✓.
Aşama 3: Araç rotalama problemi ➤ <i>Yerel arama destekli clarke-wright tasarruf algoritması</i>	✓.	✓.	✓.

3.1. Kümeleme Analizi (Clustering analysis)

Kümeleme analizi, bir veri kümesinin farklılıklar içerip içermediğini belirlemek ve bu grupları benzerliklerine göre gruplamak için kullanılan istatistiksel bir metottur. Verilerin gruplanması ve tanımlanmasında sıkça kullanılan kümeleme analizi, homojen ya da heterojen gruplardaki verileri uygun yöntemlerle gruplamayı sağlamaya yardımcı olan bir yöntemdir (Romesburg, 2004).

Kümeleme analizinde benzerlik en önemli kavramdır. Analiz esnasında ele alınan tüm yöntemler benzerlik ölçütüne dayanır. Veriler arası benzerliklerin ölçülmesinde farklı yollar bulunmaktadır. Benzerliği ölçmenin en önemli yolları uzaklık ölçüleri ve korelasyona dayalı ölçülerdir (Karaoğlu, 2018).

Kümeleme analizi için birçok algoritma önerilmiştir; ancak, literatürde bu algoritmalar genellikle iki ana kategori altında toplanmıştır. Bunlar, hiyerarşik kümeleme teknikleri ve hiyerarşik olmayan kümeleme teknikleridir. Her iki teknik de kümeler arasındaki farklılıkları belirlemeyi ve kümeler içindeki benzerlikleri en üst düzeye çıkarmayı amaçlar. Hangi tekniğin tercih edileceği, genellikle kullanılacak küme sayısı ile ilişkilidir (Grabmeier ve Rudolph, 2002). Bu çalışmada hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemlerinden K-means algoritması kullanılmıştır.

- K-Means Algoritması

K-means, 1967'de J.B. MacQueen tarafından geliştirilmiştir (MacQueen, 1967). Bu algoritmanın atama mekanizması, her verinin sadece bir küme içinde yer almasına olanak tanıyan en yaygın kullanılan

denetimsiz öğrenme yöntemlerinden biridir. Temel fikir, bu yöntemde merkezi noktanın bir küme temsil etmesidir (Han ve Kamber, 2001). K-Means kümeleme algoritmasını değerlendirmek için en sık kullanılan kriterlerden biri Hata Kareler Toplamı (SSE) kriteridir. En düşük SSE değerine sahip kümeleme sonuçları, en iyi sonuçları sağlamaktadır. Nesnelerin küme merkezine olan uzaklıklarının karelerinin toplamı (1) nolu denklem ile hesaplanmaktadır (Tan et al., 2006).

$$SSE = \sum_{i=1}^K \sum_{x \in C_i} |x - m_i|^2 \quad (1)$$

Burada C_i i . kümedeki veri noktaları kümesini, x C_i kümesinde bulunan bir nesneyi ve m_i ise C_i kümesinin merkez noktasını temsil etmektedir.

Algoritma, hata karelerinin toplamını azaltacak k adet grubu tespit etmeye çalışır. K-Means algoritması, kullanıcı tarafından belirlenen k parametresi ile n veriden oluşan veri kümesini k adet kümeye ayırır. Küme benzerliği, kümenin ağırlık merkezi olan kümedeki nesnelerin ortalaması ile ölçülmektedir (Xu ve Wunsch, 2005). K-Means algoritmasının adımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Adım 1: Küme Sayısını (k) belirle.

Adım 2: Küme sayısı (k) kadar merkez noktası belirle.

Adım 3: Her veriyi en yakın merkez noktaya atayarak kümeye dahil et.

Adım 4: Her kümenin yeni merkez noktasını, o kümeye ait veri noktalarının ortalaması olarak hesapla.

Adım 5: Yeni merkez noktaları hesaplandıktan sonra, durdurma kriteri (örneğin, merkez noktalarının değişim miktarının belirli bir eşik değer altına düşmesi) sağlanana kadar adım 3 ve 4' ü tekrar et.

3.2. P-Medyan problemi (P-Median problem)

P-medyan problemi ilk kez 1964 yılında Hakimi tarafından yer seçim problemleri kapsamında bir optimizasyon problemi olarak literatüre kazandırılmıştır. P-medyan problemi, n talep konumundan p tesis konumunun seçilmesi ve talep noktaları ile ilgili tesisler arasındaki talep ağırlıklı ortalama mesafenin en aza indirileceği şekilde talep noktalarının bu tesis konumlarına tahsis edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Hakimi, 1964).

P-medyan probleminde, tesisler yalnızca ağdaki düğümler üzerinde konumlandırılabilirler. Bu durum, tesislerin ağın herhangi bir noktasına yerleştirilmesine izin veren sürekli bir modelden elde edilen çözümlerin daha az etkili olabileceği izlenimini uyandırabilir. Ancak, Hakimi (1965), p-medyan probleminde açılacak tesislerin ağdaki düğümlere yerleştirildiğinde en az bir optimal sonucun bulunduğunu ispatlamıştır. Bu özellikten hareketle n düğümden ve açılacak p tesisden oluşan bir problemin potansiyel çözüm sayısı aşağıdaki (2) nolu denklem ile gösterilebilir.

$$\binom{n}{p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} \quad (2)$$

P-medyan probleminin matematiksel modelinin parametreleri ve karar değişkenleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Matematiksel modelinin parametreleri ve karar değişkenleri (Parameters and decision variables of the mathematical model)

Notasyonlar	
n	Toplam talep noktası sayısı
i	Müşteriler, $i \in \{1, 2, 3 \dots n\}$
j	Aday depo (veya teslimat noktası) yerleri, $j \in \{1, 2, 3 \dots n\}$
p	Açılması düşünülen depo (veya teslimat noktası) sayısı
Parametreler	
w_i	i . müşterinin talebi
d_{ij}	i . müşterinin j . depoya (veya teslimat noktası) olan uzaklığı
Karar değişkenleri	
y_{ij}	Eğer i müşterisi j depoya (veya teslimat noktası) atanırsa 1, aksi halde 0
x_j	Eğer j . noktada depo (veya teslimat noktası) açılmışsa 1, aksi halde 0

P-medyan modelinin amaç fonksiyonu ve kısıt denklemleri şöyledir (ReVelle ve Swain, 1970):

$$\text{Enaz} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i y_{ij} d_{ij} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j = p \quad (5)$$

$$y_{ij} \leq x_j \quad \forall i, j \quad (6)$$

$$x_j = \{0, 1\} \quad \forall j \quad (7)$$

$$y_{ij} = \{0, 1\} \quad \forall i, j \quad (8)$$

(3) nolu denklem yani amaç fonksiyonu, j depo (veya teslimat noktası) ile i müşterisi arasındaki mesafelerin talep (w_i) ağırlıklı toplamını en aza indirmeyi hedeflemektedir. (4) nolu denklem her bir talep noktasının (müşterinin) yalnızca tek bir depoya (veya teslimat noktası) atanmasını sağlar. (5) nolu denklem açılacak olan deponun (veya teslimat noktası) p adet olmasını sağlamaktadır. (6) nolu denklem'de açık olan depolara (veya teslimat noktası) talep noktalarının atanmasını ifade etmektedir. (7) ve (8) nolu denklemler ise karar değişkenlerinin 0 veya 1 tam sayı değerlerini alması gerektiğini ifade etmektedir.

3.3. Araç rotalama problemi (Vehicle routing problem)

Araç Rotalama Problemi (ARP), bir işletmenin bir veya birkaç deposundan, her birinin farklı bir konumda yer aldığı belirli sayıda müşterisine hizmet verirken seyahat mesafesini veya süresini en aza indirmeyi hedeflediği bir optimizasyon problemidir (Toth ve Vigo, 2002a).

ARP, ilk kez 1959'da Dantzig ve Ramser tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışmada yazarlar, benzin istasyonlarına benzin dağıtım problemine odaklanarak çözümlü içinde matematiksel programlama modelini oluşturmuşlardır. Clarke ve Wright ise 1964'te probleme sezgisel bir çözüm yöntemi önermiş, bu çalışma sonrasında ARP'ye olan ilgi daha da artmış ve birçok optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir (Toth ve Vigo, 2002b).

En genel haliyle ARP'de, bir araç filosu için minimum maliyetli rota kümesi tasarlanır. Her rota, bir depodan başlar, bilinen müşteri kümesine hizmet ettikten sonra yine aynı depoda sona erer. Her müşteri bir araca atanmalı ve araca atanmış müşterilerin toplam talebi, o aracın kapasitesini aşmamalıdır. Araç kapasiteleri, tüm müşteri taleplerinin en büyüğünden daha büyük olduğu varsayılarak her bir araca bir veya birden fazla müşteri atanabilmektedir (Aydemir, 2006). ARP'ler sahip oldukları kısıtlara göre çeşitleri bulunmaktadır. Bunlara; kapasite kısıtlı araç rotalama problemi, zaman pencere kısıtlı araç rotalama problemi, zaman kısıtlı araç rotalama problemi ve çok depolu araç rotalama problemi örnek verilebilir.

Literatürde ARP'leri çözmek amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Kesin çözüm yöntemlerine, dal ve sınır, dal ve kesme, kesme düzlemi ve dinamik programlama örnek gösterilebilir. ARP NP-zor problem sınıfına girdiği için problemin boyutu büyüdükçe problemin kesin çözüm yöntemleri ile çözümü zorlaşmakta hatta bazen imkansız olmaktadır. Sezgisel yöntemler ise, problemlere yaklaşık çözümler bulma amacı güder ve genellikle hızlı bir çözüm elde etme avantajına sahiptir (Toth ve Vigo, 2002b). Bu çalışmada sezgisel yöntemlerden Clarke ve Wright tasarruf algoritması kullanılmıştır. Clarke ve Wright tasarruf algoritmasının elde ettiği sonuçları iyileştirmek için yerel arama yöntemleriyle desteklenmiştir.

- Clarke ve Wright tasarruf algoritması

1964 yılında, Clarke ve Wright tarafından geliştirilen Clarke ve Wright tasarruf algoritması çözüm hızı, esnekliği, çeşitli operasyonel kısıtları ele alma yeteneği ve optimuma yakın çözümler üretme yeteneği nedeniyle yaygınlaşmıştır (Ballou, 1992, Clarke ve Wright, 1964). Algoritmada amaç, tüm araçlar tarafından kat edilen toplam mesafeyi en aza indirmek ve dolaylı olarak seyahat esnasında gereken araç sayısını da en aza indirmektir.

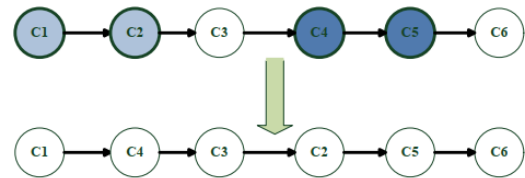
Clarke ve Wright tasarruf algoritması, depoya geri dönmek yerine aynı yol üzerinde iki durak dâhil ederek tasarrufları hesaplamaya çalışır ve her durak için tasarrufları değerlendirir (Clarke ve Wright, 1964). En büyük tasarruflar daha sonra aynı rotada birleştirilir ve bu süreç belirli kısıtlar ihlal edilene veya iyileştirici bir çözüm bulunmayana kadar devam eder (Ballou, 1992). Ballou (1992), çalışmasında kısıt sayısının az olduğu küçük boyutlu problemlerde Clarke ve Wright algoritmasının ortalama çözümlerinin optimal çözümden sadece % 2 oranında saptığını göstermiştir.

Algoritma, depo ile her bir müşteri arasında bir gidiş-geliş rotası olmak üzere n adet uygulanabilir rota ile başlar. Belirli bir iterasyonda, iki rota $(0, \dots, i, \dots, 0)$ ve $(0, \dots, j, \dots, 0)$, ortaya çıkan rota $(0, \dots, i, j, \dots, 0)$ kapasite kısıtı açısından uygunsa birleştirilebilir. Bu rotalar birleştirilirse, $s_{ij}=c_{i0}+c_{0j}-c_{ij}$ kadar bir tasarruf sağlanır.

- Yerel arama

Yerel arama, optimizasyon problemlerini deneysel başarı ile birleştiren birkaç genel yaklaşımdan biridir. Yerel aramanın arkasındaki temel fikir arama uzayında belirli bir nokta etrafında çözümler aramaktır. Aday bir çözümle başlayan ardından yinelemeli olarak bu noktadan, optimize edilmekte olan amacın iyileştirildiği bir komşu çözüme geçer. Yerel arama yöntemlerinde komşuluk yapısı çözüm hızının ve kalitesinin ana belirleyicisidir (Johnson ve ark, 1988). Komşuluk çözümleri oluşturmak için kullanılan yerel arama operatörlerine örnek olarak; ters çevirme, yer değiştirme, ekleme, 2-Opt ve 3-Opt verilebilir (Cömert, 2023). Bu çalışmada yerel arama operatörlerinden 2-Opt kullanılmıştır.

2-Opt; Croes (1958) tarafından gezgin satıcı problemini çözmek için önerilmiştir. Turdan iki yolu kaldırır ve oluşan iki yeni alt turu yeniden birleştirir. Bu bağlantı işlemi sadece yeni tur daha kısa ise tekrarlanır. Şekil 1'deki gibi [C1-C2] ve [C4-C5] müşterileri arasındaki mesafenin toplamının [C1-C4] ve [C2-C5] müşterileri arasındaki mesafenin toplamından büyük olduğunu varsayalım. C2 ve C4 müşterilerinin pozisyonlarını değiştirerek gerçekleştirilir (Cömert, 2023).



Şekil 1. 2-opt yönteminin işleyişinin gösterimi (Demonstration of 2-opt method)

4. Uygulama (Application)

Bu çalışmada yurtdışında faaliyet gösteren bir e-ticaret firmasının en uygun son adım teslimatı stratejisini belirlemek için üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryolardan elde edilen son adım teslimat maliyetlerinin firmanın mevcut durumu ile karşılaştırılması ve en uygun senaryonun seçilmesi amaçlanmaktadır.

E-ticaret firmasının faaliyet gösterdiği ülkede yerel bir lojistik firması ile depolama ve teslimat anlaşması

mevcuttur. Lojistik firması, kendi depo yerinde e-ticaret firmasının stoklarını tutmakta ve yine lojistik firmasının araçlarıyla müşterilere teslimatları sağlamaktadır. E-ticaret firması ve lojistik firması arasında hizmet sözleşmesi bulunmaktadır. Firma, depolama hizmeti için aylık 750 € hizmet bedeli ödemektedir. Lojistik firması faaliyet yürütülen ülkeyi altı ana bölgede gruplamıştır. Lojistik firması teslimat fiyatlandırması bölge ve ağırlıklara göre Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Bölge ve ağırlığa göre taşıma maliyetleri (€) (Transport costs by region and weight)

Bölgeler	0-3 kg	3-7 kg	7-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-100 kg
1	4,9	5,6	8,8	13,8	15,9	18,2
2	5,3	6,0	13,2	16,1	18,5	21,0
3	5,8	6,6	14,4	16,5	18,9	21,5
4	6,0	6,8	15,0	19,7	22,5	25,4
5	6,6	7,5	18,3	23,7	27,0	30,4
6	6,8	7,7	19,0	24,6	27,9	31,4

Mevcut durumda e-ticaret firması teslimatlarını Tablo 3'teki fiyatlara göre sağlamaktadır. Bölge 1 şehir merkezinde olup ürünün ağırlığı arttıkça taşıma maliyeti artmaktadır. Aynı zamanda şehir merkezinden uzaklaştıkça da taşıma maliyeti artmaktadır. 2019-2020-2021 yılında verilen siparişlerin müşteri adreslerine yapılan teslimatının mevcut durumdaki firmaya toplam maliyeti 23.065,605 €'dur. Firmanın mevcut durumdaki toplam maliyeti 50.065,61 € olup Tablo 4'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Tablo 4. Mevcut durumdaki maliyet kalemleri (Cost items in current situation)

Depolama Süresi (ay)	36
Depolama Bedeli (aylık)	750,00 €
Toplam Depolama Maliyeti	27.000,00 €
Son Adım Teslimatı Maliyeti	23.065,61 €
Mevcut Durumda Toplam Maliyeti	50.065,61 €

Depolama süresi veri kümesindeki siparişlerin tarih verileri baz alındığında 36 ay olarak belirlenmiştir. Lojistik firmasından aylık alınan depolama hizmeti bedeli 750,00 € üzerinden hesaplandığında veri kümesini oluşturan zaman dilimi için toplam maliyet 27.000,00 € olarak hesaplanmıştır. Depo, araç kiralama ve personel istihdam maliyetleri olmadığından toplam maliyet depolama maliyeti ve dağıtım maliyetinden oluşmaktadır.

4.1. Senaryo 1 (Scenario 1)

Firma, birinci senaryoda 2.267 adet müşteri verisini kullanarak p-medyan algoritması yardımıyla açılması planlanan depo yeri koordinatlarını X eksenini için 44.6913173483826, Y eksenini için 20.5002660375264 olarak belirlemiştir. Belirlenen koordinatlarda bulunan depo yerlerinin ortalama kirası ülkenin online emlak satış - kiralama sitesi emsal verileri referans alınarak ortalama 210 €/ay olarak belirlenmiştir. Depoda faaliyet göstermek üzere depolama ve dağıtım görevi için 1 çalışan istihdam edilmesi planlanmıştır. Asgari ücret miktarı seçilen dönemdeki üç yılın ortalaması olarak 350€ olarak alınmıştır.

Firma dağıtım işlemi için 1 adet 3500 kg taşıma kapasiteli kamyonet tipi teslimat aracı kiralamayı planlamıştır. Ülkenin online araç satış-kiralama sitesi verileri referans alınarak ortalama 150 €/ay olarak belirlenmiştir. Faaliyet gösterilen ülkeye ait yakıt ücreti GlobalPetrolPrices sitesi verileri referans alınarak ortalama 1.748 €/lt kabul edilmiştir. Araç yakıt tüketimi 100 mil için 24 lt kabul edilmiştir.

Firma, koordinatları belirtilen depo yerinden haftalık olarak rota planlamaktadır. Alınan siparişler analiz edildiğinde 150 adet rota planlaması yapılması gerekmektedir. Teslimatların haftalık yapılması planlandığı için ilk haftaya ait müşteri lokasyon verileri ve 1. haftaya ait müşteri koordinat verileri Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Senaryo 1 için birinci rotaya ait müşteri ve sipariş verileri (Customer and order data for the first route of scenario 1)

Müşteri	X	Y	Sipariş Tarihi
M1	43.34721361	20.61021912	2.01.2019
M2	44.27618337	20.74534037	3.01.2019
M3	45.92635677	20.05851377	3.01.2019
M4	44.70744124	20.47597179	5.01.2019
M5	44.73368841	20.32377310	7.01.2019
M6	44.84258357	20.38425464	8.01.2019

Birinci teslimata ait siparişlerin koordinatları belirlenen depo yerinden teslimatı için araç rotalama optimizasyonu yapılmış ve dağıtılması gereken rota Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Senaryo 1 için birinci rotaya ait veriler (Data for the first route of scenario 1)

Durak	Sipariş Sayısı	Mesafe (Mil)
1	0	0,03
5	1	0,16
7	1	1,13
4	1	1,22
6	1	1,42
2	1	0,94
3	1	0,48
Toplam	6	5,38

Tablo 5'te görülmektedir ki dağıtım deposu 1.durak olarak isimlendirilmiştir. Dağıtım deposu 1 ile

başladığı için diğer müşterilerin sırlaması da 1 er artmıştır. Dağıtım deposundan ilk dağıtımın 4. müşteriye yapılması planlanmış olup toplam mesafe 0.03 mil olarak hesaplanmıştır. Ardından yapılan teslimatların mesafeleri sırasıyla 0.16, 1.13, 1.22, 1.42, 0.94 olarak hesaplanmıştır. Son adres verisinden dağıtım deposuna dönüş adımı ise 0.48 mil olarak hesaplanmıştır. Toplam rota uzunluğu 5.38 mil olarak belirlenmiştir. Araç rotalama optimizasyonu araç kapasitesi kısıtı olarak her bir rota için en fazla 20 sipariş olarak belirlenmiştir. Her müşterinin bir adet siparişi bulunmaktadır. Dağıtım aracının bir gün içerisinde yapabileceği maksimum yol mesafesi 20 mil olarak kabul edilmiştir. Maksimum yol mesafe kısıtı olan 20 mil sebebiyle bazı rotalar bir günde tamamlanamayıp birden fazla günde tamamlanmıştır. Yapılması planlanan 150 adet teslimata ilişkin oluşturulan rotalar neticesinde senaryo 1 için rota bazında toplam gidilecek mesafe tablosu Tablo 6'da belirtilmiştir.

Tablo 6. Senaryo 1 için tüm teslimatlara ait mesafe tablosu (Distance table for all deliveries for scenerio 1)

Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)
1	5,38	31	50,25	61	16,05	91	70,35	121	37,5
2	130,5	32	58,35	62	23,7	92	141,75	122	140,25
3	9,6	33	12,9	63	55,35	93	69,15	123	83,4
4	7,2	34	100,35	64	100,95	94	144	124	17,4
5	11,7	35	105,75	65	114,75	95	129,3	125	96,15
6	52,65	36	13,5	66	115,8	96	193,2	126	54,6
7	11,1	37	69	67	115,35	97	223,2	127	54,3
8	89,25	38	54,6	68	167,25	98	177,6	128	41,4
9	47,55	39	64,05	69	161,25	99	65,55	129	10,65
10	20,4	40	18,3	70	126	100	77,85	130	40,65
11	8,55	41	42,3	71	160,95	101	143,55	131	44,25
12	54,3	42	77,7	72	134,1	102	155,25	132	73,05
13	16,35	43	13,95	73	151,35	103	82,5	133	37,35
14	10,65	44	94,5	74	17,25	104	37,5	134	24,15
15	11,4	45	81,45	75	140,1	105	117	135	83,85
16	6,45	46	75,45	76	90,45	106	37,8	136	12,75
17	40,05	47	103,05	77	147,3	107	78,6	137	87,6
18	46,95	48	125,1	78	105,45	108	7,65	138	12,3
19	28,35	49	49,5	79	155,85	109	10,5	139	11,25
20	11,85	50	105	80	109,5	110	78,75	140	16,35
21	12,45	51	6,75	81	73,8	111	19,2	141	57,9
22	74,55	52	66,15	82	66,45	112	95,4	142	85,2
23	14,7	53	44,4	83	91,95	113	13,5	143	10,95
24	73,95	54	29,1	84	99,3	114	40,65	144	70,35
25	8,55	55	115,65	85	148,5	115	40,8	145	54,45
26	69	56	93	86	58,65	116	64,95	146	53,7
27	8,25	57	49,35	87	95,85	117	54,45	147	106,95
28	121,65	58	82,8	88	33,75	118	50,7	148	35,55
29	14,4	59	100,8	89	122,25	119	104,7	149	79,65
30	47,1	60	98,1	90	55,05	120	96,9	150	105,75

Tablo 6'daki verilere göre 150 farklı rota için kat edilen toplam yol mesafesi 10.382,23 mil'dir. Birinci senaryoya ait maliyetler Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7'de yer alan maliyetleri inceleyecek olursak, veri setinin süresi olan 36 ay için belirlenen depo bölgesinde depolama maliyeti aylık 210,00 Euro

üzerinden toplam 7.560,00 Euro olarak hesaplanmıştır. Depo kiralamasıyla ortaya çıkan personel ve araç maliyeti ise dönemin güncel ücretleri üzerinden hesaplanıp sırasıyla 12.600,00 € ve 5.400,00 € olarak belirlenmiştir. Dağıtım için kat edilen toplam mesafe 10.382,23 mil olarak hesaplanmıştır. Mil başına yakıt

tüketimi 0,24 lt kabul edilip yakıt maliyeti ortalama 1,75 Euro üzerinden toplam 4.360,54 Euro olarak hesaplanmıştır. Depolama, personel, araç ve yakıt maliyetleri toplandığında senaryo 1'e ait toplam maliyet 29.920,54 Euro olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7. Senaryo 1'e ait maliyetler (Costs of Scenario 1)

Maliyet Kalemleri	Senaryo 1
Kiralama Süresi (ay)	36
Depo kiralama Bedeli (aylık)	210,00 €
Toplam Depolama Maliyeti	7.560,00 €
Çalışan Sayısı	1
Toplam Çalışan Maliyeti (aylık)	350,00 €
Toplam Çalışan Maliyeti	12.600,00 €
Aylık Araç Kirası	150,00 €
Toplam Araç Maliyeti	5.400,00 €
Kat Edilen Son Adım Mesafesi (mil)	10.382,23
Yakıt Tüketimi (lt/mil)	0,24
Ortalama Yakıt (lt)	1,75 €
Toplam Yakıt Maliyeti	4.360,54 €
Toplam Senaryo Maliyeti	29.920,54€

4.2. Senaryo 2 (Scenario 2)

Müşterilerin adresleri altı adet bölgeye ayırarak incelediğinde, siparişlerin miktarlarını Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8'de yer alan verilere göre siparişlerin % 79,6 lık kısmı Bölge 1 ve Bölge 2 den geldiği görülmektedir. Pareto (ABC) analizi yaklaşıma göre ikinci senaryoda siparişlerin % 79,6 lık kısmını oluşturan Bölge 1 ve 2 deki siparişlerin maliyet analizine odaklanmaya karar verilmiş olup bu bölgelere

Tablo 9. Senaryo 2 için birinci rotaya ait müşteri ve sipariş verileri (Customer and order data for first route of scenario 2)

Müşteri	X	Y	Sipariş Tarihi	Teslimat
M4	44.70744124	20.47597179	5.01.2019	1. Teslimat
M5	44.73368841	20.32377310	7.01.2019	1. Teslimat
M6	44.84258357	20.38425464	8.01.2019	1. Teslimat

Birinci teslimata ait siparişlerin koordinatları belirlenen depo yerinden teslimatı için araç rotalama optimizasyonu yapılmış ve dağıtılması gereken rota Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Senaryo 2 için birinci rotaya ait veriler (Data for the first route of Scenario 2)

Durak	Sipariş Sayısı	Mesafe (Mil)
1	0	1,06
2	1	2,15
3	1	1,12
4	1	3,11
Toplam	3	7,44

Araç rotalama optimizasyonu araç kapasitesi kısıtı olarak her bir rota için en fazla 20 sipariş olarak belirlenmiştir. Her müşterinin bir adet siparişi bulunmaktadır. Dağıtım aracının bir gün içerisinde yapabileceği maksimum yol mesafesi 20 mil olarak kabul edilmiştir. Yapılması planlanan 150 adet teslimata ilişkin oluşturulan rotalar neticesinde rota

ait siparişler e-ticaret firması tarafından kiralanmış depo yerinden teslim edilmesi, diğer bölgelere kargo yapılmasına karar verilmiştir. Alınan karar doğrultusunda yarı zamanlı çalışan istihdam etmek yeterli bulunmuştur.

Tablo 8. Bölgelere Göre Sipariş Miktarları (Order Quantities by Regions)

Bölgeler	Sipariş Miktarı	Sipariş Oranı (%)
1	1544	50,7
2	880	8,9
3	189	6,2
4	165	5,4
5	178	5,8
6	88	2,9

Bölge 1 ve Bölge 2 deki adres verilerini dikkate alarak P-Median algoritması ile dağıtım yapılması planlanan depo yeri koordinatları X 44.749977640368 Y 20.4403234405758 olarak belirlenmiştir. Belirlenen koordinatlarda bulunan depo yerlerinin ortalama kirası ülkenin online emlak satış - kiralama sitesi emsal verileri referans alınarak ortalama 260 €/ay olarak kabul edilmiştir. Dağıtım işlemleri için kiralanacak araç, yakıt ve çalışan parametreleri senaryo 1 ile aynıdır.

Firma, koordinatları belirtilen depo yerinden haftalık olarak rota planlamaktadır. Alınan siparişler analiz edildiğinde 150 adet rota planlaması yapılması gerekmektedir. 1. haftaya ait müşteri koordinat verileri ve sipariş tarihleri aşağıdaki Tablo 9'da gösterilmiştir.

bazında toplam gidilecek mesafe tablosu Tablo 11'de belirtilmiştir.

Tablo 11'de yer alan verilere göre kat edilen toplam yol mesafesi 2.245,65 mil'dir. İkinci senaryoya ait maliyetler Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12'deki maliyetleri inceleyecek olursak, veri setinin süresi olan 36 ay için belirlenen depo bölgesinde depolama maliyeti senaryo 1 deki depo adresinden daha merkezi olduğu için aylık 260,00 Euro üzerinden toplam 9.360,00 Euro olarak hesaplanmıştır. Depo kiralamasıyla ortaya çıkan personel ve araç maliyeti ise dönemin güncel ücretleri üzerinden hesaplanıp sırasıyla 6.300,00 € ve 5.400,00 € olarak belirlenmiştir. Dağıtım için kat edilen toplam mesafe 2.245,65 mil olarak hesaplanmıştır. Mil başına yakıt tüketimi 0,24 lt kabul edilip yakıt maliyeti ortalama 1,75 Euro üzerinden toplam 943,17 Euro olarak hesaplanmıştır. Bölge 1 ve 2 dışında kalan müşterilere ait siparişlerin kargo ile gönderilmesi maliyetleri mevcut durumdaki gibi 6009,73 Euro olarak hesaplanmıştır. Depolama, personel, araç, yakıt ve

kargo maliyetleri toplandığında 2. senaryoya ait toplam maliyet 28.012,90 Euro olarak hesaplanmıştır.

Tablo 11. Senaryo 2 için tüm teslimatlara ait mesafe tablosu (Distance table for all deliveries for scenerio 2)

Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)
1	7,44	31	10,95	61	16,2	91	19,95	121	15,9
2	18,3	32	16,65	62	9,6	92	20,55	122	15,15
3	8,1	33	12,45	63	18,75	93	18,45	123	10,65
4	7,2	34	19,65	64	16,35	94	20,7	124	16,05
5	11,7	35	12,9	65	20,25	95	20,1	125	8,55
6	7,5	36	14,1	66	22,05	96	35,25	126	4,35
7	10,2	37	20,25	67	25,05	97	37,95	127	1,5
8	15,6	38	16,35	68	24,15	98	38,85	128	13,8
9	11,55	39	14,7	69	25,5	99	21	129	8,25
10	14,55	40	17,4	70	27,15	100	24,3	130	10,35
11	6,9	41	15,75	71	25,35	101	22,5	131	15,3
12	11,25	42	12	72	22,05	102	23,85	132	10,2
13	16,35	43	7,2	73	24,15	103	14,25	133	9,45
14	10,95	44	14,4	74	17,7	104	16,2	134	8,4
15	10,8	45	15,9	75	18,75	105	18,75	135	8,85
16	6,45	46	23,1	76	20,7	106	10,05	136	12,75
17	15,3	47	14,25	77	21,75	107	18,9	137	10,5
18	15	48	15,6	78	16,35	108	7,95	138	12,15
19	15,15	49	16,2	79	19,8	109	6,3	139	8,4
20	12	50	11,55	80	15,3	110	8,7	140	15,3
21	13,35	51	6,6	81	19,05	111	13,05	141	6,75
22	10,8	52	20,1	82	13,95	112	17,25	142	14,85
23	14,7	53	16,65	83	17,85	113	13,2	143	9,3
24	8,7	54	15,45	84	16,65	114	17,7	144	17,25
25	8,7	55	9,75	85	18,75	115	8,25	145	14,85
26	9,3	56	15,3	86	14,85	116	13,8	146	7,2
27	7,5	57	15,3	87	17,4	117	18,45	147	8,85
28	13,65	58	18,15	88	15,75	118	8,25	148	16,05
29	14,25	59	19,05	89	17,85	119	13,5	149	16,8
30	10,95	60	15,15	90	15,3	120	12,15	150	13,8

Tablo 12. Senaryo 2'ye ait maliyetler (Costs of Scenario 2)

Maliyet Kalemleri	Senaryo 2
Kiralama Süresi (ay)	36
Depo kiralama Bedeli (aylık)	260,00 €
Toplam Depolama Maliyeti	9.360 €
Çalışan Sayısı	1
Toplam Çalışan Maliyeti (aylık)	175,00 €
Toplam Çalışan Maliyeti	6.300,00 €
Aylık Araç Kirası	150,00 €
Toplam Araç Maliyeti	5.400,00 €
Kat Edilen Son Adım Mesafesi (mil)	2.245,65
Yakıt Tüketimi (lt/mil)	0,24
Ortalama Yakıt (lt)	1,75 €
Toplam Yakıt Maliyeti	943,173 €
Kargo ile ürün gönderme maliyeti	6009,73 €
Toplam Senaryo Maliyeti	28.012,9 €

4.3. Senaryo 3 (Scenario 3)

Üçüncü senaryoda ise katılımlı model olan teslimat noktası modeli değerlendirilmek istenmektedir. Bu senaryoda Bölge 1 ve Bölge 2 deki adresler kümeleme algoritmasıyla aşağıdaki gibi 5 bölgeye ayrılmıştır. Belirlenen 5 bölgeye ait adresler için p-medyan yöntemiyle 5 adet teslimat noktası belirlenmiştir. Belirlenmiş teslimat noktası adreslerine teslimat yapacak depo yeri X-44.749977640368 Y-

20.4403234405758 olup birinci senaryodaki adres bilgisi ile aynıdır.

Müşterilerin teslimat noktalarından siparişlerini teslim almaları senaryosunda her bir müşteri için sonraki siparişinde kullanmak üzere 5€ değerinde hediye kuponu tanımlanmaktadır. Toplam sipariş sayısı 2267'dir. 1.rotaya ait rota sıralaması ve mesafeleri Tablo 13'te gösterilmiştir.

Tablo 13. Senaryo 3 için birinci rotaya ait veriler (Data for the first route of Scenario 3)

Durak	Sipariş Sayısı	Mesafe (Mil)
1	0	1,12
2	1	2,26
3	1	1,19
4	1	0,38
5	1	1,17
6	1	2,43
Toplam	3	7,55

Teslimat noktalarına haftalık yapılacak olan sevkiyatın toplam mesafesi 7,55 mil'dir. 150 haftalık teslimat için bu mesafe 1132,5 mil'dir. Üçüncü senaryoya ait maliyetler Tablo 14'te gösterilmiştir.

Tablo 14. Senaryo 3'e ait maliyetler (Costs of Scenario 3)

Maliyet Kalemleri	Senaryo 3
Kiralama Süresi (ay)	36
Depo kiralama Bedeli (aylık)	260,00 €
Toplam Depolama Maliyeti	9.360 €
Çalışan Sayısı	1
Toplam Çalışan Maliyeti (aylık)	175,00 €
Toplam Çalışan Maliyeti	6.300,00 €
Aylık Araç Kirası	150,00 €
Toplam Araç Maliyeti	5.400,00 €
Kat Edilen Son Adım Mesafesi (mil)	1132,5
Yakıt Tüketimi (lt/mil)	0,24
Ortalama Yakıt (lt)	1,75 €
Toplam Yakıt Maliyeti	475,65 €
Hediye çeki maliyeti	11.335 €
Kargo ile ürün gönderme maliyeti	6009,73 €
Toplam Senaryo Maliyeti	38.880,38 €

Tablo 14'te yer alan maliyetleri inceleyecek olursak, veri setinin süresi olan 36 ay için belirlenen depo bölgesinde depolama maliyeti aylık 260,00 Euro üzerinden toplam 9.360,00 Euro olarak hesaplanmıştır. Depo kiralamasıyla ortaya çıkan personel ve araç maliyeti ise dönemin güncel ücretleri üzerinden hesaplanıp sırasıyla 6.300,00 € ve 5.400,00 € olarak belirlenmiştir. Dağıtım için kat edilen toplam mesafe 1.132,5 mil olarak hesaplanmıştır. Mil başına yakıt tüketimi 0,24 lt kabul edilip yakıt maliyeti ortalama 1,75 Euro üzerinden toplam 475,65 Euro olarak hesaplanmıştır. Bu maliyetlere ek olarak katılımlı teslimat modeline teşvik için müşterilere bir sonraki alışverişlerinde kullanmak üzere verilen 5 Euro bedelindeki hediye çeki maliyeti 11.335 Euro olarak hesaplanmıştır. 1. ve 2. bölge dışındaki müşterilere yapılacak kargolama maliyeti ise mevcut durumdaki dağıtım maliyetleri göz önüne alınarak 6009,73 Euro olarak hesaplanmıştır. Depolama, personel, araç, yakıt, hediye ve kargolama maliyetleri toplandığında senaryo 3 ait toplam maliyet 38.880,38 Euro olarak hesaplanmıştır.

Tablo 15. Senaryolara ait maliyetler (Costs of scenarios)

Maliyet kalemleri/Senaryolar	Mevcut durum	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Kargo Maliyeti (€)	23.065,61	-	6.009,73	6.009,73
Depolama Maliyeti (€)	27.000,00	7.560,00	9.360,00	9.360,00
Çalışan Maliyeti (€)	-	12.600,00	6.300,00	6.300,00
Araç Kiralama Maliyeti (€)	-	5.400,00	5.400,00	5.400,00
Yakıt Maliyeti (€)	-	4.360,54	943,173	475,65
Hediye Çeki Maliyeti (€)	-	-	-	11.335,00
Toplam Maliyet (€)	50.065,61	29.920,54	28.012,90	38.880,38

Tablo 15'te senaryo maliyetleri gösterilmiştir. Kargo maliyeti açısından değerlendirdiğimizde mevcut durumdaki tüm teslimatlar lojistik firması tarafından sağlandığı için en yüksek kargo maliyeti bu senaryoya aittir. Senaryo 1'de dağıtım hizmeti alınmamakta olup senaryo 2 ve 3 te ise pareto analiziyle daha az sipariş alınan bölgeler tespit edilmiş olup bu bölgelere kargo hizmeti alınmaktadır. Depolama maliyeti açısından değerlendirdiğimizde mevcut durumda depolama hizmeti lojistik firmasından sağlanmakta fakat bununla birlikte araç, çalışan ve yakıt maliyetleri sıfır olmaktadır. Önerilen üç senaryoda ise e-ticaret firmasının depo kiralaması planlanıp depolama maliyeti ucuz indirilmiştir. Ancak depo kiralaması maliyetiyle birlikte personel, araç ve yakıt masrafları oluşmuş ve bu senaryolarda maliyet hesaplarına katılmıştır. Diğer senaryolardan farklı olarak 3. senaryoda ise en az son adım teslimat masrafı olmasına rağmen katılımlı teslimat modeline teşvik için verilen hediye çeki maliyeti senaryo 3'ün maliyetinin artmasına ve senaryo 3'ün tercih edilebilir olmamasına sebep olmuştur.

5. Sonuç ve Öneriler (Conclusion and Recommendations)

Bu çalışmada, mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir e-ticaret firmasının son adım teslimat problemi ele

alınmıştır. Firma için en uygun son adım teslimatı stratejisini belirleyebilmek için çeşitli lojistik modelleri üç farklı senaryo altında incelenmiştir.

Çalışılan üç farklı senaryo maliyetleri firmanın mevcut durum maliyeti ile karşılaştırılmış ve senaryo 2'ye ait maliyetin en düşük maliyet olduğu görülmüştür. Senaryo 2'yi diğer senaryolardan avantajlı kılan durum NP-Zor olarak sınıflandırılan bu problemin çözümünde birden fazla modelin çözümde birlikte kullanılması olmuştur. Bu senaryoda kullanılan Pareto analizi yardımıyla maliyetin büyük kısmını oluşturan siparişlerin merkeze yakın olan bölgelerden geldiği görülmüş, taşıma mesafesinin kısaltılması için dağıtım deposu bu bölge özelindeki adreslerin verilerini kullanarak bulunmuştur. Böylece taşıma mesafesi ve buna bağlı olarak taşıma maliyeti senaryo 3'ten az olmasına rağmen toplam maliyet tablosuna bakıldığında senaryo 2 tercih edilebilir olmuştur. Senaryo 3'ün toplam maliyetini yükselten nokta ise katılımlı teslimat modeliyle gelen müşteriyi katılıma ikna etme maliyetidir. Katılımlı modellerin teslimatında müşteri için tercih edilebilir olmasını sağlayan hediye çeki ödülü senaryo 3'ün maliyetlerinin düşmesine engel olmuştur. Son adım teslimatı maliyeti daha düşük olmasına rağmen katılımlı modelin getirdiği fazladan maliyet kalemi bu senaryonun tercih edilmesini önlemiştir.

Bu çalışma göstermektedir ki farklı metotların birlikte kullanımıyla oluşan hibrit model tercih

edildiğinde maliyetleri mevcut duruma göre yaklaşık %44 daha azdır. Senaryo 2'deki modelin uygulamaya geçilmesi ile birlikte personel istihdamı araç ve depo kiralama gibi fazladan maliyetler oluşmasının yanında bu işlemlerin getirebileceği ekstra sorunlar da ortaya çıkması mümkündür. Çalışmada bu yeni eklenebilecek durumların getirebileceği problemler kapsam dışı bırakılmıştır. Bu noktada karar e-ticaret firmasının yönetimine bırakılmıştır.

Kaynaklar (References)

- Aydemir, E., 2006. Esnek Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Ballou, R. H., 1992. Business Logistics Management: Instructor's Manual with Software, Prentice Hall.
- Charisis, A., Kaisar, E., 2019. Multiobjective Capacitated Location-Allocation Model for Urban Logistics Delivery Facilities (No. 19-00706).
- Cipta, H., Hasibuan, M. F., 2023. Optimal Vehicle Routing Problem (VRP) For the distribution of medical devices by applying the clarke-wright algorithm. International Journal of Science and Environment (IJSE), 3(1), 7-12.
- Clarke, G., Wright, J. W., 1964. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. Operations research, 12(4), 568-581.
- Croes, G. A., 1958. A method for solving traveling-salesman problems. Operations Research, 6(6), 791-812.
- Dantzig, G. B., Ramser, J. H., 1959. The truck dispatching problem. Management science, 6(1), 80-91.
- 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.
- Ercan Cömert, S., 2023. Çok amaçlı elektrikli araç rotalama probleminin hiyerarşik bir metasezgisel algoritma ile çözümü. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Eş Yürek, E., 2018. İnsansız hava aracı destekli araç rotalama problemi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi.
- Faugere, L., Montreuil, B., 2017. Smart locker bank design: A scenario based optimization approach. In Actes du Congrès International de Génie Industriel (Proceedings of Industrial Engineering Congress).
- Gevaers, R., Van de Voorde, E., Vanelslender, T., 2011. Characteristics and typology of last-mile logistics from an innovation perspective in an urban context, City distribution and urban freight transport: Multiple perspectives, pp. 56-71.
- Grabmeier, J., Rudolph, A., 2002. Techniques of cluster algorithms in data mining. Data Mining and knowledge discovery, 6, 303-360.
- Guerrero-Lorente, J., Gabor, A. F., Ponce-Cueto, E., 2020. Omnichannel logistics network design with integrated customer preference for deliveries and returns. Computers & Industrial Engineering, 144, 106433.
- Hakimi, S.L., 1964. Optimum Location of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph. Operations Research, 12(3), 450-459.
- Hakimi, S.L., 1965. Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems. Operations Research, 13(3), 462-475.
- Han, J., Kamber, M., 2001. Data Mining and Concepts Techniques, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Hariati, A., Prasetya, N. H., Cipta, H., 2021. The effectiveness of clarke wright and sequential insertion algorithm in distribution routing aqua. Quadratic: Journal of Innovation and Technology in Mathematics and Mathematics Education, 1(1), 15-22.
- Janjevic, M., Winkenbach, M., Merchán, D., 2019. Integrating collection-and-delivery points in the strategic design of urban last-mile e-commerce distribution networks. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 131, 37-67.
- Johnson, D., Chaniotakis, E., 2021. Innovative last mile delivery concepts: Evaluating last mile delivery using a traffic simulator. 7th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), pp. 1-6.
- Karaođlan, Y., 2018. Farklı kümeleme analizi yöntemleri ile Türkiye'deki illerin sosyo-ekonomik özelliklerine göre sınıflandırılması ve karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi.
- Karaoğlu, G., 2019. E-ticaret lojistiğinde fiziksel dağıtım uygulamaları; talep üzerine dağıtım hizmetleri için model oluşturulması ve bir uygulama. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Kedia, A., Kusumastuti, D., Nicholson, A., 2020. Locating collection and delivery points for goods' last-mile travel: A case study in New Zealand. Transportation Research Procedia, 46, 85-92.
- Lenstra, J.K., Rinnooy Kan, A.H.G., 1981. Complexity of vehicle routing and scheduling problems. Networks, 11(2), 221-227.
- Lim, S. F. W., Jin, X., Srai, J. S., 2018. Consumer-driven e-commerce: A literature review, design framework, and research agenda on last-mile logistics models. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 48(3), 308-332.
- 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.
- Liu, D., Deng, Z., Zhang, W., Wang, Y., Kaisar, E. I., 2021. Design of sustainable urban electronic grocery distribution network. Alexandria Engineering Journal, 60(1), 145-157.
- MacQueen, J., 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Proceedings of the 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, 1(14), 281-297.
- Morganti, E., Dablanc, L., Fortin, F., 2014. Final deliveries for online shopping: The deployment of pickup point networks in urban and suburban areas. Research in Transportation Business & Management, 11, 23-31.
- Nurcan, D., 2020. E-ticaret lojistiğinde son adım dağıtım hizmetlerine yönelik çok seferli ve zaman pencereli sayısal bir yaklaşım. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- 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.
- Pamosoaji, A. K., Dewa, P. K., Krisnanta, J. V., 2019. Proposed modified Clarke-Wright saving algorithm for capacitated vehicle routing problem. International Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 1(1), 9-16.

- Ratchford, B., Gauri, D. K., Jindal, R. P., Namin, A., 2023. Innovations in retail delivery: Current trends and future directions. *Journal of Retailing*, 99(4), 547-562.
- ReVelle, C., Swain, R., 1970. Central Facilities Location. *Geographical Analysis*, 2(1), 30-42.
- Romesburg, H. C., 2004. *Cluster Analysis for Researchers*, Lulu Press, North Carolina.
- Sanders, N. R., 2020. *Supply chain management: A global perspective*, John Wiley & Sons.
- 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.
- Tan, P. N., Steinbach, M., Kumar, V., 2006. *Introduction to Data Mining*, Addison Wesley.
- Tezkoşar, B., 2022. Hibrit scooter kullanarak şehir içi teslimatta karbon ayak izi azaltılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Toth, P., Vigo, D., 2002a, An overview of vehicle routing problems-chapter 1, *The vehicle routing problem*, SIAM, Philadelphia, pp. 1-26.
- Toth, P., Vigo, D., 2002b. *The vehicle routing problem*, Philadelphia: SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications.
- Weltevreden, J. W., 2008. B2c e-commerce logistics: the rise of collection-and-delivery points in The Netherlands. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 36(8), 638-660.
- Xu, R., Wunsch, D., 2005. Survey of Clustering Algorithms. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 16(3), 645-678.