

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SON ADIM TESLİMAT PROBLEMİ:
BİR E-TİCARET FİRMASINDA UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma Duygu YILMAZER

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞUBAT 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SON ADIM TESLİMAT PROBLEMİ:
BİR E-TİCARET FİRMASINDA UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma Duygu YILMAZER

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Harun Reşit YAZGAN

ŞUBAT 2024

Fatma Duygu Yılmaz tarafından hazırlanan “Son Adım Teslimatı Problemi : Bir e-Ticaret Firmasında Uygulama” adlı tez çalışması 14.02.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Doç. Dr. Berrin DENİZHAN Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Prof. Dr. Harun Reşit YAZGAN Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Fulya ZARALI Kayseri Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “SON ADIM TESLİMAT PROBLEMİ:BİR E-TİCARET FİRMASINDA UYGULAMA” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(14/02/2024)

Fatma Duygu YILMAZER



TEŞEKKÜR

Lisans mezuniyetimden 10 yıl sonra akademik eğitimime devam etmeye karar verdiğimde beni cesaretlendirip, yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimleri konusunda desteğini esirgemeyen, her karşılaştığım zorlukta yanımda olan, tüm yaşadığım aksaklıkları sabırla ve anlayışla karşılayıp konudan uzaklaşmama izin vermeyen çok değerli hocam Prof. Dr. Harun Reşit YAZGAN' a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmama verdiği destekten dolayı tanıştığımı çok memnun olduğum Dr. Öğr. Üyesi Serap ERCAN CÖMERT hocama çok teşekkür ederim.

Lojistik üzerine yaptığı çalışmalarla tez konum üzerine faydalı fikir alışverişleri yaptığım çok sevgili dostum Dr. Öğr. Üyesi Güliz UĞUR'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam esnasında verdiği motivasyon desteğiyle bana çok yardımcı olan çok sevgili Dr. Öğr. Üyesi Semra YILMAZER KESKİN'e, tez yazım sürecimde çalışma konforumu sağlayan Serpil DEMİREL ve Adıbahçe ailesine çok teşekkür ederim.

Aldığım her kararda yanımda olan biricik annem, babam, kardeşim ve eşime çok teşekkür ederim.

Fatma Duygu YILMAZER



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
TABLO LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Son Adım Teslimat Problemi	3
2.2. Son Adım Teslimatı Problemi Çözümüne İlişkin Araştırmalar	4
3. TESLİMAT YÖNTEMLERİ	13
3.1. Eve Teslimat	13
3.2. Teslimat Noktasından Teslim	13
4. METODLAR	17
4.1. Konum Belirleme Metodları	17
4.1.1. Kapsama dayalı optimizasyon	18
4.1.2. Mesafe tabanlı optimizasyon	20
4.1.2.1. P-medyan metodu	23
4.1.2.2. Literatürde tesis yeri problemi ve yer tahsisi problemi	32
4.2. Kümeleme Metodu	34
4.3. Araç Rotalama Problemi	35
4.3.1. Yerel arama destekli Clarke ve Wright tasarruf algoritması	36
5. SON ADIM TESLİMATI PROBLEMİ	39
5.1. Senaryo 1	39
5.2. Senaryo 2	40
5.3. Senaryo 3	40
5.4. Senaryo 4	40
6. SON ADIM TESLİMATI PROBLEMİNDE EN UYGUN STRATEJİNİN BELİRLENMESİ	43
6.1. Birinci Senaryo Analizi	43
6.2. İkinci Senaryo Analizi	44
6.3. Üçüncü Senaryo Analizi	47
6.4. Dördüncü Senaryo Analizi	50
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	65



KISALTMALAR

AD	: Ara Depolama
ARP	: Araç Rotalama Problemi
DM	: Dağıtım Merkezi
KBDA	: Küresel/Bölgesel Değişim Algoritması
KG	: Kilogram
KKM	: Kentsel Konsolidasyon Merkezi
KRP	: Konum Rotalama Problemi
KTAN	: Katılımlı Teslim Alma Noktaları
LT	: Litre
MGA	: Melez genetik algoritma
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
OPD	: Otomatik Paket Dolapları
TAN	: Teslim Alma Noktaları
TTN	: Toplama ve Teslimat Noktaları
TYP	: Tesis Yeri Problemi
YAN	: Yerel Aktarma Noktası
ZPARP	: Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Kentsel alanlarda yapılan son adım teslimatı çalışmalar özeti.....	5
Tablo 2.2. Tesislerin konumunun optimize edilmesinde dikkate alınan ölçütler.....	6
Tablo 2.3. TYP'nin son adım teslimatı çözümünde kullanılan çözüm yöntemleri, problem boyutu ve veri kaynakları.	9
Tablo 4.1. Literatürde mevcut sezgisel veya meta sezgisel çözümler kullanılarak çözülmüş p-medyan problemleri.....	31
Tablo 5.1. Bölge ve ağırlığa göre taşıma maliyetleri (€).....	39
Tablo 5.2. Senaryolara göre belirlenmiş hizmetler.	41
Tablo 6.1. Birinci senaryoya ait maliyet kalemleri.	43
Tablo 6.2. Birinci rotaya ait müşteri ve sipariş verileri.	44
Tablo 6.3. Birinci rotaya ait veriler.	45
Tablo 6.4. Tüm teslimatlara ait mesafe tablosu.	45
Tablo 6.5. Senaryo 2'ye ait maliyetler.	46
Tablo 6.6. Bölgelere Göre Sipariş Miktarları.....	47
Tablo 6.7. Senaryo 3 1. rotaya ait müşteri ve sipariş verileri.	48
Tablo 6.8. Senaryo 3 1. rotaya ait veriler.	48
Tablo 6.9. Senaryo 3 tüm teslimatlara ait mesafe tablosu.	48
Tablo 6.10. Üçüncü senaryoya ait maliyetler.	49
Tablo 6.11. Senaryo 4 1. rotaya ait veriler.	50
Tablo 6.12. 4.Senaryoya ait maliyetler.....	50
Tablo 6.13. Senaryolara ait maliyetler.	51



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Lim ve diğerlerinin (2018) çalışmasına dayanan son adım teslimatı taksonomisi	4
Şekil 4.1. Kümelenmiş verilerin gösterimi	35
Şekil 4.2. 2-opt algoritmasının işleyişinin gösterimi (Ercan Cömert, 2023).	38





SON ADIM TESLİMAT PROBLEMİ: BİR E-TİCARET FİRMASINDA UYGULAMA

ÖZET

2019 yılı son çeyreğinde ilk olarak Çin in Wuhan kentinde görülmeye başlanıp Covit-19 olarak adlandırılan koronavirüs, salgının getirdiği yaşam koşulları ile birlikte dünya ticaretine birçok olumsuz etkisine rağmen e-ticarette hızlı bir gelişmeye yol açmıştır. Salgının bize getirdiği yeni alışkanlıklar ile birlikte tüm dünyada insanlar, ihtiyaçlarının büyük bir kısmını internet üzerinden karşılamaya başlamıştır. 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 verileri kullanılarak son adım teslimatı maliyetini minimize edebilmek için dört farklı senaryoda lojistik modelleri oluşturulmuştur. Senaryoları çözümlerken p-medyan, kümeleme ve rotalama yapılmıştır. Sonrasında ise, senaryoların maliyetleri birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Birinci senaryoda son adım teslimatının bir lojistik firması tarafından kargo hizmet alınarak gerçekleşmesine dayanmaktadır.

İkinci senaryoda ise, p-medyan algoritması kullanarak bir depo yeri belirlenmiş, tüm müşteri teslimatları bu depodan sağlanacak şekilde rotalar oluşturulup son adım teslimatı yapılmıştır (rotalama). Senaryo 2 de, 1.senaryodan farklı olarak kiralanan depo sebebiyle personel istihdamı ve araç kiralama maliyetleri de toplam maliyete eklenmiştir.

Üçüncü 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 2 deki gibi personel istihdamı ihtiyacı hasıl olmuş olup araç kiralama maliyetiyle birlikte toplam maliyete eklenmiştir.

Dördüncü senaryoda ise pareto analizi ile sipariş yoğunluğunu oluşturduğu görülen 1. ve 2. bölgedeki müşteriler kümeleme algoritması yardımıyla gruplanmıştır. p-medyan algoritması yardımıyla kümelenen 5 müşteri bölgesi için 5 ayrı müşteri teslimat noktaları belirlenmiş, teslimatların bu noktalardan yapılması durumu dikkate alınmıştır. Katılımlı teslimat modeline teşvik için müşterilere bir sonraki siparişlerinde kullanılmak üzere hediye çeki tanımlanmış ve bu maliyet de senaryo maliyetine eklenmiştir.

Belirlenmiş 4 senaryo üzerinden maliyet hesaplamaları karşılaştırılıp maliyet açısından en uygun seçenek yönetime sunulmuştur. Yeni senaryolarla gelen personel istihdamı, araç kiralama ve depo kiralama seçenekleri yeni problemlere yol açabilir.

Firma yeni eklentilerle birlikte istihdam koşullarını sağlamak için bazı yasal sorumluluklara mecbur kalabilir. Kiraladığı deponun ve aracın kullanım süreçlerinde başka sorunlarla karşılaşabilir. Bu durumlar senaryoların dışında tutulmuş olup firma yönetimine görüş olarak ayrıca bildirilmiştir.



LAST MILE DELIVERY PROBLEM: APPLICATION IN AN E-COMMERCE COMPANY

SUMMARY

The coronavirus, COVID-19, which first started to be seen in Wuhan, China, in the last quarter of 2019, has led to a rapid development in e-commerce despite its many negative effects on world trade and the living conditions of the epidemic. With the new habits brought to us by the epidemic, people worldwide have started to meet most of their needs online. Based on demand, more studies and investments have begun in logistics, an indispensable element of the increasing e-commerce volume. With the studies on last-mile delivery, which constitutes the largest part of logistics costs, various logistics models have emerged to keep costs under control while responding to high demand with limited resources.

This study was prepared upon the request of a company operating e-commerce in the furniture industry abroad. The company operates through its own internet sales site. When he examined the costs with the increasing order density recently, he found that most of them came from storage and logistics steps. The company carries out its activities through a local logistics company that provides storage and distribution services. The company requested to develop a storage and distribution model that could reduce its costs as an alternative to its current operation. Based on this request, four different scenarios were developed and a delivery strategy that minimized costs was determined.

In Scenario 1, the current situation is analyzed and the e-commerce company works with a local logistics company and receives storage and distribution services from this company. In this scenario, there are no other costs such as employee costs or vehicle costs. Storage and distribution service pricing did not vary between the years forming the data. The storage price is a fixed amount per month. Distribution pricing varies depending on the weight of the product and delivery address. The company whose data is analyzed manages the last step delivery by receiving storage and distribution services from the logistics company, as in this scenario.

In Scenario 2, it is planned that the company will manage the last step delivery process under its own operation. In order to manage this process, it must first determine a warehouse location. Using the address data from the past orders in the data set, the p-median algorithm was developed and the warehouse location was positioned by taking into account the results obtained from the algorithm. Based on current comparable rental fees, cost calculations were made considering that warehouse space would be rented from the area above the address found with p-median. In order to provide distribution service as well as storage service, the need to rent vehicles and employ personnel to make shipments from the warehouse location determined by p-median has emerged. To meet this need, vehicle rental costs and personnel employment costs were added to the total scenario cost. A routing study was carried out to the addresses in the data set using the local search-supported Clarke and Wright algorithm, taking into account vehicle and time capacity limits, so that weekly deliveries would be made

to the customers through the designated warehouse. The total routing cost was reached by taking into account the oil prices of the period in the route length data set. The total cost of the scenario was reached by adding up the warehouse cost, vehicle rental cost, personnel cost and routing cost.

In scenario 3, unlike scenario 2, the relationship between regions and order densities was examined. In the examination, it was seen that Pareto analysis was applicable with the data set. Pareto analysis was applied and as a result, it was seen that 79.6% of the order density came from the 1st and 2nd regions. Thereupon, the new warehouse location was determined with the help of the p-median algorithm, using the address data in the two regions that constitute the order density. Equivalent fee values were found for the specified warehouse location and added to the storage costs. Personnel and vehicle costs that come with carrying out warehouse activities are also added to the scenario cost. Routes were created using the local search-supported Clarke and Wright algorithm to deliver the deliveries from the new warehouse location to the addresses in the two determined regions, and the cost of the total distance was combined with oil prices and added to the scenario cost. It was planned to receive cargo service for deliveries to regions other than the two densely populated regions, and the cargo cost for these regions was added to the total cost of the scenario.

In Scenario 4, unlike the other scenarios, a participatory delivery model was studied. For this model, unlike Scenario 3, the deliveries of the two regions that constitute the order density are planned to be made through the most appropriate delivery points to be determined. In addition to the warehouse data and costs in scenario 3, customer address data for scenario 4 was clustered and delivery was planned from 5 delivery points. Routing was carried out from the distribution warehouse address determined with P-median in Scenario 3 to the 5 delivery points determined in Scenario 4 using the local search supported Clarke and Wright algorithm. Distribution costs were calculated by taking into account the calculated route length and the oil prices of the data set period. In order to encourage the participatory delivery method in Scenario 4, gift vouchers were defined for customers and the costs of the defined gifts were added to the total scenario costs.

When the costs of the four different scenarios studied were examined, it was seen that the cost of scenario 3 was lower than the other scenarios. What makes Scenario 3 advantageous over other scenarios is the use of more than one model in solving this problem, which is classified as NP-Hard. With the help of Pareto analysis used in this solution, it was seen that the orders that constitute the majority of the cost came from regions close to the center, and the distribution warehouse was found using the data of the addresses specific to this region in order to shorten the transportation distance. Thus, although the transportation distance and therefore the transportation cost were less than scenario 4, scenario 3 was preferable when looking at the total cost table. The point that increases the total cost of Scenario 4 is the cost of convincing the customer who comes with the participatory delivery model to participate. The gift voucher reward, which makes the delivery of participatory models preferable for the customer, prevented the costs of scenario 4 from decreasing. Although the last step delivery cost was lower, the extra cost item brought by the participatory model prevented this scenario from being preferred.

This study shows that when the hybrid model, which is created by using different methods together, is preferred, the costs are approximately 44% lower than the current situation, scenario 1. With the implementation of the model in Scenario 3, extra costs

such as personnel employment, vehicle and warehouse rental may occur, as well as additional problems that these transactions may bring. In the study, the problems and solution costs that these new additions will bring are excluded from the scope. The scenarios that emerged as a result of the study, detailed reviews of all scenarios and cost analyzes were shared with the e-commerce company and its officials, and the decision was left to the managers of the e-commerce company.





1. GİRİŞ

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 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 gelmesidir. Müşterinin ürüne gittiği bir alışveriş modelinden ürünün müşteriye geldiği bir alışveriş modeline olan değişim pandeminin de etkisiyle hızlanmıştır. Ürünün müşteriye gitmesi hali hazırdaki lojistik süreçlerini daha da yoğun ve karmaşık hale getirmiştir.

Lojistik süreçlerinde ürünler bir çok lojistik aracı üzerinden ve bir çok dağıtım noktasından geçebilir ve bir çok transfer noktasında kalabilir. Lojistik süreçlerinde çeşitli taşımacılık yöntemleri ve araçları kullanılabilir. Her ne yöntem kullanılsa da lojistik sürecinin en son adımı son adım teslimatı olarak geçer. 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 olabilir.

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 tez çalışmasında yurtdışında faaliyet gösteren bir e-ticaret firmasının son adım teslimatı problemi üzerine çalışılmıştır. Son adım teslimatında ortaya çıkan maliyetleri minimize etmek için alternatif senaryolar oluşturulup bu senaryolar üzerinden

maliyetler karşılaştırılacaktır. Ele alınacak olan problem alternatif senaryolar yardımıyla hiyerarşik olarak incelenecektir. Alternatif senaryolar oluşturulurken farklı son adım teslimatı adımları değerlendirmeye alınacaktır. Senaryo 1 de mevcut durum ortaya konulacak ve mevcut duruma istinaden 3 farklı alternatif senaryo üzerinde çalışılacaktır. Alternatif senaryoların çözümünde p-medyan algoritması, kümeleme ve araç rotalama yöntemleri kullanılacaktır.

Tez çalışmasında örnek alınan e-ticaret firmasının faaliyet yürüttüğü ülkede online alışveriş Türkiye'ye kıyasla daha az tercih edilmektedir. Bu duruma sebep olarak faaliyet gösterilen ülkenin bankacılık sistemlerinin Türkiye'ye kıyasla işlem yapmasının daha zor olması gösterilebilir. Faaliyetin yürütüldüğü ülkede mobilya sektöründeki kişi başı tüketim Türkiye'ye kıyasla daha azdır. Online alışveriş talebinin az olması sebebiyle faaliyet gösterilen ülkede lojistik hizmeti arzının az olduğu görülmüştür. Hizmet veren firma sayısındaki arz azlığı fiyatlardaki rekabet avantajını yok etmekte ve birkaç firma ile çalışma yürütmeye mecbur kılmaktadır.

Çalışmanın 1.bölümünde konuya giriş yapılmıştır. 2. Bölümde son adım teslimatına yönelik literatür çalışması bulunmaktadır. 3. Bölümde problemin çözümünde kullanılan çözüm metodları anlatılmıştır. 4. Bölümde problem ortaya konmuş olup detaylandırılmıştır. 5.Bölümde problemin çözümü için oluşturulmuş senaryolardan bahsedilmiş ve bu senaryolara ait maliyetler hesaplanmıştır. 6. Bölümde çalışmanın sonucu ortaya konmuş ve öneriler paylaşılmıştır.

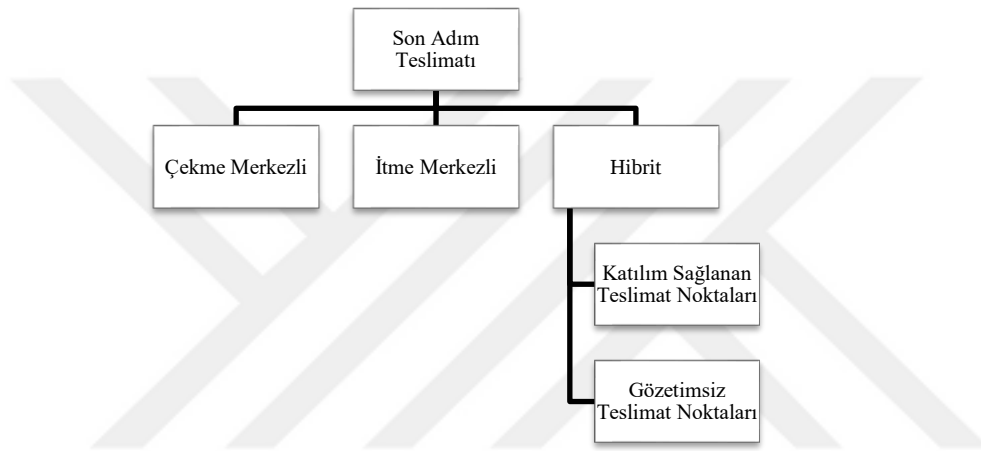
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Son Adım Teslimat Problemi

"Son adım" terimi, telekomünikasyon ağının son aşaması olarak telekomünikasyon alanında ortaya çıkmıştır (Lim vd., 2018). Tedarik zincirlerinde Goodman (2005), Kull ve diğerleri (2007) ve Punakivi ve diğerleri (2001) son adım teslimatını tedarik zincirinin müşteri adresine kadar teslimatın gerçekleştiği kısmı veya müşteriyle doğrudan ilgilenmeyi içeren kısmı olarak tanımlamıştır. Lim ve diğerleri (2018) bu tanımın toplama ve teslimat noktaları (TTN) gibi teslimat yöntemlerini kapsamadığını savunmuştur. TTN'ler, kargo şirketinin müşterinin paketini bırakabileceği ve müşterinin paketi istediği zaman alabileceği süpermarketler, benzin istasyonları ve marketler gibi yerlerdir (Moroz ve Polkowski, 2016). Tren istasyonları gibi çok ziyaret edilen yerlere kurulan otomatik paket dolapları (OPD) da diğer TTN biçimleri arasındadır. Lim ve diğerleri (2018) son adım teslimatını, sipariş giriş noktasından başlayarak müşterinin tercih ettiği teslimat yerine kadar uzanan, işletmeden tüketiciye (B2C) teslimat sürecinin son ayağı olarak tanımlamıştır. Sipariş penetrasyon noktası, Fernie ve Sparks tarafından 2019 yılında tanımlandığı şekliyle son adım teslimatı sürecinin başlangıç noktasıdır (Lim vd., 2018). Son adım teslimatı, literatürde kentsel lojistik (Zenezini vd., 2018), işletmeden tüketiciye koli teslimatı (Lim vd., 2018), şehir lojistiği ve kentsel yük dağıtımı (Oliveira vd., 2017) gibi farklı terimlerle de nitelenmektedir.

Son adım teslimatı toplama, paketlenme ve teslimat süreçlerini içerir (Kull vd., 2007; Lim vd., 2018). 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.

Son adım teslimatı, tüketici ve satıcının oynadığı role göre itme merkezli, çekme merkezli ve hibrit olmak üzere üç tipte sınıflandırılmaktadır (Lim vd., 2018). İtme merkezli sistemlerde, ürünün toplanması, taşınması ve müşterinin kapısına kadar teslim edilmesini içeren tüm süreç satıcı tarafından yerine getirilir (Lim vd, 2018). Çekme merkezli sistem, müşterinin tüm süreçten sorumlu olduğu itme merkezli sistemin tam tersidir (çevrimiçi satın al-mağazadan teslim al) (Lim vd., 2018). Hibrit sistemlerde, tüm teslimat süreci sorumluluğu, toplama teslimat noktaları (TTN) kullanılarak müşteri ve satıcı arasında paylaşılır (Lim vd., 2018). Lim ve diğerlerinin çalışmasında bahsedilen son adım teslimatı taksonomisi Şekil 2.1. de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Lim ve diğerlerinin (2018) çalışmasına dayanan son adım teslimatı taksonomisi.

Katılımlı TTN'ler, erişilebilir bir TTN olarak hizmet veren marketler, benzin istasyonları, süpermarketler vb. Buna karşılık, gözetimsiz TTN'ler, müşterilerin bir PIN kodu kullanarak paketlerini alabilecekleri koli dolabı veya otomatik paket dolabı (OPD) istasyonlarıdır (Lim vd., 2018). TTN'ler ve türleri hakkında daha fazla ayrıntı ilerleyen bölümlerde aktarılacaktır.

2.2. Son Adım Teslimatı Problemi Çözümüne İlişkin Araştırmalar

Son adım teslimatı probleminin çözümü, Dantzig ve Ramser'in (1959) bir araç rotalama problemi 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 (Deutsch ve Golany, 2018).

Son adım teslimatı probleminin çözümüne ilişkin literatür dört ana kategoride sınıflandırılabilir. Birincisi, daha önce tartışıldığı gibi teslimat rotalarının optimize edilmesi. İkincisi, teslimat sürecindeki yeni yöntemleri ve yenilikleri tartışmaktadır. Üçüncüsü, son mil teslimat sürecinin çevresel etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır. Dördüncüsü ise son mil teslimat süreci için bir dağıtım yapısı tasarlamaktır (Deutsch ve Golany, 2018).

Aşağıdaki bulunan Tablo 2.1.'de, kentsel alanlarda son adım teslimatı için TTN'ler, OPD ve mobil OPD'yi içeren çalışmaları özetlemektedir. Onay işareti, tesis yeri kararının model tarafından verildiği anlamına gelirken, X işareti daha düşük seviyeli tesislerin veya müşterilerin tahsisi için kullanılan mevcut tesisleri göstermektedir. DM dağıtım merkezi, AD ara depo, KKM kentsel konsolidasyon merkezi, YAN yerel aktarma noktası ve OPD otomatik paket dolabı anlamına gelmektedir. "Sabit" ve "mobil" sütunları, sabit veya mobil olabilen hareketlilik açısından TTN ve OPD türünü göstermektedir. "Kalıcı" sütunu kalıcı bir tesis anlamına gelirken, "Geçici" sütunu geçici bir tesis anlamına gelmektedir. Son olarak, "multi" ve "single" sütunları her bir çalışmada yer alan tesis tekilliğini veya çokluğunu göstermektedir.

Tablo 2.1. Kentsel alanlarda yapılan son adım teslimatı çalışmalar özet.

Çalışma	DM	AD	KKM	YAN	ALP	Hizmet Noktası	Sabit	Mobil	Kalıcı	Geçici	Multi	Single
Janjevic vd., 2019		✓				✓	✓		✓		✓	
Guerrero-Lorante vdd., 2020	✓	✓			✓	X	✓		✓		✓	
Schwerdfeger ve Boysen, 2020					✓			✓		✓	✓	
Liu vd., 2021	✓	✓			✓		✓		✓		✓	
Leyerer vd., 2020		X		✓	✓		✓		✓		✓	
Deutsch ve Golany, 2018					✓		✓		✓		✓	
Charisis ve Kaisar, 2019				✓	✓		✓		✓		✓	
Orenstein vd., 2019						✓	✓		✓		✓	
Kedia vd., 2020						✓	✓		✓		✓	
Lin vd., 2020					✓		✓		✓		✓	

Charisis ve Kaisar (2019), Kedia ve diğerleri (2020) ve Orenstein ve diğerleri (2019), son adım teslimatı için bir hizmet noktaları ağı tasarlamayı tartışmıştır. Geri kalan çalışmalar OPD'nin yerini belirlemeyi ele alırken, yalnızca Schwerdfeger ve Boysen (2020) mobil koli dolaplarının yerini belirlemeyi ele almıştır.

Bu çalışmalardan bazıları, kolilerin dağıtım sürecinde kullanılan TTN'ler ve OPD'lerin yanı sıra dağıtım merkezleri (Guerrero-Lorente vd., 2020; Liu vd., 2021), ara depolar (Janjevic vd., 2019) ve yerel aktarma noktaları (Leyerer vd., 2020) gibi diğer üst düzey tesislerin konumlandırılmasını da dikkate almıştır.

Guerrero-Lorente ve diğerleri (2020), Janjevic ve diğerleri (2019) ve Liu ve diğerleri (2021) ara depoların (AD'ler) konumlandırılması ile hizmet noktalarının ve OPD'lerin konumlandırılmasını ele alırken, Charisis ve Kaisar (2019) ve Leyerer ve diğerleri (2020) OPD'lerle birlikte YAN'ların konumlandırılmasını ele almıştır. Guerrero-Lorente ve diğerleri (2020) ile Liu ve diğerleri (2021) ise dağıtım merkezlerini, ara depoları ve OPD'leri konumlandırarak çok kademeli konumlandırma problemini ele almıştır.

Öte yandan, Deutsch ve Golany (2018), Kedia ve diğerleri (2020), Orenstein ve diğerleri (2019) ve Schwerdfeger ve Boysen (2020) yalnızca OPD'lerin veya hizmet noktalarının yerini belirlemeyi ele almıştır. Schwerdfeger ve Boysen (2020) mobil koli dolaplarının yerini belirlemeye yönelik tek çalışmadır ve bu da bu sorunu ele alan çalışmaların eksikliğini göstermektedir.

Aşağıda yer alan Tablo 2.2. de , incelenen çalışmaların her birinde tesislerin konumunu optimize etmek için dikkate alınan ölçütleri özetlemektedir. "Ekonomik" sütununda F tesisin inşası veya satın alınmasıyla ilgili maliyetler olan sabit maliyetleri, O tesislerin işletme maliyetlerini, T ise ulaşım maliyetlerini temsil etmektedir. "Trafik" sütunu, incelenen bölgenin trafik durumunun modele nasıl dahil edildiğini göstermektedir. "Çevre" sütunu, çevresel faktörlerin optimize edilecek bir metrik olarak modele nasıl dahil edildiğini göstermektedir. Son olarak, "sosyal" sütunu, sosyal boyutun optimize edilecek bir metrik olarak amaç fonksiyonuna nasıl dahil edildiğini göstermektedir.

Tablo 2.2. Tesislerin konumunun optimize edilmesinde dikkate alınan ölçütler.

Çalışma	Trafik	Çevre	Sosyal	Ekonomik
(Janjevic vd, 2019)				F + O+T
(Guerrero- Lorente ve diğerleri, 2020)			Müşterilere acil ve düzenli sipariş seçenekleri sunulması	F+T+ iade+ ceza
Schwerdfeger ve Boysen (2020)			Müşteri tarafından belirlenen yürüme mesafesini dikkate alarak müşteri kolaylığı	Dolap sayısı
(Liu vd., 2021)		Emisyon maliyetleri		T+ emisyon maliyetleri

Tablo 2.2. (Devamı) Tesislerin konumunun optimize edilmesinde dikkate alınan ölçütler.

Leyerer ve diğerleri (2020)	Gerçek trafik durumunu yansıtan Google mesafe matrisi API'siyle oluşturulan seyahat süreleri			T + mesafe
Deutsch ve Golany (2018)			Potansiyel müşteri kaybı, paketleri kullanan müşteriler için indirimler	Karı maksimize edin (Gelir - kurulum maliyetleri +O+ koli dolaplarının kullanılması nedeniyle potansiyel müşteri kaybı)
(Charisis & Kaisar, 2019)			Maksimum yürüme mesafesi dikkate alınmıştır	F+T ve tesislerin kullanımını en üst düzeye çıkarmak
(Orenstein vd., 2019)	Seyahat süreleri google haritalar'dan elde edilmiştir		Müşteri tercihi dikkate alınarak CDP'lere esnek teslimat	T+ teslim süresi
(Kedia vd., 2020)				CDP sayısını en aza indirilmesi
(Lin vd., 2020)			Hizmet seviyesini maksimize edin	

Ekonomik ölçüt, yalnızca sosyal bir ölçüt olan müşteriler için hizmet düzeyini en üst düzeye çıkarmayı dikkate alan Lin ve diğerleri (2020) hariç, incelenen tüm çalışmalar tarafından dikkate alınmıştır. Sabit maliyetler, Guerrero- Lorente ve diğerleri (2020) ve Janjevic ve diğerleri (2019) olmak üzere iki çalışmaya dahil edilmiştir. TTN'lerin ve OPD'lerin operasyonel maliyetleri Deutsch ve Golany 2018 ve Janjevic ve diğerleri (2019) tarafından dikkate alınmıştır. Bu maliyetler son adım teslimatında tesis yeri problemini çözmek için konum rotalama modellerini kullanan altı çalışmada dikkate alınmış ve Tablo 2.2.'de sunulmuştur. Liu ve diğerleri (2021), e-market taşımacılığının toplam maliyetini en aza indirmek için amaç fonksiyonunda emisyon maliyetlerini dikkate almıştır.

İki çalışmada tesis sayısının en aza indirilmesi ele alınmıştır. Schwerdfeger ve Boysen (2020) mobil koli dolaplarının sayısını en aza indiren bir model geliştirmiş, Kedia ve diğerleri (2020) ise OPD sayısını en aza indirmeyi amaçlamıştır. Deutsch ve Golany (2018), karı maksimize etmek için amaç fonksiyonunu formüle etmiş ve bunu açıkça maliyetler ile gelir arasındaki fark olarak ifade etmiştir. Maliyetler arasında paket dolaplarının kurulumu, operasyonel maliyetler ve koli dolaplarının kullanımından kaynaklanan potansiyel müşteri kaybı yer almaktadır.

Charisis ve Kaisar (2019), küçük merkezlerin (TTN olarak hizmet veren) kullanımını en üst düzeye çıkarmayı ve merkezlerin sabit ve nakliye maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan tek çalışmadır. Guerrero-Lorente ve diğerleri (2020), kapıdan teslimatı seçen müşterilere paketleri teslim edememenin maliyetlerini dikkate almıştır. Buna ek olarak, paketlerini iade etmeyi seçen müşterilerden paket toplama maliyetlerini de dahil etmişlerdir.

Sosyal boyut, incelenen çalışmalara çeşitli şekillerde dahil edilmiştir. Guerrero-Lorente ve diğerleri (2020), müşterinin seçebileceği farklı maliyetlere sahip iki teslimat türüne (acil teslimat ve düzenli sipariş alma) sahip olarak sosyal maliyetleri amaç fonksiyonuna dahil etmiştir. Schwerdfeger ve Boysen (2020), müşterilerin paketlerini almak için kat etmek istedikleri ve her bir müşteri tarafından ayrı ayrı belirlenebilen yürüme mesafesini dikkate almıştır. Deutsch ve Golany (2018), koli dolaplarını kullanmanın rahatsızlığı nedeniyle müşteri kaybetmenin potansiyel maliyetlerini dikkate almıştır. Ayrıca, koli dolaplarını kullanmayı tercih eden müşteriler için kargo indirimleri de eklemişlerdir. Charisis ve Kaisar (2019) çok amaçlı bir matematiksel model formüle etmiştir; hedeflerden biri, müşteriler ile TTN'ler arasındaki yürüme mesafesini en aza indirerek onları daha erişilebilir hale getirmektir. Son olarak, Lin ve diğerleri (2020), OPD'lerin optimum konumlarını bularak müşterilerin hizmet seviyesini en üst düzeye çıkarmayı düşünmüştür.

Liu ve diğerleri (2021), araçların emisyon maliyetlerini birim mesafe başına maliyet olarak amaç fonksiyonuna dahil ederek çevresel faktörleri dikkate almıştır. Son olarak, Leyerer ve diğerleri (2020) ve Orenstein ve diğerleri (2019), Google mesafe matrisi API'sini kullanarak paketleri müşteri kapısına teslim etmek için gerçek seyahat süresini alarak trafiği dikkate almıştır. Tablo 2.3., incelenen çalışmalarda tesis yeri problemini son adım teslimatında çözmek için kullanılan çözüm yöntemlerini özetlemektedir. Buna ek olarak, her bir çalışma için veri türünü (gerçek veya hayali) ve problem boyutunu göstermektedir.

İncelenen çalışmalarda kullanılan veriler açısından, Deutsch ve Golany (2018), Guerrero-Lorente ve diğerleri (2020), Janjevic ve diğerleri (2019), Kedia ve diğerleri (2020), Leyerer ve diğerleri (2020) ve Lin ve diğerleri (2020) olmak üzere altı çalışmada tamamen veya kısmen gerçek veriler kullanılmıştır. Sadece üç çalışmada gerçek ağ verileri kullanılmıştır. Kedia ve diğerleri (2020) gerçek ağ mesafelerini ve TTN'lerin gerçek konumlarını kullanmıştır. Lin ve diğerleri (2020) Google API

kullanılarak oluşturulan gerçek yürüme mesafelerini kullanmış ve Guerrero-Lorente ve diğerleri (2020) seyahat sürelerini hesaplamak için Google'dan seyahat hızını ve mesafesini çıkarmıştır. Diğer çalışmalar ya düz hat mesafelerini ya da hayali bir ağı ağ mesafelerini kullanmıştır.

İlgili problemleri çözmek için kullanılan çözüm yöntemleri açısından, dört çalışma incelenen problemleri en iyi ve sezgisel olarak çözmüştür. Üç çalışma problemlerini çözmek için kesin çözüm yöntemleri kullanmıştır. Buna karşılık, üç çalışma sezgisel algoritmalar kullanarak çözüme ulaşmıştır. Kesin çözüm yöntemlerini kullanan çalışmaların ya küçük bir problem boyutunu dikkate aldığını ve çalışma süresini sınırlamadığını ya da küçük veya orta ölçekli problemlerde çalışma süresini sınırladığını belirtmek gerekir. Tablo 2.3., her bir çalışma tarafından kullanılan çözüm yöntemini göstermektedir.

Tablo 2.3. TYP'nin son adım teslimatı çözümünde kullanılan çözüm yöntemleri, problem boyutu ve veri kaynakları.

Çalışma	Veri kaynağı	Tam/ çalışma zamanı	Sezgisel/ çalışma zamanı	Problem boyutu
(Janjevic vd., 2019)	Maliyet parametreleri gerçek verilere dayanarak yaklaşık olarak tahmin edilmiştir. Düz çizgi mesafeleri kullanıldı. Tesisler için aday lokasyonlar ve müşteri lokasyonları gerçek verilere dayanmaktadır.		✓/463 saniye	1/7/2400 (büyük)
(Guerrero-Lorente ve diğerleri, 2020)	Maliyet parametreleri gerçek verilere dayanılarak yaklaşık olarak hesaplanmıştır; seyahat sürelerini hesaplamak için seyahat hızları Google'dan alınmıştır.	✓	✓/zaman iyileştirmesi (H/E)= 1-451 (aynı boyuttaki probleme dayalı olarak farklı senaryolar	2/8/1-14 her talep alanı için kiosk/1-13 mağaza/63 alan (küçük)
Schwerdfeger ve Boysen (2020)	Kurgusal sorun (yeniliği nedeniyle sorunun tamamı)	✓/ 3600 olarak ayarlandı saniye sınırı	✓/ bir saniyeden az	10-40/50-300 (küçük)
(Liu vd., 2021)	Kurgusal sorun		✓/ çalışma zamanı raporlanmadı	2-12/3-16/7-26 (küçük)
Leyerer ve diğerleri (2020)	Literatürden alınan gerçek veriler, müşteri konumları konut binalarıdır, seyahat süreleri Google mesafe matrisi API'sinden alınmıştır	/çalışma süresi 3600sn ile sınırlandırıldı		25/90/100 (küçük)
Deutsch ve Golany (2018)	Talep, literatürdeki gerçek verilere, kurulum maliyetlerine ve yazarlar tarafından tahmin edilen nakliye maliyetleri parametrelerine, gerçek Kanada'daki 96 ana bölgenin konumları talep noktalarını temsil etmektedir. düz çizgi mesafeleri kullanılmıştır	✓ / garanti değil optimal çözüm.		96 düğüm (küçük)

Tablo 2.3. (Devamı) TYP'nin son adım teslimatı çözümünde kullanılan çözüm yöntemleri, problem boyutu ve veri kaynakları.

(Charisis & Kaisar, 2019)	Kurgusal sorun	✓		20/50 (küçük)
(Orenstein vd., 2019)	Kurgusal problem; CDP'lerin aday konumları benzin istasyonlarının gerçek konumlarından rastgele seçildi, seyahat süreleri Google haritalarından elde edildi	✓	✓ / 35 saniye- 4244 saniye	20,40,50/200-1500 talep puan (orta)
(Kedia vd., 2020)	Gerçek ağ mesafeleri, CDP'lerin gerçek aday konumları		✓	316 düğüm (küçük)
(Lin ve ark., 2020)	Kurgusal sorun, gerçek yürüme mesafesi (Google API)	✓/3600 saniye sınırı	✓/0.16% - 11.87% 0,8 saniyede optimalite boşluğu	60-100 düğüm /15-20 mevcut/15-25 aday lokasyon/30-50 müşteri. Problem 2 25-100/25-100/59-200/100-400 (orta)

Tablo 2.3.'de yer alan problem boyutu sütununda, kademe sayısı ve toplam düğüm sayısı sunulmaktadır. 1/2/3 şeklinde üç sayının verildiği satırlarda, en soldaki sayı üst düzey kademelerdeki düğüm sayısını, ortadaki sayılar ara düğüm sayısını ve en sağdaki sayı ise talep noktalarını yansıtmaktadır. Problem büyüklüğü sütununda bir sayı bulunan satırlarda talep noktalarının sayısı verilmektedir ki bu durum en uygun TTN veya OPD sayısını belirleyen çalışmalarda gözlemlenmektedir. 500'den az düğüme sahip problemler küçük, 500 ila 1.500 arası orta ve 1.500'den fazla düğüme sahip problemler büyük olarak sınıflandırılmıştır. Yedi çalışma 316 düğüme kadar olan küçük problemleri, üç çalışma 1.500 düğüme kadar olan orta büyüklükteki problemleri ele almış ve Janjevic ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan tek bir çalışma 2.400 düğümlü büyük bir problemi 463 saniyede bir sezgisel kullanarak çözmüştür.

Son adım teslimatı alanı, Türkiye'deki araştırmacılar tarafından da incelenmekte ve dağıtım ve rotalama problemlerinde konu edinilmektedir. 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 yapılabilen 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.

Karaoğlu (2019) yaptığı çalışmada araç rotalama problemi 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.

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 problemini tam sayılı programlama olarak modellemiş ve sonucunda maliyetlerde %32 oranda iyileşme sağlandığını iddia etmiştir.

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.

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.



3. TESLİMAT YÖNTEMLERİ

Teslimat yöntemleri eve teslimat, teslimat noktası ve hibrit model olmak üzere üç başlıkta incelenmektedir.

3.1. Eve Teslimat

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.

3.2. Teslimat Noktasından Teslim

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. Dezavantajı ise bu yöntem müşteri için konforlu olmadığından bazı müşteriler tarafından tercih edilmeyebilir. Teslim noktası teslimat yönteminin müşteriler açısından tercih edilebilmesi için satıcı şirketler bu yöntemle teslimata ilişkin kampanyalar ya da indirimler sağlayabilirler.

Toplama ve teslimat noktaları (TTN'ler), paketlerin teslim ederek son mil teslimatını kısaltmak ve müşterilerin paketlerini almalarına izin vermek için kullanılan hizmet noktalarıdır (Lal Das ve Fianu, 2018). Hizmet noktaları, TTN olarak kullanılan marketler, benzin istasyonları, alışveriş merkezleri veya diğer benzer tesislerdir.

Müşteriler çalışma saatleri içinde hizmet noktalarını ziyaret edebilir ve kimliklerini kanıtladıktan sonra paketlerini teslim alabilirler. Otomatik paket dolapları (OPD), herhangi bir zamanda müşteri tarafından bir PIN kodu girildiğinde veya bir barkod tarandığında otomatik olarak açılan paket dolaplarıdır (Bengtsson ve Vikingson, 2015). Genellikle transit istasyonlara, apartman komplekslerine veya trafiğin yoğun olduğu diğer alanlara yakın yerlerde bulunurlar.

Daha önce de belirtildiği üzere, iki tür teslim alma noktası (TAN) bulunmaktadır: katılımlı teslim alma noktaları (KTAN'lar) ve otomatik paket dolapları (OPD) (katılımsız TAN'lar) (Morganti vd., 2014; Weltevreden, 2008). KTAN'lar aynı zamanda hizmet noktaları olarak da adlandırılır ve müşterinin ödeme yapmak, paketini almak veya iade etmek için gidebileceği mağazalar, benzin istasyonları veya postaneler olabilir (Weltevreden, 2008). KTAN'lar genellikle mesai saatleri içerisinde haftanın altı günü açıktır. OPD'ler akıllı dolap bankaları veya otomatik paket istasyonları olarak adlandırılır ve müşterilerin paketlerini pin kodu veya akıllı telefon kullanarak aldıkları paket dolap istasyonlarıdır (Faugere & Montreuil, 2017a; Weltevreden, 2008). OPD'ler genellikle hafta boyunca 24 saat açıktır (Morganti vd., 2014). UPS, DHL ve Amazon gibi şirketler Kuzey Amerika ve Avrupa'da OPD'leri kullandığından beri OPD'ler dünya çapında popülerlik kazanmıştır (Faugere ve Montreuil, 2017a).

Teslim alma noktaları müşterilere daha fazla teslim alma süresi esnekliği sunar ve iade sürecini daha kolay hale getirir (Morganti vd., 2014). Ayrıca, konsolide sevkiyatlar yoluyla teslimat maliyetlerini ve kat edilen mesafeyi azaltır (Faugere & Montreuil, 2017a; Morganti vd., 2014). Ayrıca, kaçırılan teslimatların sayısını azaltmaya yardımcı olur (Faugere ve Montreuil, 2017a; Morganti vd., 2014). Toplama ve teslimat noktaları (TTN), ürünlerin müşterinin kapısına teslim edilmesine kıyasla teslimat maliyetlerinde %60'a kadar tasarruf sağlamaktadır (Kämäräinen & Punakivi, 2002). Iwan ve arkadaşları (2016) tarafından gerçekleştirilen nicel bir örnek, akıllı dolap ağı kullanıldığında kuryenin 600 koli teslim etmek için 70 km yol kat ettiğini, müşterilerin kapılarına teslimat yapıldığında ise sadece 60 koli teslim etmek için 150 km yol kat edildiğini göstermiştir.

Mobil otomatik paket dolapları ise araçlara monte edilen özel bir koli dolabı türüdür, böylece müşterilere kolilerini almak için daha fazla esneklik sağlarken yürüme

mesafelerini azaltır, dolayısıyla son adım teslimatı için koli dolaplarını kullanmanın rahatlığını artırır.

Lojistik hizmetlerinde TTN'lerin kullanımını incelendiğinde, Avrupa'da, İsveçli bir operatör olan PostNords, İsveç, Norveç, Finlandiya ve Danimarka'da 5.000 TTN geliştirmiştir (Morganti vd., 2014). Toplam e-ticaret gelirinin %71'ine sahip olan İngiltere, Almanya ve Fransa, 2008 yılına kıyasla %5 ila %150'lik bir büyüme ile teslimatlarının %20'sini TTN'ler kullanarak gerçekleştiren Avrupa'nın önde gelen ülkeleridir (Morganti vd., 2014). Fransa'da TTN'leri kullanan girişimlerin sayısı 2012 ve 2008 yılları arasında %67 oranında artmıştır (Morganti vd., 2014). Fransa'daki teslim alma noktaları barlar, tütün dükkanları, kitapçılar, çiçekçiler, kuru temizleme vb. gibi çok çeşitli mağazalardan oluşmaktadır. Öte yandan, özellikle e-market sektöründeki bazı perakendeciler, kendi mağazalarını bir teslim alma ağı olarak kullanmaktadır (Morganti vd., 2014).

Morganti ve diğerleri (2014) bir TTN ağı tasarlamak için kavramsal bir çerçeve önerisinde bulunmuştur.

Demografik göstergeler, şehir kullanıcıları için merkezler ve düğümler ve ağ içindeki parsel akışı olmak üzere üç kategoride iç ve dış faktörleri tanımlamışlardır. Demografik göstergeler, nüfusun yoğunluğuna, nüfusun ekonomik durumuna, müşterilerin satın alma gücüne ve internete ve araçlarına (akıllı telefonlar ve bilgisayarlar) erişime bağlı olduğu varsayılan tüketici yoğunluğu ile temsil edilmektedir (Morganti vd., 2014). İkinci faktör, yani şehir kullanıcıları için merkezler ve düğümler, müşterilerin ulaşım kolaylığını (otobüs duraklarının, demiryollarının, özel araçların vb. mevcudiyeti), marketlere yakınlığı ve rekreasyon merkezlerinin mevcudiyetini ölçen göstergelerle ilgilidir. Üçüncü faktör, bir TTN'den geçen paket sayısı ile temsil edilen ve TTN'lerin kullanımını ve müşterilerin teslim alma yerleri tercihlerini gösteren her bir sahanın (TTN) talep seviyeleri ve iş yükü ile ilgilidir (Morganti vd., 2014).

Morganti ve diğerleri (2014) iki tasarım kısıtı belirlemiştir. İlk kısıt, alınan kolilerin depolanmasını, alabilecekleri koli sayısını ve işlerine müdahale edip etmediğini etkilediği için TTN olarak hizmet veren perakendecinin iş ve hizmet niteliğiyle ilgilidir.

İkinci kısıt, altyapı (örn. otoparkların mevcudiyeti, yolların kalitesi, vb.) ve ulaşım hizmetleri (örn. toplu taşıma) dahil olmak üzere ulaşım sistemidir.

Talep belirsizliği, TTN ağlarının kullanımında karşılaşılan temel zorluklardan biridir (Faugere & Montreuil, 2017b). Kolilerin beklenmedik şekilde çok çeşitli boyutlara sahip olabilmesi, koli dolaplarının tasarımını ve yapılandırılmasını zorlu bir sorun haline getirmektedir (Faugere & Montreuil, 2017b). Düşük tesis kullanımı, dolapların kullanımını iyileştirmek için birkaç şirketin aynı koli dolaplarını paylaştığı çoklu operatör modeliyle ele alınabilecek bir başka zorluktur (Faugere & Montreuil, 2017b). Dinamik kapasiteli TTN'lerin kullanımı, TTN'lerin düşük kullanımı sorununu ele almak için kullanılabilir bir başka çözümdür (Faugere vd., 2018).



4. METODLAR

Problemin çözümünde kullanılması planlanan metodlardan bu bölümde bahsedilecektir.

4.1. Konum Belirleme Metodları

Kaynaklar ve varış noktaları arasındaki mesafenin toplamı en aza indirilecek şekilde kaynak noktaları bulma problemi 1600'lü yıllara kadar uzanmaktadır. Tamamen matematiksel kökenlere sahiptir ve üç varış noktası için tek bir kaynak noktası arayışı ile başlamıştır. Fermatand Toricelli, bir üçgen için öyle bir nokta bulma geometrik problemini çözmüştür ki, bu nokta ile üç köşe arasındaki mesafelerin toplamı en aza indirilmiştir (Courant ve Robbins, 1996). Bu nokta geometrik medyan veya Fermat noktası olarak da adlandırılır. Weber bu problemi n noktaya genelleştirmiş ve bir konum teorisi ortamına bağlamıştır. Weber probleminin (Weber ve Friedrich, 1929) amacı, hedef noktalar ile depo arasındaki ağırlıklı uzaklıkların toplamı en aza indirilecek şekilde bir deponun yerini bulmaktır. Mesafeler, varış noktalarındaki talebe göre ağırlıklandırılır. Toricelli'nin Fermat noktası için çözümünün bir uzantısı, ağırlıklı mesafelere sahip bir üçgen için Weber problemini çözmek için kullanılabilir (Simpsons, 1805, Chen vd., 1992). Genel n -varış noktası problemi için Kulin (Kulin ve Kuenne, 1962) ve Weiszfeld (Weiszfeld ve Plastria, 2009) tarafından iteratif algoritmalar önerilmiştir.

Konum belirleme alanındaki kaynakların çokluğu ilk olarak Isard (1956) tarafından ortaya atılmıştır, ancak çözüm eşzamanlı olarak bulmak yerine problemi birden fazla tek noktalı konum belirleme problemine indirgemeye odaklanmıştır. Leon Cooper (1963) çalışmasında eşzamanlı kaynak belirleme problemini incelemiştir. Tesislerin yerinin belirlenmesi için kombinatorial optimizasyon problemini resmileştirmiş ve kesin çözümü hesaplamak için Weiszfeld'in çalışmasına dayanan iteratif bir algoritma sunmuştur. Kesin çözümü hesaplamak için gereken zaman karmaşıklığı üsteldir, bu da algoritmayı daha büyük kaynak ve hedef kümelerine sahip problemler için hesaplama açısından uygunsuz hale getirmektedir. Bu nedenle, optimum çözüme yakın çözümleri verimli bir şekilde elde etmek için sezgisel ve meta sezgisel yaklaşımlar önerilmiştir,

bu yöntemler ilerleyen bölümlerde tartışılmıştır. Matematiksel problem tanımı ve Cooper'ın çalışması sürekli bir uzayda yer almaktadır; kaynakların konumları uzayda herhangi bir koordinata sahip olabilir.

Ancak, gerçek dünyadaki konum belirleme uygulamalarının çoğu ayrık uzayda yer almaktadır. Tesisler yalnızca önceden belirlenmiş belirli konumlara yerleştirilebilir. Yer tahsisi problemlerinin ayrık ağ formülasyonlarında, talep noktaları kümesi tesis konumları için aday küme olarak ele alınır.

Yer tahsisi problemleri amaç fonksiyonuna göre iki geniş sınıfa ayrılabilir: kapsama dayalı optimizasyon ve mesafeye dayalı optimizasyon. Mesafe bazlı optimizasyon problemleri, genellikle tesisler ve talep noktaları arasındaki seyahat mesafesiyle doğrudan ilişkili olan operasyon maliyetini en aza indirmeyi amaçlar. Kapsama dayalı optimizasyon problemleri ise hizmet kalitesini korurken talep noktalarına olan kapsama alanını maksimize etmeye odaklanır. Bu optimizasyon problemlerinin her biri kesin, sezgisel veya meta sezgisel algoritmalar kullanılarak çözülebilir. Optimal ve yaklaşık çözümler için önerilen optimizasyon problemleri ve ilgili algoritmalar aşağıdaki bölümlerde ele alınmaktadır.

4.1.1. Kapsama dayalı optimizasyon

Kapsam tabanlı konum modelleri sınırlı kaynaklarla karakterize edilir. Bu modellerde sınırlı kaynaklar nedeniyle tüm talep noktalarına hizmet verilemeyebilir (Wang vd., 2021). Amaç, bir kaynağa atanan hedeflere yeterli hizmet sağlamaktır. Bu durum, yeterlilikleri veya hizmet standartları yetersiz olacağı için bazı varış noktalarının atanmamasına neden olur. Çoğu zaman, yeterlilik mesafe kısıtlamalarına dayanır. Yüklem olarak hareket eden katı mesafe kısıtlamaları vardır ve yüklem yerine getirilirse, amaç kapsamı en üst düzeye çıkarmak veya herhangi bir kaynağa atanmayan hedeflerin sayısını en aza indirmektir. Ambulanslar ve yeniden müdahale gibi acil sağlık hizmetleri, mesafenin katı bir kısıtlama olduğu ve kapsama maksimizasyonunun amaç olduğu örneklerdir. Tam kapsama, eğer gerekliyse, kaynak sayısını artırarak elde edilir. Kapsama tabanlı problemlerin iki ana türü vardır: Konum Kümesi Kapsama Problemi ve Maksimal Küme Kapsama Problemi. İlki olan konum kümesi kapsama probleminin amacı, tüm varış noktalarının yeterli hizmet almasını sağlayacak şekilde tesis (kaynak) sayısını en aza indirmektir. İkincisi, maksimal küme kapsama problemi, sınırlı kaynaklar göz önüne alındığında kapsama alanını maksimize etmeye çalışır (Murray vd., 2010).

Doğrusal Tamsayı Programlama, her iki kapsama problemi türü için de optimum çözümler elde etmek için kullanılabilir. Bir tesis aday bir lokasyonda bulunabilir ya da bulunmayabilir, bu nedenle çözüm karar değişkenleri üzerinde 0-1 integralite kısıtlarına sahiptir. Bu integralite kısıtları doğrusal programlama kullanılarak bir çözüm elde etmek için gevşetilir ve optimal integral çözümü elde etmek için gevşetilmiş çözüm üzerinde dal ve sınır teknikleri kullanılır. Ancak, doğrusal programlama çözümlerinin karmaşıklığı zaman ve bellek açısından üsteldir, bu nedenle sezgisel yöntemler yöneylem araştırmasında daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Açgözlü Ekleme (Church ve ReVelle, 1974) algoritması, mesafe kısıtını sağlarken en fazla varış noktasını kapsayabilen ilk tesisin çözümün bir parçası olarak seçildiği ve çözümdeki mevcut tesisler tarafından kapsanmayan en fazla varış noktasını kapsayan yeni bir tesisin her iterasyonda çözüm kümesine eklendiği bir sezgiseldir. Bu açgözlü yaklaşım optimal çözümü garanti etmez, 1 tesisli kapsama probleminin optimal çözümü p tesisli kapsama probleminin optimal çözümünün bir parçası olmayabilir. Açgözlü ekleme ve yerine koyma algoritması, açgözlü eklemenin bir uzantısıdır ve çözümdeki tesisler, eğer bu yerine koyma kapsama alanını iyileştirirse, çözümde olmayan tesislerle birer birer değiştirilir (Church ve ReVelle, 1974). Bu sezgisel yaklaşım da küresel optimallığı garanti etmez.

Kapsama probleminin optimum çözümüne yaklaşmak için meta sezgisel yaklaşımlar da bu alanda önerilmiştir. Meta-sezgisel yöntemler çözüm aramayı daha küresel hale getirmekte ve yerel optimumda sonlandırmayı önlemektedir. Bara'a ve arkadaşları (Bara'a ve Hameed, 2014) kablosuz sensör ağlarının verimliliğini artırmak için konum kümesi kapsama problemi (minimum sensörle tam kapsama) için bir genetik algoritma formülasyonu sunmuştur. Bu araştırma, seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile birlikte uygulanamaz bir çözümü uygulanabilir bir çözüme dönüştürmek için bir onarım operatörü kullanmaktadır (Mitchell vd., 2003). Maksimal küme kapsama problemi için Tabu arama ve benzetimli tavlama tabanlı algoritmalar önerilmiştir (Berman vd., 2009). Benzetimli tavlama formülasyonu, yerel optimumların üstesinden gelmek için amaç fonksiyonunda (kapsamın maksimizasyonu) bir azalma olsa bile, mevcut çözümde olmayan bir tesisin çözümdeki bir tesisle olasılıksal bir değişimini gerçekleştirir. Değişim her zaman amaç fonksiyonunu iyileştiriyorsa gerçekleştirilir. Tabu arama algoritması da değişim sezgiseline dayanır, ancak değişim yalnızca yeni tesis tabu listesinde değilse gerçekleştirilir. Herhangi bir iterasyonda değiştirilen tesis

tabu listesine eklenir ve tesisler sabit sayıda iterasyondan sonra tabu listesinden çıkarılır. Maksimal küme kapsama problemini çözmek için Ayrık Parçacık Sürüsü Optimizasyonunun (Jumping Particle Swarm Optimization) kullanımı da literatürde sunulmuştur (Balaji ve Revathi, 2016). Parçacık sürüsü optimizasyonu kurulumunda, rastgele uygulanabilir çözümlerdeki tesis konfigürasyonları üç çekiciden etkilenir; birincisi, mevcut konfigürasyon için yerel en iyiler, ikincisi, tüm konfigürasyonlar arasında küresel en iyiler ve üçüncüsü, mevcut çözümün iterasyondaki başka bir çözümle kombinasyonu. Yerel maksimumlardan kaçınmak için mevcut konfigürasyonlardan rastgele atlamalar gerçekleştirilir.

Lagrangian gevşetme sezgiselleri de önerilmiş ve küme kaplama optimizasyon probleminin karmaşıklığını azaltmak için kullanılmıştır (Lim vd., 2013). Problemi daha basit hale getirmek için bir veya daha fazla eşitsizlik kısıtlaması gevşetilir ve amaç fonksiyonu Lagrangian çarpanları kullanılarak bu kısıtlamaların ihlalleri için cezalandırılır. Kapsamı maksimize etmeye yönelik orijinal problem, optimal çözüme daha sıkı sınırlar getirmek için bu ihlal cezasını minimize eden daha kolay bir dual probleme dönüştürülür.

4.1.2. Mesafe tabanlı optimizasyon

Mesafe bazlı konumlandırma modelleri, hizmetlerin maksimizasyonu yerine maliyetlerin minimizasyonu ile karakterize edilir. Konum biliminde maliyetler genellikle kaynaklar ve ilgili varış noktaları arasındaki seyahat süresiyle ilişkilendirilir, bu nedenle Mesafe temelli modellerde amaç, talep noktaları ve ilgili tesisler arasındaki mesafenin en aza indirilmesidir. Maliyetin kapsama alanından daha önemli olduğu senaryolara örnek olarak, bir alışveriş kompleksi ya da özel sektördeki diğer tesisler için yer seçimi verilebilir.

Bu konum modelleri sınıfının p-merkez veya minimaks ve p-medyan veya minimum olmak üzere iki çeşidi vardır. Bu çeşitlerin her ikisinin de NP-zor olduğu çeşitli araştırmalarda kanıtlanmıştır (Kariv ve Hakimi, 1979). Genellikle "p-merkez" problemi olarak adlandırılan birinci tür, herhangi bir varış noktası ile en yakın kaynak arasındaki maksimum mesafenin minimize edileceği şekilde p tesisin konumlandırılmasına karşılık gelir. Bu mesafe model tarafından belirlenir ve kapsama tabanlı problemlerde olduğu gibi optimizasyon probleminin bir girdisi değildir. p-merkezli problem, küme kaplama problemi iteratif olarak kullanılarak çözülebilir. Maksimum mesafenin optimum değerinin üst ve alt sınırı için uygun değerler

başlangıçta seçilir, iki sınırın ortalama değeri üzerindeki küme kaplama çözümü, tüm varyasyon noktalarının kapsanmasını sağlayan minimum tesis sayısı ile sonuçlanır. Eğer p , küme kapsama çözümündeki tesis sayısından büyükse, üst sınır ortalama değer olarak değiştirilir ve eğer p , küme kapsama çözümündeki tesis sayısından küçükse, alt sınır ortalama değer olarak değiştirilir. Bu işlem p , set kapsama algoritması tarafından döndürülen çözüme eşit olana kadar tekrarlanır. Bu algoritma ve varyantları literatürde yer alan çalışmalarda ayrıntılı olarak tartışılmıştır (Daskin, 1997). Problem NP-zor olduğundan, geçmişte sezgisel ve meta-sezgisel yaklaşımlar kullanılmıştır.

Açgözlü ekleme, tesis ikamesi ve alternatif tahsis ve seçime dayalı klasik sezgisel yöntemler de literatürde sunulmuş ve karşılaştırılmıştır (Mladenović vd., 2003). Açgözlü ekleme, p -merkez probleminin $p = 1$ 'den başlayarak aşamalı olarak çözülmesini içerir. Bu sezgiselden elde edilen çözümler genellikle optimal çözüme yakın değildir. Tesis ikamesi rastgele seçilen bir çözümle başlar ve amaç fonksiyonunu iyileştirmek için çözümde bulunan bir tesisi çözümde bulunmayan bir tesisle değiştirir. Tesisler, alternatif sezgisel algoritmada amaç fonksiyonu stabilize olana kadar dönüşümlü olarak seçilir ve tahsis edilir.

Mladenović ve diğerleri (2003) araştırmalarında p -merkez problemi için tabu arama esinli bir ikame veya değişim algoritması uygulamasını tartışmaktadır. Yazarlar aynı makalede "Değişken Komşuluk Araması" olarak adlandırılan başka bir meta sezgisel yaklaşım önermektedir. Değişken komşuluk aramasında mevcut çözüm, bu yeni tesis kümesinde mevcut çözüme göre k farklı tesis olacak şekilde pertürize edilir. K değeri 1'den önceden belirlenmiş bir k_{max} değerine kadar artırılır. Yeni setlerden herhangi biri mevcut çözümden daha iyi veya onun kadar iyi performans gösterirse, bu çözümler test setine eklenir. Süreç test kümesi ile tekrarlanır. Yazarlar, değişken komşuluk aramasının p 'nin daha küçük değerleri dışında genel olarak tabu aramasından daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Evrimsel teknikler kullanarak P-Center problemini çözmek için memetik bir genetik algoritma olan PBS (population-based meta-heuristic) çeşitli araştırmalarda açıklanmaktadır (Pullan, 2008). Önerilen yaklaşım, popülasyon için yeni nesiller oluşturmak üzere bir fenotip çaprazlama operatörü ve iki mutasyon operatörü sunmaktadır. İlk popülasyondaki bir çözüm, rastgele bir tesis seçilerek ve p tesisi elde etmek için açgözlü toplama kullanılarak ve bunu optimize etmek için değişim algoritması kullanılarak oluşturulur. Makalede birden fazla bağımlı işlemci kullanan

paralel bir uygulama da sunulmuştur. PBS'nin verimli bir şekilde sağlam sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

"p-medyan" konumlandırma modeli, özellikle özel sektördeki tesislerin konumlandırılmasında maliyeti en aza indirmek için en yaygın kullanılan mesafe modelidir. Tek amaç toplam maliyeti en aza indirmektir. Toplam maliyet genellikle tüm varış noktaları ve bunların tesisleri arasındaki talep ağırlıklı mesafenin toplamıdır. Tek bir varış noktası ile ona karşılık gelen kaynak veya tesis arasındaki mesafe bu senaryoda bir kısıt değildir. Bir ağaç üzerinde p-medyan problemini çözmek için polinom zamanlı algoritmalar geliştirilmiş ve uygulanmış olsa da (Goldman, 1971; Kariv ve Hakimi, 1979; Tamir, 1996), problemin genel bir grafik üzerinde NP-zor olduğu gösterilmiştir (Kariv ve Hakimi, 1979). Bu problem, p-merkezli muadili gibi, doğrusal programlama formülasyonu üzerinde dal ve sınır teknikleri kullanılarak tam olarak çözülebilir (Daskin, 2021). Orijinal problemin karmaşıklığını azaltmak ve optimuma yakın çözümler elde etmek için Lagrangian gevşetmeleri de uygulanabilir (101-33). Ancak, kısıt ve hedef sayısı arttıkça Lagrangian gevşetmesi uygulanamaz hale gelmektedir.

p-merkez problemine benzer şekilde, literatürde birçok sezgisel çözüm önerilmiştir. Yukarıda p-merkez problemi için tartışılan üç klasik sezgisel, ağgözlü toplama veya miyop, alternatif seçim ve tahsis ve tesis ikamesi sırasıyla Kuehn ve Hamburger (1963), Maranzana (1964) ve Teitz ve Bart (1968) tarafından p-medyan problemi için önerilmiştir. Teitz ve Bart tarafından önerilen değişim algoritması en sağlam sezgisel yaklaşım olarak bilinmektedir. Farklı araştırmalarda (Densham ve Rushton, 1992) önerilen Küresel/Bölgesel Değişim Algoritması (KBDA), çözümü daha da iyileştirmek için bir tesisin kaldırılmasını (ağgözlü bırakma) küresel atama için ağgözlü ekleme ve her tesise atanan talep noktaları arasında yerel ikame ile birleştirir. Bu algoritmanın Teitz ve Bart algoritması kadar iyi performans gösterdiği, ancak önemli ölçüde daha az değişim yaptığı gösterilmiştir. Değişim algoritmasına göre karşılaştırılabilir sonuçlar üreten ve önemli ölçüde daha hızlı olan genetik algoritma tabanlı bir sezgisel önerilmiştir (Alp vd., 2003). Makalede, başlangıç popülasyonunun uygun boyutunu hesaplamak ve popülasyonda yeterli çeşitliliği sağlamak için metodolojiler sunulmuştur. Ayrıca yazarlar, geleneksel çaprazlama operatörünü kullanmak yerine, iki ana çözüm arasındaki birleştirme işlemini kullanmakta ve p tesisini elde etmek için ağgözlü iniş ile budamaktadır. p-medyan problemi için çeşitli

benzetimli tavlama tabanlı algoritmalar (Murray ve Church, 1996; Al-khedhairi, 2008; Chiyoshi ve Galvão, 2000) ve tabu arama tabanlı algoritmalar (Rolland vd., 1997; Loranca vd., 2015) sunulmuştur.

Dağıtım merkezlerinin (DM) seçimi ve ilgili havza alanlarının oluşturulması, farklı konum tahsis problemleri olarak formüle edilebilir ve farklı algoritmalar kullanılarak çözülebilir. DM sayısını belirlemek, mevcut tesisler listesinden DM konumlarını seçmek ve ilgili havza alanlarını oluşturmak için bir çerçeve kullanılmalıdır. Çerçeve, bölgeyi p adet tek tip talep toplama alanına bölmek için yeni bir algoritma kullanabilir ve ardından mesafeyi en aza indirmek için bu toplama alanlarının merkezlerine en yakın tesisler DM olarak seçilebilir (O'Neill vd., 2014; Schneider ve Mikler, 2010). Ancak, bu merkezler ortalama mesafeyi en aza indirecek şekilde seçilmez, dolayısıyla mesafe en aza indirmenin öncelikli olduğu durumlarda en iyi DM konumlarını temsil etmeyebilir. Genel DM seçimi ve tahsisi, talep dağılımı kısıtlamaları yoksa bir p -merkez veya p -medyan problemi olarak çerçevelenebilir. Bununla birlikte, DM'ye olan maksimum mesafe en aza indirilse bile, DM konumlarındaki tıkanıklık DM konumuna ulaşmak için gereken sürenin önemini azaltmaktadır (Helsing vd., 2019). Bu nedenle, p -merkez veya p -medyan problemleri tarafından oluşturulan müdahale planları, bir planın tamamlanması için gereken süre açısından benzer çözümlerle sonuçlanmalıdır. Tam kapsama, müdahale planının uygulanabilir olması için gerekli bir kısıt olduğundan, bir kapsama maksimizasyonu problemi olarak modellenemez. DM konumlarının sayısı doğrudan personel ve gönüllülerin mevcudiyetine bağlı olduğundan, halk sağlığı uygulayıcıları genellikle kurulabilecek DM konumlarının sayısını bilirler. Bu nedenle, konum belirleme modeli tarafından öngörülen minimum DM sayısı, bu kadar çok DM'yi çalıştıracak kaynakların olmaması nedeniyle pratik olmayabilir. DM sayısı bilinmiyorsa, konum kümesi kapsama problemi DM seçim problemi için iyi bir formülasyondur.

4.1.2.1. P-medyan metodu

Daha önce tartışıldığı üzere, 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 problemini tanımlamaktadır. Doğrusal Tamsayı Programlama küçük ölçekli problemler için optimum çözümler elde etmek için kullanılabilir, ancak n ve p değerleri arttıkça bu çözümler hızla zaman ve bellek engelleyici hale gelir. Doğrusal

tamsayılı programlama formülasyonu (Daskin, 1997; Rosing vd., 1999; Resende ve Werneck, 2004; Senne vd., 2005) p-medyan problemi için aşağıda açıklanmıştır.

Doğrusal Tamsayılı Programlama Formülasyonu Karar değişkenleri:

$$X = \{X_j\}, \forall_j \in \{1, 2, 3 \dots n\} \quad (3.1)$$

$$Y = \{Y_{ij}\}, \forall_i \in \{1, 2, 3 \dots n\} \text{ ve } \forall_j \in \{1, 2, 3 \dots n\} \quad (3.2)$$

Z enaz

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i Y_{ij} d_{ij} \quad (3.3)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n Y_{ij} = 1, \forall_i \in \{1, 2, 3 \dots n\} \quad (3.4)$$

$$\sum_{j=1}^n X_j = p, \forall_j \in \{1, 2, 3 \dots n\} \quad (3.5)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0, \forall_i \in \{1, 2, 3 \dots n\}, \forall_j \in \{1, 2, 3 \dots n\} \quad (3.6)$$

$$X_j = \{0, 1\}, \forall_j \in \{1, 2, 3 \dots n\} \quad (3.7)$$

$$Y_{ij} = \{0, 1\}, \forall_i \in \{1, 2, 3 \dots n\}, \forall_j \in \{1, 2, 3 \dots n\} \quad (3.8)$$

X_j ikili bir değişkendir ve set edilmesi halinde j varış noktasının tesislerden biri olarak seçilmesini temsil eder. Y_{ij} , yine ikili bir değişkendir ve ayarlanırsa i varış noktasının j tesisine atanmasını temsil eder. Z , amaç fonksiyonu j tesisi ile i varış noktası arasındaki mesafelerin talep (w_i) ağırlıklı toplamıdır. Bu mesafe d_{ij} ile gösterilir. Mesafe değeri d_{ij} , yalnızca Y_{ij} ayarlanmışsa toplama katkıda bulunur. Kısıt 1, her bir varış noktasının yalnızca tek bir tesise atanmasını sağlar. Tam olarak p tesisin seçilmesi Kısıt 2 ile sağlanır. Bir tesis j hedefinde bulunmuyorsa Y_{ij} atama değişkeni ayarlanamaz, bu koşul Kısıt 3 ile sağlanır. Bu tamsayılı programlama problemi, sürekli doğrusal programlama çözümü üzerinde dal ve kesme algoritmaları kullanılarak çözülebilir. Doğrusal programlama çözümü, karar değişkenleri üzerindeki integralite kısıtlarını göz ardı eder ve amaç fonksiyonu için bir alt sınır sağlar. Tamsayılı doğrusal programlama problemi, gelişmiş bir Simpleks çözücü kullanılarak çözülebilir. Karar değişkenlerinden biri seçilerek ve mevcut değeri hem yukarı hem de aşağı

yuvarlanarak tamsayı olmaya zorlanarak bir dal ve sınır ağacı oluşturulur ve böylece iki dal elde edilir. Düğümler, tüm karar değişkenleri integral olana kadar daha fazla karar değişkeni üzerinde integralliğe zorlanarak genişletilir. İntegralliği zorlamak sadece maliyeti veya amaç fonksiyonu değerini artırdığından, daha iyi bir çözüm zaten bulunmuşsa bir düğümün daha fazla araştırılmasına gerek yoktur. Bu teknik yalnızca n ve p 'nin küçük değerleri için uygulanabilir ve konum analistleri genellikle optimum çözüme yakın çözümler elde etmek için sezgisel yöntemlere güvenirlir.

p -medyan doğrusal tamsayılı programlamayı çözmek için kullanılan matematiksel sezgisel Lagrangian Gevşetme yöntemidir. Lagrangian Gevşetme (Fisher, 2004; Simonis, 2006; Lemaréchal, 2001), Lagrangian dual problemi oluşturmak için bazı kısıtlamaları gevşetip yerine amaç fonksiyonuna ekleyerek tamsayılı programlama problemlerini yaklaşık olarak çözmek için kullanılan bir yöntemidir. Bu, Lagrangian dual probleminin Lagrangian çarpanları göz önüne alındığında çözülmesi çok daha basit olacak şekilde gerçekleştirilir. Dual problemin çözümü, orijinal daha kısıtlı minimizasyon probleminin bir alt sınırıdır. Sınırlar, Lagrange çarpanlarının her iterasyonda güncellenmesiyle iyileştirilir.

Lagrangian Gevşetme yöntemleri özellikle p -medyan problemi için çeşitli araştırmalarda önerilmiştir (Rosing vd., 1999; Daskin, 1997). Kısıt 1 tarafından tanımlanan kısıtlar kümesinin ya da Kısıt 3 tarafından tanımlanan kısıtlar kümesinin gevşetildiği formülasyonların işe yaradığı ve optimuma yakın çözümler ürettiği gösterilmiştir. Daskin'in Lagrangian Gevşetmesi, küçük ölçekli problemleri ($n < 300$) çözmek için Sitation adlı ücretsiz indirilebilir bir yazılım paketi olarak mevcuttur (Daskin ve Maass, 2015). Mesafe ve kapsama alanı tabanlı konum tahsis problemlerini çözmek için kullanılabilir. Yazılım, karşılaştırma amacıyla Lagrangian Relaxation yönteminin yanı sıra miyop, değişim, değişken komşuluk arama ve genetik algoritmaların uygulamalarını içerir.

Senne ve Lorena (2000), Lagrangean sezgisel yöntemlerinde alt gradyan optimizasyonunun kullanılmasıyla elde edilen Lagrangian çarpanlarının salınımlı değerlerini stabilize etmek için alternatif bir gevşetme yöntemi olan Lagrangean/Vekil gevşetmelerini önermektedir. Lagrangean/surrogate gevşetmelerinin çok kararlı olduğunu ve Lagrangean (tek başına) sezgisel yöntemlerle aynı iyi sonuçlara daha az hesaplama süresiyle ulaştığını göstermişlerdir. Bu yöntem, yanlış adım boyutlarını düzeltmek için ilk iterasyonlarda yerel arama kullanarak alt gradyan yöntemini

hızlandırır. Senne ve arkadaşları (Senne vd., 2005) büyük ölçekli p-medyan problemlerini çözme süresini daha da iyileştirmek için Lagrangean/Surrogate Relaxation ile sütun oluşturma tekniğini kullanmaktadır. Algoritma, her bir sütunun bir hedefin bir tesise atanmasını tanımladığı bir başlangıç sütun havuzu ile başlar. Ardından, çözüme eklenmesi gereken bir sütunu seçmek için yerel bir Lagrangean / vekil maksimizasyon dual problemi çözülür. Çözüm, bir dallanma stratejisi ve bir doğrusal tam sayılı programlama çözücüsü kullanılarak uygulanabilir hale getirilir. Makalede, Lagrangian Gevşetme yöntemini kullanarak p-medyan problemlerini çözmek için gereken sürenin n/p değeri arttıkça arttığı gözlemlenmiştir (Christofides ve Beasley, 1982).

Avella ve arkadaşları, çözümü daha da iyileştirmek için alt gradyan sütun üretimi, çok yüzölçümlü teoriden kesme düzlemleri tekniği (çekirdek sezgisel) ve bir toplama sezgiselini birleştirerek bellek gereksinimlerini iyileştirmektedir (Avella vd., 2012). Kesme düzlemi tekniği (Avella v., 2007), büyük ölçekli problemler için dallanma ağacının boyutunu kontrol etmek için kullanılır. Toplama sezgiseli, p 'nin daha küçük değerleri için daha iyi çözümler elde etmek amacıyla önerilen ekstra bir adımdır. Yazarlar ilk olarak çekirdek sezgiselini kullanarak büyük bir p-medyan problemini (n , 5000) çözerek hedefler için temsili noktalar oluştururlar. Orijinal problem ($5000, p$) değerine indirgenir ve çekirdek sezgisel kullanılarak çözülür. Bu işlem, Lagrangean Gevşetme tekniklerini kullanmadan önce n/p değerini azaltmak için gereklidir.

Değişim tabanlı iyileştirme algoritmalarının tüm sezgisel algoritmalar arasında en iyi sonuçları verdiği gösterilmiştir. Teitz ve Bart, 1968 yılında orijinal değişim veya değişim algoritmasını önermiştir (Teitz ve Bart, 1968). Değişim sayısını azaltmak için orijinal algoritmaya (Hızlı Değişim) yapılan değişiklikler araştırmacılar (Goodchild ve Noronha, 1983; Hansen ve Mladenović, 1997; Whitaker, 1983) tarafından önerilmiştir. Halihazırda çözümde bulunan tesisler, çözümde bulunmayan tesislerle birer birer değiştirilir ve bu değişimden sonraki çözüm değerlendirilir. Her yinelemede maliyet fonksiyonunda maksimum düşüşle sonuçlanan değişim seçilir. Her bir iterasyon, n toplam varış noktası sayısı ve p gerekli tesis sayısı olmak üzere, en optimal iterasyon için bile $(p)(n - p)$ amaç fonksiyonu değerlendirmesini içerir.

Al Khedhairi (2008), çalışmasında algoritmanın Teitz ve Bart ve Hızlı Değişim algoritmaları kadar iyi sonuçlar ürettiği, ancak önemli ölçüde daha az sayıda değişimle elde edildiği gösterilmiştir. Ağgözlü Ekleme (Kuehn ve Hamburger, 1963), p-medyan

problemi için en yaygın yapı sezgiselidir. Hiçbir tesis olmadan başlayarak, maliyet fonksiyonunda maksimum düşüşe yol açan hedef, her iterasyonda mevcut çözüme eklenir.

Literatürde, sezgisel algoritmalar (özellikle değişim algoritması) tarafından elde edilen çözümleri maliyet fonksiyonunun kalitesi açısından daha da iyileştirmek ve/veya büyük ölçekli problemler için yürütme süresini azaltmak için meta sezgisel algoritmalar da önerilmiştir. Bu küresel arama metodolojilerinden bazıları aşağıdaki paragraflarda kısaca açıklanmaktadır.

Rosing ve diğerleri (1999), Teitz ve Bart algoritması tarafından elde edilen çözümleri iyileştirmek için değişim algoritmasının "alfa", "beta" ve "gama" aşamalarında tekrar tekrar kullanılmasını önermektedir. Alfa aşamasında, Teitz ve Bart Algoritmasının birden fazla çalışmasından elde edilen iyi çözümler toplanır ve bu çözümlerdeki tüm tesislerin birleşimi, tüm n tesis yerine bir sonraki aşama için yeni aday kümesi olarak ele alınır. Bir sonraki aşamada, "2-opt" veya 2 tesis değişimi ve ardından gama aşamasında tek bir tesis değişimi kullanılır. Bu tür sezgisel iyileştirme sürecine Sezgisel Konsantrasyon adı verilir.

Değişim algoritmalarına dayalı bir tabu arama metodolojisi Rolland ve diğerlerinin (1997) çalışmasında sunulmuştur. Çalışmanın amacı, değişim algoritmasına kıyasla zaman ve maliyeti iyileştirmektir. Bu çalışmada yazarlar, her iterasyonda çözümdeki bir tesisi kaldırarak ve/veya çözümde olmayan bir tesisi ekleyerek mevcut çözümü iyileştirmeyi önermektedir. Çıkarılan bir tesisin yerine yenisi eklenmeyebilir

Dolayısıyla, bu yöntemde yeni bir tesis tarafından ara çözüm uygulanamaz olabilir (tesis sayısı $\neq p$). Çözümün yerel bir optimumda sıkışıp kalmadığından emin olmak için bu uygunsuzluk tolere edilir. Bir çözüme eklenen bir tesis "tabu" olarak işaretlenir ve çözüme eklenemez.

Bu tesisin dahil edilmesi en iyi amaç fonksiyonu değerini vermediği sürece tabu görev süresi için tekrar eklenir. Daha fazla çeşitlendirme, maliyet fonksiyonunun bir varış noktasının çözüme eklenme sayısı ile orantılı bir değerle cezalandırılmasıyla teşvik edilir. Süreç belirli sayıda iterasyon için tekrarlanır. Ceza maliyeti, maksimum iterasyon sayısı ve tabu görev süresi kullanıcı tanımlı parametrelerdir. Çalışma, algoritmanın, değişim algoritması ve KBDA ile karşılaştırıldığında, maliyet fonksiyonu değeri açısından biraz daha iyi veya benzer kalitede çözümler ürettiğini ve

zaman açısından gösterilen örnekler için KBDA'dan biraz daha iyi olduğunu göstermektedir. Çalışma, algoritmanın girdi parametrelerine duyarlılığı hakkında yorum yapmamaktadır.

Hansen ve Mladenovic (1997) p-medyan problemi için değişken komşuluk araması meta-sezgiselini tanıtmıştır. Yazarlar değişken komşuluk aramasını mevcut çözümün iki şekilde değiştirildiği bir sallama süreci olarak tanımlamaktadır: birincisi, yerel komşulukları değerlendirmek için çok az; ikincisi ise çeşitlendirme sağlamak için büyük ölçüde. İki çözüm kümesi arasındaki fark, iki kümede farklı olan tesislerin sayısıyla ölçülür, dolayısıyla bu fark p'yi aşamaz. Süreç, $k = 1$ 'den başlayarak mevcut çözümdeki k tesisi çözümde olmayan tesislerle rastgele değiştirilerek mevcut çözümü pertürize etmeyi içerir. Pertürize edilmiş konfigürasyon başlangıç çözümü olarak kullanılarak, çözüm Hızlı Değişim algoritması kullanılarak iyileştirilir. Pertürbasyon daha iyi bir çözüme yol açarsa, bu konfigürasyon mevcut çözüm olarak ayarlanır, ardından k 1'e sıfırlanır ve işlem tekrarlanır, aksi takdirde k 1 artırılır. Bu işlem belirli sayıda iterasyon için tekrarlanır.

Benzetimli tavlama, kombinatorial optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan popüler bir alternatif meta sezgisel tekniktir. P-medyan ortamında, mevcut çözüm, çözümdeki bir tesis çözümde olmayan bir tesisle değiştirilerek değiştirilir, takas daha iyi bir çözüm vermezse, $p = e(-\Delta/T)$ olasılığı ile mevcut çözüm olarak kabul edilir, burada Δ maliyet fonksiyonundaki artış ve T zamanla azalan kullanıcı tarafından belirlenen bir kontrol oranıdır. Chiyoshi ve Galvao (2000) tesislerin rastgele değiştirilmesinin benzetimli tavlama için iyi sonuçlar vermediğini göstermiştir. KBDA'nın küresel değişim adımına dayalı bir takas yapılmasını önermektedirler, yani çözümdeki her tesis için onun yerini alabilecek en iyi tesis seçilmektedir. Bu takas çözümü iyileştirirse otomatik olarak seçilir, aksi takdirde tavlama olasılığı ile kabul edilir. Tavlama sıcaklığı için, algoritmanın başında kötü bir çözümün (yokuş yukarı hareket) kabul edilme olasılığının daha yüksek olmasına ve sona doğru yokuş yukarı hareketler için daha düşük olasılıklara izin veren özel bir formül sağlarlar. Bu algoritmanın yürütme süreleri, benzer küresel değişim adımı nedeniyle KBDA'dan daha kötü veya karşılaştırılabilir. Sonuçların örnek veri kümeleri için optimal veya optimale yakın olduğu, ancak tavlama sıcaklığı parametresine ve maksimum iterasyon sayısına bağlı olduğu gösterilmiştir. Başka bir çalışmada Al Khedhairi (2008), global takaslar yerine rastgele takasların aynı veri kümeleri üzerinde benzer (ve daha hızlı)

sonuçlar ürettiğini göstermiştir. Bununla birlikte, her iterasyonda sıcaklığı düşürme oranı olarak 1,25'e eşit sabit bir değer kullanmışlardır. Bu değer deneysel olarak belirlenmiştir.

Literatürde p-medyan problemini çözmek için Genetik Algoritma tabanlı çözümler de önerilmiştir. Bunlardan en çok atıf alan ve başarılı olanı Alp ve diğerlerinin (2003) araştırmasında açıklanmıştır. Algoritma, girdi parametreleri olarak iterasyon sayısını ve popülasyon büyüklüğünü (k) gerektirmektedir. Algoritma k uygulanabilir çözümle başlar ve daha sonra bu nesilden iyi çözümlerin bir kısmı bir sonraki nesilde tutulur. Yeni çözümler, iki ana çözüm üzerinde çaprazlama operatörü gerçekleştirilerek üretilir. Her bir çözüm p uzunluğunda bir dizi ile temsil edilir ve her bir dizi indeksi tesis olarak seçilen hedefin hedef kimliğini saklar. Çaprazlama sonucu, ilk ebeveyndeki çaprazlama bölgesinden önceki bu tesis id'lerinin ve ikinci ebeveyndeki çaprazlama bölgesinden sonraki tesis id'lerinin birleşimidir. O yayının uygunsuzluğu, açgözlü silme kullanılarak düzeltilir. Yazarlar, mutasyon operatörünün kendileri için çözümü iyileştirmediğini ve bu nedenle gereksiz olduğunu öne sürmektedir. Sonuçları Chiyoshi-Galvao benzetimli tavlama algoritması, Sitation Package'dan üç sezgisel yöntem ve sezgisel konsantrasyon algoritması ile karşılaştırmışlardır. Genetik algoritmanın rekabetçi olduğunu, çoğu sezgisel yöntemden daha hızlı olduğunu ancak maliyet fonksiyonu değerinin o kadar düşük olmadığını göstermişlerdir.

Resende ve Werneck (2004), değişim tabanlı veya yerel arama algoritmalarından elde edilen çözümleri iyileştirmek için yerel arama algoritmalarıyla birlikte GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) tekniklerinin kullanılmasını önermektedir. Algoritmanın her iterasyonunda, Teitz ve Bart'ın değişim algoritmasının bir varyantı uygulanarak yeni bir çözüm üretilir. Bu yeni çözüm, havuz boşsa doğrudan "seçkin" çözümler havuzuna eklenir, aksi takdirde yol-bağlantısı kullanılarak başka bir seçkin çözümle birleştirilir. Yol- bağlantısı süreci, S1'deki bir tesisi S2'deki bir tesisle değiştirerek bir S1 çözümünü diğer S2 çözümüne dönüştürür. Eğer yol-bağlantısı ara takas aşamalarında S1 veya S2'den daha iyi bir çözümle sonuçlanırsa, bu çözüm elit havuzuna eklenir, aksi takdirde S1 veya S2'den biri eşit olasılıkla elit havuzuna eklenir. Bu süreç sabit sayıda iterasyon için tekrarlanır. Optimizasyon sonrası adım, yeni bir elit çözüm nesli oluşturmak için elit havuzundaki tüm çözüm çiftleri arasında yol bağlantılarını içerir. Bu süreç, en iyi çözümün önceki nesillerde bulunan en iyi çözümden daha iyi olmadığı bir nesil oluşturana kadar tekrarlanır.

Algoritma optimum veya optimuma yakın çözümler üretir ancak büyük ölçekli problemler için zaman açısından iyi performans göstermez.

Yukarıda açıklanan meta sezgisel algoritmaların çoğu, yerel arama veya değişim algoritmalarından elde edilen çözümleri maliyet fonksiyonu değeri açısından iyileştirmeye odaklanmaktadır. Ancak, klasik değişim sezgisellerine kıyasla maliyet fonksiyonu değeri üzerindeki kazanımlar önemli değildir. Öte yandan, çözümleri hesaplamak için gereken süre çok daha yüksektir. Ayrıca, tüm bu algoritmalar en az bir girdi parametresi ve kullanıcı tarafından belirlenmiş bir durdurma koşulu gerektirir. Bu meta sezgiseller için durdurma koşulu olarak genellikle maksimum iterasyon sayısı kullanılır. Maksimum iterasyon sayısının daha düşük bir değeri iyi bir çözüm vermeyebilir ve daha yüksek bir değer zaman açısından engelleyici olur. Bu girdi parametreleri problemin ölçeği ile de değişebilir. Giriş parametrelerine olan bu bağımlılık, bu algoritmaları konum analistleri ve coğrafi bilgi sistemi uzmanları tarafından kullanım için daha az erişilebilir ve güvenilir hale getirmektedir. Dahası, bu tezde değişim algoritmalarının oldukça kararlı olduğunu ve optimal çözümlere çok yakın çözümler ürettiğini gösteriyoruz. Aynı girdi üzerinde birden fazla çalıştırma, maliyet fonksiyonu değeri açısından birbirine çok yakın çözümler vermektedir (çözümleri hesaplamak için gereken süre değişebilir). Bu nedenle, değişim sezgiselini geliştirmek için ek yaklaşımlar nadiren zaman ayırmaya değerlidir. Değişim algoritmalarının en büyük sınırlaması, iyi ölçeklenmemeleri ve orta ölçekli veya büyük ölçekli problemler için zaman kısıtlayıcı hale gelmeleridir. Bu sınırlama meta sezgisel ve matematiksel Lagrangian gevşemesi ile ilgili yaklaşımlar için de geçerlidir. Lagrangian Rahatlama yöntemlerinin büyük ölçekli problemler için biraz daha hızlı olduğu gösterilmiş olsa da, bellek gereksinimleri açısından verimli değildirler.

Bu p-medyan sezgisel ve meta sezgisel algoritmalar birtakım araştırmalarda incelenmiştir (Daskin ve Maass, 2015; Cooper, 1964; Hansen ve Mladenović, 1997) ancak ölçeğin ve hedeflerin uzamsal dağılımlarının bu algoritmaların performansı üzerindeki etkisi ve problemin girdi parametrelerine dayalı sonuçların kapsamlı bir karşılaştırması mevcut literatürde eksiktir. Medyan probleminin ölçeğini hem hedef sayısı (n) hem de kaynak sayısı (p) oluşturmaktadır. Etkiyi incelemek için klasik sezgisel yöntemleri, hedeflerin ve problem boyutlarının bilinen uzamsal dağılımlarına sahip sentetik veri kümeleri üzerinde karşılaştırıyoruz. Meta sezgisel algoritmaları, karmaşıklıkları, girdi parametrelerine karşı yüksek hassasiyetleri ve sezgisel

algoritmalarla göre zaman kazancı sağlamamaları nedeniyle bu çalışmanın dışında tutuyoruz. Talep noktalarının mekânsal dağılımı Lagrangian Gevşetme tabanlı arama tekniklerini matematiksel doğaları nedeniyle etkilememektedir, bu nedenle bu yöntemler bu çalışmaya dahil edilmemiştir. Ayrıca, Lagrangian Relaxation teknikleri için ölçeğin etkisi Christofides ve Beasley'in (1982) araştırmasında zaten belgelenmiştir (Senne vd., 2005).

p-medyan problemlerini çözmek için mevcut algoritmaların incelenmesine dayanarak, sadece birkaç çalışmanın hedef sayısı 1.000'den fazla olan bir problemi çözmek için sonuçlar gösterdiğini gözlemliyoruz. Aşağıdaki tablo, bu mevcut çalışmalarda çözülen en büyük problemlerin bir listesini ve bunları çözmek için gereken süreyi göstermektedir. Bu alanda iyi atıfta bulunulan tüm makalelerin sonuçları dahil edilmeye çalışılmıştır. Tablo, hesaplama kaynakları ve uygulama farklılıkları gibi değişkenler nedeniyle hesaplama süresini karşılaştırma amacı taşımamaktadır. Tablo, $n > 5.000$ ve $p > 1.000$ olan gerçekten büyük ölçekli problemleri makul bir sürede çözebilen algoritmaların eksikliğini vurgulamaktadır. Avella ve diğerlerinin (2012) araştırmasında gösterilen örnekte n değeri büyük olsa da, p değeri nispeten küçüktür, ayrıca problem tam bir çizge formülasyonu için çözülmemiştir, dolayısıyla tesisler arasındaki ikili değişimlerin sayısı tam ağ formülasyonundan daha azdır. Karşılaştırmalı klasik sezgisel çalışmamızda, hesaplama süresinin hem n hem de p 'deki artışlarla birlikte arttığını gösterdik. Ayrıca, klasik sezgisel yöntemler $n > 3.000$ ve $p > 500$ olan problemler için zaman açısından etkisiz olma eğilimindedir. Bu nedenle, büyük ölçekli problemlerin üstesinden gelebilecek yeni algoritmalarla ihtiyaç vardır.

Tablo 4.1. Literatürde mevcut sezgisel veya meta sezgisel çözümler kullanılarak çözülmüş p-medyan problemleri.

Problem Ölçeği (n, p*)	Yöntem	Çalışma	Zaman (saniye cinsinden)
(500, 30)	KBDA	Densham ve Rushton, 1992	865
(500, 20)	Tabu Arama	Rolland vd., 1997	446.56
(3038, 500)	Değişken Komşuluk Araması	Hansen ve Mladenović, 1997	21,357
(300, 35)	Sezgisel Konsantrasyon	Rosing vd., 1999	102.4
(900, 90)	Benzetimli Tavlama	Senne ve Lorena, 2000	627.6
(900, 300)	Lagrange Gevşetmesi	Senne ve Lorena, 2000	3212.46
(1000, 333)	Genetik Algoritma	Alp vd., 2003	444.3
(5934, 1500)	GRASP ve Path-Relinking	Resende ve Werneck, 2004	2230.3
(900, 300)	Kolon Üretimi (Lagrange Gevşetmesi)	Senne vd., 2005	1,390.87
(900, 90)	Benzetimli Tavlama	Al-khedhairi, 2008	248.49

Tablo 4.1. (Devamı) Literatürde mevcut sezgisel veya meta sezgisel çözümler kullanılarak çözülmüş p-medyan problemleri.

(89600, 64)	Aggregation Heuristic	Avella vd., 2012	5,779
(900, 90)	Lagrange Gevşetmesi	Daskin ve Maass, 2015	32.89

Tablo 4.1. de literatürde yer alan sezgisel ya da meta sezgisel çözümler kullanılarak çözülmüş p-medyan problemlerine ait çalışmalar gösterilmiştir. Tabloda yer alan n bölgedeki talep noktası sayısı ve p seçilecek tesis sayısıdır.

4.1.2.2. Literatürde tesis yeri problemi ve yer tahsis problemi

Tesis yeri problemi (TYP), Alfred Webber'in bir üçgende o nokta ile diğer köşeleri arasındaki toplam talep ağırlıklı mesafeyi en aza indiren noktayı bulmayı tartıştığı 1909 yılına kadar uzanmaktadır (Reese, 2006). TYP, son birkaç on yılda yaygın olarak tartışılan en popüler problemlerden biridir (Farahani vd., 2009). Genel olarak, TYP'yi çözenin amacı, bir dizi talep noktasının talebini karşılamakla ilişkili toplam ağırlıklı maliyetleri en aza indirmek için tek bir tesisin veya bir dizi tesisin en iyi konumunu bulmaktır (Farahani vd., 2009).

TYP, mutlak TYP ya da ağ TYP olabilir. Ağ TYP'lerinde amaç, ilgili ağdaki düğümlerin bir alt kümesinde bulunan talep noktalarının talebini karşılamakla ilişkili toplam ağırlıklı maliyeti en aza indiren mevcut bir düğüm kümesinden en iyi düğümü bulmaktır (Farahani vd., 2009).

Tek amaçlı TYP, Tansel ve diğerlerine (1983) göre üç tip problem olarak sınıflandırılmaktadır: medyan problemi (1-medyan ve p-medyan problemleri), kaplama problemi ve merkez problemi. 1-medyan, minisum konum tahsis problemleri olarak adlandırılan ve amacın bir dizi talep noktasını maliyetlerin toplamını veya ağırlıklı toplamını minimize eden bir konuma tahsis etmek olduğu bir sınıfa aittir (Reese, 2006). Tansel ve diğerleri (1983) Hakimi'nin (1965) genel bir ağ üzerinde 1-medyan problemi için ilk formülasyonu ve çözümü geliştirdiğini ve ağın düğümleri üzerinde optimal çözümlerden en az birinin (medyan noktası) var olduğunu kanıtladığını belirtmiştir.

Goldman (1971) asiklik ağlar için Hakimi'nin (1965) önerdiği çözümünden daha verimli bir algoritma önermiştir. Zelinka (1968) ağırlıksız ağaçlarda merkez ve medyanın aynı düğüm üzerinde çakıştığını kanıtlamış ve Kariv ve Hakimi (1979) ağırlıklı ağaçlar için bir genelleme önermiştir (Tansel vd., 1983).

p-medyan problemi, 1-medyan probleminin bir genellemesi olup, amaç, ağ düğümlerinin bir alt kümesinde bulunan bir dizi talep noktasının talebini karşılamak için toplam ağırlıklı maliyeti en aza indiren bir ağın p-medyan noktaları kümesini bulmaktır (Reese, 2006). Bir ağdaki p-medyan problemi için bir formülasyon ve çözüm Hakimi (1965) tarafından önerilmiş ve en az bir optimal çözümün (medyan noktaları) ağ düğümlerinde yer aldığını kanıtlamıştır (Reese, 2006). Kariv ve Hakimi (1979) p- medyan probleminin NP-zor bir problem olduğunu kanıtlamıştır. Bununla birlikte, ağaç ağları için verimli algoritmaların bulunabileceğini de göstermişlerdir. P-medyan problemi NP-zor bir problem olduğundan, bu problemi zaman açısından verimli çözüm yöntemleri sağlayarak çözmek için çok sayıda sezgisel ve meta-sezgisel literatür bulunmaktadır.

Öte yandan, kapsama probleminin amacı, talep noktalarının veya hizmet verilen noktaların her biri arasındaki mesafenin kapsama mesafesi olarak adlandırılan önceden belirlenmiş bir mesafeye eşit veya daha az olacağı şekilde bir tesisin veya bir dizi tesisin en iyi konumunu bulmaktır (Farahani vd., 2012). Bu modelin gerçek dünyadaki uygulamaları arasında acil durumlarda vatandaşlara hizmet vermek için en iyi konumu bulmak (Farahani vd., 2012) veya belirli bir alandaki müşterilere uygun bir yürüme veya sürüş mesafesinde olmak yer almaktadır. Örtme problemi, küme örtme ve maksimal örtme problemleri olarak sınıflandırılır. Küme kapsama problemi, bir dizi talep noktasına hizmet etmek için kapsama mesafesi içindeki bir dizi tesis için en iyi konumları bulur.

Buna karşılık, maksimal kapsama problemi, kapsama mesafesi kısıtını ihlal etmeden önceden belirlenmiş sayıda tesisle hizmet verilen müşterilerin maksimize edilmesini amaçlar.

Son olarak, merkez problemi, herhangi bir talep noktası ile yerleştirilecek tesislerden herhangi biri arasındaki maksimum mesafe olan kapsama mesafesini en aza indirme amacına sahiptir. Merkez probleminin iki türü vardır: Birincisi, tesislerin yalnızca ağın köşelerine yerleştirilebildiği tepe merkezi problemi. İkincisi, tesislerin ilgilenilen alanın herhangi bir yerinde (yani kenarlarda veya düğümlerde) konumlandırılabilirdiği mutlak merkez problemidir (Owen ve Daskin, 1998).

Bastı (2012) yaptığı çalışmada tesis yerleşim probleminin p-medyan çözümü için sezgisel ve metasezgisel yöntemlerle çözümünü incelemiş, metasezgisel yöntem çözümlerinin sıkça kullanıldığına dikkat çekmiştir.

Özçakar ve Bastı (2012) yaptığı çalışmada sürü zekası tabanlı meta sezgisel yöntem olan parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması kullanarak aldığı sonuçları ORLIB p-medyan çalışmaları ile karşılaştırıldığında PSO algoritmasının Rosing ve arkadaşlarının geliştirdiği GAMMA sezgiseli dışındaki diğer yöntemlerden daha iyi olduğunu iddia etmiştir. Durak ve Yıldız (2015) yaptığı çalışmada bir gıda firmasının Düzce ilindeki tesis yerini dikkate alarak Excel programının Analitik Server Platform çözücüsüyle optimum sayıda depo yeri sayısını tespit ettiğini göstermiştir.

Demiral (2018) yaptığı çalışmada öncelikli çok amaçlı programlama modelinin literatürde yer alan p-medyan çok amaçlı programlama modeline alternatif olabileceğini iddia etmiştir.

Hazırcı ve Şahin (2019) yaptığı çalışmada afet sonrası kurulması gereken barınakların geçici iskanlarının belirlenmesi için p-medyan algoritmasını kullanmış olup optimum altı adet bölge belirlediğini iddia etmiştir.

Soner Kara ve Yurdakul (2021) tarafından yapılan çalışmada Gebze-Darica metro hattı projesindeki istasyonların sayısını ve yerlerini p-medyan algoritması ile optimum şekilde belirlendiği iddia edilmiştir.

4.2. Kümeleme Metodu

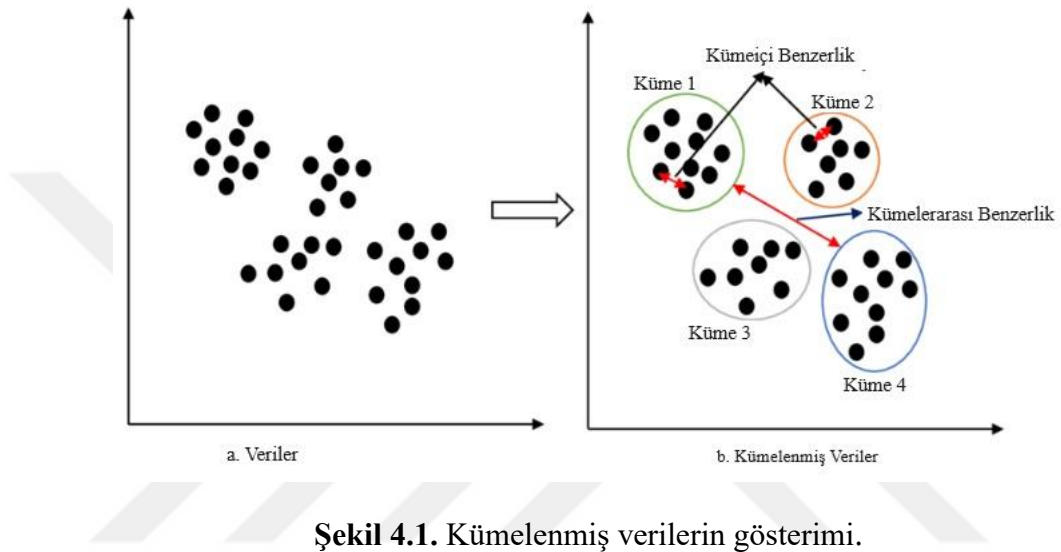
Kümeleme analizi, bir veri kümesinin farklılıklar içerip içermediğini belirlemek ve bu grupları benzerliklerine göre gruplamak için kullanılan istatistiksel bir metottur. Verilerin gruplanması ve tanımlanmasında sıkça kullanılan kümeleme analizi, homojen ya da heterojen gruplardaki verileri uygun yöntemlerle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

Çok değişkenli diğer istatistik yöntemlerinde önemli bir yeri olan homojenlik, doğrusallık ve normallik varsayımları kümeleme yönteminde prensipte kalmakta ve uzaklık değerlerinin normal dağılım analizi yeterli görülmektedir (Çelik ve ark.,2004).

Kümeleme analizinin amacı, sınıflandırılmamış verileri benzerliklerine göre gruplamak ve amaca uygun özet bilgiler elde edilmesine yardımcı olmaktır (Tatlıdil, 1996).

Kümeleme analizi metodunda 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 ölçüler ve korelasyona dayalı ölçülerdir (Junhagen, 2000).

Tekin (2015) yaptığı çalışmada çok değişkenli istatistik yöntemlerinden kümeleme analizi yöntemini kullanarak Türkiye'nin 81 ilini optimum sayıda küme ile sağlık göstergeleri parametresine göre gruplamıştır.



Şekil 4.1. Kümelenmiş verilerin gösterimi.

Şekil 4.1. de görüldüğü gibi benzerlikleri kullanılan kümelenmiş veriler analiz için doğru bilgiye erişimi sağlar.

4.3. Araç Rotalama Problemi

Araç rotalama problemini (ARP) çözmenin amacı, yolculukla ilişkili toplam seyahat maliyetlerini (örneğin mesafe, seyahat süresi veya yakıt maliyetleri) en aza indiren bir amaç fonksiyonu ile her bir varış noktasını bir kez ziyaret ederek tek bir kaynağı bir dizi varış noktasına bağlayan en uygun rotaları bulmaktır (Pillac vd., 2013). Dantzig ve Ramser (1959) ARP'nin ilk örneğini, bir yığın terminalinden bilinen bir dizi benzin istasyonuna benzin teslim etmek için en uygun rotaları bulmak üzere formüle etmiştir (Pillac vd., 2013).

ARP, çalışmada yer alan hususlara bağlı olarak çeşitli türlere sahiptir.

Teslimatın belirli bir süre içinde gerçekleşmesi gerekiyorsa, buna zaman pencereli ARP (ARPZP) denir. ARP'de kapasite dikkate alınır, buna kapasiteli ARP (KARP) denir.

Diğer bir örnek ise teslim alma ve teslim etme ile ARP'dir (Pillac vd., 2013). ARP, problemdeki parametrelerin türüne bağlı olarak statik veya dinamik olarak da sınıflandırılabilir. Parametreler zaman içinde değişmiyorsa statik bir problem, dinamik ARP'de ise parametreler zamanla değişir (Pillac vd., 2013). ARP problemlerinin türleri geniş ve dikkate alınan faktörlere ve çalışmanın amacına göre değişir.

Konum rotalama problemi (KRP) , adından da anlaşılacağı üzere, konum ve araç rotalama olmak üzere iki kararı aynı anda vermeyi amaçlamaktadır. Bu kararları tek bir problemde birleştirmenin amacı, konum kararının rotalama kararından bağımsız olarak verilmesi durumunda optimal olmayan sonuçlara yol açabilmesidir (Drexl ve Schneider, 2015). Matematiksel modelleme perspektifinden bakıldığında, tesis konumu ve araç rotalama kararları birbirine bağlı olarak verilmektedir (Drexl ve Schneider, 2015).

KRP NP-zor bir problem, çünkü TYP ve ARP gibi iki NP-zor problemi birleştirmektedir. Chan ve Hearn (1977) ilk deterministik KRP'yi formüle etmiş ve optimal olarak çözmüştür (Nagy ve Salhi, 2007). Chan ve Hearn (1977) KRP'yi doğrusal mesafelere sahip bir düzlem üzerinde çözerek optimal çözümünü kolaylaştırmışlardır (Nagy ve Salhi, 2007). Chan ve Francis (1976) ise KRP'yi bir ağaç grafiği üzerinde çözmüştür (Nagy ve Salhi, 2007). Bu iki çalışma tek bir tesisin konumlandırılmasını dikkate alırken, Kolen (1985) birden fazla tesisin konumlandırılmasını dikkate alarak KRP'yi genelleştirmiştir (Nagy ve Salhi, 2007).

Bu çalışmada yer alan senaryoların analizinde bulunan ARP problemini çözümünde Yerel Arama Destekli Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması kullanılmıştır.

4.3.1. Yerel arama destekli Clarke ve Wright tasarruf algoritması

ARP çözümüne yönelik en önde gelen ve popüler sezgisel algoritmalarından biri Clarke-Wright tasarruf algoritmasıdır. Bu algoritma, çözüm hızı, esnekliği, çeşitli operasyonel kısıtları ele alma yeteneği ve optimuma yakın çözümler üretme yeteneği nedeniyle yaygınlaşmıştır (Ballou, 1992; Jerabek vd., 2016). Bu yöntemin amaç fonksiyonu, tüm araçlar tarafından kat edilen toplam mesafeyi en aza indirmek ve dolaylı olarak

problemi tamamlamak için gereken araç sayısını en aza indirmektir. Bu yöntem, depoya geri dönmek yerine aynı yol üzerinde iki durak dahil ederek tasarrufları hesaplama çalışır ve her durak için tasarrufları değerlendirir (Clarke ve Wright, 1964). En büyük tasarruflar daha sonra aynı rotada birleştirilir ve bu süreç kısıtlar ihlal edilene veya iyileştirici bir çözüm bulunmayana kadar devam eder (Ballou, 1992). Ballou (1992), az sayıda kısıtın olduğu küçük problemlerde Clarke-Wright algoritmasının ortalama çözümlerinin optimal çözümün sadece yüzde 2 dışında olduğunu 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.

Clarke ve Wright algoritmasının paralel versiyonu aynı anda birden fazla Kapasiteli Araç Rotalama Problemi rotası geliştirirken, Clarke ve Wright algoritmasının seri versiyonu her seferinde bir rota geliştirir.

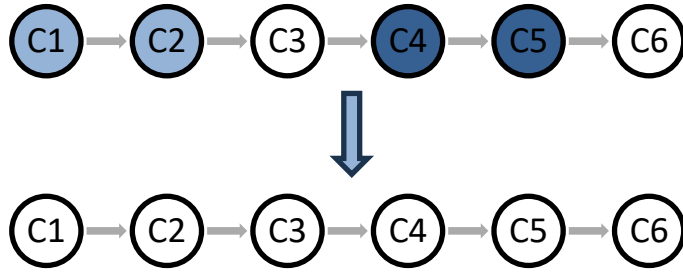
Birçok algoritmanın çözüm üstünlüğüne rağmen daha basit olan 2-opt, 3-opt ve Or-opt gibi yerel arama buluşsal yöntemler uygulama kolaylıkları ve iyi performansları sebebiyle popüler olmaya devam etmektedir. Bahsedilen bu buluşsal yöntemler bir alt program olarak algoritmaları güçlendirme amacıyla ARP gibi daha karmaşık problemleri iyileştirmek için kullanılmaktadır (Laporte ve Semet, 2002).

Optimizasyon problemlerini deneysel başarı ile birleştiren birkaç genel yaklaşımdan biri olan 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.

Komşuluk çözümleri oluşturmak için ters çevirme, yer değiştirme, ekleme, 2-opt ve 3-opt olmak üzere beş farklı yerel arama operatörü bulunmaktadır (Ercan Cömert, 2023).

Bu algoritma, turdan iki yolu kaldırır ve oluşan iki yeni alt turu yeniden birleştirir. Bu bağlantı işlemi sadece yeni tur daha kısa ise tekrarlanır. Şekil 4.2'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 (Ercan Cömert, 2023).



Şekil 4.2. 2-opt algoritmasının işleyişinin gösterimi (Ercan Cömert, 2023).

Sonucu güçlendirmek amacıyla bu çalışmadaki senaryo çözümlerinde kullanılan Clarke ve Wright tasarruf algoritmasına yerel arama yöntemlerinden olan 2-opt eklenmiştir.

5. SON ADIM TESLİMATI PROBLEMİ

Globalleşen dünyada gün geçtikçe zorlaşan rekabet koşulları nedeniyle firmaları, maliyetlerini azaltmaya zorlamaktadır. Bu çalışmada yurtdışında faaliyet gösteren bir e-ticaret firmasının en uygun son adım teslimatı stratejisini belirlemek için dört farklı senaryo ile belirlenmeye çalışılacaktır. Üç senaryo içinde aynı veri seti kullanılmıştır (müşteriler, talepler, incelenen dönem). Firmaya ait diğer tüm giderler karşılaştırma analizinin dışında tutulmuştur. Çalışmada 2019-2021 yıllarına ait sipariş verileri kullanılmıştır.

5.1. Senaryo 1

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 5.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Bölge ve ağırlığa göre taşıma maliyetleri (€).

Bölgeler	0-3 kg	3-7 kg	7-25 kg	25-50 kg	50-75 kg	75-100 kg
1	4,96	5,63	8,81	13,79	15,94	18,18
2	5,30	6,03	13,26	16,11	18,52	21,02
3	5,75	6,63	14,37	16,49	18,92	21,47
4	6,00	6,82	15,01	19,71	22,51	25,43
5	6,56	7,45	18,32	23,73	27,00	30,36
6	6,81	7,74	19,03	24,59	27,96	31,44

Mevcut durumda e-ticaret firması teslimatlarını Tablo 5.1'deki fiyatlara göre sağlamaktadır. Bölge 1 şehir merkezinde olup ürünün ağırlığı arttıkça taşıma maliyeti artmaktadır. Aynı zamanda şehir merkezinden uzaklaşıkça da taşıma maliyeti artmaktadır.

Senaryo 1'de taşıma maliyetlerinin %67 lik kısmını son adım teslimatı oluşturmaktadır. Firma artan rekabet koşulları sebebiyle lojistik maliyetlerini optimize

etmek istemektedir. Bu amaç doğrultusunda maliyetlerin büyük bir kısmı olan son adım teslimatında alternatif çözümler geliştirmiştir.

5.2. Senaryo 2

Mevcut duruma alternatif olarak ikinci senaryoda müşteri lokasyon verilerini kullanarak P-Medyan algoritması ile en uygun depo yerini belirlenmesi planlanmıştır. Belirlenen lokasyonda depo kiralanması, personel istihdamı, araç kiralanması ve belirlenen depodan teslimatları haftalık olarak sağlanması üzerine çalışılıp maliyet hesaplaması yapılacaktır.

5.3. Senaryo 3

Firmanın müşteri adres verileri incelendiğinde, ciroyu oluşturan siparişlerin %79,3'lük kısmının 1. ve 2. bölgeden geldiğini tespit edilmiştir. İkinci senaryodan farklı olarak üçüncü senaryoda Pareto Analizi ile sipariş yoğunluğunun çok olduğu 1. ve 2. bölgede bulunan müşteri verilerini kullanarak en uygun depo yeri belirlenecek ve bu bölgelere teslimat belirlenen depodan yapılacak şekilde planlanacaktır. Diğer bölgelere teslim edilmesi gereken teslimatların ise anlaşmalı olduğu lojistik firması üzerinden sağlayacağı hibrit bir model geliştirilecektir.

5.4. Senaryo 4

Dördüncü ve son senaryoda ise katılımlı model olan teslimat noktası modeli değerlendirilmek istenmektedir. Bu modelde 1.ve 2. bölgede bulunan adres veriler kümeleme algoritması kullanarak gruplanacak ve bu belirlenen kümelerin en uygun noktasında faaliyet gösteren mağazalar teslimat noktası olarak belirlenecektir. Üçüncü senaryoda belirlenen depo yerinden teslimat noktalarına haftalık teslimat sağlanması planlanacak olup müşterilerin siparişlerini bu noktalardan teslim alması beklenecektir. Bu modelde müşterilere her teslimat noktasından teslim aldıkları sipariş için 5 € hediye çeki ödemesi planlanmış olup teslimat noktalarına bir ücret ödenmemesi planlanmıştır.

Senaryolardaki farklar Tablo 5.2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Senaryolara göre belirlenmiş hizmetler.

Senaryolar	Lojistik Depo Hizmeti	Teslimat Hizmeti	Depo Kiralama ve Personel İstihdamı	Teslimat Noktası
1	Var	Var	Yok	Yok
2	Yok	Yok	Var	Yok
3	Yok	Var	Var	Yok
4	Yok	Var	Var	Var

Lojistik firmasından depolama hizmeti yalnızca senaryo 1 için planlanmıştır. Lojistik firması tarafından müşteri adresine teslimat hizmeti 1.,3. ve 4. senaryolar içerisinde planlanmış olup senaryo 2’de tüm teslimatlar müşteri adresine e-ticaret firması tarafından yapılacaktır. Senaryo 1’de lojistik firmasından depo hizmeti alınacak olup diğer senaryolar için belirlenmiş adreslerden depo kiralanacak ve ürünler bu depolarda tutulacaktır. Son olarak katılımlı teslimat metodu olan teslimat noktası yöntemi yalnızca senaryo 4’te bulunmaktadır.



6. SON ADIM TESLİMATI PROBLEMİNDE EN UYGUN STRATEJİNİN BELİRLENMESİ

Bu bölümde bir önceki bölümde belirlenen senaryoların matematiksel analizi anlatılacaktır.

6.1. Birinci Senaryo Analizi

Mevcut durum birinci senaryo olarak tanımlanmıştır. Bu senaryoda e-ticaret firması yerel depolama hizmeti ve nakliye hizmeti veren firma ile çalışmaktadır. Yapılan anlaşmaya göre depolama hizmeti bedeli 750 €/ay dır. Firma her ay sabit olarak bu miktarı ödemektedir.

Lojistik firması tarafından faaliyet gösterilen ülke 6 bölgeye ayrılmış ve bu bölgelere yapılan teslimatlar ürünlerinin ağırlıklarına göre Tablo 4.1’de gösterilen verilere göre fiyatlandırılmıştır.

Tablo 5.1’deki bölgelere ve ağırlıklara istinaden fiyat listesine göre 2019-2020-2021 yılında verilen siparişlere ait müşteri adres verileri ve sipariş edilen ürünler incelendiğinde toplam son adım teslimatı maliyeti 23.065,605 € olarak hesaplanmıştır. Birinci senaryoya ait toplam maliyet 50.065,61 € olup Tablo 6.1’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Birinci senaryoya ait maliyet kalemleri.

Depolama Süresi (ay)	36
Depolama Bedeli (aylık)	750,00 €
Toplam Depolama Maliyeti	27.000,00 €
Son Adım Teslimatı Maliyeti	23.065,61 €
Toplam Senaryo 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 bu senaryo için olmadığından toplam maliyet depolama maliyeti ve dağıtım maliyetinden oluşmaktadır.

6.2. İkinci Senaryo Analizi

Firma, ikinci 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. Ülkenin seçilen döneme ait asgari ücret miktarı aylık ortalama 350 €'dur.

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 6.2'de gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Birinci rotaya ait müşteri ve sipariş verileri.

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 6.3'de gösterilmiştir. Rotalama çözümü için VRP Solver yazılımı kullanılmıştır.

Tablo 6.3. Birinci rotaya ait veriler.

DURAK	SİPARİŞ SAYISI	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 6.3’de 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.

Yapılması planlanan 150 adet teslimata ilişkin oluşturulan rotalar neticesinde senaro 2 için rota bazında toplam gidilecek mesafe tablosu Tablo 6.4’de belirtilmiştir.

Tablo 6.4. Tüm teslimatlara ait mesafe tablosu.

Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)
Rota 1	5,38	Rota 31	50,25	Rota 61	16,05	Rota 91	70,35	Rota 121	37,5
Rota 2	130,5	Rota 32	58,35	Rota 62	23,7	Rota 92	141,75	Rota 122	140,25
Rota 3	9,6	Rota 33	12,9	Rota 63	55,35	Rota 93	69,15	Rota 123	83,4
Rota 4	7,2	Rota 34	100,35	Rota 64	100,95	Rota 94	144	Rota 124	17,4
Rota 5	11,7	Rota 35	105,75	Rota 65	114,75	Rota 95	129,3	Rota 125	96,15
Rota 6	52,65	Rota 36	13,5	Rota 66	115,8	Rota 96	193,2	Rota 126	54,6
Rota 7	11,1	Rota 37	69	Rota 67	115,35	Rota 97	223,2	Rota 127	54,3
Rota 8	89,25	Rota 38	54,6	Rota 68	167,25	Rota 98	177,6	Rota 128	41,4
Rota 9	47,55	Rota 39	64,05	Rota 69	161,25	Rota 99	65,55	Rota 129	10,65
Rota 10	20,4	Rota 40	18,3	Rota 70	126	Rota 100	77,85	Rota 130	40,65
Rota 11	8,55	Rota 41	42,3	Rota 71	160,95	Rota 101	143,55	Rota 131	44,25
Rota 12	54,3	Rota 42	77,7	Rota 72	134,1	Rota 102	155,25	Rota 132	73,05
Rota 13	16,35	Rota 43	13,95	Rota 73	151,35	Rota 103	82,5	Rota 133	37,35
Rota 14	10,65	Rota 44	94,5	Rota 74	17,25	Rota 104	37,5	Rota 134	24,15

Tablo 6.4.(Devamı) Tüm teslimatlara ait mesafe tablosu.

Rota 15	11,4	Rota 45	81,45	Rota 75	140,1	Rota 105	117	Rota 135	83,85
Rota 16	6,45	Rota 46	75,45	Rota 76	90,45	Rota 106	37,8	Rota 136	12,75
Rota 17	40,05	Rota 47	103,05	Rota 77	147,3	Rota 107	78,6	Rota 137	87,6
Rota 18	46,95	Rota 48	125,1	Rota 78	105,45	Rota 108	7,65	Rota 138	12,3
Rota 19	28,35	Rota 49	49,5	Rota 79	155,85	Rota 109	10,5	Rota 139	11,25
Rota 20	11,85	Rota 50	105	Rota 80	109,5	Rota 110	78,75	Rota 140	16,35
Rota 21	12,45	Rota 51	6,75	Rota 81	73,8	Rota 111	19,2	Rota 141	57,9
Rota 22	74,55	Rota 52	66,15	Rota 82	66,45	Rota 112	95,4	Rota 142	85,2
Rota 23	14,7	Rota 53	44,4	Rota 83	91,95	Rota 113	13,5	Rota 143	10,95
Rota 24	73,95	Rota 54	29,1	Rota 84	99,3	Rota 114	40,65	Rota 144	70,35
Rota 25	8,55	Rota 55	115,65	Rota 85	148,5	Rota 115	40,8	Rota 145	54,45
Rota 26	69	Rota 56	93	Rota 86	58,65	Rota 116	64,95	Rota 146	53,7
Rota 27	8,25	Rota 57	49,35	Rota 87	95,85	Rota 117	54,45	Rota 147	106,95
Rota 28	121,65	Rota 58	82,8	Rota 88	33,75	Rota 118	50,7	Rota 148	35,55
Rota 29	14,4	Rota 59	100,8	Rota 89	122,25	Rota 119	104,7	Rota 149	79,65
Rota 30	47,1	Rota 60	98,1	Rota 90	55,05	Rota 120	96,9	Rota 150	105,75

Tablo 6.4'deki verilere göre 150 farklı rota için kat edilen toplam yol mesafesi 10.382,23 mil dir. Bazı rotalar kapasite kısıtı sebebiyle birden fazla günde tamamlanmıştır.

İkinci senaryoya ait maliyetler Tablo 6.5'de gösterilmiştir.

Tablo 6.5. Senaryo 2'ye ait maliyetler.

MALİYET KALEMLERİ	SENARYO 2
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€

Tablo 6.5'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 2 ye ait toplam maliyet 29.920,54 Euro olarak hesaplanmıştır.

6.3. Üçüncü Senaryo Analizi

Müşterilerin adresleri altı adet bölgeye ayırarak incelediğinde, siparişlerin miktarları tablo 6.6'da gösterilmiştir.

Tablo 6.6. Bölgelere Göre Sipariş Miktarları.

Bölgeler	Sipariş Miktarı	Sipariş Oranı (%)
1	1544	50,7
2	880	28,9
3	189	6,2
4	165	5,4
5	178	5,8
6	88	2,9

Tablo 6.6.'da yer alan verilere göre siparişlerin % 79,6 lık kısmı Bölge 1 ve Bölge 2 den geldiği görülmektedir. Pareto (ABC) analizi yaklaşıma göre üçüncü senaryoda siparişlerin % 79,6'lık kısmını oluşturan Bölge 1 ve 2 deki siparişlerin maliyet analizine odaklanmaya karar verilmiş olup bu bölgelere 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.

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 2 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 6.7'de gösterilmiştir.

Tablo 6.7. Senaryo 3 1. rotaya ait müşteri ve sipariş verileri.

Müşteri	X	Y	Sipariş Tarihi	Teslimat
C4	44.70744124	20.47597179	5.01.2019	1. Teslimat
C5	44.73368841	20.32377310	7.01.2019	1. Teslimat
C6	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 6.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.8. Senaryo 3 1. rotaya ait veriler.

DURAK	SİPARİŞ SAYISI	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 bazında toplam gidilecek mesafe tablosu Tablo 6.9'da belirtilmiştir.

Tablo 6.9. Senaryo 3 tüm teslimatlara ait mesafe tablosu.

Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)	Rota	Toplam Mesafe (mil)
Rota 1	7,44	Rota 31	10,95	Rota 61	16,2	Rota 91	19,95	Rota 121	15,9
Rota 2	18,3	Rota 32	16,65	Rota 62	9,6	Rota 92	20,55	Rota 122	15,15
Rota 3	8,1	Rota 33	12,45	Rota 63	18,75	Rota 93	18,45	Rota 123	10,65
Rota 4	7,2	Rota 34	19,65	Rota 64	16,35	Rota 94	20,7	Rota 124	16,05
Rota 5	11,7	Rota 35	12,9	Rota 65	20,25	Rota 95	20,1	Rota 125	8,55
Rota 6	7,5	Rota 36	14,1	Rota 66	22,05	Rota 96	35,25	Rota 126	4,35
Rota 7	10,2	Rota 37	20,25	Rota 67	25,05	Rota 97	37,95	Rota 127	1,5
Rota 8	15,6	Rota 38	16,35	Rota 68	24,15	Rota 98	38,85	Rota 128	13,8
Rota 9	11,55	Rota 39	14,7	Rota 69	25,5	Rota 99	21	Rota 129	8,25
Rota 10	14,55	Rota 40	17,4	Rota 70	27,15	Rota 100	24,3	Rota 130	10,35
Rota 11	6,9	Rota 41	15,75	Rota 71	25,35	Rota 101	22,5	Rota 131	15,3
Rota 12	11,25	Rota 42	12	Rota 72	22,05	Rota 102	23,85	Rota 132	10,2
Rota 13	16,35	Rota 43	7,2	Rota 73	24,15	Rota 103	14,25	Rota 133	9,45
Rota 14	10,95	Rota 44	14,4	Rota 74	17,7	Rota 104	16,2	Rota 134	8,4
Rota 15	10,8	Rota 45	15,9	Rota 75	18,75	Rota 105	18,75	Rota 135	8,85
Rota 16	6,45	Rota 46	23,1	Rota 76	20,7	Rota 106	10,05	Rota 136	12,75
Rota 17	15,3	Rota 47	14,25	Rota 77	21,75	Rota 107	18,9	Rota 137	10,5
Rota 18	15	Rota 48	15,6	Rota 78	16,35	Rota 108	7,95	Rota 138	12,15

Tablo 6.9. (Devamı): Senaryo 3 tüm teslimatlara ait mesafe tablosu.

Rota 19	15,15	Rota 49	16,2	Rota 79	19,8	Rota 109	6,3	Rota 139	8,4
Rota 20	12	Rota 50	11,55	Rota 80	15,3	Rota 110	8,7	Rota 140	15,3
Rota 21	13,35	Rota 51	6,6	Rota 81	19,05	Rota 111	13,05	Rota 141	6,75
Rota 22	10,8	Rota 52	20,1	Rota 82	13,95	Rota 112	17,25	Rota 142	14,85
Rota 23	14,7	Rota 53	16,65	Rota 83	17,85	Rota 113	13,2	Rota 143	9,3
Rota 24	8,7	Rota 54	15,45	Rota 84	16,65	Rota 114	17,7	Rota 144	17,25
Rota 25	8,7	Rota 55	9,75	Rota 85	18,75	Rota 115	8,25	Rota 145	14,85
Rota 26	9,3	Rota 56	15,3	Rota 86	14,85	Rota 116	13,8	Rota 146	7,2
Rota 27	7,5	Rota 57	15,3	Rota 87	17,4	Rota 117	18,45	Rota 147	8,85
Rota 28	13,65	Rota 58	18,15	Rota 88	15,75	Rota 118	8,25	Rota 148	16,05
Rota 29	14,25	Rota 59	19,05	Rota 89	17,85	Rota 119	13,5	Rota 149	16,8
Rota 30	10,95	Rota 60	15,15	Rota 90	15,3	Rota 120	12,15	Rota 150	13,8

Tablo 6.9.'da yer alan verilere göre kat edilen toplam yol mesafesi 2.245,65 mil dir. Üçüncü senaryoya ait maliyetler Tablo 6.10.'da gösterilmiştir.

Tablo 6.10. Üçüncü senaryoya ait maliyetler.

MALİYET KALEMLERİ	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)	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 €

Tablo 6.10'daki maliyetleri inceleyecek olursak, veri setinin süresi olan 36 ay için belirlenen depo bölgesinde depolama maliyeti senaryo 2 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 senaryo 1 deki gibi 6009,73 Euro olarak hesaplanmıştır. Depolama, personel, araç, yakıt ve kargo maliyetleri toplandığında 3. senaryoya ait toplam maliyet 28.012,90 Euro olarak hesaplanmıştır.

6.4. Dördüncü Senaryo Analizi

Dördüncü senaryoda Bölge 1 ve Bölge 2 deki adresler kümeleme algoritmasıyla aşağıdaki gibi 5 bölgeye ayrılmıştır. Belirlenen 5 bölgeye ait adresler için p-medyan algoritması yöntemiyle 5 adet teslimat noktası belirlenmiştir. Belirlenmiş teslimat noktası adreslerine teslimat yapacak depo yeri X-44.749977640368 Y-20.4403234405758 olup üçüncü 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 6.11.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.11. Senaryo 4 1. rotaya ait veriler.

DURAK	SİPARİŞ SAYISI	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.

Tablo 6.12. 4.Senaryoya ait maliyetler.

MALİYET KALEMLERİ	SENARYO 4
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 €

Tablo 6.12. (Devamı) 4.Senaryoya ait maliyetler.

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 6.12.'de 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 senaryo 1'deki dağıtım maliyetleri göz önüne alınarak 6009,73 Euro olarak hesaplanmıştır. Depolama, personel, araç, yakıt, hediye ve kargolama maliyetleri toplandığında senaryo 4 ait toplam maliyet 38.880,38 Euro olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.13. Senaryolara ait maliyetler.

Maliyet kalemleri/Senaryolar	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4
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 6.13'de senaryo maliyetleri gösterilmiştir. Kargo maliyeti açısından değerlendirdiğimizde senaryo 1 deki tüm teslimatlar lojistik firması tarafından sağlandığı için en yüksek kargo maliyeti bu senaryoya aittir. Senaryo 2'de dağıtım hizmeti alınmamakta olup senaryo 3 ve 4'te ise pareto analiziyle daha az sipariş alınan bölgeler tespit edilmiş olup bu bölgelere kargo hizmeti alınmaktadır. Depolama

maliyeti açısından değerlendirdiğimizde senaryo 1’de depolama hizmeti lojistik firmasından sağlanmakta fakat bununla birlikte araç, çalışan ve yakıt maliyetleri sıfır olmaktadır. Senaryo 1 dışındaki diğer senaryolarda ise e-ticaret firmasının depo kiralaması planlanıp depolama maliyeti ucuza indirilmiştir. Ancak depo kiralaması maliyetiyle birlikte personel, araç ve yakıt masrafları oluşmuş ve bu senaryolarda maliyet hesaplarına katılmıştır. İlk üç senaryodan farklı olarak 4. senaryoda ise en az son adım teslimat masrafı olmasına rağmen katılımlı teslimat modeline teşvik için verilen hediye çeki maliyeti senaryo 4 ün maliyetinin artmasına ve senaryo 4’ün tercih edilebilir olmamasına sebep olmuştur.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir e-ticaret firmasının son adım teslimat problemi incelenmiştir. Dört farklı senaryo geliştirilerek maliyetleri en aza indiren teslimat stratejisi belirlenmiştir.

Senaryo 1’de mevcut durum analiz edilmiş olup e-ticaret firması yerel bir lojistik firmasıyla çalışmakta ve bu firmadan depolama ve dağıtım hizmeti almaktadır. Bu senaryoda çalışan maliyeti, araç maliyeti gibi diğer maliyetler bulunmamaktadır. Depolama ve dağıtım hizmeti fiyatlandırması verileri oluşturan yıllar arasında değişiklik göstermemiştir. Depoma fiyatı aylık sabit miktardır. Dağıtım fiyatlandırması ise ürünün ağırlığına ve teslimat adresine göre değişiklik göstermektedir. Verileri analiz edilen firma son adım teslimatını bu senaryodaki gibi lojistik firmasından depolama ve dağıtım hizmeti alarak yönetmektedir.

Senaryo 2’de firmanın son adım teslimatı sürecini kendi operasyonu altında yönetmesi planlanmıştır. Bu süreci yönetebilmesi için öncelikle bir depo yeri belirlemesi gerekmektedir. Veri setinde yer alan geçmiş siparişlerin geldiği adres verilerini kullanarak p-medyan algoritması geliştirilmiş ve algorithmadan elde edilen sonuçlar dikkate alınarak depo yeri konumlandırılmıştır. Güncel emsal kira ücretlerinden yola çıkarak p-medyan ile bulunan adres üzerindeki bölgeden depo yeri kiralanacağı düşünülmüş maliyet hesaplaması yapılmıştır. Depolama hizmeti ile birlikte dağıtım hizmetini de sağlayabilmek için p-medyan ile belirlenen depo yerinden sevkiyatların yapılması için araç kiralanması ve personel çalıştırılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaca karşılık araç kiralama maliyeti ve personel istihdam maliyeti toplam senaryo maliyetine eklenmiştir. Yeri belirlenen depo üzerinden müşterilere haftalık teslimatlar yapılacak şekilde araç ve zaman kapasite sınırları göz önüne alınarak yerel arama destekli Clarke ve Wright algoritması kullanılarak veri setinde yer alan adreslere rotalama çalışması yapılmıştır. Rotalama sonucunda ortaya çıkan rota uzunlukları veri setinde yer alan dönemin petrol fiyatları dikkate alınarak toplam rotalama maliyetine ulaşılmıştır. Depo maliyeti, araç kiralama maliyeti, personel maliyeti ve rotalama maliyeti toplanarak senaryonun toplam maliyetine ulaşılmıştır.

Senaryo 3’de, senaryo 2’den farklı olarak, bölgeler ile sipariş yoğunlukları arasındaki ilişki incelenmiştir. İncelemede Pareto analizinin veri seti ile uygulanabilir olduğu

görülmüştür. Pareto analizi uygulanmış olup sonucunda siparişlerin yoğunluğunun %79,6'lık kısmının 1. ve 2. bölgeden geldiği görülmüştür. Bunun üzerine sipariş yoğunluğunu oluşturan iki bölgedeki adres verileri kullanılarak p-medyan algoritması yardımıyla yeni depo yeri belirlenmiştir. Belirlenen depo yeri için emsal ücret değerleri bulunup depolama maliyetlerine eklenmiştir. Depo faaliyeti yürütülmesi ile birlikte gelen personel ve araç maliyetleri de senaryo maliyetine eklenmiştir. Teslimatların yeni depo yerinden belirlenen iki bölgedeki adreslere teslim edilmesi için yerel arama destekli Clarke ve Wright algoritması kullanılarak rotalar oluşturulmuş ve toplam mesafenin maliyeti petrol fiyatları ile birleştirilerek senaryo maliyetine eklenmiştir. Yoğunluğu kapsayan iki bölge dışında kalan bölgelere teslimatlar için kargo hizmeti alınması planlanıp bu bölgeler için oluşan kargo maliyeti senaryonun toplam maliyetine eklenmiştir.

Senaryo 4'te diğer senaryolardan farklı olarak katılımlı teslimat modeli üzerinde çalışılmıştır. Bu model için senaryo 3'ten farklı olarak sipariş yoğunluğunu oluşturan iki bölgenin teslimatlarının belirlenecek en uygun teslimat noktaları üzerinden yapılması planlanmıştır. Senaryo 3'teki depo verileri ve maliyetlerine ek olarak senaryo 4 için müşteri adres verileri kümelenmiş ve 5 adet teslimat noktasından teslimat yapılması planlanmıştır. 3. senaryoda P-medyan ile belirlenen dağıtım deposu adresinden senaryo 4'te belirlenen 5 adet teslimat noktalarına yerel arama destekli Clarke ve Wright algoritması kullanılarak rotalama çalışması yapılmıştır. Hesaplanan rota uzunluğu ile veri seti döneminin petrol fiyatları dikkate alınarak dağıtım maliyetleri hesaplanmıştır. Senaryo 4'te yer alan katılımlı teslimat yöntemini teşvik etmek amacıyla müşterilere hediye çekleri tanımlanmış ve tanımlanan hediyelerin maliyetleri de toplam senaryo maliyetlerine eklenmiştir.

Çalışılan dört farklı senaryo maliyetleri incelendiğinde senaryo 3'e ait maliyetin diğer senaryolardan daha düşük olduğu görülmüştür. Senaryo 3'ü diğer senaryolardan avantajlı kılan durum NP-Zor olarak sınıflandırılan bu problemin çözümünde birden fazla modelin çözümde birlikte kullanılması olmuştur. Bu çözümde 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 4'ten az olmasına rağmen toplam maliyet tablosuna bakıldığında senaryo 3 tercih edilebilir olmuştur. Senaryo

4'ün toplam maliyetini yükselten nokta ise katılımlı teslimat modeliyle gelen müşteriye katılıma ikna etme maliyetidir. Katılımlı modellerin teslimatında müşteri için tercih edilebilir olmasını sağlayan hediye çeki ödülü senaryo 4'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 metodların birlikte kullanımıyla oluşan hibrit model tercih edildiğinde maliyetleri mevcut durum olan senaryo 1'e göre %44 daha düşük olmuştur. Ülkenin daha önce bahsedilen online alışveriş alışkanlıkları ve buna bağlı sonuçlar faaliyet gösterilen ülkedeki firmanın yeni çözümler aramasına sebep olmuştur. Hizmet sağlayıcı firma çeşitliliğindeki arz azlığı e-ticaret firmasının lojistik hizmetini kendisinin sağlaması senaryosunu güçlü kılmıştır. Senaryo 3'teki modelin uygulamaya geçilmesi ile birlikte personel istihadamı araç ve depo kiralama gibi fazladan maliyetler oluşmasının yanında bu işlemlerin getirebileceği ekstra sorunlar da ortaya çıkabilir. Çalışmada bu yeni eklemelerin getireceği problemler ve çözüm maliyetleri kapsam dışı bırakılmıştır. Çalışmanın sonucunda ortaya çıkan senaryolar, tüm senaryoların detaylı incelemeleri ve maliyet analizleri e-ticaret firması ile yetkilileri ile paylaşılmış ve karar e-ticaret firmasının yönetimine bırakılmıştır.

Bu tez çalışması ile birlikte faaliyet gösteren ülkenin alışveriş alışkanlıkları incelenmiş ve çıkan sonuçlara göre alternatifler geliştirilmiştir. Aynı ülkede benzer ürünlerle faaliyet gösteren diğer firmalar için de bu çalışmada yer alan senaryolar uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- Al-khedhairi, A. (2008). Simulated annealing metaheuristic for solving p-median problem. *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, 3(28), 1357-1365.
- Alp, O., Erkut, E., & Drezner, Z. (2003). An efficient genetic algorithm for the p-median problem. *Annals of Operations research*, 122, 21-42.
- Avella, P., Boccia, M., Salerno, S., & Vasilyev, I. (2012). An aggregation heuristic for large scale p-median problem. *Computers & Operations Research*, 39(7), 1625-1632.
- Avella, P., Sassano, A., & Vasil'ev, I. (2007). Computational study of large-scale p-median problems. *Mathematical Programming*, 109, 89-114.
- Balaji, S., & Revathi, N. (2016). A new approach for solving set covering problem using jumping particle swarm optimization method. *Natural Computing*, 15, 503-517.
- Ballou, R. H. (1992). *Business Logistics Management: Instructor's Manual with Software*. Prentice Hall.
- Bara'a, A. A., & Hameed, S. M. (2014). A genetic algorithm for minimum set covering problem in reliable and efficient wireless sensor networks. *Iraqi Journal of Science*, 55(1), 224-240.
- Bastı, M. (2012). P-medyan Tesis Yeri Seçim Problemi ve Çözüm Yaklaşımları. *Online Academic Journal of Information Technology*, 3,7. <https://doi.org/10.5824/1309-1581.2012.2.004.x>.
- Bengtsson, C., & Vikingsson, A. (2015). Exploring and Evaluating the Parcel Locker—A. *Mechanical Engineering*, 10, I10.
- Berman, O., Drezner, Z., & Wesolowsky, G. O. (2009). The maximal covering problem with some negative weights. *Geographical analysis*, 41(1), 30-42.
- Chan, A. W., & Hearn, D. W. (1977). A rectilinear distance round-trip location problem. *Transportation Science*, 11(2), 107-123.
- Chan, A. W., & Francis, R. L. (1976). A round-trip location problem on a tree graph. *Transportation Science*, 10(1), 35-51.
- Charisis, A., & Kaisar, E. (2019). Multiobjective Capacitated Location-Allocation Model for Urban Logistics Delivery Facilities (No. 19-00706).
- Chen, P. C., Hansen, P., Jaumard, B., & Tuy, H. (1992). Weber's problem with attraction and repulsion. *Journal of Regional Science*, 32(4), 467-486.
- Chiyoshi, F., & Galvão, R. D. (2000). A statistical analysis of simulated annealing applied to the p-median problem. *Annals of Operations Research*, 96(1-4), 61-74.
- Christofides, N., & Beasley, J. E. (1982). A tree search algorithm for the p-median problem. *European Journal of Operational Research*, 10(2), 196-204.

- Church, R., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *In Papers of the regional science association* (Vol. 32, No. 1, pp. 101-118). Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- 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.
- Cooper, L. (1963). Location-allocation problems. *Operations research*, 11(3), 331-343.
- Cooper, L. (1964). Heuristic methods for location-allocation problems. *SIAM review*, 6(1), 37-53.
- Courant, R., & Robbins, H. (1996). What is Mathematics?: an elementary approach to ideas and methods. *Oxford University Press*, USA.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91.
- Daskin, M. (1997). Network and discrete location: models, algorithms and applications. *Journal of the Operational Research Society*, 48(7), 763-764.
- Daskin, M. S. (2021). Fundamentals of Optimization. *In Bite-Sized Operations Management* (pp. 35-43). Cham: Springer International Publishing.
- Daskin, M. S., & Maass, K. L. (2015). The p-median problem. *In Location science* (pp. 21-45). Cham: Springer International Publishing.
- Daskin, M. S., & Tucker, E. L. (2018). The trade-off between the median and range of assigned demand in facility location models. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 97-119.
- Densham, P. J., & Rushton, G. (1992). A more efficient heuristic for solving large p-median problems. *Papers in Regional Science*, 71(3), 307-329.
- 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.
- Drexl, M., & Schneider, M. (2015). A survey of variants and extensions of the location-routing problem. *European journal of operational research*, 241(2), 283-308.
- Ercan Cömert, S. (2023). *Çok amaçlı elektrikli araç rotalama probleminin hiyerarşik bir metasezgisel algoritma ile çözümü* [Doktora Tezi]. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Eş Yürek, E. (2018). *İnsansız hava aracı destekli araç rotalama problemi* [Doktora Tezi]. Uludağ Üniversitesi.
- Farahani, R. Z., Abedian, M., & Sharahi, S. (2009). Dynamic facility location problem. *Facility location: Concepts, models, algorithms and case studies*, 347-372.
- Farahani, R. Z., Asgari, N., Heidari, N., Hosseini, M., & Goh, M. (2012). Covering problems in facility location: A review. *Computers & Industrial Engineering*, 62(1), 368-407.

- Faugere, L., & Montreuil, B. (2017a). Smart locker bank design: A scenario based optimization approach. In *Actes du Congrès International de Génie Industriel (Proceedings of Industrial Engineering Congress)*.
- Faugere, L., & Montreuil, B. (2017b). Hyperconnected pickup & delivery locker networks. In *Proceedings of the 4th International Physical Internet Conference* (Vol. 6, pp. 1-14).
- Fisher, M. L. (2004). The Lagrangian relaxation method for solving integer programming problems. *Management science*, 50(12_supplement), 1861-1871.
- 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*, (January), 56-71.
- Goldman, A. J. (1971). Optimal center location in simple networks. *Transportation science*, 5(2), 212-221.
- Goodchild, M. F., & Noronha, V. T. (1983). Location-allocation for small computers (No. 8). Department of Geography, University of Iowa.
- Goodman, R. W. (2005). Whatever you call it, just don't think of last-mile logistics, last. *Global Logistics & Supply Chain Strategies*, 9(12).
- 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.
- Hansen, P., & Mladenović, N. (1997). Variable neighborhood search for the p-median. *Location Science*, 5(4), 207-226.
- Hazırcı, M., Şahin, Y. (2019). *Geçici iskân alanlarının seçimi için AHP temelli p-medyan modeli: Burdur örneği*. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 403-417.
- Helsing, J. E., Gwalani, H., Mikler, A. R., & Alshammari, S. M. (2019, December). Validation and evaluation of emergency response plans through agent-based modeling and simulation. In *2019 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 239-250). IEEE.
- Isard, W. (1956). Location and space-economy.
- Iwan, S., Kijewska, K., & Lemke, J. (2016). Analysis of parcel lockers' efficiency as the last mile delivery solution—the results of the research in Poland. *Transportation Research Procedia*, 12, 644-655.
- 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.
- Jeřábek, K., Majercak, P., Klietík, T., & Valaskova, K. (2016). Application of Clark and Wright's savings algorithm model to solve routing problem in supply logistics. *NAŠE MORE: znanstveni časopis za more i pomorstvo*, 63(3 Special Issue), 115-119.

- Johnson, D., Chaniotakis E. (2021). *Innovative last mile delivery concepts: Evaluating last mile delivery using a traffic simulator*. Energy Institute University College London.
- Kämäräinen, V., & Punakivi, M. (2002). Developing cost-effective operations for the e-grocery supply chain. *International Journal of Logistics*, 5(3), 285-298.
- 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.
- Kariv, O., & Hakimi, S. L. (1979). An algorithmic approach to network location problems. I: The p-centers. *SIAM journal on applied mathematics*, 37(3), 513-538.
- 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.
- Kolen, A. (1985). The round-trip p-center and covering problem on a tree. *Transportation Science*, 19(3), 222-234.
- Kuehn, A. A., & Hamburger, M. J. (1963). A heuristic program for locating warehouses. *Management science*, 9(4), 643-666.
- Kulin, H. W., & Kuenne, R. E. (1962). An efficient algorithm for the numerical solution of the generalized Weber problem in spatial economics. *Journal of Regional Science*, 4(2), 21-33.
- Kull, T. J., Boyer, K., & Calantone, R. (2007). Last-mile supply chain efficiency: an analysis of learning curves in online ordering. *International Journal of Operations & Production Management*, 27(4), 409-434.
- Lal Das, J., & Fianu, V. D. (2018). Last mile delivery dilemma in e-commerce.
- Laporte, G., Semet, F.J. (2002). Classical heuristics for the capacitated VRP. In: Toth, P., Vigo, D., editors, *The Vehicle Routing Problem*, Philadelphia: SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, p. 109–128.
- Lemaréchal, C. (2001). Lagrangian relaxation. Computational combinatorial optimization: optimal or provably near-optimal solutions, 112-156.
- Leyerer, M., Sonneberg, M. O., Heumann, M., & Breitner, M. H. (2020). Shortening the last mile in urban areas: Optimizing a smart logistics concept for e-grocery operations. *Smart Cities*, 3(3), 585-603.
- Lim, M. K., Bassamboo, A., Chopra, S., & Daskin, M. S. (2013). Facility location decisions with random disruptions and imperfect estimation. *Manufacturing & Service Operations Management*, 15(2), 239-249.
- 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.
- Loranca, M. B. B., Velázquez, R. G., & ME, A. (2015). The p-median problem: A tabu search approximation proposal applied to districts. *J Math Syst Sci*, 5(3).
- Maranzana, F. E. (1964). On the location of supply points to minimize transport costs. *Journal of the Operational Research Society*, 15(3), 261-270.
- Mitchell, G. G., O'Donoghue, D., Barnes, D., & McCarville, M. (2003). GeneRepair-a repair operator for genetic algorithms.
- Mladenović, N., Labbé, M., & Hansen, P. (2003). Solving the p-center problem with tabu search and variable neighborhood search. *Networks: An International Journal*, 42(1), 48-64.
- 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.
- Moroz, M., & Polkowski, Z. (2016). The last mile issue and urban logistics: choosing parcel machines in the context of the ecological attitudes of the Y generation consumers purchasing online. *Transportation Research Procedia*, 16, 378-393.
- Murray, A. T., & Church, R. L. (1996). Applying simulated annealing to location-planning models. *Journal of Heuristics*, 2, 31-53.
- Murray, A. T., Tong, D., & Kim, K. (2010). Enhancing classic coverage location models. *International Regional Science Review*, 33(2), 115-133.
- Nagy, G., & Salhi, S. (2007). Location-routing: Issues, models and methods. *European journal of operational research*, 177(2), 649-672.
- 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.
- O'Neill, M., Mikler, A. R., Indrakanti, S., Tiwari, C., & Jimenez, T. (2014). RE-PLAN: an extensible software architecture to facilitate disaster response planning. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics: systems*, 44(12), 1569-1583.
- Oliveira, C. M. D., Albergaria De Mello Bandeira, R., Vasconcelos Goes, G., Schmitz Gonçalves, D. N., & D'Agosto, M. D. A. (2017). Sustainable vehicles-based alternatives in last mile distribution of urban freight transport: A systematic literature review. *Sustainability*, 9(8), 1324.
- 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.
- Owen, S. H., & Daskin, M. S. (1998). Strategic facility location: A review. *European journal of operational research*, 111(3), 423-447.
- Özçakar, M., Bastı, M. (2012). P-Medyan kuruluş yeri seçim probleminin çözümünde parçacık sürü optimizasyonu algoritması yaklaşımı. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 41(2), 241-257.

- Reese, J. (2006). Solution methods for the p-median problem: An annotated bibliography. *NETWORKS: an international Journal*, 48(3), 125-142.
- Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. L. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 1-11.
- Pullan, W. (2008). A memetic genetic algorithm for the vertex p-center problem. *Evolutionary computation*, 16(3), 417-436.
- Punakivi, M., Yrjölä, H., & Holmström, J. (2001). Solving the last mile issue: reception box or delivery box. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 31(6), 427-439.
- Ratchford, B., Gauri, D. K., Jindal, R. P., & Namin, A. (2023). Innovations in retail delivery: Current trends and future directions. *Journal of Retailing*.
- Resende, M. G., & Werneck, R. F. (2004). A hybrid heuristic for the p-median problem. *Journal of heuristics*, 10, 59-88.
- Rolland, E., Schilling, D. A., & Current, J. R. (1997). An efficient tabu search procedure for the p-median problem. *European Journal of Operational Research*, 96(2), 329-342.
- Rosing, K. E., Revelle, C. S., & Schilling, D. A. (1999). A gamma heuristic for the p-median problem. *European Journal of Operational Research*, 117(3), 522-532.
- Sanders, N. R. (2020). Supply chain management: A global perspective. *John Wiley & Sons*.
- Schneider, T., & Mikler, A. R. (2010). Re-plan: A computational framework for response plan analysis. *International Journal of Functional Informatics and Personalised Medicine*, 3(2), 103-121.
- 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.
- Senne, E. L., Lorena, L. A., & Pereira, M. A. (2005). A branch-and-price approach to p-median location problems. *Computers & operations research*, 32(6), 1655-1664.
- Senne, E., & Lorena, L. (2000). Chapter 6 lagrangean/surrogate heuristics for p-median problems. *Computing Tools for Modeling, Optimization and Simulation. Operations Research/Computer Science Interfaces Series*, 12th Edition, Springer, Boston, MA.
- Simonis, H. (2006). Constraint applications in networks. In *Foundations of Artificial Intelligence* (Vol. 2, pp. 875-903). Elsevier.
- Simpson, T. (1805). The doctrine and application of fluxions. HD Symonds.
- Soner Kara, S., Yurdakul, G. (2021). Raylı sistem istasyon yeri belirleme problemi için küme kapsama ve alternatif servis seviyeli p-medyan modelleriyle çözüm arayışı: Gebze – Darıca metro hattı uygulaması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(69), 845-856.

- Tamir, A. (1996). An $O(pn^2)$ algorithm for the p -median and related problems on tree graphs. *Operations research letters*, 19(2), 59-64.
- Tansel, B. C., Francis, R. L., & Lowe, T. J. (1983). State of the art—location on networks: a survey. Part II: exploiting tree network structure. *Management Science*, 29(4), 498-511.
- Teitz, M. B., & Bart, P. (1968). Heuristic methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph. *Operations research*, 16(5), 955-961.
- Tekin, B. (2015). Temel sağlık göstergeleri açısından Türkiye'deki illerin gruplandırılması: Bir kümeleme analizi uygulaması. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 5(2), 389-416.
- Tezkoşar, B. (2022). *Hibrit scooter kullanarak şehir içi teslimatta karbon ayak izi azaltılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Wang, W., Wu, S., Wang, S., Zhen, L., & Qu, X. (2021). Emergency facility location problems in logistics: Status and perspectives. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 154, 102465.
- Weber, A., & Friedrich, C. J. (1929). Alfred Weber's theory of the location of industries. University of Chicago Press.
- Weiszfeld, E., & Plastria, F. (2009). On the point for which the sum of the distances to n given points is minimum. *Annals of Operations Research*, 167, 7-41.
- 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.
- Whitaker, R. A. (1983). A fast algorithm for the greedy interchange for large-scale clustering and median location problems. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 21(2), 95-108.
- Zelinka, B. (1968). Medians and peripherians of trees. *Archivum Mathematicum*, 4(2), 87-95.
- Zenezini, G., Lagorio, A., Pinto, R., De Marco, A., & Golini, R. (2018). The collection-and-delivery points implementation process from the courier, express and parcel operator's perspective. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 594-599.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Fatma Duygu YILMAZER

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2010, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM:

- 2011-2023 yılları arasında Neutec İlaç San. Tic. A.Ş. de Proje ve İnsan Kaynakları Yöneticisi olarak çalıştı.
- 2017 yılında Yalın Altı Sigma Yeşil Kuşak Belgesini aldı.
- 2023 Yılı Ocak ayından itibaren SAP TR çatısı altında “Proje Yöneticisi” olarak çalışmaktadır.