



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü  
İşletme Anabilim Dalı  
Üretim ve İşlemler Yönetimi Bilim Dalı

**YATAY İŞBİRLİĞİ ALTINDA SON MİL TAŞIMACILIKTA  
KULLANILAN MOBİL KARGO DOLAPLARI YER SEÇİMİ  
VE ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR MATEMATİKSEL  
MODEL ÖNERİSİ**

Simay Göksu KORKMAZ

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2022



YATAY İŞBİRLİĞİ ALTINDA SON MİL TAŞIMACILIKTA KULLANILAN MOBİL  
KARGO DOLAPLARI YER SEÇİMİ VE ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR  
MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ

Simay Göksu KORKMAZ

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü  
İşletme Anabilim Dalı  
Üretim ve İşlemler Yönetimi Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2022

## KABUL VE ONAY

Simay Göksu KORKMAZ tarafından hazırlanan “Yatay İşbirliği Altında Son Mil Taşımacılıkta Kullanılan Mobil Kargo Dolapları Yer Seçimi ve Rotalama Problemi İçin Bir Matematiksel Model Önerisi” başlıklı bu çalışma, 01 Haziran 2022 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

---

Doç. Dr. Göknur Arzu AKYÜZ (Başkan)

---

Doç. Dr. Mehmet SOYSAL (Danışman)

---

Dr. Öğr. Üyesi Bülent ÇEKİÇ (Üye)

---

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİMEN (Üye)

---

Dr. Öğr. Üyesi Hasan DÜNDAR (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

Prof. Dr. Uğur ÖMÜRGÖNÜLŞEN

Enstitü Müdürü

# YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinleri yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. <sup>(1)</sup>
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ..... ay ertelenmiştir. <sup>(2)</sup>
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. <sup>(3)</sup>

...../...../.....

[İmza]

**Simay Göksu KORKMAZ**

<sup>1</sup>"Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir \*. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlerle ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.  
Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

\* Tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir.**

## ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, **Doç. Dr. Mehmet SOYSAL** danışmanlığında tarafımdan retilildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

*[İmza]*

**Araştırma Görevlisi Simay Göksu KORKMAZ**

*Ülkeme ve Aileme ithafen*

## TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca benden akademik bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, bu süreçte tüm sorunlarımda yanımda olan ve başından sonuna kadar hep desteğini hissettiğim, çalışmanın hazırlanmasında büyük emekleri olan saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Mehmet Soysal 'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasında en az benim kadar emeği olan, her sorumu zaman, mekân fark etmeksizin büyük bir sabır ile cevaplayan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Hasan Dünder'a teşekkür ederim.

Değerli hocalarım ve jüri üyelerim Doç. Dr. Gökür Arzu Akyüz'e, Dr. Öğr. Üyesi Bülent Çekiç'e ve Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Çimen'e yapmış oldukları katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Çalışanı olduğum Türk Hava Kurumu Üniversitesi Lojistik Yönetimi Bölümü'ndeki değerli hocalarıma ve Türk Hava Kurumu Üniversitesi İşletme Fakültesi'ndeki araştırma görevlisi arkadaşlarıma desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan, her zaman arkamda olan, beni her zaman bitmek bilmez bir sabır ile koşulsuz destekleyen değerli aileme, canım annem Özlem Korkmaz'a, canım babam Bilal Korkmaz'a, dayım Ahmet Numan Özmeriç'e ve yengem Nevcihan Özmeriç'e teşekkür ederim.



## ÖZET

KORKMAZ, Simay Göksu. *Yatay İşbirliği Altında Son Mil Taşımacılıkta Kullanılan Mobil Kargo Dolapları Yer Seçimi ve Rotalama Problemi İçin Bir Matematiksel Model Önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2022.

Büyüyen e-ticaret etkisi ile artan teslimat sıklıkları ve küçük hacimli teslimatlar, yeni ve verimli son mil taşımacılık çözümlerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu bağlamda, elektrikli araçlarla dinamik olarak yerleştirilen ve müşterilerin günün herhangi bir saatinde kargolarını almalarını sağlayan mobil kargo dolapları yenilikçi teslimat şekli olarak ortaya çıkmıştır. Bu tez çalışmasının amacı, son mil taşımacılıkta mobil kargo dolaplarını kullanan kuruluşlara bir karar destek modeli sunmaktır. Çalışmada, mobil kargo dolapları kullanılarak yatay işbirliği ortamında toplama ve bırakma ile yer seçimi ve rotalama problemi için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Modelin amacı, mobil kargo dolabı taşınması ve yerleştirilmesi, müşteri kargo taşınması, araç kullanım ve sürücü maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti azaltmaktır. Model kapsamında, dolu kargo dolaplarını müşterilere en yakın noktalara yerleştirme ile bir önceki dönemden kalan kargo dolaplarını toplama için rota planı oluşturma, depodan çıkan dolu kargo dolapları için doğru kurulum noktası seçimi ve heterojen kapasiteye sahip mobil kargo dolaplarının farklı boyutlarda kargolar ile yüklenmesi kararları alınmaktadır. Model öncelikle üç varsayımsal şirketin operasyonları işbirliği olmaksızın için çözümlenmekte, ardından şirketlerin ikili ve üçlü yatay işbirliğine sahip olduğu senaryolar için çözümler üretilerek sonuçlarda yatay işbirliğinin maliyet açısından faydaları değerlendirilmektedir. Senaryo çözümleri, yatay işbirliği içinde bulunan şirketlerin operasyon alanlarının birbirlerine fiziki yakınlığının işbirliğinden elde edilecek faydada önemli bir unsur olduğunu göstermiştir. Çalışmada, üçlü yatay işbirliklerinin şirketler için maliyet açısından daha faydalı olduğu ortaya koyulmuştur. Ayrıca bu senaryolar üzerinden duyarlılık analizleri yapılarak ortak müşteri sayısı ve kargo dolapları kapasite değişimlerinin sonuçlara etkisi incelenmiştir. Analiz sonuçları, şirketlerin ortak müşteri sayısının artmasıyla yatay işbirliği faydasının arttığını ve mobil

kargo dolabı kapasiteleri arttıkça toplam maliyetin ve kargo dolabı doluluk oranlarının azaldığını göstermiştir.

### **Anahtar Sözcükler**

Son Mil Taşımacılığı, Yatay İşbirliği, Mobil Kargo Dolabı, Yer Seçimi ve Rotalama Problemi, Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama

## ABSTRACT

KORKMAZ, Simay Göksu. *A Mathematical Model Proposal for Mobile Parcel Lockers Utilized in Last Mile Delivery under Horizontal Collaboration*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2022.

Along with growing e-commerce effect, increasing delivery frequencies and small volume deliveries led to innovative and efficient last mile transportation solutions. In this context, mobile parcel lockers, which are dynamically located via electric vehicles and enabling customers to receive their cargo at any time of the day, have emerged as an innovative mode of delivery. The aim of this study is to propose a decision support model to organizations using these lockers in last mile transportation. A mixed-integer linear programming model is proposed in this study for the location routing problem with pick-up and delivery under horizontal collaboration using mobile parcel lockers. The objective of the model is to minimize the total cost including the costs of mobile parcel locker transportation and placement, customer cargo transportation, vehicle usage and driver. The model involves decisions to establish a route plan to depart the full parcel lockers and collect expired lockers while selecting right location for the full lockers, and load lockers with various cargo sizes. The model is first solved for the operations of three hypothetical organizations without collaboration; then solutions are obtained for scenarios in which organization have bilateral and trilateral horizontal collaboration. Cost benefits of horizontal collaboration are evaluated in the results. The scenario solutions have demonstrated that a crucial factor in determining the benefits of horizontal collaboration is the physical proximity of collaborating organizations' working regions. It has been revealed that horizontal trilateral collaborations are more cost-effective for organizations. Sensitivity analyses are also performed on these scenarios to reveal the impact of changes in the number of common customers and the parcel lockers' capacity on the outcomes. The findings demonstrated that as the number of common customers between the organizations increases, the advantage of horizontal collaboration

increases, and as mobile parcel locker capacities increase, the total cost and locker occupancy rates decrease.

**Keywords**

Last Mile Transportation, Horizontal Collaboration, Mobile Parcel Locker, Location and Routing Problem, Mixed Integer Linear Programming

## İÇİNDEKİLER

|  |           |
|--|-----------|
| KABUL VE ONAY .....  | i         |
| YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI .....   | ii        |
| ETİK BEYAN .....   | iii       |
| TEŞEKKÜR .....   | v         |
| ÖZET .....   | vi        |
| ABSTRACT .....   | viii      |
| İÇİNDEKİLER.....   | x         |
| TABLolar DİZİNİ.....   | xii       |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....   | xvi       |
| GİRİŞ .....  | 1         |
| <b>1. BÖLÜM: LİTERATÜR TARAMASI .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>1.1. LOJİSTİK YÖNETİMİ VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ.....</b>                                 | <b>4</b>  |
| 1.1.1. Lojistikte Yatay İşbirliği .....  | 8         |
| 1.1.1.1. Lojistikte Yatay İşbirliğinin Avantajları .....                                       | 12        |
| 1.1.1.2. Yatay İşbirliklerinin Önündeki Engeller .....   | 14        |
| <b>1.2. SON MİL TAŞIMACILIĞI.....</b>  | <b>17</b> |
| 1.2.1. Son Mil Taşımacılığında Kargo Dolabı Kullanımı .....                                    | 21        |
| <b>1.3. YER SEÇİMİ VE ROTAMA PROBLEMİ.....</b>   | <b>30</b> |
| 1.3.1. Son Mil Taşımacılığında Kargo Dolabı Kullanımında Yer Seçimi ve Rotalama Problemi ..... | 32        |
| <b>2. BÖLÜM: PROBLEM TANIMI ve MODEL ÖNERİSİ.....</b>  | <b>45</b> |
| <b>3. BÖLÜM: MODEL UYGULAMASI VE ANALİZİ.....</b>  | <b>56</b> |
| <b>3.1. ÖRNEK OLAY SENARYO İNCELEMESİ .....</b>  | <b>56</b> |
| 3.1.1. Örnek Olay Senaryoları Veri Setinin Tanıtılması .....                                   | 57        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.1.2. Yatay İşbirliğinin Olmadığı Örnek Olay Senaryo Çözümü ve Analizi.....           | 66         |
| 3.1.2.1. Birinci Şirket İçin Örnek Olay Senaryo Çözümü .....                           | 66         |
| 3.1.2.2. İkinci Şirket İçin Örnek Olay Senaryo Çözümü.....                             | 68         |
| 3.1.2.3. Üçüncü Şirket İçin Örnek Olay Senaryo Çözümü.....                             | 70         |
| 3.1.2.4. Yatay İşbirliği Olmadığı Örnek Olay Çözümü Sonuçları .....                    | 72         |
| 3.1.3. Yatay İşbirliği Olduğu Durumda Örnek Olay Senaryo Çözümü .....                  | 73         |
| 3.1.3.1. Üç Şirketin Birden Yatay İşbirliğine Katıldığı Durumun İncelenmesi .....      | 73         |
| 3.1.3.1.1. Üçlü Yatay İşbirliğinde Depo 1'in Ana Depo Olduğu Senaryonun Analizi .....  | 74         |
| 3.1.3.1.2. Üçlü Yatay İşbirliğinde Depo 2'nin Ana Depo Olduğu Senaryonun Analizi ..... | 75         |
| 3.1.3.1.3. Üçlü Yatay İşbirliğinde Depo 3'ün Ana Depo Olduğu Senaryonun Analizi .....  | 77         |
| 3.1.3.2. İki Şirketin Yatay İşbirliğine Katıldığı Durumun İncelenmesi....              | 79         |
| <b>3.2. YATAY İŞBİRLİĞİNİN ŞİRKETLERE FAYDASININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>            | <b>82</b>  |
| <b>3.3. ÖRNEK OLAY ÜZERİNDE DUYARLILIK ANALİZLERİ.....</b>                             | <b>85</b>  |
| 3.3.1. Ortak Müşteri Sayısının Artmasının Yatay İşbirliği Üzerine Etkisi...            | 85         |
| 3.3.2. Mobil Kargo Dolabı Kapasite Değişim Analizi.....                                | 92         |
| <b>4. BÖLÜM: GENEL TARTIŞMA.....</b>   | <b>94</b>  |
| <b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>  | <b>96</b>  |
| <b>KAYNAKÇA .....</b>  | <b>99</b>  |
| <b>EK 1. SENARYO ANALİZLERİ SONUCU ELDE EDİLEN KARGO DOLABI DOLULUK ORANLARI .....</b> | <b>112</b> |
| <b>EK 2. ORIJİNALLİK FORMU .....</b>   | <b>116</b> |
| <b>EK 3. ETİK KURUL MUAFİYET FORMU .....</b>   | <b>117</b> |

## TABLOLAR DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| <b>Tablo 1.</b> Kargo Dolabı GZFT Analizi.....  | 25 |
| <b>Tablo 2.</b> Kargo Dolabı Tesis Yeri Seçimi, Rotalaması ve Yatay İşbirliğini Ele Alan Literatür İnceleme Tablosu ..... | 34 |
| <b>Tablo 3.</b> Notasyon Tablosu .....  | 50 |
| <b>Tablo 4.</b> Üç Kargo Şirketinin depo, potansiyel yerleştirme, toplama ve müşteri noktaları.....                       | 58 |
| <b>Tablo 5.</b> Kargo dolabı kapasiteleri (adet).....   | 59 |
| <b>Tablo 6.</b> Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Taşıma Maliyeti (Birinci Şirket için) (€) .....                   | 60 |
| <b>Tablo 7.</b> Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Taşıma Maliyeti (İkinci Şirket için) (€) .....                    | 60 |
| <b>Tablo 8.</b> Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Taşıma Maliyeti (Üçüncü Şirket için) (€) .....                    | 60 |
| <b>Tablo 9.</b> Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Araç Kullanım Maliyeti (Birinci Şirket için) (€) .....            | 61 |
| <b>Tablo 10.</b> Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Sürücü Maliyeti (Birinci Şirket için) (€).....                   | 61 |
| <b>Tablo 11.</b> Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Araç Kullanım Maliyeti (İkinci Şirket için) (€) .....            | 61 |
| <b>Tablo 12.</b> Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Sürücü Maliyeti (İkinci Şirket için) (€) .....                   | 61 |
| <b>Tablo 13.</b> Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Araç Kullanım Maliyeti (Üçüncü Şirket için) (€) .....                    | 62 |
| <b>Tablo 14.</b> Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Sürücü Maliyeti (Üçüncü Şirket için) (€) .....                   | 62 |
| <b>Tablo 15.</b> İkinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Taşıma Maliyeti (Birinci Şirket için) (€).....                    | 62 |
| <b>Tablo 16.</b> İkinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Taşıma Maliyeti (İkinci Şirket için) (€) .....                    | 62 |
| <b>Tablo 17.</b> İkinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Taşıma Maliyeti (Üçüncü Şirket için) (€) .....                    | 62 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Tablo 18.</b> Birinci Şirket Örnek Olayında Müşterilerin Kargo Talebi (adet) .....                           | 64 |
| <b>Tablo 19.</b> İkinci Şirket Örnek Olayında Müşterilerin Kargo Talebi (adet) .....                            | 64 |
| <b>Tablo 20.</b> Üçüncü Şirket Örnek Olayında Müşterilerin Kargo Talebi (adet) .....                            | 64 |
| <b>Tablo 21.</b> Birinci Şirket Örnek Olayında <i>μim</i> Parametresinin Değeri .....                           | 65 |
| <b>Tablo 22.</b> İkinci Şirket Örnek Olayında <i>μim</i> Parametresinin Değeri.....                             | 65 |
| <b>Tablo 23.</b> Üçüncü Şirket Örnek Olayında <i>μim</i> Parametresinin Değeri.....                             | 65 |
| <b>Tablo 24.</b> Modelde Kullanılan Parametre Değerleri .....   | 66 |
| <b>Tablo 25.</b> Birinci Şirket için Performans Kriterleri Değerleri .....                                      | 67 |
| <b>Tablo 26.</b> Birinci Şirket İçin Toplama Dağıtım Planı .....  | 67 |
| <b>Tablo 27.</b> Birinci Şirket İçin Araç ile Taşınan Dolu ve Boş Mobil Kargo Dolabı Sayısı.....                | 67 |
| <b>Tablo 28.</b> Birinci Şirket için Potansiyel Noktalara Araçlar ile Yerleştirilen Mobil Kargo Dolapları ..... | 68 |
| <b>Tablo 29.</b> Birinci Şirket için Potansiyel Yerleştirme Noktalarına Atanan Müşterilerin Listesi .....       | 68 |
| <b>Tablo 30.</b> İkinci Şirket için Performans Kriterleri Değerleri .....                                       | 69 |
| <b>Tablo 31.</b> İkinci Şirket İçin Toplama Dağıtım Planı .....   | 69 |
| <b>Tablo 32.</b> İkinci Şirket İçin Araç ile Taşınan Dolu ve Boş Mobil Kargo Dolabı Sayısı .....                | 69 |
| <b>Tablo 33.</b> İkinci Şirket için Potansiyel Noktalara Araçlar ile Yerleştirilen Mobil Kargo Dolapları .....  | 70 |
| <b>Tablo 34.</b> İkinci Şirket için Potansiyel Yerleştirme Noktalarına Atanan Müşterilerin Listesi .....        | 70 |
| <b>Tablo 35.</b> Üçüncü Şirket için Performans Kriterleri Değerleri .....                                       | 71 |
| <b>Tablo 36.</b> Üçüncü Şirket İçin Toplama Dağıtım Planı .....   | 71 |
| <b>Tablo 37.</b> Üçüncü Şirket İçin Araç ile Taşınan Dolu ve Boş Mobil Kargo Dolabı Sayısı .....                | 71 |
| <b>Tablo 38.</b> Üçüncü Şirket için Potansiyel Noktalara Araçlar ile Yerleştirilen Mobil Kargo Dolapları .....  | 72 |



|   |    |
|---|----|
| <b>Tablo 39.</b> Üçüncü Şirket için Potansiyel Yerleştirme Noktalarına Atanan Müşterilerin Listesi .....                            | 72 |
| <b>Tablo 40.</b> Depo1 için Performans Kriterleri Değerleri .....   | 74 |
| <b>Tablo 41.</b> Depo1 için Toplama Dağıtım Planı.....  | 75 |
| <b>Tablo 42.</b> Depo1 için Araç ile Taşınan Dolu ve Boş Mobil Kargo Dolabı Sayısı.....   | 75 |
| <b>Tablo 43.</b> Depo1 için Potansiyel Noktalara Araçlar ile Yerleştirilen Mobil Kargo Dolapları .....                              | 75 |
| <b>Tablo 44.</b> Depo2 için Performans Kriterleri Değerleri .....   | 76 |
| <b>Tablo 45.</b> Depo2 için Toplama Dağıtım Planı.....  | 76 |
| <b>Tablo 46.</b> Depo2 için Araç ile Taşınan Dolu ve Boş Mobil Kargo Dolabı Sayısı.....   | 77 |
| <b>Tablo 47.</b> Depo2 için Potansiyel Noktalara Araçlar ile Yerleştirilen Mobil Kargo Dolapları .....                              | 77 |
| <b>Tablo 48.</b> Depo3 için Performans Kriterleri Değerleri .....   | 78 |
| <b>Tablo 49.</b> Depo3 için Maliyet Minimizasyonu Durumu Toplama Dağıtım Planı  | 78 |
| <b>Tablo 50.</b> Depo3 için Araç ile Taşınan Dolu ve Boş Mobil Kargo Dolabı Sayısı.....   | 79 |
| <b>Tablo 51.</b> Depo3 için Potansiyel Noktalara Araçlar ile Yerleştirilen Mobil Kargo Dolapları .....                              | 79 |
| <b>Tablo 52.</b> Birinci ve İkinci Şirketin İşbirliği Yaptığı Durumda Depo Kullanımlarına Göre Performans Kriterleri Değerleri..... | 80 |
| <b>Tablo 53.</b> Birinci ve Üçüncü Şirketin İşbirliği Yaptığı Durumda Depo Kullanımlarına Göre Performans Kriterleri Değerleri..... | 81 |
| <b>Tablo 54.</b> İkinci ve Üçüncü Şirketin İşbirliği Yaptığı Durumda Depo Kullanımlarına Göre Performans Kriterleri Değerleri.....  | 82 |
| <b>Tablo 55.</b> İşbirliği Olmadığı Senaryoda Toplam Performans Kriterleri Değerleri .....  | 83 |
| <b>Tablo 56.</b> Üç Şirketin Yatay İşbirliği Yaptığı Senaryoda Performans Kriterleri Değerleri .....                                | 83 |
| <b>Tablo 57.</b> İkili İşbirliklerinde Performans Kriteri Değerleri .....   | 84 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tablo 58.</b> Ortak Müşteri Analizlerinde Yatay İşbirliği Olmadığı Durumda Elde Edilen Performans Kriterleri Değerleri.....                 | 86  |
| <b>Tablo 59.</b> Ortak Müşteri Sayısı 8 ve Üçlü Yatay İşbirliği Olduğu Durumda Elde Edilen Performans Kriterleri Değerleri.....                | 87  |
| <b>Tablo 60.</b> Ortak Müşteri Sayısı 12 ve Üçlü Yatay İşbirliği Olduğu Durumda Elde Edilen Performans Kriterleri Değerleri.....               | 87  |
| <b>Tablo 61.</b> Kapasite Değişimlerinde Elde Edilen Performans Kriterleri Değerleri .....   | 92  |
| <b>Tablo 62.</b> Birinci Şirket için Mobil Kargo Dolaplarının Doluluk Oranları .....   | 112 |
| <b>Tablo 63.</b> İkinci Şirket için Mobil Kargo Dolaplarının Doluluk Oranları.....   | 112 |
| <b>Tablo 64.</b> Üçüncü Şirket için Mobil Kargo Dolaplarının Doluluk Oranları.....   | 113 |
| <b>Tablo 65.</b> Üçlü Yatay İşbirliklerinde Depo1'in Ana Depo Olarak Kullanıldığı Senaryo İçin Mobil Kargo Dolaplarının Doluluk Oranları.....  | 113 |
| <b>Tablo 66.</b> Üçlü Yatay İşbirliklerinde Depo2'nin Ana Depo Olarak Kullanıldığı Senaryo İçin Mobil Kargo Dolaplarının Doluluk Oranları..... | 114 |
| <b>Tablo 67.</b> Üçlü Yatay İşbirliklerinde Depo3'ün Ana Depo Olarak Kullanıldığı Senaryo İçin Mobil Kargo Dolaplarının Doluluk Oranları.....  | 115 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| <b>Şekil 1.</b> Lojistiğin Rolü .....   | 5  |
| <b>Şekil 2.</b> Lojistik Yönetimi Ana ve Alt Unsurları .....  | 7  |
| <b>Şekil 3.</b> Yatay ve Dikey İşbirliği (Visser, 2007) .....   | 10 |
| <b>Şekil 4.</b> Türüne Göre Dış Kaynaklı Lojistik Hizmetlerine İlişkin Oranlar.....   | 13 |
| <b>Şekil 5.</b> Şehir Lojistiğinin Çerçevesi.....   | 18 |
| <b>Şekil 6.</b> Toplam Küresel Perakende Satışlarında E-Ticaret Payı.....   | 20 |
| <b>Şekil 7.</b> Mobil Kargo Kutusu .....  | 30 |
| <b>Şekil 8.</b> Tesis Konum, Araç Rotalama ve Yer Seçimi ve Rotalama<br>Problemlerinin Genel Gösterimleri.....                              | 31 |
| <b>Şekil 9.</b> Yıllara Göre Makale Sayısı Dağılım Grafiği .....  | 33 |
| <b>Şekil 10.</b> Problemin Gösterimi .....  | 47 |
| <b>Şekil 11.</b> Mobil kargo dolabının tasarımı .....   | 48 |
| <b>Şekil 12.</b> Çalışmada Kullanılan Noktaların XY Grafiğinde Gösterimi.....   | 57 |
| <b>Şekil 13.</b> Problemden Kullanılan Noktaların XY Grafiğinde Gösterimi.....  | 63 |
| <b>Şekil 14.</b> Üçlü Yatay İşbirliğinde Artan Ortak Müşteri Sayılarına Göre Toplam<br>Maliyet Değişimleri (p = ortak müşteri sayısı) ..... | 88 |
| <b>Şekil 15.</b> Ortak Müşteri Sayısı Artışının Yatay İşbirliği Faydasına Etkileri .....  | 89 |
| <b>Şekil 16.</b> Ortak Müşteri Sayısının 8 Olduğu Durumda Kullanılan Noktaların XY<br>Grafiğinde Gösterimi.....                             | 90 |
| <b>Şekil 17.</b> Ortak Müşteri Sayısının 12 Olduğu Durumda Kullanılan Noktaların XY<br>Grafiğinde Gösterimi.....                            | 91 |
| <b>Şekil 18.</b> Kargo Dolapları Doluluk Oranları.....  | 93 |

## GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi ile beklenmedik bir hızla büyüme yaşayan küresel e-ticaret satışlarının 2020 yılında 4,25 trilyon dolar olan değerinin 2022'de 5,54 trilyon dolara çıkması beklenmektedir (E-Marketer, 2022). Bu durum, e-ticaret firmalarına, artan gelir avantajı sağlamakla beraber müşterilerine ürünlerini teslim etmek adına son mil taşımacılığı faaliyetlerini gerçekleştirirken yeni zorluklar ile karşılaşmalarına neden olmaktadır. Artan satışlarla sıklaşan teslimatlar, son mil taşımacılığında maliyet artışına neden olmakla birlikte trafik yoğunluğuna, hava kirliliğine ve mekânsal olarak daha geniş alanlara dağılmış müşterilere başarısız teslimatlara neden olmaktadır (Ranieri ve diğerleri, 2018). Bu noktada, etkin ve verimli bir şekilde planlanan, uygulanan, kontrol edilen, müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin karşılanmasını sağlayan lojistik faaliyetleri, maliyetlerin optimizasyonu, çevresel katkı ve rekabet avantajı, gibi pek çok avantajın elde edilmesine imkân tanımaktadır. Aynı zamanda, e-ticarete toplam maliyetin %28'ine sahip olan lojistik faaliyetler çevrimiçi satın alımları da etkilemektedir (Y. Wang ve diğerleri, 2016; Agatz ve diğerleri, 2008).

Lojistik faaliyetlerin e-ticaret maliyetlerinde bulunan bu yüksek payı, firmadan müşteriye son mil taşımacılığının, yani paketin bölgesel bir depodan müşteriye tesliminden kaynaklanmaktadır. Son mil taşımacılığında karşılaşılan zorluklara yanıt verebilmek için şirketler, maliyet etkinliği, müşteri memnuniyeti, teslimat seçeneği ve sürdürülebilirlik gibi birden çok boyut için güvenilir dağıtım stratejileri aramaktadırlar. Bu noktada, B2C için ortak son mil taşımacılığı çözümleri, paketi/kargoyu (i) ev adresine, (ii) müşterilerin hizmet aldıkları noktalara, (iii) süpermarketlerde veya diğer uğrak yerlerde bulunan sabit kargo dolaplarına teslim etmektir. Allen ve diğerleri (2007), bu teslim şekillerinin müşterilere ve aynı zamanda hizmet sağlayıcılara esneklik, erişilebilirlik ve teslim alma sürecinin çabası ile ilgili farklı avantajlar ve dezavantajlar sağladığını öne sürmektedir (Allen ve diğerleri, 2007). Örneğin müşteriler, servis noktası teslimatlarına kıyasla kargo dolaplarını kullanırken daha kısa sürelerde kargolarını alabilmektedir. Aynı zamanda, kargo dolaplarına teslimatta kargo alımı tesisin açılış saatleriyle sınırlı

değildir. Ayrıca, eve teslim şekline kıyasla, kargo dolapları ve servis noktaları kullanımı, müşterinin teslimat sırasında evde hazır bulunmasını gerektirmez ve bu nedenle müşterilerin teslimat süresi açısından esnekliğini arttırmaktadır.

Bir lojistik sağlayıcının bakış açısından ise bir önceki paragrafta adı geçen teslimat seçenekleri verimlilik açısından farklılık göstermektedir. Teslim alma hizmet noktalarıyla karşılaştırıldığında, eve teslim, teslimat maliyetlerinin artmasına, daha yüksek sayıda başarısız teslimata ve teslimat araçları için önemli ölçüde daha uzun sürüş mesafesine neden olmakta ve bu da trafik sıkışıklığını ve egzoz emisyonlarını etkilemektedir. Öte yandan, kargo dolaplı teslimat seçeneği ise sürücü için dolapları yeni teslimatlar ile doldurması gerektiğinden daha fazla zaman almaktadır. Hem kargo dolapları hem de servis noktası teslimatlarında, kümülatif müşteri seyahat mesafesinin servis sağlayıcının seyahat mesafesine göre önemli ölçüde daha yüksek olduğu da başka bir gerçektir. Tüm bu potansiyel olarak çelişen gereksinimleri hesaba katmak ve müşteri ile lojistik sağlayıcıların gereksinimleri arasında bir denge bulmak oldukça zordur.

Bu sorun için çözüm odaklı İsveçli start-up firması DiPP-R ([www.dipp-r.com](http://www.dipp-r.com)), e-ticaret kargolarının son mil taşımacılığında verimliliği artırmak için bir teslimat şekli geliştirmektedir (DiPP-R, 2022). Buradaki fikir, elektrikli araçların şehrin farklı yerlerine dinamik olarak akıllı kargo dolapları kurmasıdır. Dolaplar, park alanları gibi müşterilerin kolay ulaşımı olduğu yerlere dinamik olarak yerleştirilmektedir. Burada amaç, müşterilerin teslimatlarını günün herhangi bir saatinde teslim almalarını sağlamaktır. Tüm kargoların müşteriler tarafından alınmasından sonra veya belirli bir süre sonra, kargo dolapları araçlar tarafından toplanmakta, depoda yeniden doldurulup yeni teslimat noktalarına yerleştirilmektedir. Amaç, kargoların depo dışında elleçlenmesini azaltmak ve alıcıların kargolarını almak için seyahat etmeleri gereken mesafeyi azaltmaktır. Bu teslim şekli ile aynı zamanda toplam seyahat mesafesini, trafik sıkışıklığını ve çevresel etkiyi azaltmak amaçlanmaktadır (DiPP-R, 2022).

Bu tez çalışmasında amaç, mobil kargo dolaplarını kullanan lojistik hizmet sağlayıcıların yatay işbirliği yapması durumunda elde edecekleri fayda ve zararların belirlenmesidir. Bu doğrultuda, öncelikle, mobil kargo dolaplarının toplama ve dağıtım ile yer seçimi ve rotalama problemi için amacı toplam maliyetlerin en küçükleme olan karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Söz konusu modelde amaç fonksiyonu olan toplam maliyetin minimizasyonu; mobil kargo dolabı yerleştirme sabit maliyeti, araç yakıt maliyeti, araç kullanım maliyeti, sürücü maliyeti ile müşterilerin kargo dolabına seyahat maliyetlerini içermektedir. Önerilen model, varsayımsal şirketler için öncelikle bireysel daha sonrasında ikili ve üçlü işbirlikleri durumları için analiz edilmekte ve yatay işbirliğinin sağlayacağı faydaların gösterilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde lojistik ve lojistik yönetimi kavramaları ele alınmaktadır. Lojistik, lojistik yönetimi ve bunlarla ilişkili olarak tedarik zinciri kavramına ilişkin literatürde yer alan tanımlara yer verilmektedir. Daha sonrasında lojistikte yatay işbirliği, şehir lojistiği ve son mil taşımacılığı ile ilgili genel bilgiler verilmektedir. Bu bölümde son mil taşımacılığında kargo dolabı kullanımı, yer seçimi ve rotalama problemleri ile kargo dolabı kullanımında bu problemin uygulanması ile ilgili literatür detaylı olarak incelenmektedir. İkinci bölümde ise toplama ve bırakma ile mobil kargo dolabı yer seçimi ve rotalama problemi için problem tanımına ve çözümü için önerilen modele yer verilmektedir. Üçüncü bölümde, yapılan nümerik analizlerin sonuçlarına yer verilmektedir. Öncelikle, örnek olaya ilişkin veri setinin tanıtılmasına, örnek olayın senaryo analizlerine ve çözümüne yer verilen bu bölümde, örnek analiz üzerinde bazı duyarlılık analizleri sunulmaktadır. Dördüncü bölümde, yapılan senaryo ve duyarlılık analizlerinin genel değerlendirilmesi ile modelin ve analizlerin yönetimsel etkilerine yer verilmektedir. Sonuç ve öneriler bölümünde ise tez çalışması üzerine genel değerlendirmelere yer verilmektedir.

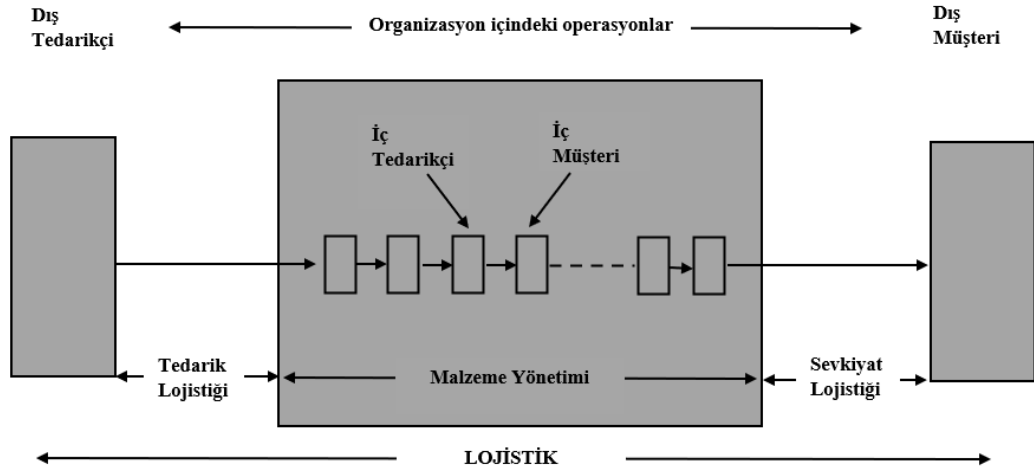
## 1. BÖLÜM: LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde ilk olarak lojistik yönetimi ve tedarik zinciri yönetimi terimleri hakkında genel bilgiler verildikten sonra son mil taşımacılığı, son mil taşımacılığında kargo dolabı kullanımı ile yer seçimi ve rotalama problemi ile ilgili literatüre yer verilmektedir.

### 1.1. LOJİSTİK YÖNETİMİ VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Kökeni çok eskilere dayanan lojistik teriminin, bazı kaynaklara göre Latince “logic” (mantık) ve “statistics” (istatistik) kelimelerinin bir araya gelmesinden oluştuğu ve mantıklı hesap işi anlamına geldiği ifade edilirken (Özcan, 2008), bir başka kaynakta ise kökeninin Yunanca, hesaplamada yetenekli anlamına gelen “logizesthai” (hesaplamak için) ve “logos” (akıl) kelimelerinin birleşimi olan “logistikos” kelimesine dayandığı belirtilmektedir (Van Wassenhove, 2006). Binlerce yıl öncesine dayanan lojistik faaliyetleri, 19. Yüzyılın ortalarında Henri Baron de Jomini'nin ‘The Art of War’ isimli eserinde bir bölümünü savaş lojistiği konusuna ayırması ile ilk kez gündeme gelmektedir (Çetin ve Kök, 2015). İlk başlarda askeri alanda kullanılan lojistik terimi daha sonrasında iş dünyasında kullanılmaya başlanmış olup (Nahmias ve Olsen, 2015) ticaretin en eski biçimlerinde, 1900lerin başlarında, çiftlik ürünlerinin dağıtımında (Crowell, 1901) zaman ve mekân faydası sağlaması ile dikkat çekmeye başlamaktadır.

1900'lü yıllardan günümüze kadar, durmaksızın değişen sistemler sebebiyle literatürde farklı lojistik tanımları bulunmaktadır. Bu tanımlardan bir tanesinde lojistik, zaman ve mekân faydası yaratmada arz ve talebin koordinasyonunu ve hareketini kolaylaştıran tüm faaliyetler (Heskett ve diğerleri, 1973) olarak ifade edilirken, bir başka kaynakta, Şekil 1'de gösterildiği gibi malzemelerin tedarikçilerden bir kuruluşa, kuruluş içindeki operasyonlar ve ardından müşterilere akışından sorumlu işlevler bütünü olarak sunulmaktadır (Waters, 2003).



**Şekil 1.** Lojistiğin Rolü (Waters, 2003)

Bir başka kaynakta ise lojistiğin tanımı, lojistiğin yedi doğrusu teorisinden (doğru ürünü, doğru miktarda, doğru şekilde, doğru yerde, doğru zamanda, doğru müşteriye, doğru fiyatla elde etmek) (Perreaul ve Russ, 1974) yola çıkarak oluşturulmaktadır. Tanımda lojistik, kaynağın doğru zamanda, doğru yerde, doğru maliyetle, doğru kalitede konumlandırılması olarak ifade edilmektedir (Chartered Institute of Logistics and Transport [CILT], 2012). Daha modern bir tanımla lojistik, müşteriye kabul edilebilir bir hizmet sunarken, malların üretim yerinden tüketim noktasına verimli ve maliyet etkin bir şekilde aktarılması olarak ifade edilmektedir (Rushton ve diğerleri, 2021).

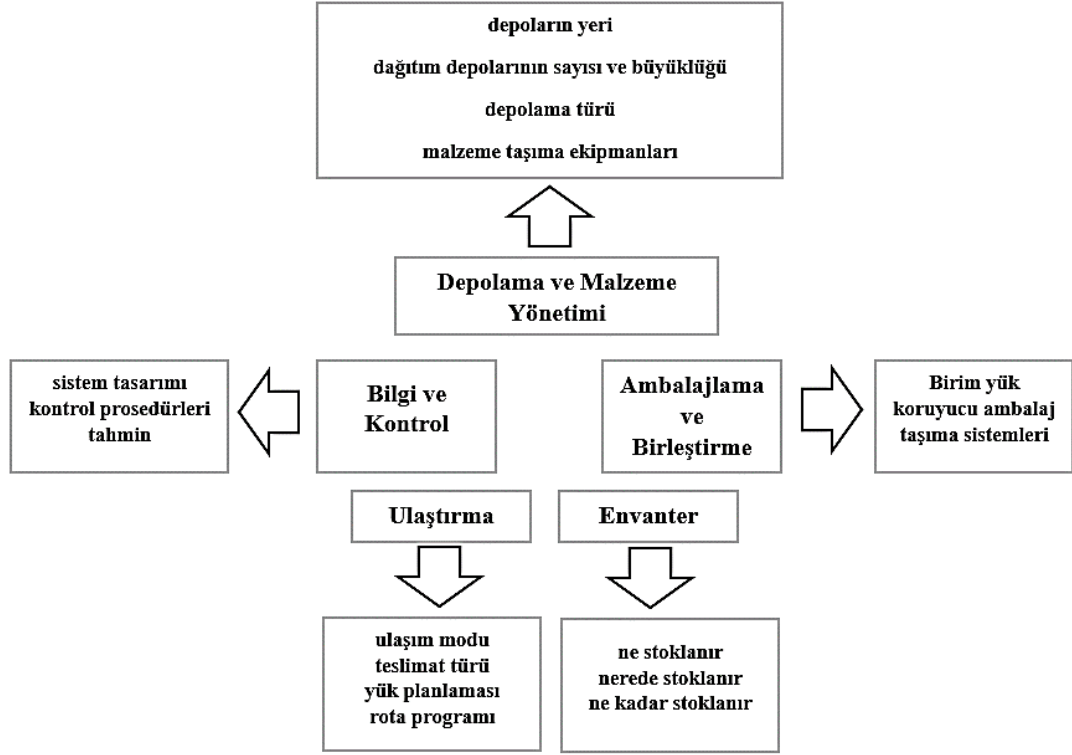
Tedarik Zinciri Yönetimi Profesyonelleri Konseyi tarafından yapılan, tüm bu tanımları genelleyen ve literatürde en çok kabul gören tanımla lojistik, “*Müşteri gereksinimlerini karşılamak amacıyla malların ve bunlara ilişkin bilgilerin menşe noktasından tüketim noktasına kadar verimli ve etkin bir şekilde taşınması ve depolanması için prosedürlerin planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi süreci*” olarak ifade edilmektedir (CSCMP, 2013).

Bu tanımlar doğrultusunda lojistik yönetimi tanımı ise yine Tedarik Zinciri Yönetimi Profesyonelleri Konseyi tarafından, müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için malların, hizmetlerin ve bunlara ilişkin bilgilerin ileri ve geri akışını, depolanmasını etkin ve verimli bir şekilde planlayan, uygulayan ve kontrol eden tedarik zinciri



yönetiminin bir bölümü olarak ifade edilmektedir. Lojistik yönetiminin kapsamı alanına giren konuları belirtmek için kullanılan lojistik yönetiminin unsurları, literatürde oldukça farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Sistem ihtiyaçları değiştikçe, lojistik yönetimi unsurları da farklılaşmış bazı unsurlar kullanılmaz hale gelirken, bazı yeni unsurlar eklenmektedir. Literatürde bulunan, lojistik yönetimi unsurlarına ait farklı yaklaşımlar şu şekildedir;

- Stock ve Lambert'e göre (2001) lojistik yönetimi unsurları: Envanter Yönetimi, Depolama ve Stok Yönetimi, Müşteri Hizmetleri, Elleçleme, Paketleme, Sipariş Süreci, Trafik ve Ulaştırma, Parça ve Hizmet Desteği, Fabrika ve Depo Alanı Seçimi, Ters Lojistik, Talep Öngörüsü, Lojistik İletişim (Stock ve Lambert, 2001).
- Murphy ve Wood'e göre (2004) lojistik yönetimi unsurları: Envanter Yönetimi, Müşteri Hizmetleri, Tesis Yeri Kararları, Sipariş Yönetimi, Üretim Planlaması, Geri Dönen Ürünler, Ulaştırma Yönetimi, Talep Öngörüsü, Endüstriyel Paketleme, Elleçleme, Parça Hizmet Desteği, Satın Alma, Ayırıştırma ve Yok Etme, Depo Yönetimi (Murphy ve Wood, 2004).
- Keskin'e göre (2018) lojistik yönetimi unsurları: Envanter, Stok, Malzeme Yönetimi, Talep Öngörüsü, Sipariş Süreci, Müşteri Hizmetleri, Tedarik Yönetimi, Satın Alma Yönetimi, Kalite Kontrol Faaliyetleri, Kodlandırma Faaliyetleri, Muayene, Test Kabul Faaliyetleri (Keskin, 2018).
- En güncel ve literatürde kabul görmüş şekliyle Rushton ve çalışma arkadaşlarına (2021) göre lojistik yönetimi unsurları Şekil 2'de görüleceği üzere ana unsurlar ve alt unsurlar olmak üzere birbirinden ayrılmıştır. Ana unsurlar, depolama ve malzeme yönetimi, ambalajlama ve birleştirme, bilgi ve kontrol, ulaştırma ve envanter olarak tanımlanmaktadır.



**Şekil 2.** Lojistik Yönetimi Ana ve Alt Unsurları (Rushton ve diğerleri, 2021)

Tüm bu ana ve alt unsurlar hem kendi iç ortamları hem de bir bütün olarak lojistik sisteminin daha geniş kapsamı açısından sistematik bir şekilde planlanmalıdır. Bu planlamalar sırasında alınan lojistik kararlar stratejik, taktik ve operasyonel olmak üzere seviyelendirilmektedir. Tesis yeri, türü, sayısı ve büyüklüğü, filo büyüklüğü ve sistem tasarımı gibi etkileri uzun yıllar süren kararlar stratejik kararlar olarak tanımlanmaktadır. Depo tahsisi, ulaştırma şekli, teslimat türü gibi etkisi orta vade süren kararlar taktik kararlar olarak ifade edilmektedir (Rushton ve diğerleri, 2021). Etkisi daha kısa süren, yük planlaması, rota programı gibi kararlar operasyonel kararlar olarak tanımlanmaktadır. Lojistik yönetimde bu kararların doğru alınması için optimizasyon, simülasyon gibi karar destek yöntemleri oldukça önemlidir.

Yukarıda yapılan tüm bu tanımlarda görüldüğü üzere, lojistik yönetimi kavramı tedarik zincirinin bir parçası olarak ifade edilmektedir. Bu tanımlar doğrultusunda lojistik ve lojistik yönetimi kavramlarını daha iyi anlamak adına tedarik zinciri ve

tedarik zinciri yönetimi kavramlarının ele alınması gerekmektedir. Tedarik zinciri, nihai müşteriye sunulan, ürün ve hizmetler biçiminde değer üreten farklı faaliyetlerin aşağı ve yukarı akışlarında yer alan kuruluşlar ağı olarak tanımlanmaktadır (Christopher, 1992). Bu doğrultuda, tedarik zinciri, bir kaynaktan müşteriye ürün, hizmet ve bilginin yukarı (tedarik) ve aşağı (dağıtım) akışında doğrudan yer alan üç veya daha fazla kuruluşları (kuruluş veya birey) kapsamaktadır (Mentzer ve diğerleri, 2001). En güncel ve sık kullanılan tanımıyla tedarik zinciri, Tedarik Zinciri Yönetimi Derneği'nin (ASCM) sözlüğünde, hammadde noktasından son müşteriye, tasarlanmış fiziksel dağıtım, bilgi ve nakit akışı ile ürün ve hizmet sunmak için kullanılan küresel ağ olarak tanımlanmaktadır (Association of Supply Chain Management [ASCM], 2010). Bu doğrultuda tedarik zinciri yönetimi ise *“Net değer yaratmak, rekabetçi bir altyapı oluşturmak, dünya çapında lojistikten yararlanmak, arz ile talebi senkronize etmek ve küresel olarak performansı ölçmek amacıyla tedarik zinciri faaliyetlerinin tasarımı, planlanması, yürütülmesi, kontrolü ve izlenmesi”* olarak ifade edilmektedir (ASCM, 2010). Bu ifade ile tedarik zinciri yönetimi, kaynak bulma ve satın alma, dönüştürme ve tüm lojistik yönetim faaliyetlerine dahil olan tüm süreçlerin planlanmasını ve yönetimini kapsamaktadır (CSCMP, 2013). Burada temel amaç müşteri taleplerine cevap verebilecek malzeme, hizmet, bilgi akışlarının senkronize etmektir (Krajewski ve diğerleri, 2010).

### 1.1.1. Lojistikte Yatay İşbirliği

Literatürde yapılan tanımlara göre lojistik, hammadde tedarikçileri, üreticiler, tüketiciler ve bunların arasında kurulacak olan bilgi, ürün ve para akışında önemli bir rol oynamaktadır. Bu noktada şirketler, bilgi, ürün ve para akışı sırasında gerçekleştirilecek olan lojistik hizmetlerin hangilerinin kendi başlarına yürütülmesi ve hangilerinin dışarıdan satın alınması gerektiğine, kendi hedeflerine ve temel yetkinliklerine, gerekli hizmetlerin türüne ve kapsamına, mevcut lojistik hizmet sağlayıcılarına (LHS) dikkat ederek karar vermek durumundadır (Coase, 1937; Penrose, 1959; Williamson, 1985; Gudehuss ve Kotzab, 2009). Şirketler, uzun yıllar boyu, bu lojistik hizmetleri kurum içerisinde yürütmeyi tercih etmişlerdir.

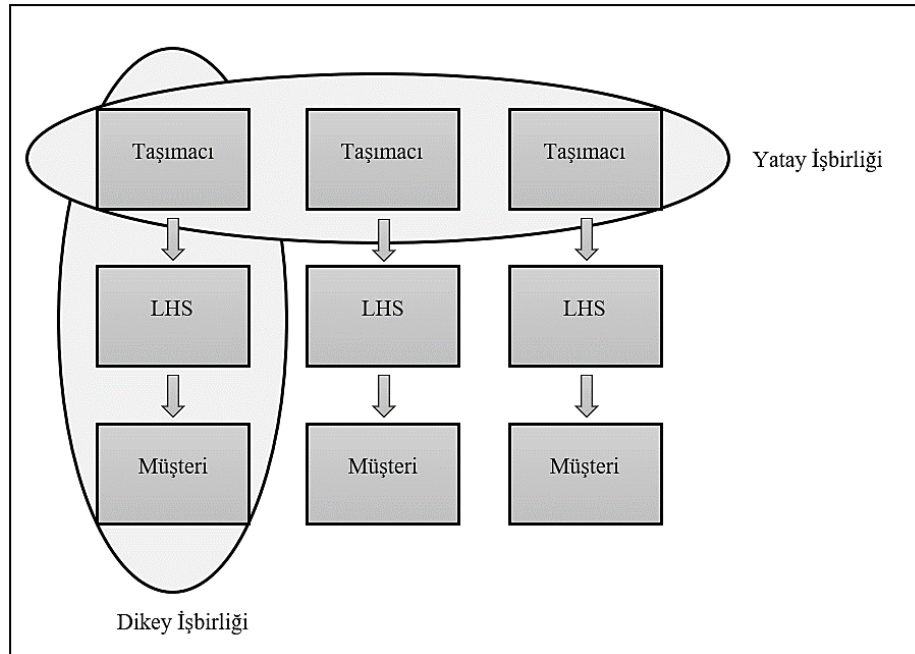
Taşıma faaliyetlerini kendi filoları ile gerçekleştirmiş, kendi depolarını planlamış, inşa etmiş ve işletmiş, sevkiyatlarını kendileri organize etmişlerdir. Ancak bazı şirketler bu eğilime karşı hareket ederek nakliye, navlun ve depolama gibi işlemlerin büyük bir kısmını lojistik hizmet sağlayıcılarına devretmiş ve kendi kaynaklarını temel yetkinlerine odaklayarak diğer şirketlere nazaran daha başarılı olmuşlardır (Gudehuss ve Kotzab, 2009).

Bu bağlamda, Lambert ve diğerleri tarafından önerilen ve literatürde kabul gören ilk tanımıyla işbirliğine dayalı lojistik *“Karşılıklı güvene, açıklığa, paylaşılan riske ve paylaşılan ödüle dayanan ve firmaların bireysel olarak elde edebileceğinden daha yüksek iş performansı ile sonuçlanan rekabet avantajı sağlayan özel bir ilişki”* olarak ifade edilmektedir (Lambert ve diğerleri, 1999). Bir başka ifade ile işbirliğine dayalı lojistik, şirketlerin tek başına çalışmak ve sıklıkla ortaya çıkan verimsizliği kabul etmek yerine tedarik zincirlerinde verimliliği artırmak için birlikte çalıştığı uygulama olarak tanımlanmaktadır (Ferrell ve diğerleri, 2020).

Maliyeti azaltmak, pazar koşullarını geliştirmek, değişkenliği azaltmak, tedarik miktarını arttırmak, operasyonel ve çevresel kısıtlamalara saygı duymak ve yeni pazarlara erişmek için şirketler diğer işletmelerle işbirlikleri kurmaktadır (Basso ve diğerleri, 2019). Bunlarla birlikte, lojistik hizmet sağlayıcıları, araç kullanımını artırmak, araç ve personelin boş hareketlerini azaltmak ve kaynakların sürdürülebilir kullanımını sağlayan eş-modaliteyi teşvik etmek amacıyla yük akışlarını bir araya getirerek rakipleri ile işbirliği yapmaktadır (Sosyal ve Bloemhof-Ruwaard, 2017). Simatupang ve Sridharan (2002), işbirlikçi yapılarına göre lojistik işbirliklerini dikey, yatay ve yanal olmak üzere üçe ayırmaktadır (Simatupang ve Sridharan, 2002). Dikey işbirliği, tedarikçiler, üreticiler, LHS'lar ve perakendeciler gibi farklı kuruluşların nispeten benzer son müşterilere daha iyi hizmet vermek için sorumluluklarını, kaynaklarını ve performans bilgilerini paylaştıklarında ortaya çıkmaktadır (Xu, 2013). Dikey bir işbirliğinin amacı, gereksiz lojistik maliyetlerden kaçınmak için tamamlayıcı hizmetler sunan tedarik zincirinin farklı seviyelerinde faaliyet gösteren taraflar arasında karşılıklı yarar sağlayan işbirlikleri kurmaktır (Verdonck, 2017). Yanal işbirliği ise dikey ve yatay işbirliğinin bir kombinasyonu olarak kabul edilmektedir. Burada amaç, yetenekleri

hem dikey hem de yatay şekilde birleştirilerek ve paylaşarak daha fazla esneklik kazanmaktır (Xu, 2013). Aynı tedarik zincirinde işbirliğinin yapıldığı dikey işbirliğinin aksine, farklı tedarik zincirlerinde aynı seviyedeki şirketler tarafından kurulan işbirlikleri yatay işbirliği olarak tanımlanmaktadır (Basso ve diğerleri, 2019).

Visser (2007), dikey ve yatay işbirliklerinin tanımlarını şu şekilde vermektedir: dikey işbirliği, belirli bir üretim sürecinde birbirini izleyen ve bu nedenle farklı faaliyetlerde bulunan taraflar arasındaki işbirliği olarak tanımlanır; yatay işbirliği, potansiyel rakipler arasındaki işbirliği ile karakterize edilir (pazarda aynı seviyede bulunan taraflar) (Visser, 2007). Dikey ve yatay işbirlikleri örnekleri Şekil 3'te gösterilmektedir.



**Şekil 3.** Yatay ve Dikey İşbirliği (Visser, 2007)

Yatay işbirliği, Avrupa Birliği (2001) tarafından, değerler sisteminde aynı düzeyde/seviyelerde faaliyet gösteren şirketler arasındaki uyumlu bir uygulama olarak tanımlanmaktadır (Avrupa Birliği, 2001). Bu doğrultuda Cruijen (2006) ise yatay işbirliğini, tedarik zincirinin aynı seviyesinde faaliyet gösteren ve karşılaştırılabilir bir lojistik işlevi gerçekleştiren iki veya daha fazla firma

arasındaki aktif işbirliği olarak tanımlamıştır (Cruijen, 2006). Özetle, yatay işbirliği, tedarik zincirinin aynı seviyesinde faaliyet gösteren iki veya daha fazla firma arasında, rakip olmalarına, büyüklüklerine göre benzer veya farklı olmalarına bakılmaksızın, kazan-kazan durumlarını belirlemeyi ve elde etmeyi amaçlamaktadır (Xu, 2013). Başka bir deyişle, böyle bir işbirliği, ilgili şirketlerin bireysel olarak elde edeceklerine göre daha üstün performanslara ulaşmalarına izin vermektedir (Pomponi ve diğerleri, 2013).

Şirketler tarafından karşılanması gereken lojistik hizmetler arasında yük taşımacılığı, toplam lojistik maliyetlerinin %29,4'ünü temsil etmektedir (Chang, 1998). Bu nedenle ulaşım verimliliğinin artırılması, işletmelerin küresel pazarda rekabet edebilmeleri için ana hedeflerden biri haline gelmektedir (Gudehuss ve Kotzab, 2009). Ancak pazarın küreselleşmesi sonucunda artan rekabet ile ürünlerde artan kişiselleştirme ve tam zamanında teslim (just-in-time) gibi daha iddialı pazarlama ve üretim stratejilerinin geliştirilmesi teslimat hacimlerinin parçalanmasına ve teslimat sıklığının artmasına yol açmaktadır (Cruijen, 2006; Pomponi ve diğerleri, 2013). Bu durum lojistik servis sağlayıcıların boş araçla teslimat yapmasına neden olurken artan teslimat sıklıkları ile karbondioksit emisyonunu arttırmaktadır. Bir diğer anlamda artan rekabete uyum sağlamak için değişen ve gelişen stratejiler, lojistik hizmet sağlayıcılarının geleneksel çözümleri ile uygulandığında maliyeti artırırken çevreye de zarar vermektedir (Ferrell ve diğerleri, 2020).

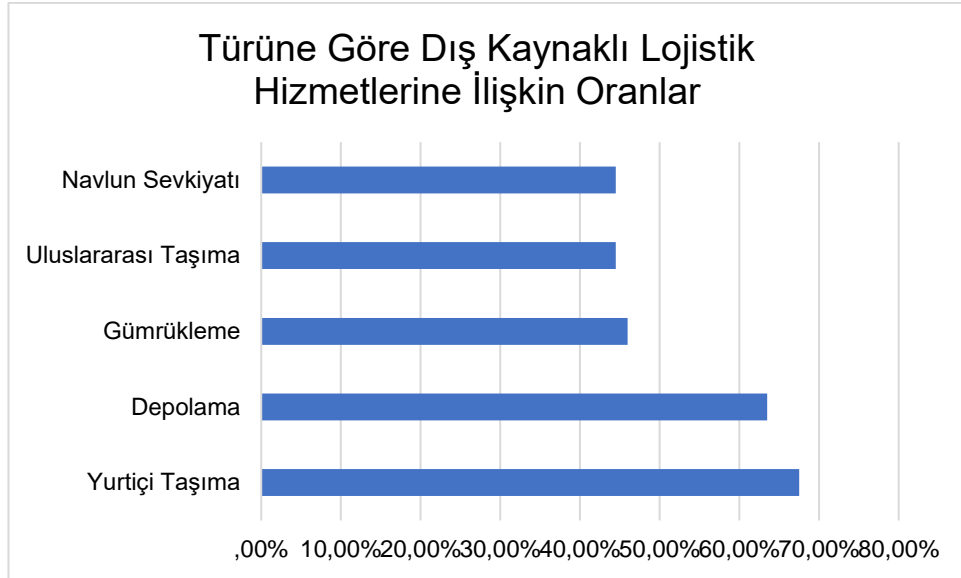
Bu olumsuz etkilere ek olarak, artan teslimat sıklıkları sonucu ortaya çıkan, yollarda ve otoyollarda sürekli artan trafik sıkışıklığı, aynı yolları kullanan herkesin yaşam kalitesini olumsuz etkilemektedir. Özellikle artan kentleşme problemi ile çoğu büyük şehirde bu sorun dayanılmaz hale gelmektedir. Bu sorunun önüne geçmek için şehir otoriteleri tarafından alınan, şehirde belirli alanlarda izin verilen araç sayısının azaltılması önlemi, sürekli kısalan taahhüt edilen teslimat süreleri ve tıkanıklık problemi LHS faaliyetlerini olumsuz etkilemektedir (Ferrell ve diğerleri, 2020). Bu nedenlerle, sistemde önemli değişiklikler, hatta dramatik paradigma değişiklikleri olmadığı sürece verimlilik ve sürdürülebilirlik ile ilgili mevcut LHS'nin sorunlarının büyümesi kaçınılmaz hale gelmektedir. Bu durumda,

verimlilik ve yenilikçilik kazanımları kısıtlı olma eğiliminde olan LHS'ler, bilgi ve diğer kaynakları ortak kuruluşlarla paylaşarak pazar konumlarını pekiştirmek ve hatta geliştirmek için işbirliğine başvurmaktadır (Pomponi ve diğerleri, 2013; Ferrell ve diğerleri, 2020). Yatay işbirliğine dayalı lojistik ile inşa edilen sistemin, daha verimli ve sürdürülebilir bir lojistik sisteminin temel taşı olma potansiyeline sahip olduğu vurgulanmaktadır (Ferrell ve diğerleri, 2020). Bu nedenle, bu çalışmada, yatay işbirliğinin lojistik hizmet sağlayıcılarının operasyonlarına faydasının analizine yer verilecektir.

#### 1.1.1.1. Lojistikte Yatay İşbirliğinin Avantajları

Bu bölümde, mevcut literatür incelenerek lojistikte yatay işbirliğinin avantajları açıklanacaktır.

Statista (2021a), Şekil 4'te en çok kullanılan dış kaynaklı lojistik hizmetlere ilişkin bir araştırmanın sonucunu verilmektedir. Bu sonuçtan, lojistik hizmetlerin, özellikle taşıma faaliyetlerinin, çoğunlukla LHS'lar tarafından yürütüldüğü görülmektedir. Bu doğrultuda, bu tez çalışmasında, yatay işbirliğinin avantajları, LHS'nın taşımacılık faaliyetleri perspektifi ile açıklanacaktır.



**Şekil 4.** Türüne Göre Dış Kaynaklı Lojistik Hizmetlerine İlişkin Oranlar (Statista, 2021a)

Lojistikte yatay işbirliğinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Xu, 2013);

- Maliyet azaltma
- Hizmet iyileştirme
- Pazar konumu iyileştirme
- Beceri ve bilgi paylaşımı
- Yatırım ve risk paylaşımı
- Emisyon azaltma ve tıkanıklık azaltma

Yatay işbirliğinde, lojistik ağının coğrafi yapısı, teslimat sıklığı ve hacmi, araç gereksinimi ve teslimat süresi aralığı gibi belirli teslimat bilgilerinin değiş tokuşuyla kapasite paylaşımı veya ortak planlama için potansiyel yollar belirlenmesi ile fayda sağlanmaktadır. LHS arasında yatay işbirliği yoluyla araç yükü oranları optimize edilmesi ile %13'e kadar maliyet tasarrufu ve verimlilik sağlandığı bilinmektedir (Pan ve diğerleri, 2012.). Aynı tedarik zinciri seviyesinde çalışan lojistik operatörleri, daha yüksek sinerji elde etmek için lojistik planlamalarını ve operasyonel süreçlerini koordine ettikçe, tüm koalisyonun maliyet verimliliği artmaktadır (Ferrell ve diğerleri, 2020).



Bahrami (2002), işletmelerin yatay işbirliği ile şiddetli rekabette daha iyi bir konuma gelebileceğini belirtmektedir (Bahrami, 2002). Lojistik pazarında büyük LHS'lara karşı, küçük ve orta ölçekli LHS'lara yardımcı olan yatay işbirliği, ilk başta, kaynak ve beceri paylaşımıyla, bireysel olarak yaptıklarından daha verimli çalışabilmelerini, mevcut filo ve depolar gibi daha fazla kaynak ve bir ittifak olarak daha güvenilir olmaları nedeniyle, daha büyük sözleşmelere sahip olmalarını sağlamaktadır. İkincisi, birbirleriyle işbirliği yaparak, potansiyel müşteri sayısını artırıp daha yüksek veya tam coğrafi alanı kapsama avantajı elde edebilmektedir. Bir başka açıdan, yatay işbirliği, ortak satın almada işbirlikçi üyelerin pazarlık gücünü arttırmaktadır.

Léonardi ve Baumgartner (2004) tarafından yapılan araştırma sonucu, ulaşım verimliliği ile CO2 emisyonları arasında çok güçlü bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, yatay işbirliği, yük taşımacılığı verimliliğini arttırabileceğinden, başlıca CO2 emisyon kaynaklarından en az birinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Léonardi ve Baumgartner, 2004). Ayrıca sevkiyatların birleştirilmesiyle, şehir merkezinde daha az sayıda araç hareketine neden olmaktadır. Böylece yatay işbirliği bu şekilde kurumsal sorumluluğu da arttırmaktadır.

#### 1.1.1.2. Yatay İşbirliklerinin Önündeki Engeller

Önceki bölümde belirtildiği üzere, yatay işbirliğinin paydaşlarca verimli olduğu bilinmektedir, ancak bu tür bir ilişkinin başarılı bir şekilde uygulanmasının önünde birçok engel bulunmaktadır. Literatürde bu engeller aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Xu, 2013);

- Uygun ortak bulma,
- Kar paylaşım mekanizması,
- Güven,
- Bilgi paylaşımı,
- Rekabet sorunu,

- Yasal meseleler,
- Kurumsal kültür çatışması,
- Şirketlerin organizasyon yapıları,
- İşbirliğinden giriş/çıkış kuralları.

İşbirliğinin önündeki ana engellerden biri doğru ortakları bulmaktır. (Palmer ve diğerleri, 2013). Lojistik işbirliklerinde coğrafi yakınlık, sevkiyat tamamlayıcılığı ve koordine edilebilirlik açısından önemli kaynaklardır. Lojistik lokasyonlarının yakınlığı, ortak teslimat ve ortak ikmal durumlarında önem arz ederken akış dengesi ve geri taşıma faaliyetlerinde de işbirliğini mümkün kılmaktadır. Yatay işbirliği açısından, her iki firmadan da kilit oyuncular birbirine yakınsa, bu ilişkinin geliştirilebilmesi daha olası görülmektedir. Bir diğer unsur sevkiyat tamamlayıcılığıdır. Sevkiyat tamamlayıcılığı, araç alanlarının paylaşılması olasılığı olarak tanımlanır ve iki işletme arasındaki koordinasyon, sevkiyat miktarları ve yoğunluğu incelenerek ölçülebilmektedir. Bu doğrultuda, sevkiyatlarda büyük bir boyut eşitsizliği varsa, firmaların işbirliği yapmalarının bir yararı olmadığı bilinmektedir (Xu, 2013).

Kar paylaşım mekanizması, işbirlikçi ilişkinin kurulması için çok önemlidir. İşbirliği için teşvik sağlamak adına tüm ortaklara fayda sağlanabilmelidir. Ayrıca, işbirliğinin uzun ömürlü olmasını garanti edecek kadar adil ve makul olmalıdır. Meyer (2011), katkı miktarını işbirliğinin temel unsurlarından biri olarak tanımlar ve katkıya göre ortak kazancın (veya maliyetin) tahsis edilmesini önerirken, bunun gerçek durumlarda uygulanması zor olduğunu belirtmektedir (Meyer, 2011).

Örgütler arası bir bilgi sistemi oluşturmak için yapılan yüksek yatırım, engelleyici bir başka faktör olarak verilmektedir. Ancak, bu noktada Verstrep vd. 2009'da yaptıkları çalışmalarında, bilgi sistemi yatırımının esas olarak orta yoğunluklu yatay işbirlikleri için bir sorun olduğunu göstermektedir (Verstrep ve diğerleri, 2009). Araştırmacılar, hafif yatay işbirliği biçimlerinin belirli bilgi sistemi yatırımı gerektirmediğini, yüksek yoğunluklu girişimlerin ise gerekli bilgi sistemi

yatırımlarını özümsemek için yeterli mali imkana sahip olduğunu belirtmektedir (Verstrepen ve diğerleri, 2009).

Yatay işbirliği aynı tedarik zinciri veya tedarik ağında uygulandığından, piyasada benzer şekilde işlev gören tedarik zinciri üyeleri, belki rakipler, işbirlikçi bir ilişkiye girmektedir. Palmer vd. (2013) ortak çalışanların rakiplerle işbirliği yapmaktan kaçınma eğiliminde olduğunu belirtmektedir (Palmer ve diğerleri, 2013). Literatürde, özellikle rakipler arasında olmak üzere birçok yatay işbirliği uygulaması başarısız olduğu belirtilmektedir. Bu noktada, Graham (2011), güven, gizlilik ve güvenliği rakipler arasındaki işbirliğini sınırlayan başlıca engeller olarak tanımlamaktadır (Graham, 2011).

Karbon emisyonu ve yol tıkanıklığı gibi lojistik faaliyetlerin neden olduğu çevresel etkiyi azaltmak için etkili bir yaklaşım olarak hem hükümetler hem de uluslararası kuruluşlar tarafından yatay işbirlikleri teşvik edilmektedir. Bununla birlikte, rakipler arasındaki işbirlikleri söz konusu olduğunda, Avrupa Birliği, rekabetçi olmayan ticari uygulamalara yol açabilecek herhangi bir işbirliğini caydırmak için barikatlar kurmuştur. Komisyon, işbirliğinin nakliye ve kamyon alanını kapsadığı durumlardan çok, şirket defterlerinin, ürün yönetiminin ve pazar stratejilerinin rakipler arasında erişilebilir olduğu ortak depo alanını içeren durumlarla daha fazla ilgilenmektedir (Avrupa Birliği, 2001). Bu noktada, işbirliklerinde depo, nakliye ve kamyon alanı paylaşımı kararları işbirlikçi firmalara bırakılmakta ve bu durum yapılan işbirliklerinde zaman zaman anlaşmazlıklara yol açarak engeller yaratmaktadır.

Bir başka açıdan, işbirliklerinin başarısı aynı zamanda bir firma içindeki işbirliği kültürüne de bağlıdır. Koppers (2008), işbirlikçi kültürü, bir firmanın ve çalışanlarının, müşteri odaklı çözümler sunmak için diğer firmalarla işbirliği içinde çalışmak için belirli bir yetenek, isteklilik ve farkındalık seti olarak tanımlamaktadır (Koppers, 2008). Yatay işbirliği, ortak çalışanların çoklu yönetimi altında olan kuruluşlar arasında gerçekleşmektedir. İşbirliği içinde aktif rol oynayacak firmaların hem çalışanlarının hem de organizasyon yapılarının işbirliği kültürüne uyumlu olması büyük bir önem taşımaktadır. Uygun organizasyon yapısı,

işbirliklerinin verimli yönetimini sağlamaktadır. İşbirliğine uygun bu tür bir organizasyon yapısı, organizasyonlar arası ekiplere, maksimum performans üretmeleri için güç veren, yüksek düzeyde ilgili, kendi kendini yöneten bir ortam sağlarken, bu organizasyonda yöneticiler, daha yüksek üretkenliğe yol açan süreçleri (işlevlerden ziyade) yönetmeye odaklanır ve doğru bilgilerin hızlı bir şekilde paylaşılmasıyla organizasyonun tüm yönlerini bütünlüştirmektedir. Ancak işbirliği kültürü ve organizasyon yapısı uyuşmayan firmalarda bu süreçler düzgün işlemezken işbirliği başarısızlıkla sonuçlanmaktadır.

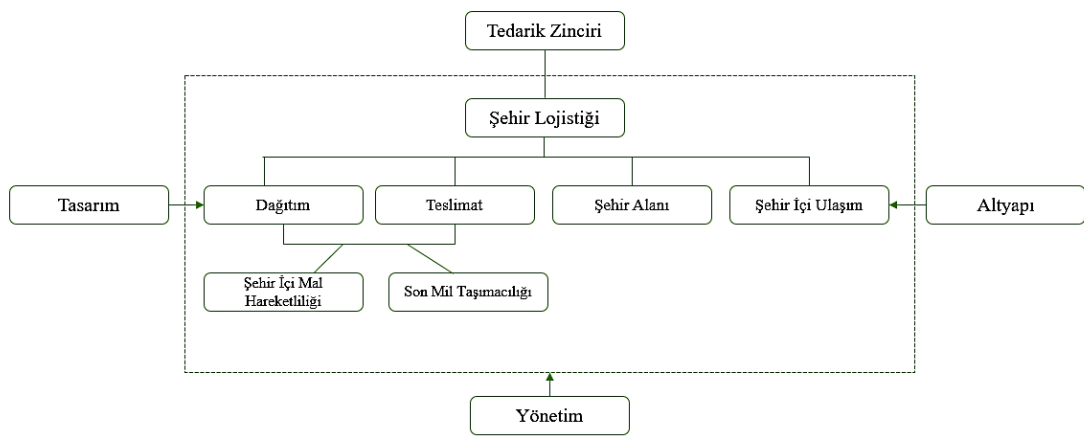
## 1.2. SON MİL TAŞIMACILIĞI

Birleşmiş Milletler (BM)'in 2018'de yayınladığı raporuna göre hali hazırda dünya nüfusunun %55'inden fazlası şehirlerde yaşamaktadır (United Nation [UN], 2018). Aynı raporda bu oranın 2050 yılına kadar %68'e kadar yükseleceği ön görülmektedir. Artan nüfus ve e-ticaretin büyümesi ile şehir içi dağıtım hizmetlerine olan talep önemli ölçüde artmıştır. Ancak, bu hizmetler, şehirlerde trafik sıkışıklığına, gürültü kirliliğine, trafik kazalarına ve sera gazı (GHG) emisyonlarının artmasına neden olmaktadır (Dündar ve diğerleri, 2021). Artan nüfus ile şehirler, var olan ekonomik rekabet güçlerini korurken vatandaşlarının yaşam kalitesini artırmak için yeni stratejiler belirlemeleri gerekmektedir (Dahmardeh ve diğerleri, 2018). Bu doğrultuda şehir lojistiği, şehirlerde nüfus yoğunluğu ile artan yük taşımacılığı talebi sonucu bir şehrin büyümesi ve gelişmesi için önemli bir kavram haline gelmektedir.

Kentsel alanlarda, özel şirketler tarafından trafik durumu ve enerji tüketimi dikkate alınarak gerçekleştirilen lojistik ve ulaşım faaliyetlerinin piyasa ekonomisi çerçevesinde optimize edilme süreci olarak tanımlanan şehir lojistiği, kentsel alanlardaki lojistik ve taşımacılık faaliyetlerini ele almakta ve tedarik zinciri yönetiminin son aşaması olarak görülmektedir (Taniguchi ve diğerleri, 1999; Neghabadi ve diğerleri, 2019). Şehir lojistiği faaliyetleri ile ekonomik büyüme, kentleşmenin çevresel etkilerinin iyileştirilmesi, kentsel işsizliğin çözülmesi, güvenli kentsel yük taşımacılığı ve bölgesel ekonomik gelişimi amaçlanmaktadır

(Neghabadi ve diğeri, 2019). Ayrıca gelişmiş bir şehir lojistik sistemi ile gereksiz işlem maliyetleri azaltılabilir, yatırım ortamını iyileştirilebilir ve doğrudan yabancı yatırımı artırılabilir (Dahmardeh ve diğeri, 2018).

Şehir lojistiği, şehir içinde ürünlerin taşınması, dağıtılması ve toplanması süreçlerini kapsamaktadır. Neghabadi vd. (2019) yaptıkları sistematik literatür taraması çalışmalarına dayanarak hazırlanan şehir lojistiğinin çerçevesi Şekil 5'te görülmektedir.



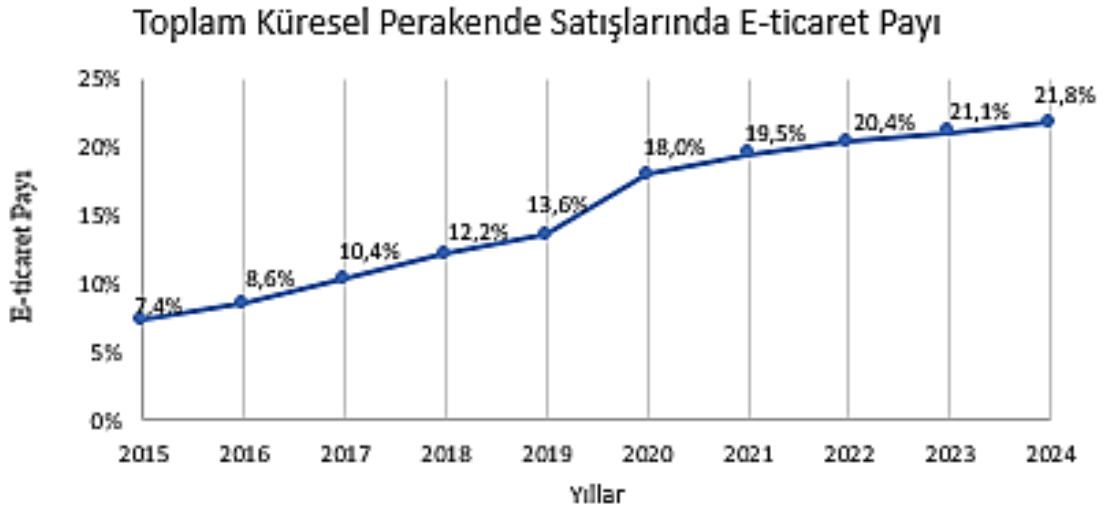
**Şekil 5.** Şehir Lojistiğinin Çerçevesi (Neghabadi ve diğeri, 2019)

Şekil 5'te görüldüğü üzere şehir lojistiği tedarik zincirinin alt kümesi olarak ifade edilmektedir. Şehir lojistiğinin alt problemleri olarak kentsel alanda gerçekleşen yük taşımacılığı, yine kentsel alan içerisinde gerçekleşen lojistik faaliyetleri (lojistik arazi kullanımı, yeşil lojistik ve intermodal lojistik) olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda dağıtım faaliyetleri de şehir lojistiğinin alt problemi olarak değerlendirilirken buradaki dağıtım faaliyetleri, erişilebilirlik kısıtlaması, zaman pencereleri, yüksek talep oranı gibi belirli kısıtlamalar dikkate alınarak planlanan kentsel alandaki yük dağıtımını yansıtmaktadır. Şehir lojistiğindeki bir diğer önemli problem ise esas olarak incelenen alanın büyüklüğü, karakteri ve istenen kalitesi ile tanımlanan şehir alanını ifade etmektedir. Aynı zamanda, dağıtım amacı ile şehir içindeki akış, şehir lojistiğinde kentsel mal hareketini önemli bir alt problem haline getirmektedir. Dağıtım problemi, teslimat problemi ile

birleştirildiğinde, son yıllarda önemli ölçüde artan son mil teslimat sorunu oluşmaktadır. Tüm bu alt problemler, yeni ağ veya tesislerin tasarlanması, lojistik bilgi platformları ve coğrafi bilgi sistemleri veya yönetimde yeni altyapıların sağlanması yoluyla farklı bakış açılarıyla ele alınmaktadır.

Ticaret ve kentleşme arasında oldukça net bir bağlantı bulunmaktadır (Cavailhès ve diğerleri, 2007). Son yıllarda kentlerde artan nüfusun yanı sıra, e-ticaret sektörü de yüksek değerli dayanıklı mallardan düşük değerli tüketim mallarına kadar değişen tüm ürünlerle dikkat çekici bir oranda genişlemektedir (Deutsch ve Golany, 2018). Küresel iş verisi platformu olan Statista'nın raporlarına göre, e-ticaret gelirlerinin dünya çapında 6,54 trilyon ABD dolarına ulaşacağı tahmin edilmektedir (Statista, 2021b). ABD Ticaret Bakanlığı'na bağlı Uluslararası Ticaret İdaresi (ITA) 2021 raporu verilerinde görüldüğü üzere (Şekil 6), büyümesi 2020 yılında pandemi ile bir hayli hızlanan e-ticaretin 2024 yılına kadar dünya çapında %8'lik bir ivme ile büyümesi beklenmektedir (International Trade Administration [ITA], 2022).

Şehir nüfusunun, genellikle iyi maaşlı olanların artan sayısı, konut, hizmet ve mal talebinin artmasına neden olmaktadır (Mucowska, 2021). Mallara olan talep, gelişen teknoloji ve küreselleşme ile çevrimiçi mağazalarda perakende ticareti geliştirmek için itici güç olmuş ve çevrimiçi mağazalarda satılan mallar her yerden satın alınabilmekte ve dünyanın dört bir yanına taşınarak özellikle şehirlerde nihai müşteriye ulaştırılmaktadır (Mucowska, 2021). Bu yolculuğun son kısmı olan son mil taşımacılığı olarak tanımlanmaktadır.



**Şekil 6.** Toplam Küresel Perakende Satışlarında E-Ticaret Payı

Şehir lojistiği kapsamına giren son mil taşımacılığı, işletmeden tüketiciye teslimat hizmetinde, sevkiyatın alıcının evinde veya bir toplama noktasında alıcıya teslim edildiği son ayak olarak tanımlanmaktadır (Gevaers ve diğerleri, 2014). E-ticaretin gelişimi, artan şehirleşme ve değişen müşteri davranışları doğrudan tüketiciye teslimatlar da epeyce büyük bir artışa yol açmaktadır (Olsson ve diğerleri, 2019; Gevaers ve diğerleri, 2011).

Son mil taşımacılığı talebinin 2030 yılına kadar %78 oranında artması beklenmektedir (World Economic Forum , 2020) . Bu artışlar, son mil taşımacılığını, tedarik zincirinin maliyet, verimlilik ve kirlilik açısından en sorunlu kısmı haline getirmektedir (Deutsch ve Golany, 2018). Son mil taşımacılığı, tedarik zincirinin toplam teslimat maliyetinin %28'ini oluşturmaktadır (Y.Wang ve diğerleri, 2016). Aynı zamanda son mil taşımacılığı şehirlerde trafik hacminin artmasına, trafik sıkışıklığına, gürültü ve hava kirliliğine de yol açmaktadır (Ranieri ve diğerleri, 2018). Tüm bu sorunların iyileştirilmesinin yollarını bulmak ise son mil taşımacılığı problemi olarak ifade edilmektedir (Deutsch ve Golany, 2018).

Son mil taşımacılığı probleminde yaşanan zorluklar şu şekilde ifade edilmektedir;

- Ölçek ekonomisinin olmaması: dağıtım noktasına kadar teslimat başına çok sayıda pakete sahip olunmasına karşın, dağıtım noktasından nihai tüketiciye teslimatlar genellikle durak başına bir paketi içermesi, paket başına düşen taşıma maliyelerini arttırmaktadır.
- Nihai tüketicinin ev adresini bulma zorluğu; tüketici şehirdeki büyük apartman bloklarında veya yolları uygun işaretlere sahip olmayan uzak bir çiftlik evinde yaşaması durumu hem yüksek taşıma maliyetlerine hem de trafik sorununa yol açmaktadır.
- 'Evde Olmama Sorunu'; özellikle son tüketicinin teslimatı teyit eden bir makbuz imzalaması gerektiğinde büyük sorun teşkil etmekte ve yüksek teslimat hatasına ve boş yolculuk oranlarına neden olmaktadır.
- Park Yeri Sorunu: şehir içinde nihai müşterinin adresine yakın noktada park yeri bulunamaması, trafik sıkışıklığına yol açmakta, gürültü, hava kirliliği ve yüksek yakıt maliyetlerini beraberinde getirmektedir (Gevaers ve diğerleri, 2011).

### **1.2.1. Son Mil Taşımacılığında Kargo Dolabı Kullanımı**

Son yıllarda, e-ticaret pazarı, yüksek değerli dayanıklı mallardan düşük değerli tüketim mallarına kadar değişen ürünlerle sürekli artan bir oranda genişlemektedir (Deutsch ve Golany, 2018). Statista (2020) verilerine göre, dünya çapında perakende e-ticaret satışları, 2014 yılından, mevcut satış değerinin 2016'ya göre iki katından fazla arttığı 2020'ye kadar sürekli bir büyüme yaşamaktadır (Statista, 2020). Yine Statista (2020) verilerine göre, e-ticaret satış değerinde 2023 yılına kadar üç kattan fazla büyüme beklenmektedir (Statista, 2020). Bu pazarın genişlemesi ve sürekli büyümesi, doğrudan tüketiciye teslimatlarda çarpıcı bir artışa yol açmaktadır ve bu nedenle, tedarik zincirinin son aşamasında, yeni konulara dikkat çekilmektedir (Buzzega ve Novellani, 2022; Deutsch ve Golany, 2018).



E-ticaretin genel özelliği nedeniyle, işletmeden müşteriye (B2C) pazarındaki işleyiş eve teslimatlara dayanmaktadır. Mevcut eve teslimat şekli üç kategoriye ayrılmaktadır (Durand ve Gonzalez-Feliu, 2012; Iwan ve diğerleri, 2016) :

- Süpermarketten Eve Teslimat; Siparişlerin bir toplayıcı (mağazada toplama ile) tarafından hazırlandığı süpermarketten eve teslimatlar, çoğunlukla kentsel alanın yakınlarında bulunan bölgelerde ve tedarik stratejisinde büyük değişiklikler olmaksızın gerçekleştirilmektedir. Burada siparişler ya doğrudan eve teslim edilir ya da kasada kuyruklardan ve bekleme süreleri ile çoğunlukla araba veya toplu taşıma kullanılarak tüketici tarafından alınır.
- Belirli Bir Depodan Eve Teslimatlar; Siparişlerin hazırlanabileceği (depo toplama ile) depo yakın bir alanda bulunmadığından, tedarik zincirinde önemli değişikliklerin kaydedildiği yerlerdir. Siparişler depoda hazırlandıktan sonra optimize edilmiş bir rota ile hafif yük araçları kullanılarak tüketim yerine ulaştırılmaktadır.
- Ev Dışı Teslimatlar; Tedarik değişikliklerinin yeni yerel depolardan oluştuğu, yakındaki kabul noktaları aracılığıyla yapılan bu teslimat şeklinde, sipariş edilen ürünler, doğrudan nihai tüketici tarafından alındığı tüketim yerinin yakınında bulunan bir depoda hazırlanmaktadır.

Kolaylığı nedeniyle müşteriler arasında popüler bir çözüm, genellikle harici kurye hizmetleri tarafından gerçekleştirilen doğrudan eve teslimattır (Iwan ve diğerleri, 2016). Ancak bu yöntemde, çoğu zaman, müşteriye memnun etmek için ticari araçlar, yükleme alanlarının kullanım derecesine bakılmaksızın hizmet vermektedir. E-ticarette müşterilere mal tedarikiinin organizasyonu ile ilgili en büyük sorunlardan biri, siparişlerde önemli bir parçalanma olmasıdır. Bireysel müşteriler, hızlı teslimat beklerken genellikle küçük miktarlarda ürün satın almaktadır. Bu, rekabetçi ulaşım hizmetleri pazarını, yükselen ulaşım talebine dinamik olarak yanıt vermeye zorlamaktadır. Aynı zamanda, özellikle teslimat hacmine bağlı olarak aracın boyutu bağlamında, e-ticaretin ihtiyaçlarına uyarlanmamış nakliye şirketlerinin yetersiz filosu sorununun altı çizilmektedir.

Perakendecilerin ve lojistik şirketlerinin üstesinden gelmesi gereken e-ticaret patlamasının getirdiği ana zorluklardan biri, özellikle son mil taşımacılığına odaklanarak çok sayıda paketin minimum maliyetle hızlı bir şekilde teslim edilmesidir. Bunu yapmak için, eve teslim ile ilgili olarak alternatif teslimat yöntemleri uygulanmaktadır (Buzzega ve Novellani, 2022). Mevcut çalışma, eve teslim ile ilgili alternatif bir çözüm olarak kargo dolaplarının kullanımına odaklanmaktadır.

Bu doğrultuda, yapılan literatür çalışmasının daha iyi değerlendirilmesi adına terminolojiyi netleştirmek için aşağıdaki terimleri birbirinden ayırmak gerekmektedir (Allen ve diğerleri, 2007; Deutsch ve Golany, 2018; Iwan ve diğerleri, 2016):

- Resepsiyon Kutuları: Tüketicinin evinin dışına yerleştirilmiş, bir anahtar veya elektronik kod kullanılarak erişilebilen sabit bir dolap olarak tanımlanan resepsiyon kutuları kullanımında müşteri, cep telefonu veya e-posta yoluyla teslimat konusunda uyarılabilmektedir. Çoğunlukla kargo için kullanılan bu kutular, sıcaklık kontrollü ise yiyecekler için de kullanılabilir.
- Teslimat Kutuları: Teslimat şirketine ait dolaplardır. Bir dağıtım deposunda kargolarla doldurulan teslimat kutuları, daha sonra sabit bir kilitleme cihazı ile geçici olarak tüketicinin evine bağlanmaktadır. Boş kutular veya iade edilen malları içeren kutular daha sonra teslimat şirketi tarafından ayrı bir toplama turu olarak veya bir sonraki teslimatın parçası olarak toplanmaktadır.
- Kontrollü Erişim Sistemleri: Teslimat sürücüsüne malları içinde bırakmak için kilitli bir alana erişim sağlama aracı sağlanmaktadır. Teslimat personelinin erişebileceği bir yere monte edilmiş bir ünitenin içinde bir anahtar mühürlenir ve sürücü, anahtarı serbest bırakmak ve malları bırakmak için belirtilen teslimat yerini açmak için kapalı birime bir erişim kodu girmektedir.
- Toplama Noktası: Paketlerin teslim edildiği, tüketicinin evinin yakınındaki bir yerdir (genellikle uzun çalışma saatleri olan en yakın postane, market veya

benzin istasyonu). Tüketici kargolarını sadece belirli çalışma saatlerinde teslim alabilmektedir. Ürünler, perakendeci veya nakliyecisi tarafından teslim noktasına teslim edilmekte ve müşteriye siparişinin teslim alınmaya hazır olduğu bilgisi verilmektedir.

- Kargo Dolapları: Kargo dolapları, seçilen, çoğunlukla ziyaret edilen yerlerde bulunan gözetimsiz bir teslimat makinesidir. Toplama noktalarına benzeyen, her müşterinin binasında değil, apartman bloklarında, iş yerlerinde, otoparklarda, tren istasyonlarında vb. yerlerde bulunan dolaplardır. Haftanın 7 günü 24 saat kargoların hem alınmasını hem de gönderilmesini sağlayan bir resepsiyon kutuları sistemidir. Müşterilerin, genellikle kullanımı optimize etmek için, kendilerine ait kilitli dolapları bulunmaz (dolaplarda değişken açılış kodlu elektronik kilitler bulunur ve farklı günlerde farklı müşteriler için kullanılabilir). Bir teslimat şirketine tahsis edilebilir veya birçok kişi tarafından kullanılabilirler. Müşterilere, teslimatın ne zaman geldiği, kutu numarası ve yeri ve kutu açma kodu hakkında mesaj ile bilgi verilebilir.

Kargo dolapları, kurye-müşteri temasını ortadan kaldırma (COVID-19 pandemisinin gösterdiği gibi sağlıkla ilgili konular için de geçerlidir) ve önceden tanımlanmış daha az yerde teslimat yapma, kaçırılan teslimatlarla başa çıkma mekanizmalarına önemli ölçüde yardımcı olmaktadır. Kargo dolaplarının geleneksel eve teslim hizmetlerine kıyasla ayırt edici bir özelliği, alıcının bulunmamasından kaynaklanan teslimatların olmamasıdır. Kargo dolapları genellikle halka açık yerlerde bulunmaktadır (ör. alışveriş merkezleri, tren istasyonları veya otobüs durakları, okullar ve üniversiteler vb.). Bu nedenle, müşteri alışveriş yapmak veya araca yakıt ikmali yapmak gibi başka şeyler yaparken, gönderilerin uygun bir zamanda alınmasını sağlamaktadır. Uygun yerlerin seçilmesiyle, kargo dolapları sadece önemli ekonomik faydalar sağlamakla kalmaz, aynı zamanda, hatta öncelikli olarak, kentsel yük taşımacılığı ile çevreye yayılan kirleticilerin azaltılması üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmaktadır. Bu noktada Tablo 1 kargo dolaplarının GZFT (güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar, tehditler) analizini göstermektedir.

**Tablo 1.** Kargo Dolabı GZFT Analizi (Torrentellé ve diğerleri, 2012, Y.Wang ve diğerleri, 2020a, Che ve diğerleri, 2022)

| <b>Güçlü Yönler</b>  | <b>Zayıf Yönler</b>  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Müşterilerin kargolarına haftanın 7 günü ve günün 24 saati erişim imkanı sağlaması</li> <li>Müşterilerin kargo teslimat durumları hakkında SMS veya e-posta yoluyla bilgilendirilmesi</li> <li>Personeli teslimata kıyasla yük taşımacılığı yolculuk km'sinin azaltılması, böylece emisyonların, gürültünün ve enerji tüketiminin azaltılması</li> <li>Düşük teslimat maliyetleri</li> <li>Müşterinin evde olmama sorunundan kaynaklanan maliyetlerin ortadan kalkması</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Yasal düzenlemelerin henüz tamamlanmamış olması.</li> <li>Yolculuğun son ayağını müşteriler tarafından yapılması zorunluluğu.</li> <li>Personelsiz olması nedeniyle güvenlik sorunlarının bulunması.</li> <li>Halka açık noktalara konumlanması sebebiyle yerleşim izninde zorluklar yaşanması.</li> <li>Kapasitesi sebebiyle büyük hacimli kargoların teslim edilememesi.</li> </ul> |
| <b>Fırsatlar</b>   | <b>Tehditler</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Lojistik sağlayıcılar için verimlilik kazanımları diğer alanlara aktarılabilmesi.</li> <li>E-ticaretin gelişmesi ve pandeminin etkisiyle değişen müşteri davranışları sonucu, müşterinin temassız işlemlere eğiliminin artması.</li> <li>E-ticaret şirketlerinin teslim alternatiflerine kargo dolabı seçeneklerini dahil etmeye başlaması.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>E-ticaretin daha da büyümesi beklenmesi sonucu artacak kargo talepleri ile kargo dolabını doldurmak amacıyla kat edilecek kilometrenin artması.</li> <li>Müşterilerin kargo dolabı kullanımına karşı olan direnci.</li> <li>Kargo Dolabı üretimi ve tedariği sağlayan şirketlerin azlığı ve tek elden yürütülmesi.</li> </ul>   |

Tüm bunlarla birlikte, kargo dolaplarının uygulanması ve verimli kullanılması, yerel sakinlerin, kurye/teslimat şirketlerinin ve kargo dolaplarının bulunduğu yerlerin sahiplerinin desteğini gerektirmektedir. Ayrıca, izin ve yer seçimi ile ilgili olarak uygulama aşamasına yerel yönetimler de dahil edilmelidir. Ancak kargo dolaplarının etkinliğinin en önemli koşulu, internet perakendecilerinin alıcı adresi ile uyuşmayan malları kargo dolaplarına teslim etme istekliliği ve diğer yandan internet mağazalarının müşterilerinin mallarını kargo dolaplarından teslim alma istekliliğidir. Alıcı için kargo dolaplarının kullanımının önündeki en önemli engel ise yolculuğun son ayağının onlar tarafından yapılması gerektiği gerçeğidir. Örneğin, Lemke vd. (2016), Polonya'daki kargo dolaplarının kullanımının değerlendirilmesini incelemek için bir Polonya posta hizmeti şirketi tarafından sağlanan verileri, mevcut konumlarına odaklanarak kullanmış ve konumları iyileştirildiğinde tüketicilerin %15'inin dolapları daha sık kullanacağını ve çoğu tüketicinin evlerinin yakınında kilitli dolapları kullanmayı tercih ettiği sonucuna

varmışlardır (Lemke ve diğerleri, 2016). Kedia vd. 2017 yılında yaptıkları çalışmada, yakınlarda park yeri olan kargo dolaplarının tüketiciler için daha çekici olduğunu tespit etmişlerdir (Kedia ve diğerleri, 2017). Lachapelle vd. (2018), sabit dolapların yerlerinin Avustralya şehirleri üzerindeki etkisini incelemiş ve kentsel tasarımla bütünleşen mekanların kargo dolaplarını yerleştirmek için daha çekici mekanlar olduğunu (müşteri çekmek amacıyla) öngörmüşlerdir (Lachapelle ve diğerleri, 2018).

Son yıllarda, mevcut literatürde, geleneksel eve teslimat ile alternatif teslimat şekilleri karşılaştırılmaya başlamakta, alternatif teslimat şekillerinin avantajları üzerinde durularak bu hizmetlerin kullanılması teşvik edilmektedir. Örneğin, Kämäräinen 2001 yılında yaptığı çalışmada, geleneksel eve teslimatın maliyetlerini resepsiyon kutularına teslimatın maliyetleriyle karşılaştırmak için Helsinki'nin banliyö bölgesinden gelen teslimat verilerini kullanmış ve resepsiyon kutuları kullanıldığında %42'lik bir maliyet düşüşü olduğunu ortaya çıkarmaktadır (Kämäräinen, 2001). Öte yandan, Punakivi vd. 2001 yılındaki çalışmasında, Finlandiya'daki büyük bir perakende şirketinden alınan satış verilerini kullanmış ve normal eve teslimatın operasyonel maliyetlerini, resepsiyon kutularına, teslimat kutularına ve kargo dolaplarına teslimatla karşılaştırmaktadır (Punakivi ve diğerleri, 2001). Sonuçlar, kargo dolaplarına teslimat yapılırken nakliye maliyetlerinin, iki saatlik teslimat zaman aralığına sahip katılımlı bir resepsiyon kutusuna göre %55-66 daha düşük olduğunu göstermektedir (Punakivi ve diğerleri, 2001). Bir başka çalışmada, Wang vd. (2014) farklı nüfus yoğunlukları ve sipariş miktarları altında eve teslim, resepsiyon kutuları ve toplama ve teslim noktalarını karşılaştırmaktadır (X.Wang ve diğerleri, 2014). Çalışmada ilk başta her bir teslim şeklinin çalışma verimliliğini bulmak adına teslim zamanını en iyilemek amacıyla araç rotalama problemi genetik algoritma ile çözülmektedir. Daha sonrasında her bir teslim şeklinin maliyeti, maliyet yapıları ve işletme verimliliği temelinde hesaplanmaktadır. Sonuçlar, farklı teslim şekillerinin farklı senaryolar için uygun olduğunu göstermektedir: (i) eve teslimin, seyrek nüfus veya küçük sipariş miktarı olan bir senaryoda daha iyi çalışmakta; (ii) paylaşımlı resepsiyon kutusu ve toplama ve teslim noktalarının, yüksek nüfus yoğunluğu ve

büyük sipariş miktarı senaryosunda daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Başka bir bakış açısıyla, Carotenuto vd. (2022), eve teslim şekli ile kargo dolabı teslim şeklini kapasiteli araç rotalama problemini çözerek karbon emisyonu harcamaları açısından karşılaştırmaktadır (Carotenuto ve diğerleri, 2022). Her koşulda, (araç büyüklükleri, araçların yaptıkları turlar) kargo dolabı teslim şeklinin daha az karbon emisyonuna sebep olduğu tespit edilmiştir.

Mevcut literatürde, farklı teslim şekillerinin bir arada kullanılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Yu vd. (2022), müşterileri, eve teslim tercih edenler, kargo dolabı kullananlar ve hem eve teslimi hem de kargo dolabını kullananlar olmak üzere üçe ayırıp zaman aralıklı araç rotalama problemini simülasyon kullanarak çözmektedir (V.Yu ve diğerleri, 2022a). Bir başka çalışmada, Calabro vd. (2022), mevcut eve teslim şekli ile toplama ve teslim noktalarını birleştirerek farklı talep miktarları, kargo büyüklükleri, toplama ve teslimat yeri ve sayısı ve ulaşım modları altında taşıma maliyetlerini en iyilemek amacıyla son mil taşımacılığına çözüm önermektedir (Calabro ve diğerleri, 2022). Çalışmada, yük aracının kat ettiği mesafe, müşteri memnuniyeti ve lojistik maliyetleri arasında bir dengenin bulunabileceği gösterilmektedir. Özellikle, toplama ve teslim alma noktalarının yoğunluğunu arttırmak, kargoyu bu noktalardan teslim alan için kullanıcılar için seyahat süresi açısından küçük bir rahatsızlık yaratsa da operatör maliyetlerini azaltmak ve lojistik verimliliğini artırmayı sağlamaktadır. Çalışmada, teslimat etkisi (kargo başına kat edilen mesafe ve toplam enerji tüketimi) açısından en iyi sonuçları ima eden optimal bir toplama ve teslim noktası yoğunluğu aralığı bulunmaktadır. Zhang ve Lee, 2016'da yaptıkları çalışmalarında ise eve teslim ile resepsiyon kutuları teslim şekillerini birlikte kullanarak farklı senaryolar için zaman pencereli araç rotalama problemi çözmektedir (Zhang ve Lee, 2016). Zhang ve Lee resepsiyon kutularını kullanmaya istekli müşteri sayısı arttıkça toplam mesafe ve harcanan sürenin azaldığını belirtirken, eve teslimde servis sürelerini uzattıkları senaryoda resepsiyon kutularını kullanmanın toplam maliyeti giderek arttırdığını tespit etmektedir. Kioussis, Nathanail ve Karakikes'de 2018'de yaptıkları çalışmalarında kargo dolabı kullanımının mevcut eve teslim şekline dahil edilmesi için bir simülasyon modeli geliştirirken, bu birleşmenin mevcut trafik

durumuna ve karbon emisyonuna etkisi üzerine çalışmaktadır (Kioussis vd., 2018). Schnieder, Hinde ve West (2021) ise kargo dolapları ile personelli toplama ve teslimat noktalarını ortak kullanımı ile maliyet minimizasyonu sağlamak amacı ile simülasyon geliştirmektedir (Schnieder ve diğerleri, 2021). Alves vd. (2019), kargo dolabı ve mevcut eve teslim şekillerinin birlikte kullanılarak ajan tabanlı modelleme ile toplam seyahat mesafesini ve sahipsiz teslimatların (müşteri evde ya da talep ettiği konumda bulunmadığı durumda teslim edilemeyen kargolar) sayısının en aza indirilmesi üzerine çalışmaktadır (Alves ve diğerleri, 2019).

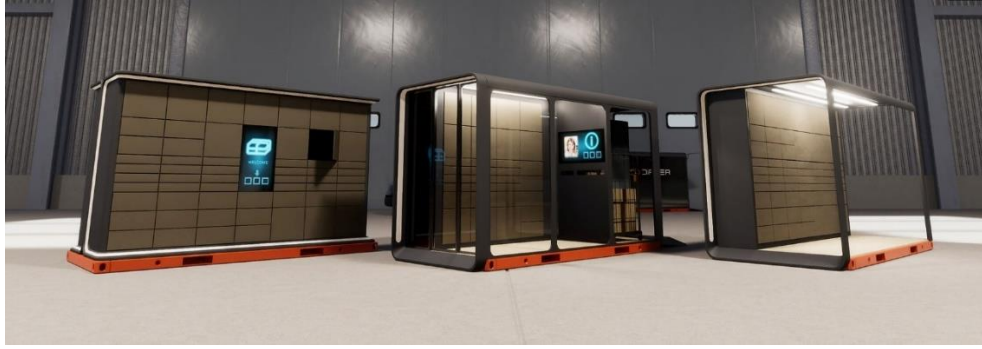
Tüm bu maliyet minimizasyon problemlerinin yanı sıra Jiang vd. (2021) eve teslim ve kargo dolabı teslim şekillerinin birlikte kullanımında kar maksimizasyonu üzerine çalışmaktadır (Jiang ve diğerleri, 2021). Bu doğrultuda, kapasiteli gezgin satıcı problemi için sezgisel geliştiren yazarlar müşteriye eve teslim ile kargo teslim etmekle elde edilen gelirden müşterinin kargo dolabı kullanması durumunda orta çıkan maliyeti çıkararak net karı elde etmeye çalışmaktadır.

Literatürde ayrıca kargo dolabı teslim şekillerinin alışlagelmiş teslim şekilleri yerine, teknolojik gelişmeler sonucu ortaya çıkmış alternatif teslim şekilleri ile kullanılması da çalışılmaktadır. Örneğin, Mohammed ve Ndiaye (2018) ve Beirigo vd. (2018) kargo dolabı teslim şekilleri ile toplu taşıma araçlarını kullanarak gezgin satıcı problemi modelini tamsayılı doğrusal programlama ile çözmektedirler (Mohamed ve Ndiaye, 2018; Beirigo ve diğerleri, 2018). Mohammed ve Ndiaye (2018) kargo dolabı dolumlarının hem yolcu hem de yük taşıyabilen toplu taşıma araçları ile yapılmasını önerirken, Beirigo ve arkadaşları (2018) ise kargo dolapları bu araçların üzerine yerleştirerek maliyet minimizasyonu sağlanabileceğini savunmaktadır. Bir başka çalışmada, Zhao vd. (2019), resepsiyon kutuları kullanımında kutuların insansız hava araçları ile yeniden yüklenmesini önermektedir (Zhao ve diğerleri, 2019). Enthoven vd. ise 2020'de yaptıkları çalışmada iki aşamalı araç rotalama problemi için model önerisi yaparken kargo dolapları ile kargo bisikletlerini kullanmaktadır (Enthoven ve diğerleri, 2020).

Hali hazırda literatürde bahsedilen sabit konumu bulunan kargo dolaplarının da bazı doğal sınırlamaları vardır. İlk olarak, konumu ve yapılandırması sabittir, erişilebilirliği ve taleplerin değişmesine yanıt verme yeteneği zayıftır (Y.Wang ve diğerleri, 2020a). Ayrıca, sabit kargo dolapları, bilgi ve iletişim teknolojisi (BİT) için yüksek gereksinimlere sahiptir ve eski yerleşim bölgelerine kurulamaz. Ayrıca yüksek inşaat maliyetleri gerekir (Ducret, 2014). Ayrıca hem sabit kargo dolapları hem de servis noktası teslimatları için, kümülatif müşteri seyahat mesafesinin, servis sağlayıcının seyahat mesafesine göre önemli ölçüde daha yüksek olduğu varsayılmaktadır (Lorig ve diğerleri, 2021). Tüm bu, potansiyel olarak çelişen gereksinimleri hesaba katmak ve müşteri ile lojistik sağlayıcıların gereksinimleri arasında bir denge bulmak zordur.

Sabit kargo dolaplarının bu eksikliklerini gidermek için, kargo dolapları üreten birkaç firma, hareketlilik özelliğine sahip yeni bir kargo dolabı geliştirmiştir. Halihazırda, bir dizi kilitli dolabın kurulu olduğu elektrikli araçlar olan bu mobil kargo dolapları, imalat şirketlerinin kendilerine aittir ve işletilmektedir (Y.Wang ve diğerleri, 2020a). Bu firmalardan biri İsveçli DiPP-R ([www.dipp-r.com](http://www.dipp-r.com)) start-up firmasıdır. Bu firma, e-ticaret paketlerinin son kilometre teslimatının verimliliğini artırmak için bir ulaşım çözümü geliştirmektedir. Buradaki fikir, elektrikli araçların şehrin farklı yerlerine dinamik olarak akıllı kargo kutuları kurmasıdır. Bu kutular 50 ila 100 kargo alabilmekte ve örneğin park alanlarına dinamik olarak yerleştirilebilmektedir. Bu, müşterilerin teslimatlarını günün herhangi bir saatinde teslim almalarını sağlamaktadır. Tüm kargoların müşteriler tarafından alınmasından sonra veya belirli bir süre sonra, kargoların araçlar tarafından toplanması, depoda yeniden doldurulması ve başka yerlere yerleştirilmesi planlanmaktadır ve amaç, kargoların depo dışında elleçlenmesini azaltmak ve alıcıların kargolarını almak için seyahat etmeleri gereken mesafeyi azaltmaktır. Bu, artan rahatlık ve daha kısa toplam seyahat mesafesi ile sonuçlanmakta ve sonuçta trafik sıkışıklığını ve çevresel etkiyi azaltmaktadır (DiPP-R, 2022; Lorig ve diğerleri, 2021).





**Şekil 7.** Mobil Kargo Kutusu (DiPP-R, 2022)

### 1.3. YER SEÇİMİ VE ROTAMA PROBLEMİ

Bu bölümde, ilk olarak yer seçimi ve rotalama problemi ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra son mil taşımacılığında kargo dolabı kullanımında yer seçimi ve rotalama problemine ilişkin daha detaylı bir literatür incelemesine yer verilmektedir.

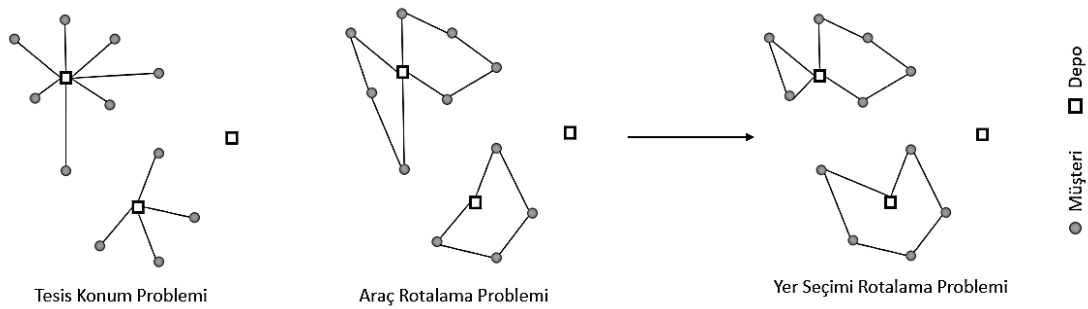
Yer seçimi ve rotalama problemi, ilk olarak 1961 yılında Von Boventer tarafından literatürde yer almıştır (Koç ve diğerleri, 2016; Von Boventer, 1961). Dolayısıyla yer seçimi ve tesis problemlerinin entegre bir şekilde yer seçimi-rotalama problemi olarak ele alınması 1970'li yıllara dayanmaktadır (Zhang ve diğerleri, 2020). Daha önceki yıllarda ise yer seçimi ve rotalama problemi, Dantzig ve Ramser tarafından sunulan araç rotalama problemlerinin bir çeşidi olarak literatüre sunulmaktadır (Akararungruangkul ve Kaewman, 2018; Dantzig ve Ramser, 1959).

Tesis konum problemi (facility location problem) ile araç rotalama problemini (vehicle routing problem) birlikte ele alan yer seçimi ve rotalama problemleri (location routing problem), bu iki problemin ayrı ayrı ele alınması durumunda karşılaşılabilecek yetersiz çözümlerin önüne geçmeyi amaçlamaktadır (Nasrollahi ve diğerleri, 2018; Leng ve diğerleri, 2019; Dukkanci ve diğerleri, 2019).

Yer seçimi ve rotalama problemi iki ana kolundan bir olan tesis konum problemleri hem açılacak yeni tesisleri hem de var olan mevcut tesisleri içermekte ve açılacak

olan yeni tesisler için konum kararları başta olmak üzere boyut, ekipman ve sayısını ele alırken mevcut tesislerin kapatılması ve konumlarının değiştirilmesi kararlarının yanı sıra boyutları ile ilgili kararları da içermektedir (Ghiani ve diğerleri, 2013; Temiz, 2021). Problemin bir diğer ayağı olan araç rotalama probleminde ise, teslimat gerçekleştirecek araçlar için dağıtım planı oluşturulmaktadır ve ürünün, belirli kapasitedeki araçlarla, belirli talebe sahip müşterilere depodan tedarik edilmesi planlanmaktadır. Söz konusu problem toplam mesafenin en aza indirgenmesi gibi çeşitli amaçlar için oluşturulmaktadır. Söz konusu iki probleminde NP zor olması nedeniyle yer seçimi ve rotalama problemi NP zor problem olarak değerlendirilmektedir (Leng ve diğerleri, 2018; Nasrollahi ve diğerleri, 2018).

Rotalama problemi, tesis konum problemi ve yer seçimi rotalama problemine ilişkin genel gösterim Hauder vd.'nin (2018) çalışmasından uyarlanan Şekil 7' de verilmektedir (Temiz, 2021).



**Şekil 8.** Tesis Konum, Araç Rotalama ve Yer Seçimi ve Rotalama Problemlerinin Genel Gösterimleri (Hauder ve diğerleri, 2018)

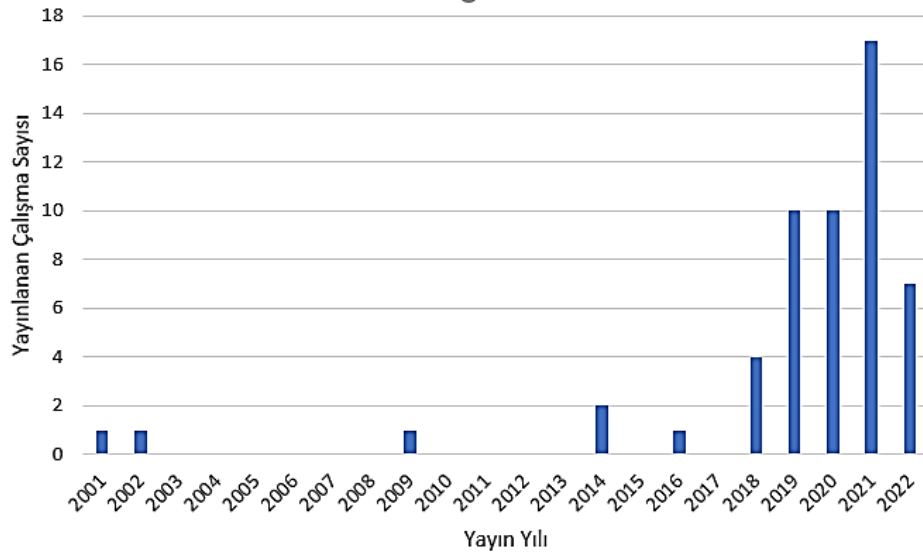
Yer seçimi ve rotalama problemleri lojistik sistemlerin planlanmasında kullanılmaktadır. Bu doğrultuda problem, temelde sabit maliyeti ve rota maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçlarla birlikte, müşteri taleplerinin karşılanması için tesis konumlarının belirlenmesi ve araç filolarının rotalarının belirlenen tesisler doğrultusunda oluşturulmasını kapsamaktadır (Dukkancı ve diğerleri, 2019; Nasrollahi ve diğerleri, 2018) Bu amaçlarla

kullanılan en önemli optimizasyon problemlerinden biri olarak literatürde tanıtılmaktadır (Zhang ve diğerleri, 2020).

### **1.3.1. Son Mil Taşımacılığında Kargo Dolabı Kullanımında Yer Seçimi ve Rotalama Problemi**

Son yıllarda, son mil taşımacılığı literatüründe, kargo dolabı kullanımı önemli bir pay kazanmaya başlamaktadır. Bu noktada, mevcut çalışmada ilgili literatür taraması için “Web of Science” ve “Scopus” veri tabanları kullanılmıştır. Bu veri tabanlarında tarama 2000-2022 yılları kapsamında “parcel locker”, “shared reception box”, “smart locker”, “automated locker”, “parcel machine”, “automatic delivery station”, “automated parcel station”, “locker bank”, “Express cabinet”, “self-collection service”, “automated delivery station”, “self-service locker”, “collection and delivery point”, “unattended delivery”, “delivery locker”, “self-collection service” ve “mobile parcel locker” anahtar sözcükleri ile konu (“topic”) esaslı arama yapılmıştır. Daha sonrasında anahtar kelimelere “routing problem”, “location problem” ve “location routing problem” filtreleri eklenerek tarama kapsamı giderek küçültülmüştür.

Belirtilen anahtar kelimelerle yapılan tarama sonucunda, “Web of science” veri tabanında 87 adet ve “Scopus” veri tabanında 192 adet makale ve konferans bildirisi bulunmuştur. İki taramada elde edilen ortak makaleler ve konu ile alakasız olan çalışmalar çıkarıldığında literatürde toplam 119 çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalardan 54’ü tesis yeri seçimi, rotalaması ve yatay işbirliği üzerine yapılan nicel çalışmalardan oluşurken, 47 tanesi yeni teslimat şeklinin müşteri perspektifinde değerlendiren çalışmalardan oluşmaktadır. Geri kalan 18 çalışma ise nitel çalışmalar ve yeni teslimat şekillerini kullanan şirketlerin perspektiflerini araştıran çalışmalardan oluşmaktadır. Tesis yeri seçimi, rotalama ve yatay işbirliğini nicel olarak ele alan çalışmalar bu bölümde detaylı olarak incelenmektedir. Söz konusu çalışmaların Web of Science ve Scopus üzerinden elde edilen yıllara göre sayısı dağılımını gösteren grafik Şekil 9’da verilmektedir.



**Şekil 9.** Yıllara Göre Makale Sayısı Dağılım Grafiği

Şekil 8’de görüldüğü üzere incelenen 54 çalışmanın yayınladığı yıllar ele alındığında son yıllarda, tarama yapılan konuda çalışma sayısında genel olarak artış gözlemlenmektedir. Bu artışın sebebi ise, temelde son yıllarda artan e-ticaret satışları ve kentleşme ile Covid-19 etkisiyle değişen müşteri davranışları (kurye-müşteri temasının en aza indirilmesi) sonucu önemi artan kargo dolapları olarak verilebilir.

Bu tez çalışmasında yapılan literatür taraması sonucunda incelenen makaleler nicel çalışmalardır. Yapılan tarama sonucunda Tablo 2’de “location routing”, “routing” ve “location allocation” sözcükleri ile filtreleme ile elde edilen makaleler gösterilmektedir. Tablo 2’de nicel çalışmalarda yer alan problem tipi, model tipi, yer seçimi kararı, rotalama kararı, yatay işbirliği, aşama sayısı, filo boyutu, kargo dolabı türü, kargo dolabı kapasitesinin heterojen ya da homojen olmasına ilişkin bilgilere yer verilirken çalışmaların amaçları kısaca açıklanmaktadır.

**Tablo 2.** Kargo Dolabı Tesis Yeri Seçimi, Rotalaması ve Yatay İşbirliğini Ele Alan Literatür İnceleme Tablosu

| # | Çalışmalar                    | Problem Tipi | Model       | Tesis Yeri Seçimi | Rotalama Kararı | Kargo Dolabı Türü | Kargo Dolabı Kapasitesi | Yatay İşbirliği | Aşama (echelon) Sayısı | Filo Boyutu | Amaç  |
|---|-------------------------------|--------------|-------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|-------------|---|
| 1 | (Punakivi ve diğerleri, 2001) | --           | Simülasyon  | -                 | ✓               | Sabit             | Homojen                 | -               | -                      | -           | Bu makalede, eve teslim konsepti, katılımsız teslimat ve müşteri resepsiyon kutuları konseptleri operasyon ve yatırım maliyetleri açısından karşılaştırılarak en düşük maliyetli teslim şeklinin bulunması amaçlanmıştır.   |
| 2 | (Punakivi ve Tanskanen, 2002) | VRPTW        | Simülasyon  | -                 | ✓               | Sabit             | Heterojen               | -               | -                      | -           | Mevcut eve teslim konsepti, teslimatta kargo dolabı kullanımı ile karşılaştırılarak en düşük maliyetli teslim şeklinin bulunması amaçlanmıştır.   |
| 3 | (Song ve diğerleri, 2009)     | TSP          | --          | -                 | ✓               | Sabit             | Homojen                 | -               | 1                      | -           | Eve teslim konsepti ve kargo dolabı kullanımı ile ilk teslimat hatalarından kaynaklanan seyahat maliyetlerinin ve karbon emisyonunun en aza indirilmesi amaçlanmaktadır.  |
| 4 | (X.Wang ve diğerleri, 2014)   | VRPTW        | GA          | -                 | ✓               | Sabit             | -                       | -               | -                      | -           | Bu makalede, farklı senaryolarda, katılımlı eve teslim (AHD), kabul kutusu (RB) ve toplama ve teslim noktaları (CDP'ler) olmak üzere üç "Son mil" teslimat şeklinin maliyet açısından karşılaştırılması amaçlanmaktadır.  |
| 5 | (Qin ve diğerleri, 2014)      | LRP          | DCA ve CWSA | ✓                 | ✓               | Sabit             | Homojen                 | -               | 1                      | ✓           | Kargo dolabının yerini ve onu besleyen araçların rotalamasını optimize ederek, teslimat ağının etkinliği ve verimliliğini arttırmak amaçlanmaktadır.  |
| 6 | (Zhang ve Lee, 2016)          | VRP          | ACOA        | -                 | ✓               | Sabit             | Homojen                 | -               | -                      | -           | Bu çalışmada, kargo dolabı kullanımında taşıma süresi, bekleme süresi ve hizmet süresinden oluşan toplam süreyi ve toplam seyahat mesafesini en küçükleme amaçlanmaktadır.  |
| 7 | (Mohamed ve Ndiaye, 2018)     | TSP          | ILP         | -                 | ✓               | Sabit             | -                       | ✓               | -                      | ✓           | Kargo dolaplarının kullanarak toplu taşıma kullanımı yoluyla toplam teslimat maliyetini en aza indirmek amaçlanmaktadır.  |
| 8 | (Deutsch ve Golany, 2018)     | UFLP         | MILP        | ✓                 | -               | Sabit             | Homojen                 | -               | -                      | -           | Bu makalede, hizmetten yararlanan müşterilerden elde edilen gelirden, tesislerin sabit ve operasyonel kurulum maliyetlerinin, kargo dolabı kullanan müşteriler için uygulanan indirim tutarının ve hizmet için seyahat etmeye istekli olmayan potansiyel müşterilerin kaybının oluşturduğu maliyetin çıkarılmasıyla oluşan toplam kârın maksimize edilmesi amaçlanmaktadır. |

| #  | Çalışmalar                     | Problem Tipi | Model   | Tesis Yeri Seçimi | Rotalama Kararı | Kargo Dolabı Türü | Kargo Dolabı Kapasitesi | Yatay İşbirliği | Aşama (echelon) Sayısı | Filo Boyutu | Amaç  |
|----|--------------------------------|--------------|---|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|-------------|---|
| 9  | (Kiousis ve diğerleri, 2018)   | --           | Simülasyon  | -                 | ✓               | Sabit             | Homojen                 | -               | -                      | -           | Kargo dolaplarının mevcut teslim şekillerine dahil edilmesiyle trafiğin ve karbon emisyonunun en küçüklenmesi amaçlanmaktadır.  |
| 10 | (Beirigo ve diğerleri, 2018)   | VRPPD        | MILP  | -                 | ✓               | Mobil             | Heterojen               | -               | 1                      | ✓           | Bu çalışmada hem kargo hem de yolcu taşıyabilen paylaşımlı araçların üzerine kargo dolapları eklenerek operasyon gerçekleşmesi ile toplam karı en iyilemek amaçlanmaktadır.         |
| 11 | (Zhao ve diğerleri, 2019)      | VRPTW        | Tabu Modelleri, Yerel Arama ve Simüle Edilmiş Tavlama Algoritması | -                 | ✓               | Sabit             | Homojen                 | -               | 1                      | -           | Paylaşımlı resepsiyon kutuları kullanımında kargoların yüklenmesinde insansız hava araçları kullanımı ile kargo yüklemesi ile dolum süresinin azaltılması amaçlanmaktadır.          |
| 12 | (Jiang ve diğerleri, 2019)     | TSPCER       | ILS   | -                 | ✓               | Sabit             | -                       | -               | 2                      | -           | Bu makalede, son mil teslimatının toplam maliyetlerinin ve karbon emisyonlarının azaltılması amaçlanmaktadır.   |
| 13 | (Alves ve diğerleri, 2019)     | --           | ABM   | -                 | ✓               | Sabit             | Homojen                 | -               | 2                      | ✓           | Bu çalışmada, geleneksel eve teslimat ve kargo dolapları teslimat şekillerini birlikte kullanarak sahipsiz teslimat sayısını ve seyahat mesafesini en aza indirmek amaçlanmaktadır. |
| 14 | (Oliveira ve diğerleri, 2019)  | --           | Mekânsal Analiz   | ✓                 | -               | Sabit             | -                       | -               | -                      | -           | Kargo dolaplarının konumları açısından kargo dolaplarına müşteri erişilebilirliğini en iyilemek amaçlanmaktadır.  |
| 15 | (Ji ve diğerleri, 2019)        | MGECAP       | PG-MOEA/D   | ✓                 | -               | Sabit             | Heterojen               | -               | -                      | -           | Bu çalışmada, kargo dolabı teslimat şekli kullanılarak toplam maliyeti ve enerji tüketimini en aza indirmek amaçlanmaktadır.  |
| 16 | (Lee ve diğerleri, 2019)       | FLP          | LSCM  | ✓                 | -               | Sabit             | -                       | -               | -                      | -           | Kargo dolapları konumları ile müşteriler arasındaki mesafenin en küçüklenmesi amaçlanmaktadır.  |
| 17 | (Kedia ve diğerleri, 2019)     | FLP          | MPMLAM  | ✓                 | -               | Sabit             | -                       | -               | -                      | -           | Bu çalışmada, toplama ve teslimat noktalarının oluşturulması için en uygun yoğunluğun ve yerlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır.   |
| 18 | (Orenstein ve diğerleri, 2019) | FPD-VRP      | MIP, Petal ve Tabu Modelleri                                      | -                 | ✓               | Sabit             | Homojen                 | -               | 1                      | ✓           | Tüm araçlar için toplam seyahat maliyeti, kullanılan her araç için sabit maliyet ve teslim edilmeyen tüm paketler için toplam ceza maliyetinin en küçüklenmesi amaçlanmaktadır.     |

| #  | Çalışmalar                     | Problem Tipi                  | Model                            | Tesis Yeri Seçimi | Rotalama Kararı | Kargo Dolabı Türü   | Kargo Dolabı Kapasitesi | Yatay İşbirliği | Aşama (echelon) Sayısı | Filo Boyutu | Amaç  |
|----|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|-------------|---|
| 19 | (Janjevic ve diğerleri, 2019)  | MELRP                         | CA                               | ✓                 | ✓               | Sabit               | Homojen                 | -               | 2                      | ✓           | Bu çalışmada, kargo dolaplarının ve onlara ürün tedarik eden servis noktalarının sabit ve operasyonel maliyetlerinin en küçüklemesi amaçlanmaktadır.  |
| 20 | (Sitek ve Wikarek, 2019)       | CVRPPA D                      | CLP-MP-Sezgisel                  | -                 | ✓               | Sabit               | Homojen                 | -               | 1                      | ✓           | Farklı teslimat şekilleri kullanarak araç rota uzunluğunun ve müşteri talebi karşılayamama maliyetinin en küçüklemesi amaçlanmaktadır.  |
| 21 | (Y.Wang ve diğerleri, 2020a)   | LRP-TW                        | NIP                              | ✓                 | ✓               | Mobil (araca sabit) | Homojen                 | ✓               | 1                      | ✓           | Bu çalışmada, taşıma maliyeti ve bakım maliyeti dahil olmak üzere mobil dolapların işletme maliyetini en aza indirmek amaçlanmaktadır.  |
| 22 | (Redi, ve diğerleri, 2020)     | 2EVRP-LF                      | ILP                              | ✓                 | ✓               | Sabit               | Homojen                 | -               | 2                      | ✓           | Araç seyahat maliyeti, ara tesisler kiralama maliyeti ve ara tesislere erişmek için seyahat etmesi gereken müşteriyi tatmin etmek için ek maliyet açısından nakliye maliyetini en aza indirmek amaçlanmaktadır. |
| 23 | (Van Duin ve diğerleri, 2020)  | VRP                           | CEA, MCA ve Simülasyon           | -                 | ✓               | Sabit               | -                       | -               | -                      | -           | Bu çalışmada, kargo dolabı teslimat şeklinde taşıma maliyetlerinin ve kullanılan araç sayısının en küçüklemesi amaçlanmaktadır.   |
| 24 | (Oliveira ve dos Santos, 2020) | LRP                           | Clark ve Wright tasarruf yöntemi | ✓                 | ✓               | Sabit               | Homojen                 | -               | 1                      | -           | Bu çalışmada, eve teslim konsepti ile kargo dolaplarının ortak kullanımı varsayımıyla teslim rotalarının sabit ve değişken maliyetlerinin en küçüklemesi amaçlanmaktadır.                                       |
| 25 | (Kedia ve diğerleri, 2020)     | FLP ve Küme Örtüleme Problemi | LAM                              | ✓                 | -               | Sabit               | Homojen                 | -               | -                      | -           | Toplama ve teslimat kutularının mesafe ve maliyet açısından en uygun yere ve en uygun miktarda yerleştirilmesi amaçlanmaktadır.   |
| 26 | (Lin ve diğerleri, 2020)       | LAP                           | MLFP ve QT-LA                    | ✓                 | -               | Sabit               | -                       | -               | -                      | -           | Bu çalışmada, kargo dolabı ile sağlanacak olan genel hizmet seviyesini en üst düzeye çıkarmak amaçlanmaktadır.  |
| 27 | (Y.Wang ve diğerleri, 2020b)   | LAP                           | ILP-ROA                          | ✓                 | -               | Mobil               | Homojen                 | -               | -                      | -           | Arsa kirası, yatırım maliyeti, bakım maliyeti ve seyahat maliyeti dahil olmak üzere işletme maliyetini stokastik talep sınırlaması ile en aza indirmek amaçlanmaktadır.   |
| 28 | (Schwerdfer ve Boysen, 2020)   | MLLP                          | Açgözlü Sezgisel Modeli          | ✓                 | -               | Mobil (araca sabit) | Heterojen               | -               | 1                      | ✓           | Bu çalışmada, tüm müşterileri memnun ederken mobil kargo dolabı filosunu en aza indirmek amaçlanmaktadır.   |
| 29 | (Yang, ve diğerleri, 2020)     | FLP                           | GABBA                            | ✓                 | -               | Sabit               | Homojen                 | -               | -                      | -           | Kargo dolapları sabit ve işletim maliyetleri ile taşıma maliyeti ve müşteri talep karşılamama ceza maliyetlerinin en küçüklemesi amaçlanmaktadır.   |

| #  | Çalışmalar                          | Problem Tipi   | Model                       | Tesis Yeri Seçimi | Rotalama Kararı | Kargo Dolabı Türü | Kargo Dolabı Kapasitesi | Yatay İşbirliği | Aşama (echelon) Sayısı | Filo Boyutu | Amaç   |
|----|-------------------------------------|----------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|-------------|--|
| 30 | (Enthoven ve diğerleri, 2020)       | 2E-VRP-CO      | MIP-ALNS                    | ✓                 | ✓               | Sabit             | -                       | -               | 2                      | ✓           | Bu çalışmada, kargo bisikleti ve kargo dolapları kullanarak sabit maliyetler ile taşıma maliyetlerinin en küçüklemesi amaçlanmaktadır.   |
| 31 | (Lorig ve diğerleri, 2021)          | VRPPD ve FLP   | ABM                         | ✓                 | ✓               | Mobil             | Heterojen               | -               | 2                      | ✓           | Bu çalışmada, seyahat mesafesini azaltarak, mobil kargo dolabı maliyetini en aza indirmek amaçlanmaktadır.   |
| 32 | (Jiang ve diğerleri, 2021)          | CTSP           | Sezgisel                    | -                 | ✓               | Sabit             | Homojen                 | -               | 2                      | -           | Bu çalışmada, kargo dolabı teslimatı ve geleneksel eve teslimatı birleştirilerek kar en iyilemesi amaçlanmaktadır.   |
| 33 | (Pan ve diğerleri, 2021)            | MDCVRP ve PNFP | GA-LKH                      | -                 | ✓               | Sabit             | Homojen                 | ✓               | 2                      | -           | Bu çalışmada, kullanılan tüm araçlar için toplam maliyeti ve operasyonel kargo dolaplarının kurulum ve işletim maliyetini en aza indirmek amaçlanmaktadır.                         |
| 34 | (Schnieder ve diğerleri, 2021)      | --             | Simülasyon                  | -                 | -               | Sabit             | Heterojen               | -               | -                      | -           | Bu çalışmada, sabit kargo dolabı ve personeli toplama ve teslimat noktalarının ortak kullanılmasıyla maliyetlerin azaltılması amaçlanmaktadır.                                     |
| 35 | (Janjevic ve diğerleri, 2021)       | 3ECLRP         | DM-CAA                      | ✓                 | ✓               | Sabit             | Homojen                 | -               | 2                      | ✓           | Çok kanallı ortamda üç aşamalı çok modlu ağların stratejik son mil tasarımı için sabit, işletme ve taşıma maliyetlerinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır.                       |
| 36 | (Liu ve diğerleri, 2021)            | 2E-LRP-MVMS    | HIA                         | ✓                 | ✓               | Sabit             | Homojen                 | -               | 2                      | ✓           | Bu çalışmada, teslim edilen kargo sayısını optimize etmek ve ayrıca karbon emisyonlarından kaynaklanan maliyetleri azaltmak amaçlanmaktadır.                                       |
| 37 | (Rautela ve diğerleri, 2021)        | 2ELRP          | ERCA                        | ✓                 | ✓               | Sabit             | Homojen                 | -               | 2                      | ✓           | Bu çalışmada, hizmet noktaları ile toplama ve dağıtım noktaları teslimat şekillerinin birlikte kullanılmasıyla sabit ve işletim maliyetlerinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. |
| 38 | (Prandtstetter, ve diğerleri, 2021) | LAP-VRP        | Simülasyon                  | ✓                 | ✓               | Sabit             | -                       | -               | -                      | -           | Kargo dolapları kullanımında kat edilen mesafelerin ve CO2 emisyonlarının azaltılması amaçlanmaktadır.   |
| 39 | (Sitek ve diğerleri, 2021)          | CVRP-AD-P-TW:  | Hibrit Sezgisel (CLP-MP-GA) | -                 | ✓               | Sabit             | -                       | -               | 1                      | ✓           | Bu çalışmada, eve teslimat, kargo dolabı ve kargo servis noktaları teslimat şekillerini kullanarak araç rota uzunluğunun en küçüklemesi amaçlanmaktadır.                           |
| 40 | (Yu ve diğerleri, 2021)             | PM-TSP         | Simülasyon                  | -                 | ✓               | Sabit             | -                       | -               | -                      | -           | Bu çalışmada, belirlenen bölgelerde, müşterilerin isteğine karşılık gelen son mil teslimatının maliyetlerinin en küçüklemesi amaçlanmaktadır.                                      |
| 41 | (Rabe ve diğerleri, 2021)           | MPCFLP         | Simülasyon                  | ✓                 | -               | Sabit             | -                       | -               | -                      | -           | Bu çalışmada, kargo dolabı açma ve işletme maliyetlerinin en küçüklemesi amaçlanmaktadır.  |



| #  | Çalışmalar                              | Problem Tipi | Model  | Tesis Yeri Seçimi | Rotalama Kararı | Kargo Dolabı Türü | Kargo Dolabı Kapasitesi | Yatay İşbirliği | Aşama (echelon) Sayısı | Filo Boyutu | Amaç  |
|----|---|--------------|--|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|-------------|---|
| 42 | (C.Wang ve diğerleri, 2021)             | UMFL         | MOOM ve DPBEA  | ✓                 | -               | Sabit             | -                       | -               | -                      | -           | Bu çalışmada, kargo dolaplarının talep belirsizliği altında en az maliyetle ve zamanla yer seçiminin yapılması amaçlanmaktadır.   |
| 43 | (Catapang ve Solano, 2021)              | DVRPDC       | Q Matrix'in Floyd-Warshall Tabanlı Yeniden Optimizasyonu | -                 | ✓               | Sabit             | -                       | -               | 1                      | -           | Kargo dolabı kullanımında müşterilerin değişen taleplerine ve iptal durumlarına göre en az maliyetle araç rotalama yapılmasını amaçlanmaktadır.   |
| 44 | (Serrano-Hernandez, ve diğerleri, 2021) | FLP          | ABM ve Simülasyon  | ✓                 | -               | Sabit /Mobil      | -                       | -               | -                      | -           | Nüfusun, e-ticaret kullanımının ve kargo kutularına olan taleplerin artacağı senaryolar üzerinde durularak en az maliyetle sabit kargo dolaplarının yerleştirilmesi ve mobil kargo dolaplarının bu sisteme faydalarının bulunması amaçlanmaktadır.              |
| 45 | (Yang ve diğerleri, 2021)               | CVRP         | SAG ve GA  | -                 | ✓               | Sabit             | Heterojen               | -               | 1                      | -           | Bu çalışmada, müşteri taleplerinin en kısa mesafe kullanılarak, farklı kapasitelere sahip resepsiyon kutularına yerleştirilmesi amaçlanmaktadır.  |
| 46 | (Zeng ve diğerleri, 2021)               | TSPTW        | IPM ve SAAM  | -                 | ✓               | Sabit             | -                       | -               | -                      | -           | Kargo dolapları kullanımında kargo yenileme zamanlarından tasarruf edilmesi ve müşteri memnuniyetinin artırılması amaçlanmaktadır.  |
| 47 | (Schaefer ve Figliozzi, 2021)           | --           | Simülasyon   | ✓                 | -               | Sabit             | -                       | -               | -                      | -           | Bu çalışmada, kargo dolabı kullanımının her sosyo-ekonomik ortam için artırılmasını sağlamak adına uygun kargo dolabı yeri seçimi sağlanmasını amaçlanmaktadır.   |
| 48 | (V. F. Yu ve diğerleri, 2022a)          | VRPTW        | SAG  | -                 | ✓               | Sabit             | -                       | -               | 1                      | ✓           | Doğrudan eve teslim şekli ve kargo dolaplarının kullanımı hem ayrı ayrı hem de konsolide edilmiş şekilde uygulanması ve toplam mesafenin azaltılması amaçlanmaktadır.   |
| 49 | (Calabro, ve diğerleri, 2022)           | --           | ABM  | -                 | ✓               | Sabit             | Heterojen               | -               | 1                      | ✓           | Kapıdan kapıya teslimatları konsolidasyon tabanlı stratejilerle karşılaştırarak, e-ticaret kentsel teslimatlarının farklı talep modelleri altında operasyonu yeniden üretilmesi ve toplama/teslimat noktalarının olası eşleşmesinin sağlanması amaçlanmaktadır. |
| 50 | (Luo ve diğerleri, 2022)                | MOPLND P     | GA ve ALPEA  | ✓                 | ✓               | Sabit             | -                       | -               | -                      | -           | Bu makalede, müşteriye en uygun kargo dolabı noktası belirlenmesi, kurulum maliyeti ve satın alma maliyetini en aza indirilmesi ve müşterilerin kargo istasyonlarına erişimini en üst düzeye çıkarılması amaçlanmaktadır.                                       |

| #  | Çalışmalar   | Problem Tipi | Model              | Tesis Yeri Seçimi   | Rotalama Kararı   | Kargo Dolabı Türü | Kargo Dolabı Kapasitesi | Yatay İşbirliği | Aşama (echelon) Sayısı | Filo Boyutu | Amaç  |
|----|--|--------------|--------------------|---|---|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|-------------|---|
| 51 | (Carotenuto ve diğerleri, 2022)  | MDCVRP       | Simülasyon         | -   | ✓   | Sabit             | -                       | -               | 1                      | ✓           | Bu makalede, kargo dolabı ve eve teslim şekillerini karbon emisyonu, kat edilen mesafe ve maliyetler açısından karşılaştırılması amaçlanmaktadır.   |
| 52 | (Che ve diğerleri, 2022)   | FLP          | MOOM ve TA-NSGA-II | ✓   | -   | Sabit             | -                       | -               | -                      | -           | Bu çalışmada, kargo dolabı teslimatı kullanımında maksimum talep karşılama, boş kapasitelerin azaltılması amaçlanmaktadır.  |
| 53 | (Lin Y ve diğerleri, 2022)   | FLP          | TLM                | ✓   | -   | Sabit             | -                       | -               | -                      | -           | Diğer teslimat modlarının rekabeti altında, gelir ve tesislerin maliyetini hesaba katarak karı maksimize etmek amaçlanmaktadır.   |
| 54 | (V. Yu ve diğerleri, 2022b)  | VRPSPD PL    | SAA                | -   | ✓   | Sabit             | -                       | -               | 1                      | -           | Bu makalede, sadece eve teslim, sadece kargo dolabı ve hem kargo dolabı hem eve teslim şekillerini kullanan müşterilere en az maliyet ile araç rotalaması amaçlanmaktadır.                              |
|    | <b>Bu Çalışma</b>  |              |                    | ✓   | ✓   | <b>Mobil</b>      | <b>Heterojen</b>        | ✓               | <b>2</b>               | ✓           | <b>Bu çalışmada, mobil kargo dolabı sabit ve işletim maliyetlerinin en küçükleme yapılırken, mobil kargo dolabı kullanımında yatay işbirliğinin sağlayacağı faydaları analiz etmek amaçlanmaktadır.</b> |
|    | VRP: Araç Rotalama Problemi<br>VRPTW: Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi;<br>FLP: Tesis Yeri Seçimi Problemi;<br>TSP: Gezgin Satıcı Problemi;<br>LRP: Konum Yönlendirme Problemi;<br>UFLP: Kapasitesiz Tesis Yeri Seçimi Problemi;<br>LAP: Yer Tahsisi Problemi;<br>VRPPD: Toplama ve Dağıtım ile Araç Rotalama Problemi<br>ROA: Güçlü Optimizasyon Algoritması;<br>MLLP: Mobil Kargo Dolabı Konumu Problemi;<br>MELRP: Çok Aşamalı Konum Yönlendirme Problemi;<br>PM-TSP: Gezgin Satıcı Problemine Göre Fiyatlandırma;<br>CTSP: Kapasiteli Gezgin Satıcı Problemi;<br>GABBA: Genetik Algoritma Tabanlı Bilevel Algoritması; |              |                    | CVRPPAD: Toplama ve Alternatif Teslimatta Kapasiteli Araç Yönlendirme Problemi;<br>LRP-TW: Zaman Penceresinde Konum Yönlendirme Problemi;<br>2EVRP-LF: İki Aşamalı Araç Rotalama ve Tesis Yeri Seçimi Problemi;<br>MPCFLP: Çok Aşamalı Kapasiteli Tesis Yeri Seçimi Problemi;<br>DM-CAA: Ayrık Yöntemler, Süreklilik Yaklaşımına Dayalı Yöntemler;<br>2E-VRP-CO: Kapsama Seçenekleri ile İki Aşamalı Araç Rotalama Problemi;<br>FPD-VRP: Esnek Parsel Teslimatı ile Araç Rotalama Problemi;<br>MPMLAM: Değiştirilmiş p-medyan Konum Tahsisi (LA) Modeli;<br>MGECAP: Çok Amaçlı Yeşil Ekspres Kabin Atama Problemi;<br>MDCVRP: Çok Depo Kapasiteli Araç Rotalama Problemleri;<br>QT-LA: Doğrusal Alternatif algoritması ile İkinci Dereceden Dönüşüm;<br>3ECLRP: Üç Aşamalı Kapasiteye Sahip Konum Yönlendirme Problemi;<br>2E-LRP-MVMS: Karma Araçlar ve Uydular ile İki Aşamalı Konum-Yönlendirme Problemi; GA-LKH: Lin-Kernighan Sezgisel ile Genetik Algoritma | GA: Genetik Algoritma;<br>DCA: Dinamik Kümeleme Yöntemi;<br>CWSA: Clarke ve Wright's Savings Algoritması;<br>ACOA: Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması;<br>ILP: Tam Sayılı Doğrusal Programlama;<br>MILP: Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama;<br>MCA: Çok Kriterli Analiz;<br>ILS: Yenilenen Yerel Arama;<br>ABM: Ajan Tabanlı Modelleme;<br>LSCM: Konum Küme Örtüleme Yöntemi,<br>MIP: Karma Tam Sayılı Programlama;<br>CA: Süreklilik Yaklaşımı;<br>CEA: Maliyet Etkililik Analizi;<br>PNFP: Parsel Ağı Akış Problemi; |                   |                         |                 |                        |             |   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| 2ELRP: İki Aşamalı Konum-Yönlendirme Problemi;                       | PG-MOEAD: Ayrışmaya Dayalı Olasılık Güdümlü Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma;                            | ALNS: Uyarlanabilir Geniş Komşuluk Arama Sezgiseli;                            |
| CLP-MP: Kısıtlama Mantığı ile Matematiksel Programlama;              | TSPCER: Karbon Emisyonu İndirilmesi ile Gezgin Satıcı Problemi;                                       | ERCA: Genişletilmiş Yönlendirme Maliyeti Yaklaşımı;                            |
| NIP: Doğrusal Olmayan Tam Sayılı Programlama;                        | CVRP-AD-P-TW: Alternatif Teslimat, Teslim Alma ve Zaman Pencere Kapasiteli Araç Yönlendirme Problemi; | HIA: Hibrit Bağışıklık Algoritması;  |
| MLFP: Çok Oranlı Doğrusal Kesirli 0-1 Programı;                      | MOOM: Çok Amaçlı Optimizasyon Modeli  | LAM: Yer Tahsisi Modellemesi   |
| UMFL: Belirsizlik Altında Çok Amaçlı Bir Konum Problemi Tesisler     | SAG: Simüle Edilmiş Tavlama Genetiği  | DPBEA: Çift Popülasyon Tabanlı Evrimsel Algoritma                              |
| DVRPDC: Toplama, bırakma ve iptal ile dinamik araç rotalama problemi | ALPEA: Aktif Öğrenme Pareto Evrimsel Algoritması  | SAAM: Örnek Ortalama Yaklaşım yöntemi  |
| MOPLNDP: Çok Amaçlı Kargo Dolapı Ağ Tasarım Sorunu                   | BNL: Binom Logit Modeli   | TA- NSGA-II: Taguchi yöntemi ve baskın olmayan sıralama genetik algoritması II |
| TLM: Eşik Luce Modeli  | VRPSPDPL: Eşzamanlı Toplama Ve Dağıtım Ve Kargo Dolapları İle Araç Rotalama Sorunu                    | MNL: Çok Terimli Logit Modeli  |

---

Literatürde incelenen çalışmalara bakıldığında, Tablo 2’de görülebileceği üzere kargo dolapları genellikle sabit olarak ele alınmakta ve kapasiteleri homojen olarak kabul edilmektedir. Çalışmaların çoğunda problem tek aşamalı olarak ele alınırken filo boyutunun dahil edildiği çalışmaların sayısı daha az olduğu gözlemlenmektedir.

Aynı zamanda, incelenen kargo dolabı yer seçimi ve rotalama literatürde yatay işbirliğini ele alan çalışmalar oldukça nadir bulunmaktadır. Toplam 3 çalışmada yatay işbirliğine değinilmektedir. Bu çalışmalardan iki tanesi sabit kargo dolaplarında yatay işbirliğini analiz ederken (Mohamed ve Ndiaye, 2018; Pan ve diğerleri, 2021), Wang, Bin ve A (2020a) yaptıkları çalışmada araca sabit mobil kargo dolapları kullanımında yatay işbirliğine değinmektedir (Y.Wang vd., 2020a).

Literatürde yer alan çalışmalarda birbirinden farklı problemlere yer verilmektedir. İncelenen çalışmalara bakıldığında literatürde, araç rotalama problemleri ve tesis yeri seçimi problemleri ve türevlerine (zaman aralıklı, toplama ve dağıtım planı içeren, vb.) ağırlık verildiği gözlemlenmektedir. Bu noktada, araç rotalama problemi için yapılan çalışmalarda kargo dolapları ile çoğunlukla geleneksel eve teslimat şekli daha sonrasında toplama ve teslimat noktaları, resepsiyon kutuları gibi alternatif teslimat şekillerinin ortaklaşa kullanımı üzerine çalışılmaktadır. Öte yandan, çalışmaların bir kısmı son mil taşımacılıkta tek başına kargo dolabı kullanımında araç rotalaması üzerine de çalışmaktadır. Zhang ve Lee (2016) çalışmalarında kargo dolabı kullanımında taşıma süresi, bekleme süresi ve hizmet süresinden oluşan toplam süreyi ve toplam seyahat mesafesini en küçükmeyi amaçlayarak araç rotalama problemine model geliştirmektedir (Zhang ve Lee, 2016). Bir başka çalışmada, Van Duin vd. (2020), kargo dolabı kullanımında taşıma maliyetlerinin ve kullanılan araç sayısının en küçükmeyi amaçlayarak araç rotalama problemini çözmektedir (Van Duin ve diğerleri, 2020). Enthoven vd. (2020) kargo dolabı teslimat şekli kullanımında iki aşamalı araç rotalama problemi üzerine model geliştirerek, diğer çalışmalardan farklı olarak karbon emisyonunun düşürülmesini amaçlayarak problemin ikinci aşamasına kargo bisikletlerinin kullanımını dahil etmektedir (Enthoven ve diğerleri, 2020).

Literatürde incelenen kargo dolabı yer seçimi problemlerinde ise müşterilerin potansiyel kargo dolabı yerleştirme noktalarına olan mesafeleri öncelikli olarak dikkate alınmaktadır. Burada amaç müşterilerin kargo dolabı kullanma istekliliklerinin arttırılmasını sağlamaktır. Literatürde yer alan kargo dolabı yer seçimi problemini ele alan çalışmalarda sadece müşterilerin kargo dolaplarına mesafeleri değil, kargo dolabı yerleştirilecek olan bölgenin sosyo-ekonomik durumları, talep tahminleri, mevcut popülasyonu ve tahmin edilen gelecek popülasyonu da ele alınmaktadır (Schaefer ve Figliozzi, 2021; Serrano-Hernandez ve diğerleri, 2021). Bu çalışmalar özelinde, bu değişkenlerin probleme katılmasındaki temel neden sabit kargo dolaplarının kullanılmasıdır. Bir kere yerleştirilen ve uzun yıllar aynı yerde bulunacak olan kargo dolapları için uygun noktaları seçmek, işletmeler için hayati önem taşımaktadır (Che ve diğerleri, 2022). Bu değişkenler göz önünde bulundurulmadan yapılacak olan herhangi bir çözümde, gelecekte değişecek olan talebi karşılayamama veya müşterilere olan uzaklıkların artması sonucu lojistik hizmet sağlayıcılarına çıkacak olan maliyet oldukça külfetli olacaktır.

Yer seçimi ve rotalama problemi yapılan literatür taraması sonucu gözlemlendiği üzere çalışmalarda farklı açılardan ele alınmaktadır. Bu doğrultuda Qin, Mao ve Li (2014) kargo dolaplarını kullanan müşterileri konumlarına göre kümeleyerek sabit kargo dolaplarının müşterilere en yakın noktalara yerleştirirken, kargo dolaplarının yeniden yüklenmesi için depodan kargo dolaplarına araç rotalaması problemini çözmektedir (Qin ve diğerleri, 2014). Bir başka çalışmada, Janjevic, Winkenbach ve Merchan (2019) son mil taşımacılıkta eve teslim ve kargo dolabının birlikte kullanımı için iki aşamalı yer seçimi ve rotalama problemi için sezgisel model geliştirmektedir (Janjevic ve diğerleri, 2019). Bu problemde, ana depolar, aktarma noktaları, kargo dolapları ve müşteri noktaları bulunmaktadır. Problemin ilk aşamasında ana depolardan kargolar aktarma noktalarına taşınırken ikinci aşamada kargolar ya doğrudan müşterilere ya da kargo dolaplarına götürülmektedir. Çalışmada, aktarma noktaları ile kargo dolapları için yer seçimi kararı alınırken, ikinci aşama için araç rotalama kararları verilmektedir. Janjevic vd. 2021 yılında yaptıkları çalışmada ise probleme aktarma noktalarına

ek bölgesel aktarma noktaları ekleyerek üç aşamalı kapasiteli yer seçimi ve rotalama problemi üzerine çalışmaktadır (Janjevic ve diğerleri, 2021). Janjevic vd. (2019)'nin yapmış olduğu çalışmanın bir benzeri olarak Oliveira ve Dos Santos (2020) yine eve teslim ve kargo dolabı teslim şekillerini bir arada kullanma ile kargo dolabı yer seçimi ve araç rotalama problemine sezgisel bir modelle yaklaşmaktadır (Oliveira ve dos Santos, 2020). Ancak bu problemde aktarma noktası bulunmamaktadır. Redi vd. (2020) kargo dolapları için iki aşamalı bir araç rotalama problemi ortaya koymaktadır (Redi ve diğerleri, 2020). Bu çalışmada, araç seyahat maliyeti, ara tesisler kiralama maliyeti ve ara tesislere erişmek için seyahat etmesi gereken müşterinin nakliye maliyetini en aza indirmek amaçlanmaktadır. Bu problemde ara tesisler kargo dolapları olarak kabul edilmektedir. Problemi çözmek için simüle edilmiş bir tavlama algoritması önerilmektedir. Liu vd. (2021) ve Prandtstetter vd. (2021) bir başka açıdan yaklaşarak kargo dolabı yer seçimi ve rotalama probleminde taşıma ve seyahat maliyetlerini ve karbon emisyonunu en aza indirmek üzerine çalışmaktadır (Liu ve diğerleri, 2021; Prandtstetter ve diğerleri, 2021). Öte yandan Luo vd. (2022) kargo dolabı kullanımında çok amaçlı yer seçimi ve rotalama problemi üzerinde çalışmaktadır (Luo ve diğerleri, 2022). Diğer problemlerde farklı olarak problemde hem kargo dolabı satın alma ve yerleştirme maliyetlerini en aza indirmek amaçlanmakta hem de müşterilerin kargo dolaplarına ulaşılabilirliğinin maksimize edilmesi amaçlanmaktadır.

Şimdiye kadar incelenen, yer seçimi ve rotalama problemi üzerine çalışılan makalelerde kargo dolapları sabit olarak ele alınmaktadır. Lorig vd. 2021'de yaptıkları çalışma ile literatürde yeni bir alan açmaktadır. Yazarlar, çalışmada son mil taşımacılığı problemine çözüm olarak İsveç start-up firmasının tanıtmış olduğu modüler mobil kargo dolaplarını kullanarak toplama ve dağıtım ile yer seçimi ve rotalama problemine çözüm olarak simülasyon modeli geliştirmektedir (Lorig ve diğerleri, 2021). Problem kapsamında ana depodan araçlara yüklenen dolu mobil dolapları, kendileri için müşterilere en yakın noktalara bırakılmakta, bir önceki dönemden kalan boş mobil kargo dolapları buldukları noktadan araçlara yüklenmekte ve ana depoya taşınmaktadır. Bu noktada, mobil kargo dolaplarının

kullanılmasındaki amaç, kargo dolaplarının yüklenmesinden kaynaklanan elleçlemenin tek merkezden olmasını sağlayarak servis süresinden tasarruf edilmesini sağlamaktır. Problemden asıl amaç müşterilere en yakın noktalara mobil kargo dolaplarını yerleştirmek ve bu esnada en kısa mesafe ile araç rotalamasını planlamaktır.

Bu tez çalışmasında, son mil taşımacılığında mobil kargo dolabı için toplama ve dağıtım ile yer seçimi ve rotalama problemi için taşıma maliyeti, araç kullanma maliyeti, sürücü maliyeti, kargo dolabı yerleştirme sabit maliyeti ve müşterilerin kargo dolaplarına ulaşması aşamasında ortaya çıkan seyahat maliyetlerinin en aza indirilmesi amaçlanırken aynı zamanda mobil kargo dolabı kullanımında yatay işbirliğinin faydaları incelenmesinin karar vericiler için fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, özellikle gelişmiş ülkelerde hem yolcu hem de yük taşımacılığına yönelik elektrikli araçların filo oranlarının, bu araçlara yönelik yapılan akademik araştırmaların ve teknolojik gelişmelerin artması, ülkelerin teşvikleri ve gerçek hayattaki dağıtım ağlarında uygulanan projeler göz önünde bulundurularak problem çerçevesine elektrikli araçlarda eklenerek çalışmanın güncel tutulması amaçlanmıştır (Soysal ve diğerleri, 2020). Literatür taraması kapsamında ele alınan çalışmalarda, yer seçimi, rotalama, yatay işbirliği kararlarının heterojen kapasiteli mobil kargo dolabı kullanımı kapsamında incelendiği bir model gözlemlendiği kadarıyla bulunmamaktadır. Söz konusu kararların bir ya da birkaçını dikkate alan çalışmalar literatürde bulunsada tamamını ele alan her hangi bir model bulunmamaktadır. Bu durum mevcut çalışmanın literatüre katkısını ortaya koymakta ve literatürde yer alan diğer çalışmalardan bu çalışmayı ayırmaktadır.

## 2. BÖLÜM: PROBLEM TANIMI ve MODEL ÖNERİSİ

Bu bölümde çalışma kapsamında ele alınacak problem detaylı olarak açıklanmakta ve sonrasında problemi çözmek için uygulanacak matematiksel model önerisi verilecektir.

Problemde üç farklı varsayımsal kargo şirketinin son mil teslimatlarında mobil kargo dolapları kullanarak operasyonlarını gerçekleştirdikleri varsayılmaktadır. Bu teslimat şekli gereğince şirketlere ait depolarda müşteri kargoları ile doldurulan ve sonrasında elektrikli araçlara yüklenen mobil kargo dolapları, yeri önceden belirlenmiş olan ve müşterilere en yakın noktalara yerleştirilmekte ve müşteriler kargoların tamamını aldıktan sonra veya kargo dolabının o noktada bulunma süresi dolduktan sonra elektrikli araçlar yardımı ile buldukları yerden alınıp bir sonraki yükleme için tekrardan depolara getirilmektedir. Bu doğrultuda, çalışmada ele alınan problemde, her bir şirkete ait depo noktaları, her biri bir yaşam kompleksi (site, apartman, vs.) olan müşteri noktaları, mobil kargo dolaplarının yerleştirilmesi planlanan potansiyel yerleştirme noktaları, boş veya süresi dolmuş mobil kargo dolaplarının bulunduğu toplama noktaları, homojen kapasiteye sahip elektrikli araçlar, heterojen kapasiteli mobil kargo dolapları ve mobil kargo dolaplarına yüklenen 4 farklı boyuta sahip kargolar bulunmaktadır. Problem iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, şirket depolarında farklı boyutlarda kargolarla doldurulan mobil kargo dolapları ile yüklenen elektrikli araçlar, bu dolapları müşteri noktaları en yakın konumda olan potansiyel yerleştirme noktalarına bırakmakta ve aynı zaman süresi dolmuş ya da boş olan mobil kargo dolaplarını toplama noktalarından alıp depoya geri dönmektedir. İkinci aşamada ise müşteriler kargolarını kendilerine atanan mobil kargo dolapları yerleştirme noktalarından almaktadır.

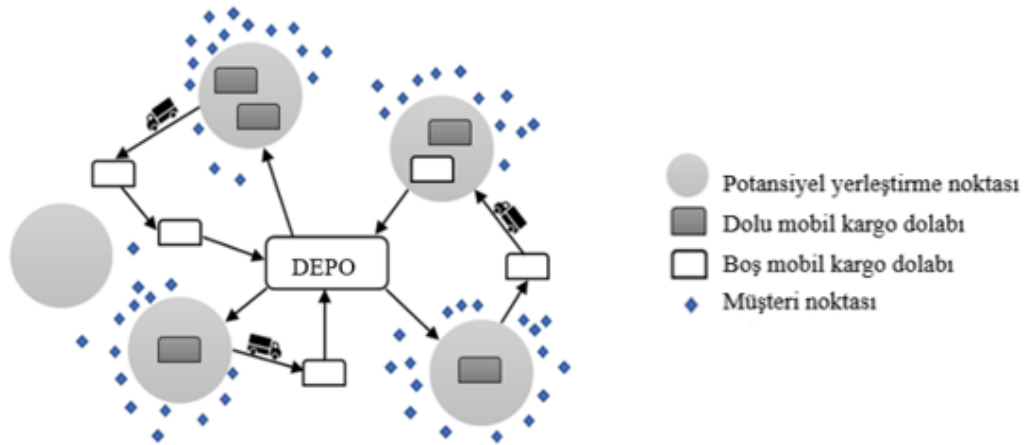
Bu çalışmada, son kilometre teslimatında mobil kargo dolapları kullanılarak müşteri taleplerinin karşılanması hedeflenmektedir. Ele alınan problemde alınan kararlar şu şekilde sıralanmaktadır;

- depo noktasında kargoların mobil kargo dolaplarına yüklenmesi,



- potansiyel noktalar arasından mobil kargo dolapları için yer belirlenmesi,
- belirlenen mobil kargo dolabı noktalarına dolu dolapların bırakılması,
- dolu kargo dolaplarının yerleştirilmesi ve süresi dolmuş dolapların buldukları noktalardan toplanması için rota oluşturulması.

Çalışmada tanıtilen son kilometre teslimatında mobil kargo dolabı yükleme, yer seçimi, toplama ve dağıtım rotalama problemi için önerilen matematiksel modelde,  $V_F = \{1, 2, \dots, |V_F|\}$  kümesi mobil kargo dolaplarının yerleştirilebileceği tüm potansiyel noktaların kümesi,  $V_P = \{1, 2, \dots, |V_P|\}$  süresi dolmuş mobil kargo dolabı toplama noktaları kümesi,  $V_C = \{1, 2, \dots, |V_C|\}$  müşteri noktaları kümesi,  $V = \{0\} \cup V_F \cup V_P \cup V_C$  kümesi kargo firmasının deposu (0 noktası) dahil tüm noktaların kümesi olarak tanımlanmaktadır. Problemden kullanılacak araçlar kümesi  $K = \{1, 2, \dots, |K|\}$ , mobil kargo dolapları kümesi  $S = \{1, 2, \dots, |S|\}$ , mobil kargo dolaplarına yerleştirilecek farklı büyüklüklerdeki dolap kutuları kümesi  $N = \{1, 2, \dots, |N|\}$  olarak tanımlanmaktadır. Problem heterojen kapasiteye sahip mobil kargo dolaplarına kargo yüklenmesi ile başlayacak olup, problemin ilk aşamasında, Şekil 10'da görüleceği üzere, depodan çıkan yükleme yapılmış dolu mobil kargo dolabı taşıyan araçlarla,  $k \in K$ , dolu mobil kargo dolaplarının yerleştirilmesi ve boş kargo dolaplarının toplanması, ikinci aşamasında ise müşterilerin kargolarını, yerleştirilmiş mobil kargo dolaplarından almaları planlanmaktadır. Bu doğrultuda düğümler arası yollar kümeleri birinci aşamada  $A^1 = \{(i, j) : i, j \in V \setminus V_C, i \neq j\}$  ve ikinci aşamada  $A^2 = \{(i, m) : i, m \in V \setminus V_P, i \neq m\}$  şeklinde tanımlanmaktadır.

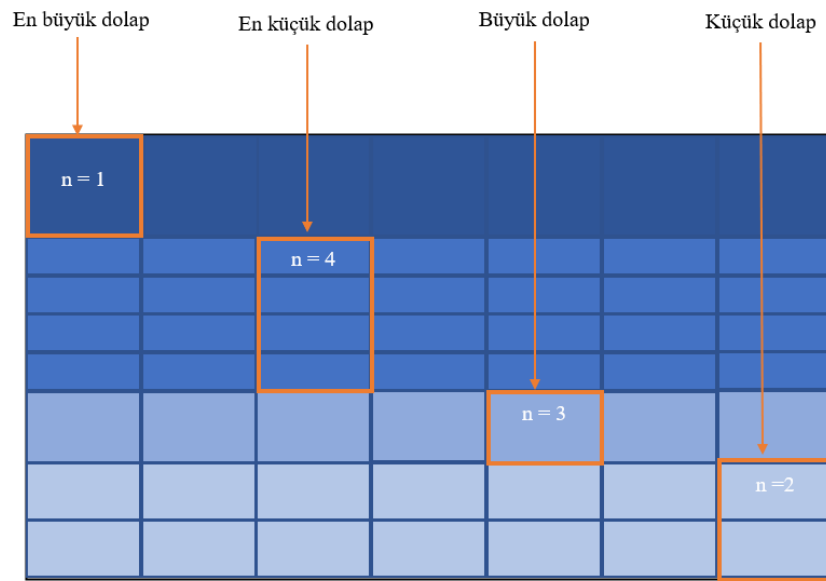


**Şekil 10.** Problemin Gösterimi

Problemdede dolu kargo dolaplarının yerleşim noktaları, müşterilerin mobil kargo dolaplarına uzaklığı dikkate alınarak belirlenecektir. Aynı zamanda kargo teslim alma süresi dolmuş (boş ya da yarı boş) mobil kargo dolaplarının teslim alma noktaları da probleme dahil edilmiştir. Bu çerçevede, dolu mobil kargo dolaplarının hangi noktalara konumlandırılacağına karar verilirken teslim alma süresi dolmuş (boş ya da yarı boş) mobil kargo dolaplarının da toplanması hususunda araç rotalama yapılacaktır. Dolu mobil kargo dolaplarının yerleştirileceği her bir potansiyel noktanın belirli bir kapasitesi (bir noktanın alacağı maksimum mobil kargo dolabı sayısı),  $q_i$ ,  $i \in V_F$ , bulunmaktadır. Dolu mobil kargo dolapları yerleştirilirken bu kapasiteleri ve müşterilerin potansiyel noktalara olan uzaklıkları dikkate alınmaktadır. Bu doğrultuda  $\mu_{im}$ ,  $i \in V_F$  potansiyel mobil kargo dolabı yerleşme noktası ile  $m \in V_C$  müşteri noktası arasındaki mesafeyi ifade etmek için kullanılan parametre olarak tanımlanırken iki nokta arasındaki mesafe önceden belirlenmiş olan uzaklığa eşit veya daha kısa ise 1, daha uzun ise 0 değerini almaktadır. Bu parametre değerleri sayesinde müşteri yakınlığına bağlı olarak dolu mobil kargo depolarının uygun potansiyel noktalara yerleştirilmesi planlanmaktadır.

Araçlar,  $k \in K$ , depo noktasında,  $\{0\} \in V$ , hazır beklemekte, her bir aracın belirli ve homojen kapasitesi,  $\pi_k$ ,  $k \in K$ , bulunmakta ve araçlar bu kapasite kadar mobil kargo dolabı taşıyabilmektedir. Kargo firması  $k \in K$  araçlarını kullanarak dolu

kargo dolaplarının potansiyel noktalardan en uygununa yerleştirmek ve önceki dönemden kalan süresi dolmuş boş ya da yarı boş mobil kargo dolaplarının toplanarak depolara götürülmesinden sorumludur. Bir önceki dönemden süresi dolmuş boş ya da yarı boş mobil kargo dolaplarının sayısı bir sonraki dönemin başında belli olacağı için, yola çıkan aracın, kendi rotası içinde noktalardan kaçar adet boş ya da yarı boş mobil kargo dolabı,  $b_i, i \in V_p$ , toplayacağı bilinmektedir. Her araç, problemin çözümü gereğince oluşan rotayı tamamladıktan sonra depo noktasına geri dönmektedir.



**Şekil 11.** Mobil kargo dolabının tasarımı

Ayrıca, incelenen bu problemde, müşteri talebi dikkate alınarak mobil kargo dolaplarına kargo atanması da ele alınacaktır. Problemde ele alınan mobil kargo dolaplarının her birinin Şekil 11’de gösterildiği gibi dört farklı boyutta dolap kutusuna sahip olduğu ve her bir mobil kargo dolabının kapasitesinin farklı (heterojen) olduğu varsayılmaktadır. Bu doğrultuda müşteri talebi,  $\delta_{mn}$ ,  $m \in V_C$  müşterisinin talep ettiği  $n \in N$  kargo olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca her bir  $s \in S$  mobil kargo dolabının alacağı maksimum  $n \in N$  kargo sayısını,  $cap_{sn}$ , bilinmektedir.

Potansiyel noktalara mobil kargo dolapları yerleştirme sabit maliyeti  $\gamma_i, i \in V_F$ , olarak ifade edilmektedir. Döğümler arası yollar kümesine tanımlı olan  $c_{ij} ((i, j) \in A^1)$  ve  $c_{im} ((i, m) \in A^2)$  döğümler arası mesafe başına kullanılan aracın harcadığı kilovata ve müşteri ulaşım maliyeti değerine bağılı taşıma maliyetlerini ifade etmektedir. Bunlarla birlikte kilometre başına araç kullanım maliyeti  $v_{ij} ((i, j) \in A^1)$ , sürücü maliyeti ise  $\alpha_{ij} ((i, j) \in A^1)$  ile ifade edilmektedir.

Problemde yer alan karar döğişkenlerinden  $G_{ijk}$  döğişkeni  $(i, j) \in A^1$  yayında  $k \in K$  aracının seyahat etme kararını ifade eden 0-1 ikili döğişkeni olarak tanımlanmaktadır. Bir diğer 0-1 ikili karar döğişkeni olarak tanımlanan  $Z_{isk}, i \in V_F$  potansiyel noktasına,  $s \in S$  dolu mobil kargo dolaplarının,  $k \in K$  aracı ile yerleştirilmesi kararını ifade etmektedir. Döğişken, potansiyel noktaya dolu mobil kargo dolabı yerleştirilirse 1, yerleştirilmezse 0 değerini almaktadır. Toplama noktalarından  $(i \in V_P)$ ,  $k \in K$  aracıyla taşınacak olan süresi dolmuş mobil kargo dolaplarının toplam sayısı ise  $\beta_{ik}$  karar döğişkeni ile ifade edilmektedir. İkili karar döğişkenlerinden  $Y_{im}, i \in V_F$  potansiyel mobil kargo dolabı noktasına  $m \in V_C$  müşterisinin atanıp atanmama kararını ifade eden karar döğişkenidir. Karar döğişkeni  $X_{iksmn}, i \in V_F$  potansiyel mobil kargo dolabı noktasına,  $k \in K$  aracıyla getirilen  $s \in S$  mobil kargo dolabında m'inci,  $m \in V_C$ , müşteriye atanan  $n \in N$  kutu sayısı olarak tanımlanmaktadır. Son olarak  $R_{ijk}$  karar döğişkeni  $(i, j) \in A^1$  yayında  $k \in K$  aracıyla taşınan dolu mobil kargo dolabı sayısını ifade ederken  $P_{ijk}$  karar döğişkeni  $(i, j) \in A^1$  yayında  $k \in K$  aracıyla taşınan süresi dolmuş boş ya da yarı boş mobil kargo dolabı sayısını ifade etmektedir.

Yükleme, yer seçimi, toplama ve dağıtım probleminin çözümü için önerilen modele ait notasyon tablosuna aşağıda yer verilmiştir.

Tablo 3. Notasyon Tablosu

| Sembol             | Açıklama  |
|--------------------|---|
| $i$                | Mobil kargo dolabı yerleştirme noktası  |
| $j$                | Toplama Noktası   |
| $m$                | Müşteri Noktası   |
| $k$                | Araç  |
| $s$                | Mobil kargo dolabı  |
| $n$                | Kargo   |
| $V_F$              | Potansiyel mobil kargo dolabı yerleştirme noktaları kümesi $V_F = \{1, 2, \dots,  V_F \}$   |
| $V_P$              | Toplama noktaları kümesi $V_P = \{1, 2, \dots,  V_P \}$   |
| $V_C$              | Müşteri noktaları kümesi $V_C = \{1, 2, \dots,  V_C \}$   |
| $V$                | Tüm düğümler kümesi $V = \{0 \cup V_F \cup V_P \cup V_C\}$  |
| $K$                | Araçlar kümesi $K = \{1, 2, \dots,  K \}$   |
| $S$                | Mobil kargo dolapları kümesi $S = \{1, 2, \dots,  S \}$   |
| $N$                | Kargo kümesi $N = \{1, 2, \dots,  N \}$   |
| $A^1$              | Birinci aşamada yer alan düğümler arası yollar (yollar) kümesi $A^1 = \{(i, j) : i, j \in V \setminus V_C, i \neq j\}$  |
| $A^2$              | İkinci aşamada yer alan düğümler arası yollar (yollar) kümesi $A^2 = \{(i, m) : i, m \in V \setminus V_P, i \neq m\}$   |
| Parametreler       |   |
| $M$                | Yeterince büyük bir sayı  |
| $\delta_{mn}$      | $m \in V_C$ müşterisinin $n \in N$ kargosu talep miktarı (kargo adeti)  |
| $c_{ij}$           | $(i, j) \in A^1$ yayında mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€/kWh)   |
| $c_{im}$           | $(i, m) \in A^2$ yayında kargo taşıma maliyeti (€/km)   |
| $v_{ij}$           | $(i, j) \in A^1$ yayında araç kullanım maliyeti (€/km)  |
| $\alpha_{ij}$      | $(i, j) \in A^1$ yayında kullanılan araçlarda sürücü maliyeti (€/saniye)  |
| $\pi_k$            | $k \in K$ aracının kapasitesi, (mobil kargo dolabı adeti)   |
| $cap_{sn}$         | $s \in S$ mobil kargo dolabının alabileceği maksimum $n \in N$ dolap kargo miktarı  |
| $q_i$              | $i \in V_F$ potansiyel noktasının kapasitesi, (mobil kargo dolabı sayısı)   |
| $b_i$              | $i \in V_P$ toplama noktasının talebi (Mobil kargo dolabı adeti)  |
| $\mu_{im}$         | Müşteri $m \in V_C$ ile mobil kargo dolabı potansiyel noktası $i \in V_F$ arasındaki mesafe önceden belirlenen mesafeye eşit ya da kısa ise 1, değilse 0 değeri verilmiş parametre değeri |
| $\gamma_i$         | Mobil kargo dolabını potansiyel $i \in V_F$ noktasına yerleştirme sabit maliyeti (€/adet)   |
| Karar Değişkenleri |   |
| $G_{ijk}$          | $(i, j) \in A^1$ yayında $k \in K$ aracıyla seyahat etme kararı, 0-1 değişkeni  |
| $Z_{isk}$          | $i \in V_F$ potansiyel noktasına, $s \in S$ mobil kargo dolabının $k \in K$ aracı ile yerleştirilmesi kararı, 0-1 değişkeni   |
| $Y_{im}$           | $i \in V_F$ mobil kargo dolabı yerleşim noktasına $m \in V_C$ müşterisini atama kararı, 0-1 değişkeni   |
| $X_{iksmn}$        | $i \in V_F$ potansiyel noktasına $k \in K$ aracıyla getirilen $s \in S$ mobil kargo dolabında $m \in M$ müşterisine atanan $n \in N$ kargo sayısı   |
| $R_{ijk}$          | $(i, j) \in A^1$ yayında $k \in K$ aracıyla taşınan dolu mobil kargo dolabı sayısı (birim)  |
| $P_{ijk}$          | $(i, j) \in A^1$ yayında $k \in K$ aracıyla taşınan boş mobil kargo dolabı sayısı (birim)   |
| $\beta_{ik}$       | $i \in V_P$ noktasından $k \in K$ aracı ile toplanacak olan boş kargo dolabı sayısı   |

Tablo 3'te verilen notasyon doğrultusunda geliştirilen model aşağıda verilmektedir:

En küçükle (Minimize)

$$\begin{aligned} & \sum_{i,j \in V \setminus V_C, (i,j) \in A^1} \sum_{k \in K} c_{ij} G_{ijk} + \sum_{i \in V_F, (i,m) \in A^2} \sum_{m \in V_C} c_{im} Y_{im} + \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} \sum_{i \in V_F} \gamma_i Z_{isk} \\ & + \sum_{i,j \in V \setminus V_C, (i,j) \in A^1} \sum_{k \in K} v_{ij} G_{ijk} + \sum_{i,j \in V \setminus V_C, (i,j) \in A^1} \sum_{k \in K} \alpha_{ij} G_{ijk} \end{aligned} \quad (1)$$

Amaç fonksiyonu (1) sırasıyla mobil kargo dolabı taşıma maliyeti, müşteri kargo taşıma maliyeti, mobil kargo dolabı yerleştirme sabit maliyeti, araç kullanma maliyeti ve sürücü maliyetlerinden oluşan toplam operasyon maliyetlerinin en aza indirilmesini kapsamaktadır.

$$\sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \sum_{n \in N} X_{iksmn} \leq Y_{im} \mu_{im} M, \quad \forall i \in V_F, \quad \forall m \in V_C \quad (2)$$

(2) numaralı kısıtlar kümesi kargoların, ait olduğu müşterilerin atandığı potansiyel yerleştirme noktasına bırakılacak olan mobil kargo dolabına yüklenmesini sağlamaktadır.

$$\sum_{i \in V_F} Y_{im} \leq 1, \quad \forall m \in V_C \quad (3)$$

(3) numaralı kısıtlar kümesi bir müşteriye birden fazla mobil kargo dolabı noktası atanmamasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i \in V_F} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} X_{iksmn} = \delta_{mn}, \quad \forall m \in V_C, \quad \forall n \in N \quad (4)$$

(4) numaralı kısıtlar kümesi tüm müşteri noktalarında talebin karşılanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{m \in V_C} X_{iksmn} \leq cap_{sn} Z_{isk}, \quad \forall i \in V_F, \quad \forall s \in S, \quad \forall k \in K, \quad \forall n \in N \quad (5)$$

(5) numaralı kısıtlar kümesi mobil kargo dolaplarının kapasite kısıtlarının karşılanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i \in V_F} \sum_{k \in K} Z_{isk} \leq 1, \quad \forall s \in S \quad (6)$$

(6) numaralı kısıtlar kümesi her bir mobil kargo dolabının sadece bir araç ve bir potansiyel nokta için kullanılmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i \in V \setminus V_C, (i,j) \in A^1} G_{ijk} = \sum_{i \in V \setminus V_C, (i,j) \in A^1} G_{jik}, \quad \forall j \in V \setminus V_C, \quad \forall k \in K \quad (7)$$

(7) numaralı kısıtlar kümesi akışın korunumunu sağlamaktadır. Bu doğrultuda kısıt kümesi bütün  $i$  noktalarına gelen araç sayısını giden araç sayısına eşitlemektedir.

$$\sum_{j \in V \setminus V_C, (i,j) \in A^1} G_{ijk} \leq 1, \quad \forall i \in V \setminus V_C, \quad \forall k \in K \quad (8)$$

(8) numaralı kısıtlar kümesi her aracın her bir toplama ve dağıtım noktasını en fazla bir kez ziyaret edebileceğini göstermektedir.

$$\sum_{k \in K} \beta_{ik} = b_i, \quad \forall i \in V_P \quad (9)$$

(9) numaralı kısıtlar kümesi her bir toplama noktasından toplanması gereken boş kargo dolabı talebinin karşılanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{j \in V/V_C, (i,j) \in A^1} R_{ijk} = \sum_{j \in V/V_C, (i,j) \in A^1} R_{jik} - \sum_{s \in S} Z_{isk}, \quad \forall i \in V_F, \forall k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{j \in V/V_C, (i,j) \in A^1} P_{ijk} = \sum_{j \in V/V_C, (i,j) \in A^1} P_{jik} + \beta_{ik}, \quad \forall i \in V_P, \quad \forall k \in K \quad (11)$$

$$\sum_{j \in V/V_C, (i,j) \in A^1} R_{ijk} = \sum_{j \in V/V_C, (i,j) \in A^1} R_{jik}, \quad \forall i \in V_P, \forall k \in K \quad (12)$$

$$\sum_{j \in V/V_C, (i,j) \in A^1} P_{ijk} = \sum_{j \in V/V_C, (i,j) \in A^1} P_{jik}, \quad \forall i \in V_F, \quad \forall k \in K \quad (13)$$

(10)-(13) numaralı kısıtlar kümeleri her bir yaydaki akışı modellemektedir. Bu doğrultuda (10) ve (12) numaralı kısıtlar kümesi dolu mobil kargo dolapları için, (11) ve (13) numaralı kısıtlar kümesi ise süresi dolmuş (boş ya da yarı boş) mobil kargo dolapları için yükü izlemektedir.

$$\sum_{i \in V_F \cup V_P} \sum_{k \in K} P_{i0k} \geq \sum_{i \in V_P} b_i \quad (14)$$



(14) numaralı kısıtlar kümesi süresi dolmuş boş mobil kargo dolaplarının tamamının toplanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i \in V_F \cup V_P} R_{i0k} = 0, \quad \forall k \in K \quad (15)$$

(15) numaralı kısıtlar kümesi depo noktasında araca yüklü, boş mobil kargo dolabı çıkmasını engellemektedir.

$$\sum_{i \in V_F \cup V_P} P_{0ik} = 0, \quad \forall k \in K \quad (16)$$

(16) numaralı kısıtlar kümesi depo noktasına dolu mobil kargo dolabı girişini engellemektedir.

$$R_{ijk} + P_{ijk} \leq \pi_k G_{ijk}, \quad \forall (i, j) \in A^1, \quad \forall k \in K \quad (17)$$

(17) numaralı kısıtlar kümesi her bir yaydaki araç kapasitelerine uyulmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{s \in S} Z_{isk} \geq \sum_{j \in V/V_C, (i,j) \in A^1} G_{ijk}, \quad \forall i \in V_F, \quad \forall k \in K \quad (18)$$

(18) numaralı kısıtlar kümesi potansiyel yerleştirme noktasına, herhangi bir mobil kargo dolabı bırakma işlemi atanmaması durumunda araçların noktalara ziyaretinin engellenmesini sağlamaktadır.

$$\beta_{ik} \geq \sum_{j \in V/V_C, (i,j) \in A^1} G_{ijk}, \quad \forall i \in V_P, \quad \forall k \in K \quad (19)$$

(19) numaralı kısıtlar kümesi toplama noktasından herhangi bir boş kargo dolabı alma işlemi atanmaması durumunda araçların o noktalara ziyaretinin engellenmesini sağlamaktadır.

$$G_{ijk} = \{0,1\}, \quad \forall (i,j) \in A^1, \quad \forall k \in K \quad (20)$$

$$Z_{isk} = \{0,1\}, \quad \forall i \in V_F, \quad \forall s \in S, \quad \forall k \in K \quad (21)$$

$$Y_{im} = \{0,1\}, \quad \forall i \in V_F, \quad \forall m \in V_C \quad (22)$$

$$X_{iksmn} \geq 0, \quad \forall i \in V_F, \quad \forall k \in K, \quad \forall s \in S, \quad \forall m \in V_C, \quad \forall n \in N \quad (23)$$

$$R_{ijk}, P_{ijk} \geq 0, \quad \forall (i,j) \in A^1, \quad \forall k \in K \quad (24)$$

$$\beta_{ik} \geq 0, \quad \forall i \in V_P, \quad \forall k \in K \quad (25)$$

(20)-(25) arasındaki kısıtlar kümeleri karar değişkenleri ile ilgili sınırlamaları ifade etmektedir.

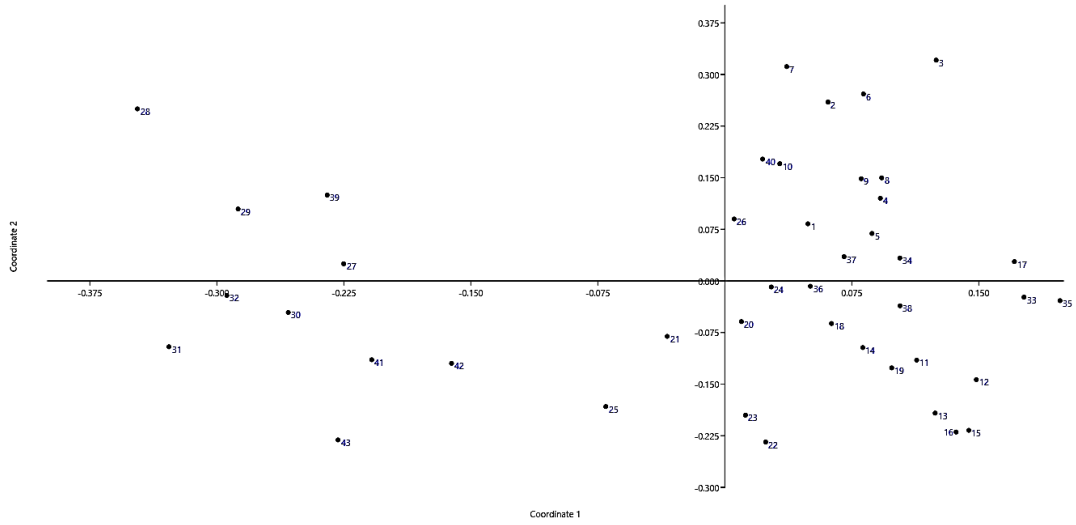
### 3. BÖLÜM: MODEL UYGULAMASI VE ANALİZİ

Çalışmanın bu bölümünde yapılan nümerik analizlere ve bu analizlerin sonuçlarına yer verilecektir. Nümerik analizlerle modelin uygulanabilirliğinin gösterilmesi amaçlanmaktadır. Bununla birlikte belirlenen temel performans kriterleri üzerinden değerlendirmeler yapılacaktır. Problem IBM OPL ILOG CPLEX 20.1 kullanılarak AMD Ryzen 7 3700U, 64 bit işletim sistemli, 8 GB RAM takılı bilgisayar ile çözülmüştür. Bölümde, 3 ana senaryo ve bunlara bağlı alt senaryolar incelenecektir. Ana senaryolar aşağıda verilmektedir;

- Senaryo 1: Önerilen modelin 3 varsayımsal şirket için yatay işbirliği olmaksızın bireysel faaliyet gösterdiği durum için uygulanması
- Senaryo 2: Önerilen modelin 3 varsayımsal şirketin üçlü yatay işbirliği yaptığı durum için uygulanması
- Senaryo 3: Önerilen modelin 3 varsayımsal şirketin ikili yatay işbirliği yaptığı durum için uygulanması

#### 3.1. ÖRNEK OLAY SENARYO İNCELEMESİ

Bu bölümde, problem tanımı ve model önerisi bölümünde sunulan modelin test edilmesi ve doğrulanması amacıyla öncelikle örnek olayın veri seti tanıtılacak olup örnek olayda işbirliği olmadığı senaryo için çözüm ve analizlere yer verilmektedir. Daha sonrasında yatay işbirliği olduğu senaryolar için önerilen model çözülmekte ve yatay işbirliğinin şirketlerin operasyonlarına olan etkileri analiz edilmektedir. Bu tez çalışmasında yapılacak olan analizler için kullanılacak mesafe verileri Dünder tarafından 2022 yılında yapılan çalışmadan alınmıştır (Dünder ve diğerleri, 2022). Alınan mesafe verileri koordinat verilerine dönüştürülmüş ve bu veriler kullanılarak noktalar XY grafiğinde gösterilmiştir (Şekil 12).



**Şekil 12.** Çalışmada Kullanılan Noktaların XY Grafiğinde Gösterimi

### 3.1.1. Örnek Olay Senaryoları Veri Setinin Tanıtılması

Bu bölümde, örnek olay senaryosu kapsamında, 2. Bölüm' de tanıtılan model, 3 farklı varsayımsal kargo şirketi için ayrı ayrı, yatay işbirliği olmaksızın uygulanmaktadır. Bu doğrultuda, öncelikle Şekil 12'de gösterimi verilen grafik üzerinde, noktalar arası mesafeler dikkate alınarak 3 varsayımsal kargo şirketinin depo noktaları, müşteri noktaları, potansiyel kargo dolabı yerleştirme ve toplama noktaları belirlenmektedir. Tüm bu noktalar Şekil 13'te XY grafiği üzerinde gösterilmektedir. Model kapsamında, birinci aşamada depolardan mobil kargo dolapları ile yüklenen araçlar, dolu kargolarını yerleştirme noktalarına bırakmakta, eş zamanlı olarak boş ya da süresi dolmuş kargo dolaplarını toplayarak depoya geri dönmektedir. İkinci aşamada ise müşteriler kargolarını yerleştirildikleri noktadan almaktadır. Örnek olayda, bu doğrultuda, her bir kargo şirketinin birbirinden farklı noktada birer deposu olduğu varsayılmaktadır. Her biri bir yaşam alanı olarak varsayılan toplam 26 müşteri noktası bulunmaktadır. Her bir kargo şirketi için 15 müşteri noktası tanımlanmıştır. Doğal olarak bazı müşteri noktaları birden fazla kargo şirketine tanımlanmak durumunda kalmıştır. Her bir kargo şirketinin mobil kargo dolaplarını bırakabilecekleri 3 potansiyel yerleştirme noktası bulunmaktadır. Toplam 6 mobil kargo dolabı yerleştirme noktası

bulunmakta ve bu noktalardan bazıları kargo şirketleri tarafınca ortak kullanılmaktadır. Her bir kargo şirketi, bir önceki dönemden kalma, süresi dolmuş veya boş mobil kargo dolaplarını toplamakla yükümlüdür. Bu doğrultuda her bir kargo şirketi için iki adet mobil kargo dolabı toplama noktası tanımlanmaktadır.

Her bir kargo şirketi için tanımlanan depo, potansiyel yerleştirme, toplama ve müşteri noktaları Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Üç Kargo Şirketinin depo, potansiyel yerleştirme, toplama ve müşteri noktaları

|          | Depo Noktaları | Potansiyel Yerleştirme Noktaları | Toplama Noktaları | Müşteri Noktaları   |
|----------|----------------|----------------------------------|-------------------|---|
| Şirket 1 | Depo 1         | F1, F2, F3                       | PP1, PP2          | C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15        |
| Şirket 2 | Depo 2         | F3, F4, F5                       | PP3, PP4          | C1, C3, C4, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C16, C17, C20, C21     |
| Şirket 3 | Depo 3         | F4, F5, F6                       | PP5, PP6          | C8, C9, C10, C11, C13, C16, C19, C20, C21, C22, C23, C24, C25, C26, C27 |

Mobil kargo dolabı üretici firmasından alınan veriler ışığında, her bir şirket, müşteri tarafından talep edilen dört farklı boyuta sahip (en büyük, büyük, küçük ve en küçük) kargoları, 1 adet 60, 1 adet 100 ve 1 adet 120 kargo kapasiteli, birbirinden farklı olan 3 adet mobil kargo dolabına (S1, S2 ve S3) yükleyebilmektedir (DiPP-R, 2022). Bu mobil kargo dolapları ise (her bir firma için) 2 mobil kargo dolabı kapasiteye sahip bir araç kullanılarak en uygun potansiyel noktaya yerleştirileceği varsayılmaktadır. Araçlar, depo noktalarından yüklü mobil kargo dolapları ile çıkacak ve boş kargo dolapları ile depoya dönüş yapacaktır. Şirketlerin kullanacağı kargo dolabı kapasiteleri, üretici firmanın sitesinde bulunan bilgiler ışığında düzenlemiş ve tüm firmalar için aynı olarak belirlenmiştir (Tablo 5) (DiPP-R, 2022).

**Tablo 5.** Kargo dolabı kapasiteleri (adet)

|                 | <b>S1</b> | <b>S2</b> | <b>S3</b> |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>En küçük</b> | 30        | 20        | 15        |
| <b>Küçük</b>    | 30        | 25        | 10        |
| <b>Büyük</b>    | 30        | 25        | 10        |
| <b>En büyük</b> | 30        | 30        | 25        |

Mobil kargo dolabı taşıma için kullanılan elektrikli araçların, dolapların büyüklükleri ele alındığında 9-14 ton taşıma kapasitesine sahip orta ölçekli kamyonetler (medium duty vehicle) olması gerektiği tespit edilmektedir. Bu noktada, maliyet verilerinin gerçekçiliği adına SEA ISUZU FRR EV marka elektrikli orta hizmet aracının performans verileri kullanılmıştır. Adı geçen araç 138 kWh batarya kapasitesine sahip ve mevcut kapasitesini kullanarak 320 km yol alabilmektedir (Sea-Electric, 2022). Aracın km başına harcadığı kWh değeri hesaplandıktan sonra birim kilovat maliyeti Soysal ve diğerlerinin 2021 yılında yaptıkları çalışmada kullandıkları değer olan 0,12 €/kWh olarak kabul edilip hesaplamalar yapılmıştır (Soysal ve diğerleri, 2021). Sürücü maliyeti yine Soysal ve diğerlerinin 2021 yılında yaptıkları çalışmadan alınarak 0,004 €/saniye olarak belirlenmiştir. Araç kullanım maliyeti için aşağıda gösterilen (26) numaralı eşitlikten yararlanılmıştır. Araç kullanım maliyeti için öncelikle adı geçen marka aracın piyasa fiyatı dolar olarak bulunmuş ve Euro değeri 8 Nisan 2022 kur değerine göre Euro değeri hesaplanmıştır (55.118,80 € (California HVIP, 2022)). Daha sonrasında Avrupa Çevre Ajansı'nın 2018 yılında yayınladığı rapordan elde edilen sonuçlar doğrultusunda elektrikli araç ekonomik ömrü 150.000km olarak alınmıştır (Avrupa Çevre Ajansı, 2018). Bu veriler ve aşağıda verilen formülasyon uygulanarak araç kullanım maliyeti 0,37€/km olarak kabul edilmiştir.

$$\frac{\text{Araç satın alma maliyeti}}{\text{Araç ömür boyu kilometresi}} = \text{Araç kullanım maliyet} \quad (26)$$

İlgili hesaplamaların sonuçları Tablo 6, Tablo 7, Tablo8, Tablo 9, Tablo 10 ve Tablo 11'de verilmektedir. Problemin ikinci aşamasında noktalar arası taşıma

maliyeti ise 0,5 €/km olarak kabul edilmiştir. Mobil kargo dolabını potansiyel noktaya yerleştirme sabit maliyeti,  $\gamma_i$ , 100 €/adet olarak belirlenmiştir.

**Tablo 6.** Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Taşıma Maliyeti (Birinci Şirket için) (€)

|       | Depo1 | PP1  | PP2  | F1   | F2   | F3   |
|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Depo1 | 0     | 0,25 | 0,78 | 0,58 | 0,28 | 0,48 |
| PP1   | 0,27  | 0    | 1,12 | 0,32 | 0,74 | 0,86 |
| PP2   | 0,77  | 1,09 | 0    | 0,79 | 0,56 | 0,35 |
| F1    | 0,48  | 0,29 | 0,82 | 0    | 0,44 | 0,57 |
| F2    | 0,27  | 0,58 | 0,53 | 0,51 | 0    | 0,20 |
| F3    | 0,47  | 0,91 | 0,34 | 0,61 | 0,20 | 0    |

**Tablo 7.** Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Taşıma Maliyeti (İkinci Şirket için) (€)

|       | Depo2 | PP3  | PP4  | F3   | F4   | F5   |
|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Depo2 | 0     | 0,33 | 0,18 | 0,41 | 0,52 | 0,31 |
| PP4   | 0,18  | 0,34 | 0    | 0,34 | 0,18 | 0,34 |
| PP3   | 0,29  | 0    | 0,35 | 0,55 | 0,51 | 0,51 |
| F5    | 0,37  | 0,51 | 0,18 | 0,37 | 0,17 | 0    |
| F4    | 0,40  | 0,54 | 0,40 | 0,34 | 0    | 0,16 |
| F3    | 0,42  | 0,34 | 0,33 | 0    | 0,36 | 0,36 |

**Tablo 8.** Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Taşıma Maliyeti (Üçüncü Şirket için) (€)

|       | Depo3 | PP5  | PP6  | F4   | F5   | F6   |
|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Depo3 | 0     | 0,41 | 1,31 | 0,29 | 0,34 | 0,62 |
| PP6   | 1,42  | 0,66 | 0    | 1,13 | 1,64 | 0,50 |
| PP5   | 0,65  | 0    | 0,74 | 0,81 | 0,88 | 0,30 |
| F5    | 0,34  | 1,01 | 1,77 | 0,17 | 0    | 1,44 |
| F4    | 0,29  | 0,97 | 1,18 | 0    | 0,16 | 0,93 |
| F6    | 0,62  | 0,29 | 0,47 | 0,88 | 1,32 | 0    |

**Tablo 9.** Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Araç Kullanım Maliyeti (Birinci Şirket için) (€)

|       | Depo1 | PP1  | PP2  | F1   | F2   | F3   |
|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Depo1 | 0     | 1,82 | 5,59 | 4,14 | 2,02 | 3,44 |
| PP1   | 1,90  | 0    | 7,98 | 2,26 | 5,28 | 6,18 |
| PP2   | 5,50  | 7,82 | 0    | 5,68 | 4,03 | 2,48 |
| F1    | 3,45  | 2,06 | 5,85 | 0    | 3,15 | 4,04 |
| F2    | 1,92  | 4,14 | 3,76 | 3,67 | 0    | 1,42 |
| F3    | 3,39  | 6,48 | 2,41 | 4,35 | 1,46 | 0    |

**Tablo 10.** Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Sürücü Maliyeti (Birinci Şirket için) (€)

|       | Depo1 | PP1  | PP2  | F2   | F1   | F3   |
|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Depo1 | 0     | 2,26 | 6,87 | 3,44 | 3,24 | 4,80 |
| PP1   | 2,60  | 0    | 6,22 | 4,47 | 1,91 | 5,10 |
| PP2   | 6,79  | 5,86 | 0    | 5,35 | 4,58 | 3,19 |
| F2    | 3,43  | 4,92 | 5,18 | 0    | 4,38 | 2,77 |
| F1    | 4,07  | 2,34 | 4,72 | 2,97 | 0    | 3,60 |
| F3    | 4,79  | 5,33 | 3,10 | 3,10 | 4,04 | 0    |

**Tablo 11.** Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Araç Kullanım Maliyeti (İkinci Şirket için) (€)

|       | Depo2 | PP4  | PP3  | F5   | F4   | F3   |
|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Depo2 | 0     | 1,27 | 2,34 | 2,24 | 3,68 | 2,91 |
| PP4   | 1,31  | 0    | 2,41 | 2,41 | 1,30 | 2,44 |
| PP3   | 2,07  | 2,51 | 0    | 3,67 | 3,67 | 3,96 |
| F5    | 2,66  | 1,30 | 3,64 | 0    | 1,18 | 2,63 |
| F4    | 2,86  | 2,83 | 3,89 | 1,17 | 0    | 2,41 |
| F3    | 3,00  | 2,34 | 2,46 | 2,58 | 2,58 | 0    |

**Tablo 12.** Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Sürücü Maliyeti (İkinci Şirket için) (€)

|       | Depo2 | PP4  | PP3  | F5   | F4   | F3   |
|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Depo2 | 0     | 2,16 | 3,45 | 3,16 | 4,55 | 3,69 |
| PP4   | 2,18  | 0    | 2,99 | 2,32 | 3,05 | 2,68 |
| PP3   | 3,33  | 3,26 | 0    | 4,60 | 4,33 | 3,63 |
| F5    | 3,32  | 2,18 | 4,34 | 0    | 1,89 | 3,40 |
| F4    | 4,80  | 3,19 | 4,44 | 1,84 | 0    | 3,28 |
| F3    | 4,17  | 2,72 | 3,12 | 3,42 | 3,30 | 0    |



**Tablo 13.** Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Araç Kullanım Maliyeti (Üçüncü Şirket için) (€)

|       | Depo3 | PP6   | PP5  | F5    | F4   | F6    |
|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|
| Depo3 | 0     | 9,39  | 2,91 | 2,40  | 2,09 | 4,44  |
| PP6   | 10,14 | 0     | 4,70 | 11,76 | 8,10 | 3,57  |
| PP5   | 4,67  | 5,27  | 0    | 6,29  | 5,78 | 2,12  |
| F5    | 2,41  | 12,66 | 7,21 | 0     | 1,18 | 10,28 |
| F4    | 2,11  | 8,44  | 6,93 | 1,17  | 0    | 6,64  |
| F6    | 4,45  | 3,38  | 2,05 | 9,41  | 6,31 | 0     |

**Tablo 14.** Birinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Sürücü Maliyeti (Üçüncü Şirket için) (€)

|       | Depo3 | PP6  | PP5  | F5   | F4   | F6   |
|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Depo3 | 0     | 6,04 | 3,22 | 3,17 | 3,35 | 4,54 |
| PP6   | 5,49  | 0    | 3,62 | 6,24 | 6,30 | 2,87 |
| PP5   | 3,07  | 4,42 | 0    | 3,82 | 5,19 | 2,08 |
| F5    | 3,21  | 6,74 | 4,35 | 0    | 1,89 | 5,78 |
| F4    | 3,75  | 6,62 | 5,35 | 1,84 | 0    | 5,12 |
| F6    | 4,49  | 3,26 | 1,91 | 5,34 | 5,20 | 0    |

**Tablo 15.** İkinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Taşıma Maliyeti (Birinci Şirket için) (€)

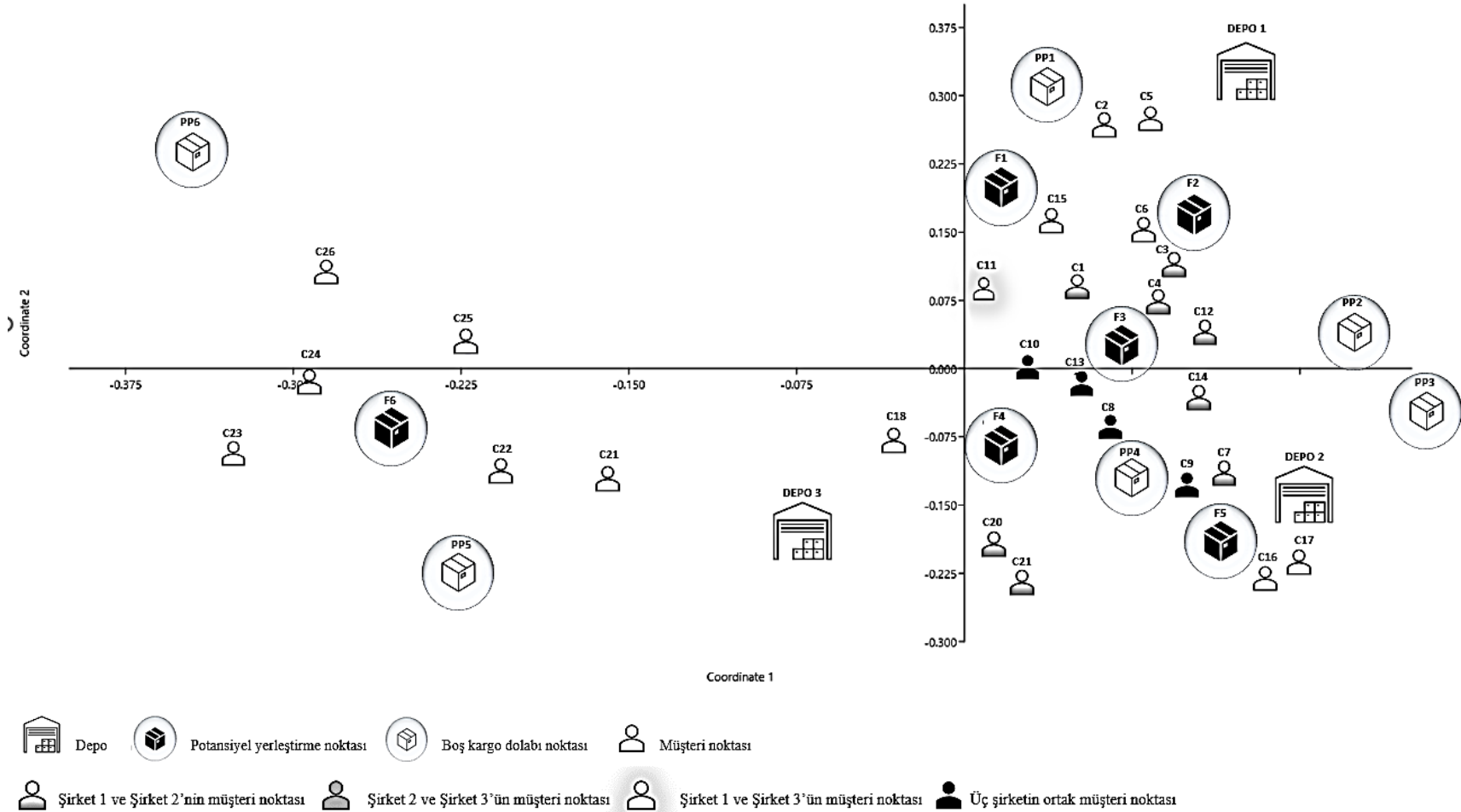
|    | C1   | C2   | C3   | C4   | C5   | C6   | C7   | C8   | C9   | C10  | C11  | C12  | C13  | C14  | C15  |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| F1 | 3,85 | 1,74 | 6,46 | 5,90 | 3,51 | 3,87 | 7,54 | 6,41 | 6,85 | 4,66 | 4,29 | 6,72 | 4,83 | 7,05 | 1,85 |
| F2 | 2,57 | 3,13 | 1,24 | 1,38 | 2,25 | 1,91 | 6,47 | 4,14 | 4,58 | 3,38 | 4,33 | 1,97 | 3,76 | 3,80 | 3,23 |
| F3 | 1,78 | 3,81 | 1,98 | 1,41 | 3,52 | 2,36 | 3,92 | 2,25 | 2,68 | 1,73 | 3,85 | 1,00 | 1,58 | 2,38 | 7,22 |

**Tablo 16.** İkinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Taşıma Maliyeti (İkinci Şirket için) (€)

|    | C1   | C3   | C4   | C7   | C8   | C9   | C10  | C11  | C12  | C13  | C14  | C16  | C17  | C19  | C20  |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| F3 | 1,78 | 1,98 | 1,41 | 3,92 | 2,25 | 2,68 | 1,73 | 3,85 | 1,00 | 1,58 | 2,38 | 4,53 | 5,03 | 5,03 | 4,64 |
| F4 | 3,11 | 4,75 | 4,19 | 4,61 | 1,86 | 1,49 | 1,96 | 3,55 | 4,43 | 2,78 | 5,00 | 3,00 | 3,86 | 1,92 | 1,05 |
| F5 | 4,47 | 5,25 | 5,55 | 2,64 | 1,86 | 0,99 | 2,45 | 5,21 | 4,01 | 3,11 | 4,58 | 1,79 | 3,42 | 1,66 | 1,74 |

**Tablo 17.** İkinci Aşamada Yer Alan Noktalar Arası Taşıma Maliyeti (Üçüncü Şirket için) (€)

|    | C8    | C9    | C10  | C11  | C13  | C16   | C18  | C19  | C20  | C21  | C22   | C23   | C24   | C25   | C26   |
|----|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| F4 | 1,86  | 1,49  | 1,96 | 3,55 | 2,78 | 3,00  | 1,58 | 1,92 | 1,05 | 4,87 | 5,12  | 10,63 | 10,13 | 8,37  | 10,35 |
| F5 | 1,86  | 0,99  | 2,45 | 5,21 | 3,11 | 1,79  | 3,15 | 1,66 | 1,74 | 5,00 | 10,53 | 13,73 | 14,66 | 10,66 | 17,70 |
| F6 | 10,50 | 10,94 | 9,46 | 9,23 | 9,96 | 12,85 | 7,87 | 9,60 | 9,43 | 4,00 | 3,66  | 1,85  | 1,62  | 2,43  | 3,62  |



Şekil 13. Problemden Kullanılan Noktaların XY Grafiğinde Gösterimi

Her bir potansiyel mobil kargo dolabı yerleştirme noktası en fazla 2 adet kargo dolabı alırken, ( $q_i = 2$ ), her bir toplama noktasının talebi 1 kargo dolabıdır ( $b_i = 1$ ).

Aşağıdaki tablolarda her bir müşterinin kargo şirketlerinden kargo talepleri belirtilmektedir. Tablo 18'de müşterilerin birinci şirketten kargo talepleri, Tablo 19'da ikinci şirketten ve Tablo 20'de üçüncü şirketten kargo talepleri şirketler özelinde gösterilmektedir.

**Tablo 18.** Birinci Şirket Örnek Olayında Müşterilerin Kargo Talebi (adet)

|                 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C15 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>En küçük</b> | 5  | 3  | 1  | 2  | 5  | 3  | 3  | 1  | 5  | 2   | 2   | 1   | 1   | 3   | 3   |
| <b>Küçük</b>    | 5  | 3  | 5  | 4  | 5  | 3  | 2  | 4  | 3  | 2   | 2   | 2   | 4   | 5   | 2   |
| <b>Büyük</b>    | 5  | 3  | 5  | 5  | 3  | 5  | 5  | 4  | 3  | 1   | 2   | 5   | 1   | 2   | 3   |
| <b>En büyük</b> | 1  | 3  | 2  | 1  | 5  | 5  | 1  | 5  | 3  | 1   | 5   | 5   | 5   | 3   | 2   |

**Tablo 19.** İkinci Şirket Örnek Olayında Müşterilerin Kargo Talebi (adet)

|                 | C1 | C3 | C4 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C16 | C17 | C19 | C20 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>En küçük</b> | 2  | 1  | 3  | 5  | 3  | 3  | 4   | 2   | 3   | 4   | 4   | 1   | 2   | 1   | 1   |
| <b>Küçük</b>    | 3  | 3  | 4  | 3  | 1  | 3  | 2   | 1   | 3   | 2   | 4   | 1   | 2   | 3   | 4   |
| <b>Büyük</b>    | 3  | 2  | 1  | 2  | 5  | 3  | 5   | 3   | 3   | 4   | 4   | 2   | 3   | 5   | 4   |
| <b>En büyük</b> | 4  | 1  | 1  | 3  | 5  | 1  | 2   | 2   | 5   | 4   | 2   | 2   | 5   | 4   | 4   |

**Tablo 20.** Üçüncü Şirket Örnek Olayında Müşterilerin Kargo Talebi (adet)

|                 | C8 | C9 | C10 | C11 | C13 | C16 | C18 | C19 | C20 | C21 | C22 | C23 | C24 | C25 | C26 |
|-----------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>En Küçük</b> | 2  | 3  | 5   | 3   | 3   | 1   | 1   | 3   | 1   | 2   | 2   | 3   | 4   | 1   | 3   |
| <b>Küçük</b>    | 1  | 2  | 1   | 5   | 3   | 3   | 1   | 5   | 3   | 3   | 1   | 2   | 2   | 5   | 4   |
| <b>Büyük</b>    | 4  | 1  | 3   | 3   | 1   | 1   | 3   | 4   | 2   | 3   | 2   | 3   | 2   | 3   | 5   |
| <b>En Büyük</b> | 2  | 5  | 3   | 3   | 1   | 1   | 2   | 2   | 5   | 5   | 1   | 1   | 4   | 5   | 3   |

Kargo dolaplarının yerleştirileceği noktalar, müşterilere yakınlık durumlarına bakılarak belirlenmektedir. Bu noktada, müşterilerin kargo dolabı noktalarına yürüyerek ulaşımının sağlanması adına, müşterilere belli bir mesafeden uzak olan yerlerin yerleştirme noktası olarak seçilmemesi için bir parametre değeri belirlenmiştir. Burada parametre değeri, müşteri noktası ile potansiyel yerleştirme

noktası arasındaki mesafe önceden belirlenen mesafeye eşit veya küçük ise 1, değilse 0 değerini almaktadır. Tablo 21, Tablo 22 ve Tablo 23'te her bir şirket için mesafe durumu parametresinin aldığı değerler verilmiştir. Burada sınır mesafe 8 km olarak alınmıştır.

**Tablo 21.** Birinci Şirket Örnek Olayında  $\mu_{im}$  Parametresinin Değeri

|           | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C15 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>F1</b> | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| <b>F2</b> | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| <b>F3</b> | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   |

**Tablo 22.** İkinci Şirket Örnek Olayında  $\mu_{im}$  Parametresinin Değeri

|           | C1 | C3 | C4 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C16 | C17 | C19 | C20 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>F3</b> | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| <b>F4</b> | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| <b>F5</b> | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   |

**Tablo 23.** Üçüncü Şirket Örnek Olayında  $\mu_{im}$  Parametresinin Değeri

|           | C8 | C9 | C10 | C11 | C13 | C16 | C18 | C19 | C20 | C21 | C22 | C23 | C24 | C25 | C26 |
|-----------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>F4</b> | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   |
| <b>F5</b> | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   |
| <b>F6</b> | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   |

Üçüncü bölümde geliştirilen matematiksel modelde kullanılacak olan tüm parametre değerleri Tablo 24' de özet olarak verilmektedir. Devam eden bölümde ise tüm bu veriler kullanılarak elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların analizlerine yer verilecektir.

**Tablo 24.** Modelde Kullanılan Parametre Değerleri

| <i>Parametre</i> | <i>Değer</i>                 | <i>Kaynak</i>                                       |
|------------------|------------------------------|---|
| $\delta_{mn}$    | Tablo 18, Tablo 19, Tablo 20 | varsayımsal   |
| $c_{ij}$         | Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8    | (Dündar vd., 2022) ve (Soysal vd. , 2021)           |
| $c_{im}$         | Tablo 15, Tablo 16, Tablo 17 | (Dündar vd., 2022) ve varsayımsal                   |
| $v_{ij}$         | Tablo 9, Tablo 11, Tablo 13  | (Sea-Electric, 2022) ve (Avrupa Çevre Ajansı, 2018) |
| $\alpha_{ij}$    | Tablo 10, Tablo 12, Tablo 14 | (Dündar vd., 2022) ve (Soysal vd. , 2021)           |
| $\pi_k$          | 2 adet                       | varsayımsal   |
| $cap_{sn}$       | Tablo 5                      | (DiPP-R, 2022)                                      |
| $q_i$            | 2 adet                       | varsayımsal   |
| $b_i$            | 1 adet                       | varsayımsal   |
| $\mu_{im}$       | Tablo 21, Tablo 22, Tablo 23 | varsayımsal   |
| $\gamma_i$       | 100 €/adet                   | varsayımsal   |

### 3.1.2. Yatay İşbirliğinin Olmadığı Örnek Olay Senaryo Çözümü ve Analizi

Bu bölümde, 2. Bölüm 'de önerilen model, üç varsayımsal şirketin yatay işbirliği olmadığı durumda bireysel operasyonları için çözülmekte ve sonuçlar analiz edilmektedir.

#### 3.1.2.1. Birinci Şirket İçin Örnek Olay Senaryo Çözümü

Tanımlan veri seti kullanılarak model CPLEX (20.1) ile ortalama 3 saniyede çözülmektedir. Maliyet minimizasyonu sağlanmaktadır. Performans kriterlerine ilişkin değerler Tablo 25' te verilmektedir. Maliyetin minimize edildiği durumda elde edilen sonuçlar doğrultusunda toplam iki adet mobil kargo dolabı kullanılmasına ve bu mobil kargo dolaplarının F2 ve F3 isimli iki yerleştirme noktasına atanması kararı alınmaktadır. Bu doğrultuda taşıma maliyetleri ve sabit maliyetin toplamı 269,84 € olarak bulunmaktadır.

**Tablo 25.** Birinci Şirket için Performans Kriterleri Değerleri

|  | <b>Toplam Maliyet Minimizasyonu</b> |
|--|-------------------------------------|
| <b>Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)</b>      | 2,18                                |
| <b>Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)</b>           | 34,32                               |
| <b>Araç kullanma maliyeti (€)</b>                  | 15,56                               |
| <b>Sürücü maliyeti (€)</b>                         | 17,78                               |
| <b>Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€)</b> | 200                                 |
| <b>Toplam maliyet (€)</b>                          | 269,84                              |
| <b>Açılan tesisler</b>                             | F2, F3                              |
| <b>Araç ile kat edilen toplam mesafe(km)</b>       | 42,07                               |
| <b>Müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)</b>    | 68,63                               |
| <b>Kullanılan araç sayısı</b>                      | 1                                   |
| <b>Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı</b>        | 2                                   |

Aşağıdaki tablolarda maliyet minimizasyonu durumunda açılan tesis noktalarına aracın taşıdığı, bıraktığı mobil kargo dolabı miktarına, toplama ve dağıtım kararları ve oluşan rotalara ilişkin tablolara yer verilmiştir (Tablo 26, Tablo 27, Tablo 28).

**Tablo 26.** Birinci Şirket için Toplama Dağıtım Planı

| <b>ARAÇ</b> | <b>ROTA</b>                 |
|-------------|-----------------------------|
| K1          | 0 – F2 – F3 – PP2 – PP1 – 0 |

**Tablo 27.** Birinci Şirket için Araç ile Taşınan Dolu ve Boş Mobil Kargo Dolabı Sayısı

| <b>Araç</b> | <b>Rota</b> | <b>Dolu Mobil Kargo Dolabı Sayısı (<math>R_{ijk}</math>)</b> | <b>Boş Kargo Dolabı Sayısı (<math>P_{ijk}</math>)</b> |
|-------------|-------------|--|---|
| K1          | Depo1 – F2  | 2  | 0   |
|             | F2 – F3     | 1  | 0   |
|             | F3 – PP2    | 0  | 0   |
|             | PP2 – PP1   | 0  | 1   |
|             | PP1 – PP2   | 0  | 2   |

**Tablo 28.** Birinci Şirket için Potansiyel Noktalara Araçlar ile Yerleştirilen Mobil Kargo Dolapları

| Araç | Potansiyel Yerleştirme Noktası | Mobil Kargo Dolapları |
|------|--------------------------------|-----------------------|
| K1   | F2                             | S2                    |
|      | F3                             | S1                    |

Tablo 26, Tablo 28 ve Tablo 29’ da görüldüğü üzere Birinci Şirketin deposundan 2 adet mobil kargo dolabı ile çıkan araç öncelikle F2 yerleştirme noktasına sonrasında F3 yerleştirme noktasına dolu mobil kargo dolaplarını bıraktıktan sonra sırasıyla PP2 ve PP3 numaralı toplama noktalarından boş kargo dolaplarını alıp başlangıç noktalarına geri dönmektedir.

Birinci Şirket için yapılan örnek çözümünde, potansiyel yerleştirme noktalarına atanan müşteriler Tablo 29’da verilmektedir. Tablodaki sonuçlar değerlendirildiğinde bütün müşteri kargoları kargo dolaplarına yüklenen karşılanmış ve müşterilere en yakın noktalara yerleşimleri yapılmıştır. Mobil kargo dolaplarının doluluk oranları ise Ek 1’de verilmektedir. Dolapların, ortalama %86,62 doluluk oranıyla yerleştikleri tespit edilmektedir.

**Tablo 29.** Birinci Şirket için Potansiyel Yerleştirme Noktalarına Atanan Müşterilerin Listesi

|           |           | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C15 |
|-----------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>F2</b> | <b>S2</b> |    | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  |    |    |    |     |     |     |     |     | ✓   |
| <b>F3</b> | <b>S1</b> | ✓  |    |    |    |    |    | ✓  | ✓  | ✓  | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |     |

### 3.1.2.2. İkinci Şirket İçin Örnek Olay Senaryo Çözümü

Tanımlanan veri seti kullanılarak model CPLEX (20.1) ile ortalama 3 saniyede çözülmüştür. Maliyet minimizasyonu sağlanmıştır. Performans kriterlerine ilişkin değerler Tablo 30’ da verilmektedir. Maliyetin minimize edildiği durumda elde edilen sonuçlar doğrultusunda birinci şirketin sonuçlarında olduğu gibi 2 mobil kargo dolabı kullanılması ve bu kargo dolaplarının 2 farklı potansiyel noktaya

yerleştirilmesi kararı alınmaktadır. Bu doğrultuda taşıma maliyetleri ve sabit maliyetin toplamı 256,26 € olarak bulunmaktadır.

**Tablo 30.** İkinci Şirket için Performans Kriterleri Değerleri

|   | Toplam Maliyet Minimizasyonu |
|---|------------------------------|
| Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)      | 1,47                         |
| Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)           | 29,80                        |
| Araç kullanma maliyeti (€)                  | 10,51                        |
| Sürücü maliyeti (€)                         | 14,48                        |
| Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€) | 200                          |
| Toplam maliyet (€)                          | 256,26                       |
| Açılan tesisler                             | F3, F5                       |
| Araç ile kat edilen toplam mesafe(km)       | 28,42                        |
| Müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)    | 59,60                        |
| Kullanılan araç sayısı                      | 1                            |
| Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı        | 2                            |

Aşağıdaki tablolarda maliyet minimizasyonu durumunda açılan tesis noktalarına aracın taşıdığı, bıraktığı mobil kargo dolabı miktarına, toplama ve dağıtım kararları ve oluşan rotalara ilişkin tablolara yer verilmiştir (Tablo 31, Tablo 32, Tablo 33).

**Tablo 31.** İkinci Şirket için Toplama Dağıtım Planı

| ARAÇ | ROTA                        |
|------|-----------------------------|
| K1   | 0 – F5 – PP4 – F3 – PP3 – 0 |

**Tablo 32.** İkinci Şirket için Araç ile Taşınan Dolu ve Boş Mobil Kargo Dolabı Sayısı

| Araç | Rota        | Dolu Mobil Kargo Dolabı Sayısı ( $R_{ijk}$ ) | Boş Kargo Dolabı Sayısı ( $P_{ijk}$ ) |
|------|-------------|--|---------------------------------------|
| K1   | Depo2 – F5  | 2  | 0                                     |
|      | F5 – PP4    | 1  | 0                                     |
|      | PP4 – F3    | 1  | 1                                     |
|      | F3 – PP3    | 0  | 1                                     |
|      | PP3 – Depo2 | 0  | 2                                     |



**Tablo 33.** İkinci Şirket için Potansiyel Noktalara Araçlar ile Yerleştirilen Mobil Kargo Dolapları

| Araç | Potansiyel Yerleştirme Noktası | Mobil Kargo Dolapları |
|------|--------------------------------|-----------------------|
| K1   | F5                             | S2                    |
|      | F3                             | S1                    |

Yukarıdaki Tablolar değerlendirildiğinde araç ikinci şirketin deposundan tam yüklü çıkmaktadır. Araç ilk başta F5 numaralı yerleştirme noktasına bir adet dolu kargo dolabı bırakmakta ardından bir toplama noktasına (PP4) uğramaktadır. Daha sonrasında F3 numaralı yerleştirme noktasına son dolu kargo dolabını bırakıp PP3 toplama noktasından boş kargo dolabını yüklenip depoya dönüş yapmaktadır.

İkinci Şirket için yapılan örnek olay senaryo çözümünde, potansiyel yerleştirme noktalarına atanan müşteriler Tablo 34’te verilmektedir. Elde edilen sonuçta yine mobil kargo dolapları müşterilere en yakın noktalara bırakılırken müşteri talepleri karşılanmıştır. Mobil kargo dolaplarının doluluk oranları Ek 1’de verilmiş ve ortalama %78,37 doluluk tespit edilmiştir.

**Tablo 34.** İkinci Şirket için Potansiyel Yerleştirme Noktalarına Atanan Müşterilerin Listesi

|    |    | C1 | C3 | C4 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C16 | C17 | C19 | C20 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| F5 | S2 |    |    |    | ✓  | ✓  | ✓  |     |     |     |     |     | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |
| F3 | S1 | ✓  | ✓  | ✓  |    |    |    | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |     |     |     |     |

### 3.1.2.3. Üçüncü Şirket İçin Örnek Olay Senaryo Çözümü

Tanıtilan veri seti kullanılarak model CPLEX (20.1) ile ortalama 8 saniyede çözülmüştür. Maliyet minimizasyonu sağlanmıştır. Performans kriterlerine ilişkin değerler Tablo 35’te verilmektedir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda bir önceki çözümlerde elde edilen sonuçlardaki gibi 2 mobil kargo dolabının 2 potansiyel noktaya yerleştirilmesi kararı alınmaktadır. Bu doğrultuda taşıma maliyetleri ve sabit maliyetin toplamı 277,92 € olarak bulunmuştur.

**Tablo 35.** Üçüncü Şirket için Performans Kriterleri Değerleri

|   | Toplam Maliyet Minimizasyonu |
|---|------------------------------|
| Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)      | 2,91                         |
| Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)           | 36,37                        |
| Araç kullanma maliyeti (€)                  | 20,82                        |
| Sürücü maliyeti (€)                         | 17,82                        |
| Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€) | 200                          |
| Toplam maliyet (€)                          | 277,92                       |
| Açılan tesisler                             | F4, F6                       |
| Araç ile kat edilen toplam mesafe(km)       | 56,27                        |
| Müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)    | 72,75                        |
| Kullanılan araç sayısı                      | 1                            |
| Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı        | 2                            |

Aşağıdaki tablolarda maliyet minimizasyonu durumunda açılan tesis noktalarına aracın taşıdığı, bıraktığı mobil kargo dolabı miktarına, toplama ve dağıtım kararları ve oluşan rotalara ilişkin tablolara yer verilmektedir (Tablo 38, Tablo 39, Tablo 40). Tablolarda görüldüğü üzere üçüncü şirkete ait depodan çıkan araç sırasıyla F4, PP6, F6, PP6 noktalarına uğradıktan sonra depoya tekrar dönüş yapmaktadır. Depodan iki adet dolu mobil kargo dolabı yüklü halde çıkan araç dolu kargo dolaplarını F4 ve F6 numaralı yerleştirme noktalarına bırakmaktadır. Araçlar her bir bırakma işleminden sonra bir toplama noktasına uğrayıp boş mobil kargo dolaplarını toplamaktadır.

**Tablo 36.** Üçüncü Şirket için Toplama Dağıtım Planı

| ARAÇ | ROTA                        |
|------|-----------------------------|
| K1   | 0 – F4 – PP6 – F6 – PP5 – 0 |

**Tablo 37.** Üçüncü Şirket için Araç ile Taşınan Dolu ve Boş Mobil Kargo Dolabı Sayısı

| Araç | Rota        | Dolu Mobil Kargo Dolabı Sayısı ( $R_{ijk}$ ) | Boş Kargo Dolabı Sayısı ( $P_{ijk}$ ) |
|------|-------------|--|---------------------------------------|
| K1   | Depo3 – F4  | 2  | 0                                     |
|      | F4 – PP6    | 1  | 0                                     |
|      | PP6 – F6    | 1  | 1                                     |
|      | F6 – PP5    | 0  | 1                                     |
|      | PP5 – Depo3 | 0  | 2                                     |

**Tablo 38.** Üçüncü Şirket için Potansiyel Noktalara Araçlar ile Yerleştirilen Mobil Kargo Dolapları

| Araç | Potansiyel Yerleştirme Noktası | Mobil Kargo Dolapları |
|------|--------------------------------|-----------------------|
| K1   | F6                             | S2                    |
|      | F4                             | S1                    |

Üçüncü Şirket için yapılan örnekte maliyet minimizasyonu durumunda kullanılan mobil kargo dolapları S1 ve S2'dir. Bu mobil kargo dolaplarına müşteri atama kararları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 39). Kargo dolabı doluluk oranları ise Ek 1'de verilmiş ve oran ortalama %73 olarak bulunmuştur.

**Tablo 39.** Üçüncü Şirket için Potansiyel Yerleştirme Noktalarına Atanan Müşterilerin Listesi

|           |           | C8 | C9 | C10 | C11 | C13 | C16 | C18 | C19 | C20 | C21 | C22 | C23 | C24 | C25 | C26 |
|-----------|-----------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>F6</b> | <b>S2</b> |    |    |     |     |     |     |     |     |     | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |
| <b>F4</b> | <b>S1</b> | ✓  | ✓  | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |     |     |     |     |     |     |

#### 3.1.2.4. Yatay İşbirliği Olmadığı Örnek Olay Çözümü Sonuçları

Bu bölümde, önerilen modelin, her bir şirketin yatay işbirliği olmaksızın sergilediği bireysel faaliyetleri için elde edilen çözümlerinden çıkan sonuçlar karşılaştırılarak analiz edilmektedir.

Her bir şirket için kullanılan mobil kargo dolapları sayıları ve dolapların yerleştirilmesi için açılacak olan tesis sayıları aynıdır. Her bir şirket aynı kapasitelere sahip 2 mobil kargo dolabı kullanmakta ve bunları 2 farklı noktaya yerleştirmektedir. Bu operasyonlarda her bir şirket sadece bir adet araç kullanmaktadır. Ancak her bir şirketin depolarının, müşteri noktalarının ve hizmet edecekleri toplama ve bırakma noktalarının farklı konumlara bulunması nedeniyle araçların rotalarında ve müşterilerin ise kargolarını almaya giderken kat ettikleri mesafeler birbirlerinden farklıdır. Bu noktada hem aracın hem de müşterilerin kat ettikleri yol bazında en yüksek değere sahip olan şirket ikinci şirket iken en yüksek değere sahip şirket üçüncü şirket olarak görülmektedir. Dolayısıyla, en düşük

toplam maliyete sahip şirket ikinci şirket olurken üçüncü şirket en yüksek toplam maliyete sahiptir.

Şirketler, kullandıkları mobil kargo dolaplarının doluluk oranları bazında karşılaştırıldığında ise en yüksek doluluk oranı %86,63 ile birinci şirket, en düşük ise %73 doluluk oranı ile üçüncü şirket olduğu tespit edilmektedir.

### **3.1.3. Yatay İşbirliği Olduğu Durumda Örnek Olay Senaryo Çözümü**

Bu bölümde, bu tez kapsamında önerilen model, üç şirketin gerçekleştirdikleri operasyonlarda ikili ve üçlü yatay işbirliği yaptıkları senaryolar doğrultusunda çözümlenerek, elde edilen sonuçlar ile yatay işbirliğinin firmalara olan katkıları incelenecektir.

#### **3.1.3.1. Üç Şirketin Birden Yatay İşbirliğine Katıldığı Durumun İncelenmesi**

Üç kargo şirketinin tek bir depodan yatay işbirliği yaparak hizmet vereceği varsayılan bu senaryoda, bir önceki bölümde Şekil 13'te gösterimi yapılan potansiyel kargo dolabı yerleştirme, toplama ve müşteri noktaları aynen kullanılmıştır. Yatay işbirlikleri kapsamında, yatay işbirliğine katılan her şirketin mobil kargo dolaplarını ve potansiyel yerleştirme noktalarını ortak kullanacakları varsayılmaktadır. Üç şirketin tek bir depo noktası üzerinden sanki tek bir şirketmiş gibi tüm potansiyel yerleştirme noktaları, bırakma noktalarını kullanarak tüm müşterilere hizmet ettiği varsayılan bu senaryoda öncelikle hizmetlerin gerçekleştirildiği uygun depo noktası, 3 depo üzerinde ayrı ayrı problem çözümü yapıldıktan sonra, en az maliyete sahip olan çözüm bulunarak seçilmektedir. Bu doğrultuda, sırasıyla ana deponun birinci şirketin kullandığı depo1, ikinci şirketin kullandığı depo2 ve üçüncü şirketin kullandığı depo3 olarak atandığı 3 farklı durum için çözümler elde edilmekte ve bu çözümler maliyet bazında karşılaştırılmaktadır.

Problemde 2 adet mobil kargo dolabı alabilen dört adet araç kullanılmıştır. Ayrıca, 9 adet farklı kapasitede kargo dolabı, 4 farklı boyda kargo paketi olduğu varsayılmaktadır. Toplamda 6 potansiyel yerleştirme noktası, 6 toplama noktası ve 26 müşteri noktası bulunmaktadır.

Problem üç depo için ayrı ayrı CPLEX (20.1) ile çözülmüştür. Maliyet minimizasyonu sağlanmıştır. Bu bölümde, problemlerin çözümleri ayrı ayrı verildikten sonra 4.2 numaralı bölümde detaylı olarak analiz edilmektedir.

### 3.1.3.1.1. Üçlü Yatay İşbirliğinde Depo 1'in Ana Depo Olduğu Senaryonun Analizi

Bu problem yaklaşık 20 dakikada çözülmüş, taşıma maliyetleri ve sabit maliyetin toplamı 781,91 € olarak bulunmuştur. Performans kriterlerine ilişkin değerler Tablo 40'ta verilmektedir.

**Tablo 40.** Depo1 için Performans Kriterleri Değerleri

|  | <b>Toplam Maliyet Minimizasyonu</b> |
|--|-------------------------------------|
| <b>Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)</b>      | 7,92                                |
| <b>Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)</b>           | 58,48                               |
| <b>Araç kullanma maliyeti (€)</b>                  | 56,65                               |
| <b>Sürücü maliyeti (€)</b>                         | 58,86                               |
| <b>Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€)</b> | 600                                 |
| <b>Toplam maliyet (€)</b>                          | 781,91                              |
| <b>Açılan tesisler</b>                             | F2, F3, F4, F5, F6                  |
| <b>Araç ile kat edilen toplam mesafe(km)</b>       | 153,10                              |
| <b>Müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)</b>    | 116,96                              |
| <b>Kullanılan araç sayısı</b>                      | 3                                   |
| <b>Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı</b>        | 6                                   |

Ele alınan bu senaryo çözümü sonucunda, toplam 3 araç ile 6 mobil kargo dolabının 5 farklı yerleştirme noktasına yerleştirildiği tespit edilmiştir. Bu araçların rotaları, taşıdıkları ve topladıkları kargo dolapları sayısı Tablo 41, Tablo 42 ve Tablo 43'de gösterilmektedir. Kargo dolabı doluluk oranları ise Ek 1'de verilmektedir.

**Tablo 41.** Depo1 İçin Toplama Dağıtım Planı

| ARAÇ | ROTA                        |
|------|-----------------------------|
| K2   | 0 – F4 – F5 – PP4 – PP1 – 0 |
| K3   | 0 – F3 – PP3 – PP2 – 0      |
| K4   | 0 – F2 – PP5 – F6 – PP6 – 0 |

**Tablo 42.** Depo1 İçin Araç ile Taşınan Dolu ve Boş Mobil Kargo Dolabı Sayısı

| Araç | Rota        | Dolu Mobil Kargo Dolabı Sayısı ( $R_{ijk}$ ) | Boş Kargo Dolabı Sayısı ( $P_{ijk}$ ) |
|------|-------------|--|---------------------------------------|
| K2   | Depo1 – F4  | 2  | 0                                     |
|      | F4 – F5     | 1  | 0                                     |
|      | F5 – PP4    | 0  | 0                                     |
|      | PP4 – PP1   | 0  | 1                                     |
|      | PP1 – Depo1 | 0  | 2                                     |
| K3   | Depo1 – F3  | 2  | 0                                     |
|      | F3 – PP3    | 0  | 0                                     |
|      | PP3 – PP2   | 0  | 1                                     |
|      | PP2 – Depo1 | 0  | 2                                     |
| K4   | Depo1 – F2  | 2  | 0                                     |
|      | F2 – PP5    | 1  | 0                                     |
|      | PP5 – F6    | 1  | 1                                     |
|      | F6 – PP6    | 0  | 1                                     |
|      | PP6 – Depo1 | 0  | 2                                     |

**Tablo 43.** Depo1 için Potansiyel Noktalara Araçlar ile Yerleştirilen Mobil Kargo Dolapları

| Araç | Potansiyel Yerleştirme Noktası | Mobil Kargo Dolapları |
|------|--------------------------------|-----------------------|
| K2   | F4, F5                         | S8, S4                |
| K3   | F3                             | S5, S1                |
| K4   | F2, F6                         | S7, S2                |

### 3.1.3.1.2. Üçlü Yatay İşbirliğinde Depo 2'nin Ana Depo Olduğu Senaryonun Analizi

Bu problem yaklaşık 50 dakikada çözülmüş, taşıma maliyetleri ve sabit maliyetin toplamı 767,70 € olarak bulunmuştur. Performans kriterlerine ilişkin değerler Tablo 44'te verilmektedir.

**Tablo 44.** Depo2 için Performans Kriterleri Değerleri

|  | <b>Toplam Maliyet<br/>Minimizasyonu</b> |
|--|---|
| <b>Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)</b>      | 7,20                                    |
| <b>Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)</b>           | 59,70                                   |
| <b>Araç kullanma maliyeti (€)</b>                  | 51,46                                   |
| <b>Sürücü maliyeti (€)</b>                         | 49,34                                   |
| <b>Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€)</b> | 600                                     |
| <b>Toplam maliyet (€)</b>                          | 767,70                                  |
| <b>Açılan tesisler</b>                             | F1, F3, F4, F5, F6                      |
| <b>Araç ile kat edilen toplam mesafe(km)</b>       | 139,08                                  |
| <b>Müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)</b>    | 119,40                                  |
| <b>Kullanılan araç sayısı</b>                      | 3                                       |
| <b>Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı</b>        | 6                                       |

İlgili senaryoda elde edilen performans değerleri incelendiğinde, açılan tesis sayıları, taşınan kargo dolapları sayısı ve kullanılan araç sayılarında bir önceki analizle aynı sonuçlar alınırken, bir önceki analizden farklı olarak F2 potansiyel yerleştirme noktası yerine F1 potansiyel yerleştirme noktasının kullanıldığı tespit edilmektedir. Araçların izledikleri rotalarda farklılık gözlemlenirken araç rotaları, taşıdıkları ve topladıkları kargo dolapları sayısı Tablo 45, Tablo 46 ve Tablo 47’de gösterilmektedir. Kargo dolabı doluluk oranları ise Ek 1’de verilmektedir.

**Tablo 45.** Depo2 İçin Toplama Dağıtım Planı

| <b>ARAÇ</b> | <b>ROTA</b>                 |
|-------------|-----------------------------|
| K1          | 0 – F5 – PP1 – F1 – PP4 – 0 |
| K2          | 0 – F3 – PP3 – PP2 – 0      |
| K4          | 0 – F4 – PP6 – F6 – PP5 – 0 |

**Tablo 46.** Depo2 İçin Araç ile Taşınan Dolu ve Boş Mobil Kargo Dolabı Sayısı

| Araç | Rota        | Dolu Mobil Kargo Dolabı Sayısı ( $R_{ijk}$ ) | Boş Kargo Dolabı Sayısı ( $P_{ijk}$ ) |
|------|-------------|--|---------------------------------------|
| K1   | Depo2 – F5  | 2  | 0                                     |
|      | F5 – PP1    | 1  | 0                                     |
|      | PP1 – F1    | 1  | 1                                     |
|      | F1 – PP4    | 0  | 1                                     |
|      | PP4 – Depo2 | 0  | 2                                     |
| K2   | Depo2 – F3  | 2  | 0                                     |
|      | F3 – PP3    | 0  | 0                                     |
|      | PP3 – PP2   | 0  | 1                                     |
|      | PP2 – Depo2 | 0  | 2                                     |
| K4   | Depo2 – F4  | 2  | 0                                     |
|      | F4 – PP6    | 1  | 0                                     |
|      | PP6 – F6    | 1  | 1                                     |
|      | F6 – PP5    | 0  | 1                                     |
|      | PP5 – Depo2 | 0  | 2                                     |

**Tablo 47.** Depo2 için Potansiyel Noktalara Araçlar ile Yerleştirilen Mobil Kargo Dolapları

| Araç | Potansiyel Yerleştirme Noktası | Mobil Kargo Dolapları |
|------|--------------------------------|-----------------------|
| K1   | F1, F5                         | S8, S4                |
| K2   | F3                             | S1, S7                |
| K3   | F4, F6                         | S5, S2                |

### 3.1.3.1.3. Üçlü Yatay İşbirliğinde Depo 3'ün Ana Depo Olduğu Senaryonun Analizi

Bu problem yaklaşık 1 saatte çözülmüş, taşıma maliyetleri ve sabit maliyetin toplamı 788,3 € olarak bulunmuştur. Performans kriterlerine ilişkin değerler Tablo 48' de verilmektedir.



**Tablo 48.** Depo3 için Performans Kriterleri Değerleri

|   | <b>Toplam Maliyet<br/>Minimizasyonu</b> |
|---|---|
| <b>Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€/kWh)</b>       | 8,50                                    |
| <b>Müşteri kargo taşıma maliyeti (€/km)</b>             | 62,53                                   |
| <b>Araç kullanma maliyeti (€/km)</b>                    | 60,75                                   |
| <b>Sürücü maliyeti (€/saniye)</b>                       | 56,52                                   |
| <b>Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€/adet)</b> | 600                                     |
| <b>Toplam maliyet</b>                                   | 788,30                                  |
| <b>Açılan tesisler</b>                                  | F1, F3, F4, F5, F6                      |
| <b>Araç ile kat edilen toplam mesafe(km)</b>            | 164,20                                  |
| <b>Müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)</b>         | 125,07                                  |
| <b>Kullanılan araç sayısı</b>                           | 4                                       |
| <b>Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı</b>             | 6                                       |

İncelenen senaryoda, diğer üçlü işbirliği senaryolarına göre daha fazla aracın kullanıldığı tespit edilirken açılan tesisler ve sayılarının, kargo dolanı sayılarının aynı Depo 1'in ana depo olarak kullanıldığı senaryo ile aynı olduğu gözlemlenmektedir. Araçların izledikleri rotalar diğer senaryolarla farklılıklar gösterirken bu rotalar, taşınan dolu ve boş kargo dolabı sayılarına Tablo 49, Tablo 50 ve Tablo 51'de yer verilmektedir.

**Tablo 49.** Depo3 için Maliyet Minimizasyonu Durumu Toplama Dağıtım Planı

| <b>ARAÇ</b> | <b>ROTA</b>                 |
|-------------|-----------------------------|
| K1          | 0 – F4 – PP6 – F6 – PP5 – 0 |
| K2          | 0 – F3 – PP3 – PP2 – 0      |
| K3          | 0 – F5 – PP4 – 0            |
| K4          | 0 – F2 – PP1 – 0            |

**Tablo 50.** Depo3 İçin Araç ile Taşınan Dolu ve Boş Mobil Kargo Dolabı Sayısı

| Araç | Rota         | Dolu Mobil Kargo Dolabı Sayısı ( $R_{ijk}$ ) | Boş Kargo Dolabı Sayısı ( $P_{ijk}$ ) |
|------|--------------|--|---------------------------------------|
| K1   | Depo3 – F4   | 2  | 0                                     |
|      | F4 – PP6     | 1  | 0                                     |
|      | PP6 – F6     | 1  | 1                                     |
|      | F6 – PP5     | 0  | 1                                     |
|      | PP5 – Depo3  | 0  | 2                                     |
| K2   | Depo3 – F3   | 2  | 0                                     |
|      | F3 – PP3     | 0  | 0                                     |
|      | PP4 – PP2    | 0  | 1                                     |
|      | PP2 – Depo3  | 0  | 2                                     |
|      | PP1 – Depo3  | 0  | 2                                     |
| K3   | Depo3 – F5   | 0  | 1                                     |
|      | F5 – PP4     | 0  | 0                                     |
|      | PP4 – Depo 3 | 1  | 0                                     |
| K4   | Depo3 – F2   | 0  | 2                                     |
|      | F2 – PP1     | 0  | 0                                     |
|      | PP1 – Depo3  | 1  | 0                                     |

**Tablo 51.** Depo3 için Potansiyel Noktalara Araçlar ile Yerleştirilen Mobil Kargo Dolapları

| Araç | Potansiyel Yerleştirme Noktası | Mobil Kargo Dolapları |
|------|--------------------------------|-----------------------|
| K1   | F4, F6                         | S8, S5                |
| K2   | F3                             | S7                    |
| K3   | F5                             | S4                    |
| K4   | F2                             | S1, S2                |

### 3.1.3.2. İki Şirketin Yatay İşbirliğine Katıldığı Durumun İncelenmesi

Üç kargo şirketinin ikili yatay işbirliği yaparak hizmet vereceği varsayılan bu senaryoda, bir önceki bölümde Şekil 13'te gösterimi yapılan potansiyel kargo dolabı yerleştirme, toplama ve müşteri noktaları aynen kullanılmıştır. İşbirliği yapan iki şirketin tüm kargo dolabı yükleme, bırakma ve toplama faaliyetlerini ortak olarak gerçekleştirecekleri varsayılan bu senaryoda işbirliği dışında kalan şirket ise faaliyetlerini bireysel olarak gerçekleştirecektir. İkili işbirliği yapacak olan şirketlerin kullanacakları en uygun ortak depo kararı verilecektir. Bu doğrultuda, ilk olarak işbirliğine dahil olan her şirketin depoları, teker teker ikili işbirliklerinde ana depo olarak ele alınmakta ve sonrasında maliyet bakımından

en çok fayda sağlayan depo yatay işbirliği faydası analizlerinde ana depo olarak alınmaktadır. Örneğin, birinci ve ikinci şirketin işbirliği yaptığı senaryoda ana depo olarak ilk başta birinci şirketin deposu atanmakta ve çözüm elde edilmektedir. Sonrasında ana depo için ikinci şirketin deposu atanarak çözümler elde edilmekte ve elde edilen iki çözümün sonuçları karşılaştırılarak en uygun maliyete sahip çözümde bulunan depo ana depo olarak seçilmektedir.

Problemde 2 adet mobil kargo dolabı alabilen üç adet araç kullanılmıştır. Ayrıca, 9 adet farklı kapasitede kargo dolabı, 4 farklı boyda kargo paketi olduğu varsayılmaktadır. Toplamda 6 potansiyel yerleştirme noktası, 6 toplama noktası ve 23 müşteri noktası bulunmaktadır.

Problem üç depo için ayrı ayrı CPLEX (20.1) ile çözülmüştür. Maliyet minimizasyonu sağlanmıştır.

Bu senaryo gereğince ilk başta birinci ve ikinci şirketin ikili işbirliği yaptığı, üçüncü şirketin ise bireysel faaliyetlerine devam ettiği durum incelenmiştir. Bu doğrultuda, Depo1 ve Depo2'nin işbirliğince ana depo olarak kullanıldığı iki farklı durum incelenmiş performans değerleri Tablo 52'de verilmektedir. İki problemde yaklaşık 1 dakikada çözülmüştür.

**Tablo 52.** Birinci ve İkinci Şirketin İşbirliği Yaptığı Durumda Depo Kullanımlarına Göre Performans Kriterleri Değerleri

|  | Depo1          | Depo2      |
|--|----------------|------------|
| <b>Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)</b>                      | 4,06           | 3,66       |
| <b>Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)</b>                           | 38,79          | 42,62      |
| <b>Araç kullanma maliyeti (€)</b>                                  | 29,00          | 26,15      |
| <b>Sürücü maliyeti (€)</b>   | 35,48          | 27,91      |
| <b>Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€)</b>                 | 400            | 400        |
| <b>Üçüncü şirketin toplam operasyon maliyeti (€)</b>               | 277,92         | 277,92     |
| <b>Toplam Maliyet (€)</b>  | 785,25         | 778,26     |
| <b>Açılan tesisler</b>   | F2, F3, F4, F5 | F1, F3, F5 |
| <b>İkili işbirliğinde araç ile kat edilen toplam mesafe(km)</b>    | 78,38          | 70,68      |
| <b>İkili işbirliğinde müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)</b> | 77,58          | 85,24      |
| <b>Kullanılan Araç Sayısı</b>                                      | 3              | 3          |
| <b>Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı</b>                        | 6              | 6          |

Birinci ve ikinci şirketin yatay işbirliği yaptığı senaryolarda çözümler karşılaştırıldığında, en uygun toplam maliyete sahip, Depo2'nin ana depo olarak kullanıldığı senaryo seçilmektedir.

Bir diğer analizde birinci ve üçüncü şirketin ikili işbirliği yaptığı, ikinci şirketin ise bireysel olarak operasyon gerçekleştirdiği varsayılarak, Depo1 ve Depo3 için iki farklı analiz yapılmıştır. Analizin sonuçları Tablo 53'te verilmiştir. İki problemde yaklaşık 35 saniyede çözülmüştür.

**Tablo 53.** Birinci ve Üçüncü Şirketin İşbirliği Yaptığı Durumda Depo Kullanımlarına Göre Performans Kriterleri Değerleri

|  | Depo1          | Depo3          |
|--|----------------|----------------|
| <b>Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)</b>                      | 6,27           | 6,10           |
| <b>Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)</b>                           | 56,87          | 58,10          |
| <b>Araç kullanma maliyeti (€)</b>                                  | 44,85          | 43,64          |
| <b>Sürücü maliyeti (€)</b>   | 43,53          | 41,37          |
| <b>Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€)</b>                 | 400            | 400            |
| <b>İkinci şirketin toplam operasyon maliyeti (€)</b>               | 256,26         | 256,26         |
| <b>Toplam Maliyet (€)</b>  | 807,78         | 805,47         |
| <b>Açılan tesisler</b>   | F2, F3, F5, F6 | F2, F3, F5, F6 |
| <b>İkili işbirliğinde araç ile kat edilen toplam mesafe(km)</b>    | 121,21         | 117,94         |
| <b>İkili işbirliğinde müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)</b> | 113,76         | 115,39         |
| <b>Kullanılan Araç Sayısı</b>                                      | 3              | 3              |
| <b>Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı</b>                        | 6              | 6              |

Son olarak ikinci ve üçüncü şirketin ikili işbirliği yaptığı varsayılarak depo2 ve depo3 kullanımı üzerine analizler yapılmış, analiz sonuçları Tablo 54' de verilmiştir.

**Tablo 54.** İkinci ve Üçüncü Şirketin İşbirliği Yaptığı Durumda Depo Kullanımlarına Göre Performans Kriterleri Değerleri

|  | Depo2      | Depo3          |
|--|------------|----------------|
| <b>Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)</b>                      | 4,61       | 5,11           |
| <b>Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)</b>                           | 51,27      | 47,99          |
| <b>Araç kullanma maliyeti (€)</b>                                  | 32,95      | 36,51          |
| <b>Sürücü maliyeti (€)</b>   | 32,82      | 35,46          |
| <b>Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€)</b>                 | 400        | 400            |
| <b>Birinci şirketin toplam operasyon maliyeti (€)</b>              | 269,84     | 269,84         |
| <b>Toplam Maliyet (€)</b>  | 791,49     | 794,91         |
| <b>Açılan tesisler</b>   | F3, F5, F6 | F3, F4, F5, F6 |
| <b>İkili işbirliğinde araç ile kat edilen toplam mesafe(km)</b>    | 89,06      | 98,67          |
| <b>İkili işbirliğinde müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)</b> | 101,71     | 95,15          |
| <b>Kullanılan Araç Sayısı</b>                                      | 3          | 3              |
| <b>Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı</b>                        | 6          | 6              |

### 3.2. YATAY İŞBİRLİĞİNİN ŞİRKETLERE FAYDASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, önceki bölümlerde yapılan senaryo çözümlerinin analizleri yapılacaktır. Önceki bölümde, önerilen matematiksel model kullanılarak 3 varsayımsal firma için bireysel operasyon çözümleri ile ikili ve üçlü yatay işbirliği yaptığı senaryolar için çözümler elde edilmiştir. Çözümlerin sonuçlarına dair performans kriterleri değerleri Tablo 55, Tablo 56 ve Tablo 57’de gösterilmektedir.

Üç varsayımsal şirketin işbirliği yapmadığı durumda, bireysel operasyonları sonucu performans kriterleri değerleri toplamı Tablo 55’te verilmektedir. Toplam performans kriterleri değerlerine bakıldığında, üç şirketin ayrı ayrı maliyetleri toplamı 804,01 € olarak bulunmuştur. Üç şirketin üçlü işbirliği yaptığı performans değerleri farklı depo kullanımları için Tablo 56’da verilmiştir. Üçlü işbirliği için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, işbirliğinde Şirket1’in deposu ana depo olarak kullanıldığında toplam maliyette %2,75, Şirket2’nin deposu kullanıldığında 4,52, Şirket3’ün deposu kullanıldığında %1,94 azalma saptanmıştır. Bu doğrultuda, şirketlerin üçlü işbirliği yapmaları her senaryo için maliyet açısından faydalı bulunurken en uygun işbirliği ikinci şirketin deposunun işbirliği ana deposu olarak kullanıldığında sağlandığı tespit edilmiştir.

**Tablo 55.** İşbirliği Olmadığı Senaryoda Toplam Performans Kriterleri Değerleri

|  | <b>Toplam Maliyet Minimizasyonu</b> |
|--|-------------------------------------|
| <b>Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)</b>      | 6,56                                |
| <b>Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)</b>           | 100,49                              |
| <b>Araç kullanma maliyeti (€)</b>                  | 46,89                               |
| <b>Sürücü maliyeti (€)</b>                         | 50,08                               |
| <b>Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€)</b> | 600                                 |
| <b>Toplam maliyet (€)</b>                          | 804,02                              |
| <b>Açılan tesis sayısı</b>                         | 6                                   |
| <b>Araç ile kat edilen toplam mesafe(km)</b>       | 126,76                              |
| <b>Müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)</b>    | 200,98                              |
| <b>Kullanılan araç sayısı</b>                      | 3                                   |
| <b>Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı</b>        | 6                                   |

**Tablo 56.** Üç Şirketin Yatay İşbirliği Yaptığı Senaryoda Performans Kriterleri Değerleri

|  | <b>Depo1</b> | <b>Depo2</b> | <b>Depo3</b> |
|--|--------------|--------------|--------------|
| <b>Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)</b>      | 7,92         | 7,20         | 8,50         |
| <b>Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)</b>           | 58,48        | 59,70        | 62,53        |
| <b>Araç kullanma maliyeti (€)</b>                  | 56,65        | 51,46        | 60,75        |
| <b>Sürücü maliyeti (€)</b>                         | 58,86        | 49,34        | 56,52        |
| <b>Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€)</b> | 600          | 600          | 600          |
| <b>Toplam maliyet (€)</b>                          | 781,91       | 767,70       | 788,30       |
| <b>Açılan tesis sayısı</b>                         | 5            | 5            | 5            |
| <b>Araç ile kat edilen toplam mesafe(km)</b>       | 153,10       | 139,08       | 164,20       |
| <b>Müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)</b>    | 116,96       | 119,40       | 125,07       |
| <b>Kullanılan araç sayısı</b>                      | 3            | 3            | 4            |
| <b>Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı</b>        | 6            | 6            | 6            |

İkili yatay işbirlikleri için toplam performans kriterleri değerleri oluşturulurken tüm ikili işbirliklerinde en iyi toplam maliyet değerlerine sahip senaryolar seçilip ilgili değerler Tablo 57' de verilmektedir. Bu doğrultuda, yatay işbirliği olmadığı duruma kıyasla birinci ve ikinci şirketin işbirliği yaptığı ve ikinci şirketin ana depo olarak kullanıldığı durumda toplam maliyet %3,20, ikinci ve üçüncü şirketin işbirliği yaptığı ve yine ikinci şirketin deposunun ana depo olarak kullanıldığı durumda toplam maliyet %1,56 azalma tespit edilmiştir. Ancak, birinci ve üçüncü şirketin işbirliği yaptığı tüm durumlarda, yatay işbirliği yapılmayan duruma kıyasla toplam maliyet yükselmiştir. Bu durum iki şirketin mobil kargo yerleştirme noktaları, toplama noktaları ve müşterilerinin birbirlerinden oldukça uzakta olmasından kaynaklanmaktadır.

Tüm yatay işbirliği senaryoları incelendiğinde kargo dolabı ve araç sayılarında bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir.

**Tablo 57.** İkili İşbirliklerinde Performans Kriteri Değerleri (En iyi değerler seçilmiştir.)

|   | Bir ve İkinci Şirketin İşbirliği için Toplam Maliyet Minimizasyonu | Bir ve Üçüncü Şirketin İşbirliği için Toplam Maliyet Minimizasyonu | İkinci ve Üçüncü Şirketin İşbirliği için Toplam Maliyet Minimizasyonu |
|---|--|--|---|
| Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)      | 6,57   | 7,57   | 6,79  |
| Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)           | 78,99  | 87,9   | 85,59   |
| Araç kullanma maliyeti (€)                  | 46,97  | 54,15  | 48,51   |
| Sürücü maliyeti (€)                         | 45,73  | 55,85  | 50,6  |
| Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€) | 600  | 600  | 600   |
| <b>Toplam maliyet (€)</b>                   | <b>778,26</b>  | <b>805,47</b>  | <b>791,49</b>   |
| Açılan tesis sayısı                         | 6  | 6  | 5   |
| Araç ile kat edilen toplam mesafe(km)       | 126,95   | 146,36   | 131,13  |
| Müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)    | 157,99   | 174,99   | 170,34  |
| Kullanılan araç sayısı                      | 3  | 3  | 3   |
| Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı        | 6  | 6  | 6   |

Tüm bu analizler sonucunda, işbirliğine katılan şirketlerin depo noktaları, müşteri noktalarını, kullandıkları ortak tesislerin (bırakma ve toplama noktaları) konumları birbirlerine yakın ise yatay işbirliklerin fayda sağladığı tespit edilmektedir. Örnek olay bazında incelendiğinde en çok fayda üçlü işbirliklerinde tüm müşteri noktaları ve ortak tesislere da yakın olan ikinci şirketin deposunun ana depo olarak kullanıldığı durumdan elde edilmektedir. İkili işbirliği yapılan senaryolarda, üçlü işbirliği yapılan senaryolara göre maliyet açısından daha az fayda sağlandığı tespit edilmektedir.

### 3.3. ÖRNEK OLAY ÜZERİNDE DUYARLILIK ANALİZLERİ

Bu bölümde, örnek olay veri seti kullanılarak şirketlerin ortak müşteri sayılarının artması halinde yatay işbirliğinin şirketlere olan faydalarına etkileri ile mobil kargo dolaplarının kapasitelerindeki değişimin toplam maliyetlere etkilerinin duyarlılık analizi yapılmıştır.

Duyarlılık analizlerinde, maliyet minimizasyonu durumu için kullanılan  $\mu_{im}$  parametre değeri hesaplanmasında kullanılan kilometre eşik değeri (müşteri ve potansiyel yerleştirme noktaları arasında mesafenin eşik değeri) bir önceki senaryolardan farklı olarak 9,5 km olarak kabul edilmiştir.

#### 3.3.1. Ortak Müşteri Sayısının Artmasının Yatay İşbirliği Üzerine Etkisi

Bu bölümde, Soysal vd. (2018) tarafından yapılan çalışmadan faydalanılarak problemde bulunan ortak müşteri sayıları aşamalı olarak artırılıp artan ortak müşteri sayısının yatay işbirliğine toplam maliyet açısından etkileri analiz edilmektedir (Soysal ve diğerleri, 2018).

Temel örnek olayda ortak müşteri sayısı 4 olarak belirtilmektedir. Bu doğrultuda, yapılan analizde ortak müşteri sayısı ilk olarak 8'e, ikinci olarak 12'ye çıkarılmaktadır. Şekil 16 ve Şekil 17' de ortak müşteri sayılarının artışına bağlı olarak değişen noktalar gösterilmektedir.

Artan ortak müşteri sayısı nedeniyle, şirketlerin bireysel faaliyet gösterdikleri durum için hizmet ettikleri toplam müşteri sayıları da artmaktadır. Bu nedenle, artan müşteri sayısı ile şirketlerin yatay işbirliği olmadan bireysel faaliyetleri gösterdikleri durumlar için problem tekrardan çözülmüştür. Yeni yapılan çözümlerin sonuçları doğrultusunda ortak müşteri sayısına göre üç şirketin bireysel operasyonlarının toplam performans kriter değerleri aşağıdaki tabloda verilmektedir (Tablo 58).



**Tablo 58.** Ortak Müşteri Analizlerinde Yatay İşbirliği Olmadığı Durumda Elde Edilen Performans Kriterleri Değerleri

|  | Ortak Müşteri Sayısı = 4 | Ortak Müşteri Sayısı = 8 | Ortak Müşteri Sayısı = 12 |
|--|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| <b>Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)</b>      | 6,56                     | 6,85                     | 7,57                      |
| <b>Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)</b>           | 100,49                   | 117,42                   | 137,24                    |
| <b>Araç kullanma maliyeti (€)</b>                  | 46,89                    | 48,92                    | 54,06                     |
| <b>Sürücü maliyeti (€)</b>                         | 50,08                    | 55,15                    | 62,22                     |
| <b>Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€)</b> | 600                      | 700                      | 800                       |
| <b>Toplam maliyet (€)</b>                          | 804,02                   | 928,34                   | 1061,09                   |
| <b>Açılan tesis sayısı</b>                         | 6                        | 7                        | 7                         |
| <b>Araç ile kat edilen toplam mesafe(km)</b>       | 126,76                   | 132,26                   | 146,89                    |
| <b>Müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)</b>    | 200,98                   | 234,85                   | 274,50                    |
| <b>Kullanılan araç sayısı</b>                      | 3                        | 4                        | 5                         |
| <b>Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı</b>        | 6                        | 7                        | 8                         |

Tablo 58’de toplam performans kriterleri değerleri incelendiğinde müşteri sayıları arttıkça açılan tesis sayıları, kullanılan mobil kargo dolabı sayıları ve bunlara bağlı olarak araç ile kat edilen ve müşterinin kat ettiği mesafeler artmaktadır. Bu doğrultuda toplam maliyet değerleri de ortak müşteri sayısı arttıkça artmaktadır. Ortak müşteri sayısı 8’e çıkarıldığında bireysel faaliyetlerin toplam maliyet değeri temel örnek olay çözümüne oranla %15,46, ortak müşteri sayısı 12’e çıkarıldığında %31,97 bir artış gözlemlenmektedir.

Ortak müşteri sayılarının artması ile müşterilerin şirketlerden talepleri de artmaktadır. Bu doğrultuda, örnek olayda üçlü yatay işbirliği olduğu durumlar için yapılan analizler bu senaryo gereği tekrar yapılmaktadır. Bu doğrultuda elde edilen performans kriter değerleri aşağıdaki tablolarda verilmektedir (Tablo 59 ve Tablo 60).

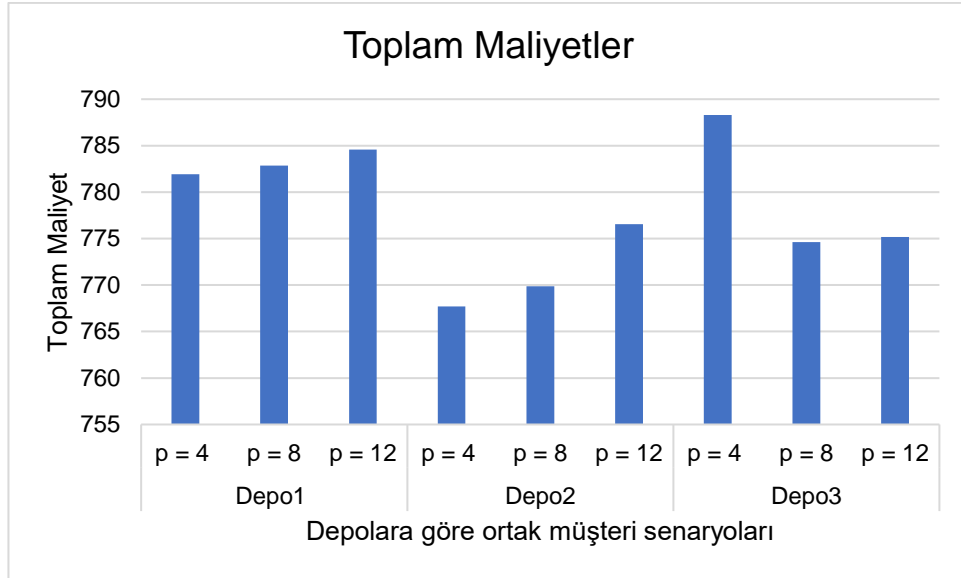
**Tablo 59.** Ortak Müşteri Sayısı 8 ve Üçlü Yatay İşbirliği Olduğu Durumda Elde Edilen Performans Kriterleri Değerleri

|  | Depo1  | Depo2  | Depo3  |
|--|--------|--------|--------|
| <b>Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)</b>      | 7,92   | 7,20   | 7,78   |
| <b>Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)</b>           | 59,42  | 61,87  | 61,87  |
| <b>Araç kullanma maliyeti (€)</b>                  | 56,65  | 51,46  | 55,63  |
| <b>Sürücü maliyeti (€)</b>                         | 58,86  | 49,34  | 49,33  |
| <b>Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€)</b> | 600    | 600    | 600    |
| <b>Toplam maliyet (€)</b>                          | 782,85 | 769,87 | 774,61 |
| <b>Açılan tesis sayısı</b>                         | 5      | 5      | 5      |
| <b>Araç ile kat edilen toplam mesafe(km)</b>       | 153,10 | 139,08 | 150,53 |
| <b>Müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)</b>    | 118,85 | 123,76 | 123,76 |
| <b>Kullanılan araç sayısı</b>                      | 3      | 3      | 3      |
| <b>Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı</b>        | 6      | 6      | 6      |

**Tablo 60.** Ortak Müşteri Sayısı 12 ve Üçlü Yatay İşbirliği Olduğu Durumda Elde Edilen Performans Kriterleri Değerleri

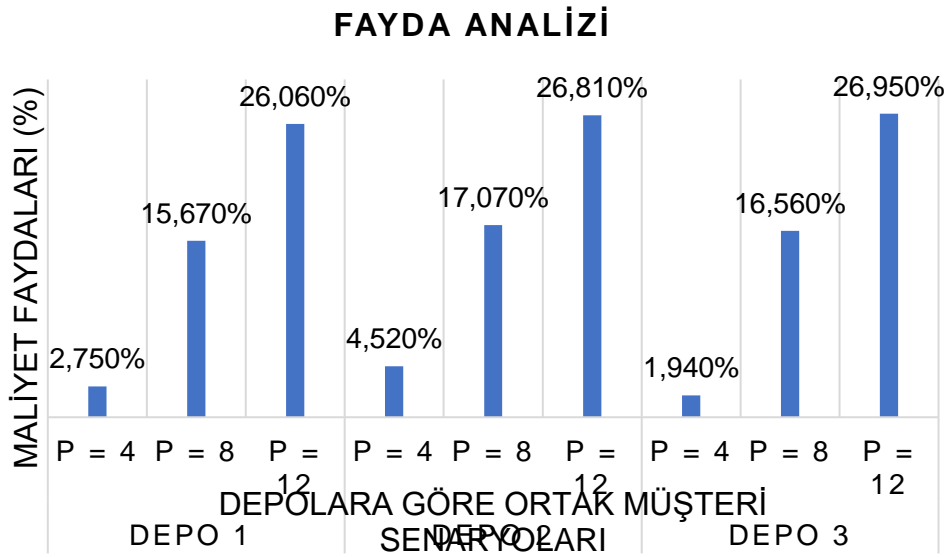
|  | Depo1  | Depo2  | Depo3  |
|--|--------|--------|--------|
| <b>Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)</b>      | 7,92   | 7,14   | 7,78   |
| <b>Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)</b>           | 61,16  | 67,11  | 62,44  |
| <b>Araç kullanma maliyeti (€)</b>                  | 56,65  | 51,06  | 55,63  |
| <b>Sürücü maliyeti (€)</b>                         | 58,86  | 51,26  | 49,33  |
| <b>Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€)</b> | 600    | 600    | 600    |
| <b>Toplam maliyet (€)</b>                          | 784,59 | 776,57 | 775,18 |
| <b>Açılan tesis sayısı</b>                         | 5      | 4      | 5      |
| <b>Araç ile kat edilen toplam mesafe(km)</b>       | 153,10 | 139,01 | 150,53 |
| <b>Müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)</b>    | 122,74 | 134,24 | 125,18 |
| <b>Kullanılan araç sayısı</b>                      | 3      | 3      | 3      |
| <b>Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı</b>        | 6      | 6      | 6      |

Yukarıda verilen performans değerleri örnek olayla karşılaştırıldığında Şekil 14'te verilen maliyet değişimleri ile karşılaşılmaktadır. Üçlü işbirlikleri kapsamında ortak müşteri sayısı arttığında maliyetlerde genel olarak bir artış gözlemlenmektedir. Öte yandan üçlü işbirliklerinde Depo 3'ün ana depo olarak kullanıldığı senaryolar incelendiğinde bu durumun tam tersi ortaya çıkmaktadır. Üçlü işbirliklerinde ana depo olarak kullanıldığı senaryolarda, ortak müşteri sayısı arttıkça maliyet düşüşü gözlemlenmektedir. Buradaki temel sebep, depo 3'ün ilk senaryo için (p=4) Şekil 13'de görüldüğü üzere ortak müşterilerden oldukça uzak olması ve ortak müşteri sayısı arttıkça deponun müşterilere olan yakınlığının artmasıdır.



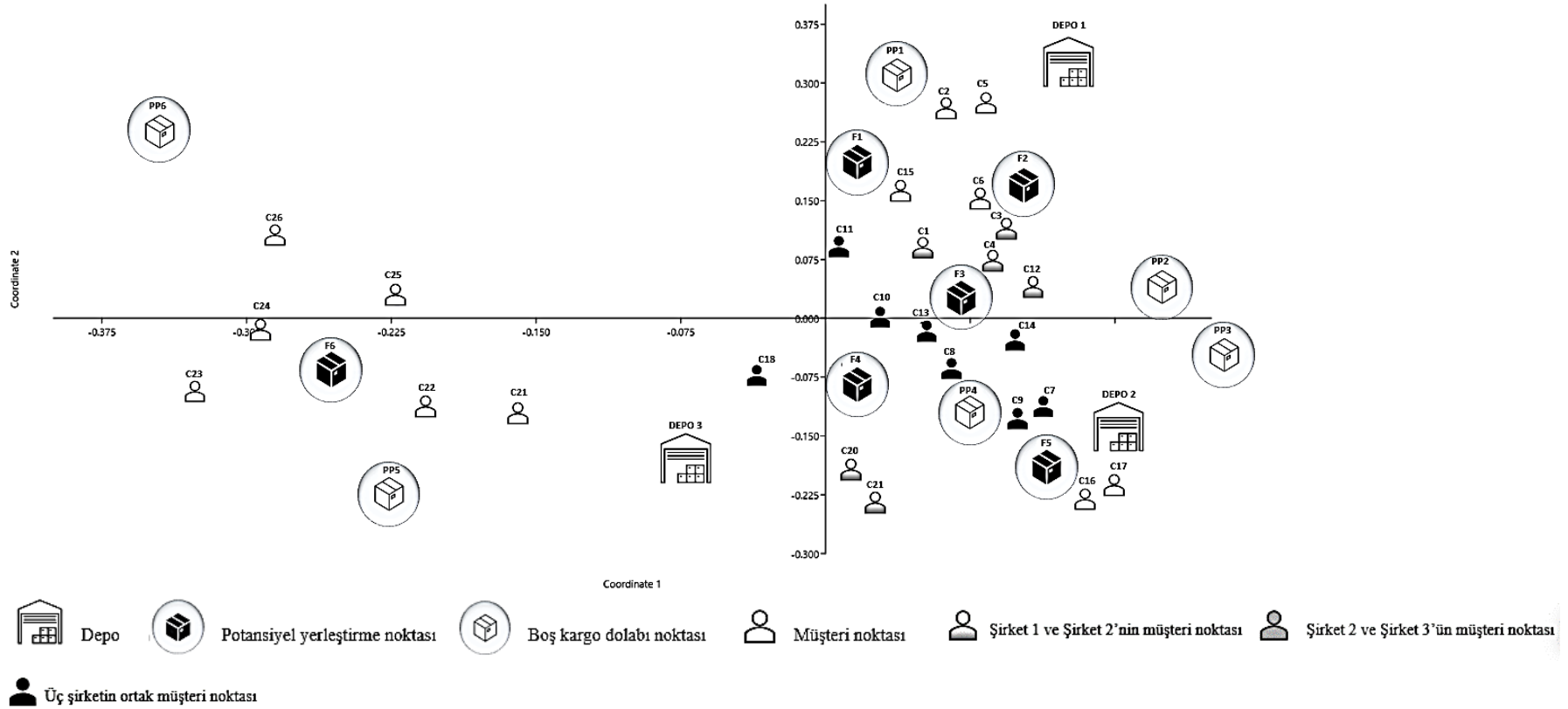
**Şekil 14.** Üçlü Yatay İşbirliğinde Artan Ortak Müşteri Sayılarına Göre Toplam Maliyet Değişimleri (p = ortak müşteri sayısı)

Toplam maliyet değişimleri senaryo bazlı incelendikten sonra artan müşteri sayısının yatay işbirliği kullanımı faydasına etkileri incelenmektedir. Şekil 15' te şirketlerin bireysel faaliyet gösterdikleri durumlara kıyasla üçlü işbirliklerin maliyetlere sağladığı faydalar gösterilmektedir. Tabloda görüldüğü üzere ortak müşteri sayısı arttıkça, üçlü işbirliklerinin faydalarında dramatik bir artış gözlemlenmektedir. Buradaki temel sebep, senaryolarda ortak müşteri sayısı arttıkça, şirketlerin bireysel operasyonlarında hizmet ettikleri müşteri sayılarının artmasına karşın üçlü işbirliklerinde hizmet edilen müşteri sayısının sabit kalmasıdır. Örneğin, Şirket 1 için ortak müşteri sayısı 4 iken hizmet etmesi gereken müşteri sayısı 15, ortak müşteri sayısı 8'e çıktığı durumda 16 olmaktadır. Bu durum, bireysel operasyonlarda ciddi maliyet artışlarına sebep olurken üçlü işbirliklerinde sadece hizmet edilen müşteri sayısı hep aynı kaldığı için müşteri talep miktarları artmasına neden olmaktadır.

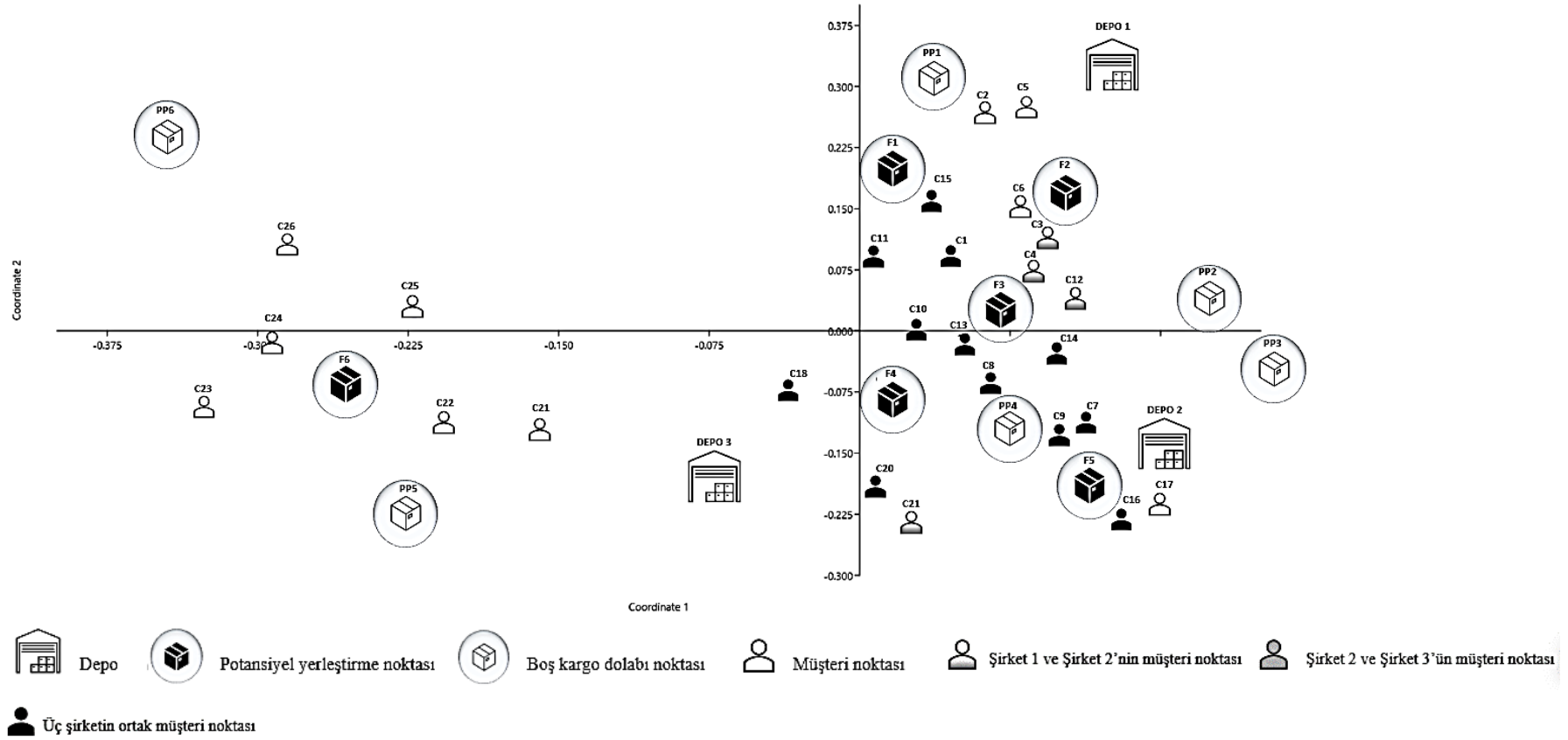


**Şekil 15.** Ortak Müşteri Sayısı Artışının Yatay İşbirliği Faydasına Etkileri

Fayda etkileri, Şekil 15, incelendiğinde, Soysal vd. (2018) tarafından yapılan çalışma sonuçlarına benzer olarak ortak müşteri sayısı arttıkça müşterilere hizmet sunmak için yatay işbirliğinin sağladığı faydaların arttığı gözlemlenmektedir (Soysal ve diğerleri, 2018). Örneğin, birinci şirkete ait Depo 1'in ortak depo olarak kullanıldığı durumda ortak müşteri sayısı 4 iken yatay işbirliğinin maliyet kazancı %2,75 olurken ortak müşteri sayısının 8'e çıkmasıyla bu oranın %15,67'ye, daha sonrasında ortak müşteri sayısının 12'e çıkmasıyla %26,06'ya yükseldiği tespit edilmektedir. Yine aynı şekilde, ikinci ve üçüncü şirkete ait Depo 2 ve Depo 3'ün ayrı ayrı yatay işbirliğinde ana depo olduğu durumlarda da ortak müşteri sayısı arttıkça, yatay işbirliğinin maliyet faydasının arttığı gözlemlenmektedir.



**Şekil 16.** Ortak Müşteri Sayısının 8 Olduğu Durumda Kullanılan Noktaların XY Grafiğinde Gösterimi



**Şekil 17.** Ortak Müşteri Sayısının 12 Olduğu Durumda Kullanılan Noktaların XY Grafiğinde Gösterimi

### 3.3.2. Mobil Kargo Dolabı Kapasite Değişim Analizi

Bu duyarlılık analizinde mobil kargo dolabı kapasitelerinde herhangi bir azalma ve artma durumunda performans kriterlerindeki değişimler analiz edilecektir. Analizde kullanılan senaryo ise örnek olay çözümlerinde en iyi maliyet değerleri elde edilen üçlü işbirliklerinde ikinci şirketin deposunun kullanıldığı durumdur. Söz konusu durum, performans değerleri karşılaştırılmasında temel değer olarak kullanılacaktır. Bu doğrultuda 60, 100 ve 120 kargo alabilen mobil kargo dolaplarının, mevcut kapasiteleri önce %20, sonrasında yine %20 düşürülmektedir. Kapasite değişimleri sonucunda elde edilen performans kriterleri değerleri Tablo 61’de verilmektedir.

**Tablo 61.** Kapasite Değişimlerinde Elde Edilen Performans Kriterleri Değerleri

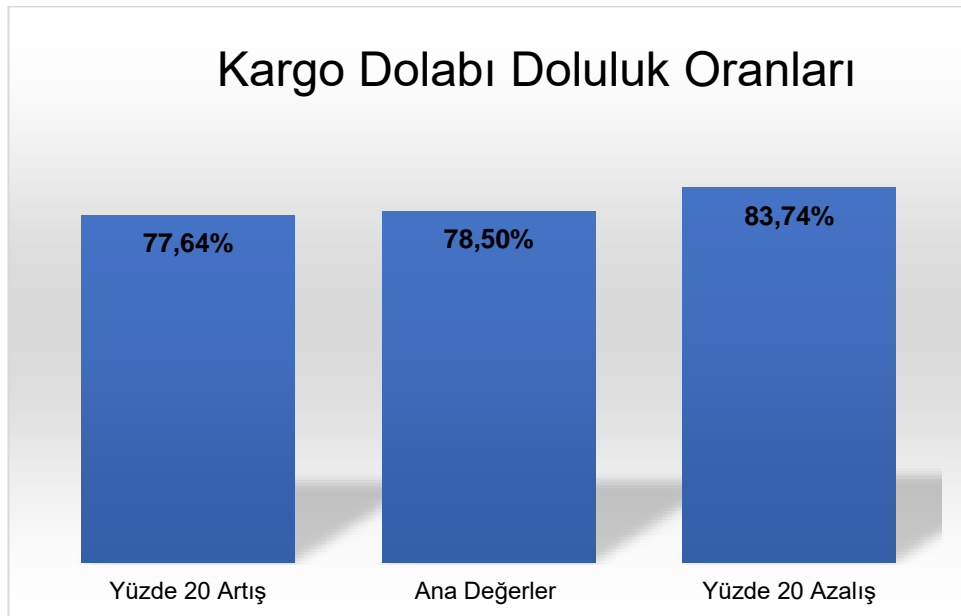
|  | Ana Değerler | %20 Artış | %20 azalış |
|--|--------------|-----------|------------|
| <b>Mobil kargo dolabı taşıma maliyeti (€)</b>      | 7,20         | 6,95      | 7,46       |
| <b>Müşteri kargo taşıma maliyeti (€)</b>           | 59,70        | 63,79     | 60,85      |
| <b>Araç kullanma maliyeti (€)</b>                  | 51,46        | 49,72     | 53,32      |
| <b>Sürücü maliyeti (€)</b>                         | 49,34        | 46,50     | 53,36      |
| <b>Mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti (€)</b> | 600          | 500       | 800        |
| <b>Toplam maliyet (€)</b>                          | 767,70       | 666,96    | 974,99     |
| <b>Açılan tesis sayısı</b>                         | 5            | 4         | 4          |
| <b>Araç ile kat edilen toplam mesafe(km)</b>       | 139,08       | 134,38    | 144,10     |
| <b>Müşterinin kat ettiği toplam mesafe (km)</b>    | 119,40       | 127,71    | 121,71     |
| <b>Kullanılan araç sayısı</b>                      | 3            | 3         | 4          |
| <b>Kullanılan Mobil Kargo Dolabı Sayısı</b>        | 6            | 6         | 8          |

Performans kriterleri değerleri incelendiğinde mobil kargo dolabı kapasitelerindeki azalış, müşteri talebini karşılamak adına daha fazla kargo dolabı kullanmaya dolayısıyla teslimatta daha fazla araç kullanılmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple, kapasitedeki artış ile birlikte araç kullanma maliyeti, sürücü maliyeti ve mobil kargo dolabı yerleştirme maliyeti oldukça artmakta ve toplam maliyet yaklaşık %27 oranında artmaktadır. Tam tersi kargo dolabı kapasitelerindeki artış ile birleşen kargo talepleri ile kullanılan kargo dolabı sayısında azalma gözlemlenmektedir. Ayrıca, taleplerdeki bu birleşme mobil kargo dolaplarının daha az sayıda tesise yerleşmesine neden olmaktadır. Bu

sebeple müşterilerin kargo dolaplarına ulaşma mesafeleri normal durumda 119,4 km iken 121,71 km'ye çıkmakta ve bu durum müşterilerin kargo taşıma maliyetlerini arttırmaktadır.

Kargo dolabı kapasite azalışı ile artan mobil kargo dolabı kullanımı ile kullanılan araç sayısı 3'ten 4'e çıkmaktadır. Artan araç sayısı, araç ile kat edilen mesafeyi yaklaşık %3,50 oranında arttırmakta ve bu durum araç kullanma, kargo dolabı taşıma ve sürücü maliyeti gibi kilometreye bağlı maliyet değerlerinin artmasına sebep olmaktadır. Bu noktada, kapasite azalışı mobil kargo dolabı taşıma maliyetinde yüzde yaklaşık 3,6, sürücü maliyetlerinde %7,53, araç kullanma maliyetlerinde 3,5 oranında bir artışa sebep olmaktadır.

Öte yandan duyarlılık analizinde kargo dolabı doluluk oranları incelendiğinde, kargo dolabı kapasiteleri azaldıkça doluluk oranları arttığı gözlemlenmektedir. Şekil 18'de bu artış gösterilmektedir. Burada kargo dolabı doluluk oranları, kargo dolabına atanan toplam kargo sayısının yine aynı kargo dolabının kapasitesine bölünmesi ve bu işlemin kullanılan bütün kargo dolaplarında tekrarlanarak çıkan değerlerin ortalamasının alınması ile elde edilmektedir.



**Şekil 18.** Kargo Dolapları Doluluk Oranları



## 4. BÖLÜM: GENEL TARTIŞMA

Bu bölümde, çalışma kapsamında yapılan senaryo analizleri ile duyarlılık analizleri sonuçları mevcut literatür ile ilişkilendirilerek genel değerlendirmeler sunulmuştur.

Bu tez çalışmasında, son mil taşımacılıkta artan doğrudan eve teslimatlarda kaynaklanan sorunlarla başa çıkmak için geliştirilen mobil kargo dolabı kullanımı için toplama ve bırakma ile yer seçimi ve rotalama probleminde bir model önerisi sunulmuştur. Çalışmada yapılan senaryo analizleri ve duyarlılık analizleri, önerilen modelin uygulanabilirliğini göstermiştir. Yapılan analizlerde, literatürden farklı olarak, yatay işbirliğinin kargo dolabı şirketlerine maliyet açısından faydaları incelenmiştir.

Çalışma kapsamında önerilen model, yöneticilerin uygun maliyetli araç rotalama planı kararları almasını kolaylaştırırken mobil kargo dolaplarının müşterilere en yakın noktalara yerleştirilmesi sağlamaktadır. Model doğrultusunda yöneticiler hem ulaşım maliyetleri düşürebilmekte hem de müşteri memnuniyeti arttırabilmektedir. Aynı zamanda, kullanılan model ile depo içerisinde en uygun mobil kargo dolabı yükleme faaliyetlerini gerçekleştirebilmesi ise elleçleme zamanı ve maliyetlerinde verimliliği arttırıp kargo dağıtımında meydana gelebilecek hasarların veya kargo kaybolma durumunun önüne geçilebilmektedir.

Mobil kargo dolabı kullanımında yatay işbirliğini ele alındığı ilk çalışma olan bu tez çalışmasında yapılan senaryo analizleri incelendiğinde, modelde kullanılan veriler doğrultusunda işbirliğine katılan şirket sayısı arttıkça, her bir şirket başına düşen maliyetin daha da düştüğü gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, analizler sonucunda ortak müşteri sayısı ile şirketlerin lojistik noktalarının (yerleştirme noktası, toplama noktası) bir birine yakın olma durumunun yatay işbirliğine etkisi olduğu bulunarak Xu (2013), Palmer vd. (2013) ve Soysal vd. (2018) yaptıkları çalışmalar desteklenmiştir. Bu doğrultuda, ortak müşteri sayısının artması ve lojistik noktalarındaki yakınlığın artması ile yatay işbirliği maliyet faydalarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç ile karar vericilerin yatay işbirliğine katılırken,

ortak müşteri sayısı ve lojistik konumlarının yakınlıkları durumlarını analiz etmelerinde fayda vardır.

Modelin hali hazırda karmaşık olası ve en uygun çözümü alabilme isteğiyle, aşama sayısını arttırmamak adına yatay işbirliğine dahil olan şirketlerin her birinin kendi depolarında faaliyet göstermediği, işbirlikçi şirketlerden herhangi birine ait tek bir ana depodan faaliyet gösterdikleri varsayılmıştır. Bu noktada, bu uygulama gerçek hayat uygulamalarında işbirlikçi şirketler depo birleştirmeden kaynaklı ekstra maliyete sebep olabilecek olup, işbirliğine teşviki engelleyebilir. Öte yandan, tek depo kullanımı ile azalan mobil kargo taşıma maliyetlerinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde, ortak müşteri sayısı çok olan ve lojistik noktaları birbirine yakın olan kargo şirketlerinin yatay işbirliği yapması, değişen pazarda ayakta kalabilmeleri ve maliyetlerini düşürmeleri adına fayda sağlayacağı görülmektedir. Bu noktada, mobil kargo dolabı kullanmaları depo dışı elleçlemeyi azaltarak hem kargo hasar ve kaybetme riskini en aza indirmekte hem de elleçleme maliyetlerini düşürmektedir. Ayrıca müşteriye her seferinde yakın olan teslimat noktaları müşteri memnuniyetini arttıracaktır. Öte yandan yapılan işbirlikleri ile birden fazla şirketten kargo talebi olan müşterilerin (ortak müşterilerin) dağılan kargolarının tek bir noktada toplanması sağlanmıştır. Bu sayede, müşterilerin kargolarına erişmek için kat ettikleri mesafeler her işbirliği senaryosunda (ikili ve üçlü yatay işbirlikleri) giderek azalmıştır.

Literatür ve gerçek hayat kargo firmaları uygulamalarında sabit kargo dolapları kullanımında yatay işbirliği örnekleri incelendiğinde, dolabın içine yüklenen kargoların şirket kotası belirlemeden, müşteri talebine göre kargoların yerleştirildiği bu model sayesinde, müşterinin kargosuna ulaşma zahmeti en aza indirilerek müşteri memnuniyeti sağlanmıştır. Ayrıca bu model, ülkemizde şuan kullanımı olmayan ancak giderek kullanımının yaygınlaşacağı öngörülen bu teslim şekli üzerine bilindiği kadarıyla yapılan ilk çalışma özelliği taşımaktadır.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Son 10 yılda, bilişim teknolojileri, online hizmetler ve mobil uygulamalarda gözlenen hızlı gelişim ile e-ticarette önemli bir büyüme yaşanmıştır. Bu büyüme, kargo dağıtım alanında etkisini önemli ölçüde göstermiştir. Zaman ve mekân sınırlaması olmayan e-ticaret, kargo gönderim sayısını ve ticaret hacmini arttırmaktadır. Bu artan kargo hacminde bile lojistik hizmeti sağlayıcılarının yüksek kaliteli, verimli ve güvenilir hizmetler sunmaları gerekmektedir. Küresel e-ticaret dışında, lojistik hizmet sağlayıcılarının etkileyen bir diğer unsur da çok sayıda kargo ve kurye hizmeti operatörünün ortaya çıkması ve yerel operatörlerin azalan pazar payıdır. Lojistik hizmet sağlayıcıları arasında artan rekabet ve artan kargo sayısı yeni hizmet türlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Bununla birlikte, bu değişikliklerin bir kısmı dağıtımcıların tedarik zincirlerinde son mil ile ilgili olarak yüzleşmek zorunda oldukları mevcut sorunları çözümede başarısız olmuş ve hatta daha da derinleştirmiştir. Bu sorunlar genellikle posta gönderilerinin son müşterilere/müşterilerden hem teslimatı hem de toplanması için maliyet ve zaman açısından en uygun çözümü bulmakla ilgili olduğu belirtilmektedir.

Bu tez çalışmasında, lojistik hizmet sağlayıcılarının, gelişen e-ticaret ile artan rekabet ve artan teslimat sıklıkları ile başa çıkabilmelerini sağlamak amacıyla yeni teslim şekli olan mobil kargo dolabı kullanımında yatay işbirliği altında toplama ve bırakma ile yer seçimi ve rotalama problemi için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Amacı toplam maliyet minimizasyonu olan model, mobil kargo dolabı yerleştirme sabit maliyeti, elektrikli araç yakıt maliyeti, araç kullanım maliyeti, sürücü maliyeti ile müşterilerin kargo dolabı seyahat maliyetlerini içermektedir.

Mobil kargo dolabı kullanımında yer seçimi ve rotalama problemi kapsamında literatürde incelenen çalışmalardan Lorig vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada dolu mobil dolapların yerleştirilmesi ve boş mobil kargo dolaplarının toplanması ile kat edilen mesafenin en aza indirilerek toplam maliyetin en iyilemesi durumu dikkate alınmaktadır. Lojistik hizmet sağlayıcılarına araç rotalama, kargo dolabı

yükleme ve yerleştirme kararları ile operasyon verimlilikleri ve etkinlerini arttıran bu çalışma, literatürde bulunan Lorig ve diğerlerinin yaptıkları çalışmaya kıyasla, mobil kargo dolabı kullanımında yatay işbirliği senaryoları analiz edilerek literatüre katkıda bulunmaktadır. Bu doğrultuda, 3 farklı varsayımsal şirket için bireysel operasyon, ikili ve üçlü işbirlikleri için ayrı ayrı önerilen model çözülmüş ve belirlenen performans kriter değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda üçlü işbirliklerinin şirketler için maliyet açısından daha faydalı olduğu tespit edilmiştir. Üçlü işbirliği analizlerinin yapıldığı senaryolarda karşılaşılan en iyi sonuca bakıldığında, bireysel operasyona göre yatay işbirliğinde %4,52 daha az maliyet elde edilmektedir. İkili işbirliklerinde ise operasyon alanları (mobil kargo dolabı yerleştirme noktaları, toplama noktaları, müşteri noktaları ve depoları kapsayan alan) birbirine uzak olan şirketler için yatay işbirliğinin herhangi bir katkı sağlamadığı hatta %0,18 oranında operasyonu daha maliyetli hale getirdiği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, yatay işbirliğinde ortak müşteri sayılarının artması durumunda elde edilecek faydayı vurgulamak adına duyarlılık analizleri yapılmıştır. Bu duyarlılık analizi gereğince ortak müşteri sayısı ilk başta 4'ten 8'e daha sonrasında 12'ye çıkarılarak bireysel operasyon çözümleri ile üçlü işbirlikleri çözümleri tekrarlanmaktadır. Çözümler sonucunda elde edilen performans kriterleri incelendiğinde ortak müşteri sayısı arttıkça yatay işbirliklerinin faydalarının yaklaşık %10-15 aralığında arttığı gözlemlenmektedir. Bir başka duyarlılık analizinde ise mobil kargo dolaplarının kapasite değişimleri incelenmekte ve elde edilen sonuçlarda kapasite arttıkça toplam maliyetin ve kapasite doluluk oranlarının azaldığı gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışmasının en önemli kısıtı olarak örnek analizde ele alınan parametre değerlerinin çoğunun varsayımsal olarak ele alınması gösterilebilir. Öte yandan, problem içerisinde müşterilerin hepsinin teslim şekli olarak kargo dolabı kullanmaya istekli oldukları varsayılmaktadır ve müşterilerin isteksiz oldukları durumda müşteri kaybetme maliyetleri probleme dahil edilmemektedir. Son olarak, yatay işbirlikleri analizleri yapılırken, işbirlikçilerin maliyet paylaşım kararlarına değinilmemekte ve toplam maliyetler üzerinden değerlendirilmeler yapılmaktadır.

Gelecek alışmalar için model gerçek verilerle ve daha büyük alanlar için uygulanabilir ve sezgisel çözüm yöntemlerinden yararlanılması önerilmektedir. Gerçek verilerle yapılacak olan analizlerde müşterinin teslim şekli kullanma istekliliği modele dahil edilebilir. Ayrıca, gelecek çalışmalarda mobil kargo dolabı teslimatında yatay işbirliğinde maliyet veya kar paylaşımı üzerine yapılacak olan analizlerle literatüre katkı sağlanabilir. Bunların dışında, probleme birden fazla teslimat şekli eklenerek (eve teslim, sabit kargo dolabı, vs.), incelenecek olan problemin daha gerçekçi olması sağlanabilir. Tüm bunlara ek olarak, gelecek çalışmalarda, mobil kargo dolabı kullanımında işbirlikçi yaklaşım ile sosyal ve çevresel hayata (karbon emisyonu, trafik sıklıklığı, vs) nasıl katkı sağlanabileceği üzerinde durulması nerilmektedir.

## KAYNAKÇA

- Agatz, N. A., Fleischmann, M. ve Van Nunen, J. A. (2008). E-fulfillment and multi-channel distribution—A review. *European Journal of Operational Research*, 187(2), 339-356.
- Akararungruangkul, R. ve Kaewman, S. (2018). Modified differential evolution algorithm solving the special case of location routing problem. *Mathematical and Computational Applications*, 23(3), 34.
- Allen, J., Thorne, G. ve Browne, M. (2007). *BESTUFS Good Practice Guide on Urban Freight Transport*. Netherlands: BESTUFS-Best Urban Flight Solutions.
- Alves, R., Lima, R. D., Custódio de Sena, D., Ferreira de Pinho, A. ve Holguín-Veras, J. (2019). Agent-Based Simulation Model for Evaluating Urban Freight Policy to E-Commerce. *Sustainability*, 11(15), 4020.
- Association of Supply Chain Management (ASCM). (2010). *The Association for Operations Management Dictionary*. Erişim: 03.03.2022, <https://www.ascm.org/learning-development/certifications-credentials/dictionary/>
- Avrupa Birliği. (2001). *Guidelines on the applicability of article 81 of the ec treaty to horizontal cooperation agreements*. Official Journal.
- Avrupa Çevre Ajansı. (2018). *Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives; TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report*. Lüksemburg: Avrupa Çevre Ajansı.
- Bahrami, K. (2002). Improving supply chain productivity through horizontal cooperation: The case of consumer goods manufacturers. *Cost Management in Supply Chains* (s. 213–233). New York: Physica: Heidelberg.
- Basso, F., D'Amours, S., Rönnqvist, M. ve Weintraub, A. (2019). A survey on obstacles and difficulties of practical implementation of horizontal collaboration in logistics. *International Transactions in Operational Research*, 775-793.
- Beirigo, B. A., Schulte, F. ve Negenborn, R. R. (2018). Integrating People and Freight Transportation Using Shared Autonomous Vehicles with Compartments. *International Federation of Automatic Control PapersOnLine*, (s. 392-397).

- Buzzega, G. ve Novellani, S. (2022). Last mile deliveries with lockers: formulations and algorithms. *Soft Comput.*
- Calabro, G., Le Pira, M., Nadia, G., Fazio, M., Inturri, G. ve Ignaccolo, M. (2022). Modelling the dynamics of fragmented vs. consolidated last-mile e-commerce deliveries via an agent-based model. *Transportation Research Procedia*, 62, 155-162.
- California HVIP . Erişim: 01.05.2022 <https://californiahvip.org/vehicles/sea-nqr-ev-on-isuzu-nqr-with-sea-drive-power-system/>
- Carotenuto, P., Ceccato, R., Gastaldi, M., Giordani, S., Rossi, R. ve Salvatore, A. (2022). Comparing home and parcel lockers' delivery systems: A math-heuristic approach. *Transportation Research Procedia*, 62, 91-98.
- Catapang, J. K. ve Solano, G. A. (2021). A Floyd-Warshall-Based Reoptimization of Q Matrix on the Single DVRPPD with On-Demand Cancellations. *2021 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)* (s. 172-177). IEEE.
- Cavailhès, J., Gagné, C., Tabuchi, T., ve Thisse, J.-F. (2007). Trade and the Structure of Cities. *Journal of Urban Economics*, 383–404.
- Chang, Y. (1998). Logistical Management. *Hwa-Tai Bookstore Ltd., Tayvan.*
- Chartered Institute of Logistics and Transport (UK). (2012). Erişim: 02.01.2022 <http://www.ciltuk.org.uk/pages/home>
- Che, Z., Chiang, T., ve Luo, Y. (2022). Multiobjective Optimization for Planning the Service Areas of Smart Parcel Locker Facilities in Logistics Last Mile Delivery. *Mathematics*, 10(3), 422.
- Christopher, M. L. (1992). *Logistics and Supply Chain Management*. Londra: Pitman Publishing.
- Coase, R. (1937). The Nature of the Firm. *Economica*, 4(16), 386-405.
- Crowell, J. f. (1901). *Report of the Industrial Commission on the Distribution of Farm Product* . Washington, DC: Government Printing Office.
- Cruijen, F. (2006). *Horizontal Cooperation in Transport and Logistics* . Doktora Tezi, Universiteit van Tilburg, Hollanda.

- CSCMP. (2013). *Supply Chain Management Definitions and Glossary*. [https://cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms/CSC](https://cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSC)
- Çetin, M. ve Kök, R. (2015). Askerî Devrim Bağlamında Batı Savaş Lojistiğinin Tarihsel Gelişimi. *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 3(4), 1-25.
- Dahmardeh, M., Telhada, J., Carvalho, M. S. ve Paisana, A. (2018). Urban Logistics: A Systematic Literature Review. *7th International Conference on Industrial Technology and Management*, (s. 279-283).
- Dantzig, G. B. ve Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 80-91.
- Deutsch, Y. ve Golany, B. (2018). A parcel locker network as a solution to the logistics last mile problem. *International Journal of Production Research*, 251–261.
- DiPP-R. (2022). Erişim: 21.08.2021. <https://www.dipp-r.com/>
- Ducret, R. (2014). Parcel deliveries and urban logistics: Changes and challenges in the courier express and parcel sector in Europe—The French case. *Res. Transp. Bus. Manag.*, 15-22.
- Dukkanci, O., Kara, B. Y. ve Bektaş, T. (2019). The green location-routing problem. *Computers and Operations Research*, 187–202.
- Durand, B. ve Gonzalez-Feliu, J. (2012). Urban logistics and e-grocery: Have proximity delivery services a positive impact on shopping trips?. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 510-520.
- Dünder, H., Ömürgönülşen, M. ve Soysal, M. (2021). A review on sustainable urban vehicle routing. *Journal of Cleaner Production*, 285, 125444.
- Dünder, H., Soysal, M. ve Ömürgönülşen, M. (2022). A green dynamic TSP with detailed road gradient dependent fuel consumption estimation. *Computers ve Industrial Engineering*, 108024.
- E-Marketer. (2022). *Global Ecommerce Forecast 2022*. <https://www.emarketer.com/content/global-ecommerce-forecast-2022>



- Enthoven, D. L., Jargalsaikhan, B., Roodbergen, K. J., uit het Broek, M. A. ve Schrottenboer, A. H. (2020). The two-echelon vehicle routing problem with covering options: City logistics with cargo bikes and parcel lockers. *Computers ve Operations Research*.
- Ferrell, W., Ellis, K., Kaminsky, P. ve Rainwater, C. (2020). Horizontal collaboration: opportunities for improved logistics planning. *International Journal of Production Research*, 4267-4284.
- Gevaers, R., Van de Voorde, E. ve Vanelslander, T. (2011). Characteristics and Typology of Last-mile Logistics from an Innovation Perspective in an Urban Context. In *City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives* (pp. 56–71). Edward Elgar Publishing.
- Gevaers, R., Van de Voorde, E. ve Vanelslander, T. (2014). Cost Modelling and Simulation of Last-Mile Characteristics in an Innovative B2C Supply Chain Environment with Implications on Urban Areas and Cities. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 398–411.
- Ghiani, G., Laporte, G. ve Musmanno, R. (2013). *Introduction to logistics systems management*. John Wiley ve Sons.
- Graham, L. ( 2011). *Transport Collaboration in Europe*. ProLogis Corporate.
- Gudehuss, T. ve Kotzab, H. (2009). *Comprehensive Logistics*. Berlin: Springer.
- Hauder, V., Karder, J., Beham, A., Wagner, S. ve Affenzeller, M. (2018). A general solution approach for the location routing problem. In R. Moreno-Díaz, F. Pichler, ve A. Quesada-Arencibia, *Computer Aided Systems Theory. EUROCAST 2017*.
- Heskett, J. L., Glaskowsky, N. A. ve Ivie, R. M. (1973). *Business Logistics: Physical Distribution and Materials Management*. Ronald Press Company.
- International Trade Administration (ITA). (2022). *eCommerce Sales ve Size Forecast*. <https://www.trade.gov/e-commerce-sales-size-forecast>
- Iwan, S., Kijewska, K. ve 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., Merchán, D. ve Winkenbach, M. (2021). Designing multi-tier, multi-service-level, and multi-modal last-mile distribution networks for omni-channel operations. *European Journal of Operational Research*, 1059-1077.

- Janjevic, M., Winkenbach, M. ve 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*, 37-67.
- Ji, S.F., Luo, R.J. ve Peng, X.S. (2019). A probability guided evolutionary algorithm for multi-objective green express cabinet assignment in urban last-mile logistics. *International Journal of Production Research*.
- Jiang, L., Chang, H., Zhao, S., Dong, J. ve Lu, W. (2019). A Travelling Salesman Problem With Carbon Emission Reduction in the Last Mile Delivery. *Special Section on Urban Computing and Intelligence*.
- Jiang, L., Zang, X., Dong, J. ve Liang, C. (2021). A covering traveling salesman problem with profit in the last mile delivery. *Optimization Letters*, 1-19.
- Kämäräinen, V. (2001). The Reception Box Impact on Home Delivery Efficiency in the E-Grocery Business. *International Journal of Physical Distribution ve Logistics Management*, 414–426.
- Kedia, A., Kusumastuti, D. ve Nicholson, A. (2017). Acceptability of Collection and Delivery Points from consumers' perspective: A qualitative case study of Christchurch city. *Case Stud. Transp. Policy*, 587–595.
- Kedia, A., Kusumastuti, D. ve Nicholson, A. (2019). Establishing Collection and Delivery Points to Encourage the Use of Active Transport: A Case Study in New Zealand Using a Consumer-Centric Approach. *Sustainability*.
- Kedia, A., Kusumastuti, D. ve Nicholson, A. (2020). Locating collection and delivery points for goods' last-mile travel: A case study in New Zealand. *Transportation Research Procedia* 46.
- Keskin, H. (2018). *Lojistik Tedarik Zinciri Yönetimi (geçmişi, değişimi, bugünü, tarihi)*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kioulos, V., Nathanail, E. ve Karakikes, I. (2018). Assessing Traffic and Environmental Impacts of Smart Lockers Logistics Measure in a Medium-Sized Municipality of Athens. *In The 4th conference on sustainable urban mobility* (s. 614-621). Cham: Springer.
- Koç, Ç., Bektaş, Ç., Jabali, O. ve Laporte, G. (2016). The impact of depot location, fleet composition and routing on emissions in city logistics. *Transportation Research Part B: Methodological*, 81-102.

- Koppers, L. Z. (2008). Social production factors in supply chain cooperations. *Proceedings of the 15th International Working Seminar on Production Economics*, (s. 363–374). Innsbruck.
- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P. ve Malhotra, M. K. (2010). *Operations management: Processes and supply chains*. New Jersey: Pearson.
- Lachapelle, U., Burke, M., Brotherton, A. ve Leung, A. (2018). Parcel locker systems in a car dominant city: Location, characterisation and potential impacts on city planning and consumer travel access. *J. Transp. Geogr.*, 1-14.
- Lambert, D., Emmelhainz, M. ve Gardner, J. (1999). Building Successful Logistics Partnership. *Journal of Business Logistics*, 165-181.
- Lee, H., Chen, M., Pham, H. T. ve Choo, S. (2019). Development of a Decision Making System for Installing Unmanned Parcel Lockers: Focusing on Residential Complexes in Korea. *Journal of Civil Engineering*.
- Lemke, J., Iwan, S. ve Korczak, J. (2016). Usability of the Parcel Lockers from the Customer Perspective: The Research in Polish Cities. *Transportation Research Procedia* 16, 272–287.
- Leng, L., Zhao, Y., Wang, Z., Wang, H. ve Zhang, J. (2018). Shared mechanism-based self-adaptive hyperheuristic for regional low-carbon location-routing problem with time window. *Mathematical Problems in Engineering*.
- Leng, L., Zhao, Y., Zhang, J. ve Zhang, C. (2019). An effective approach for the multiobjective regional low-carbon location-routing problem. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Léonardi, J. ve Baumgartner, M. (2004). CO2 efficiency in road freight transportation: Status quo, measures and potential. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 9, 451–464.
- Lin, Y. H., Wang, Y., He, D. ve Lee, L. H. (2020). Last-mile delivery: Optimal locker location under multinomial logit choice model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.
- Lin, Y., Wang, Y., Lee, L. H. ve Chew, E. P. (2022). Profit-maximizing parcel locker location problem under threshold Luce model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.

- Liu, D., Deng, Z., Zhang, W., Wang, Y. ve Kaisar, E. I. (2021). Design of sustainable urban electronic grocery distribution network. *Alexandria Engineering Journal*, 145-157.
- Lorig, F., Johansson, E., Davidsson, P. ve Persson, J. A. (2021). A Simulation Study on Electric Last Mile Delivery with Mobile Smart Cargo Boxes. *9th ASIM Dedicated Conference on Simulation in Production und Logistics*, (s. 177-186).
- Luo, R., Ji, S. ve Ji, Y. (2022). An active-learning Pareto evolutionary algorithm for parcel locker network design considering accessibility of customers. *Computers and Operations Research*.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D. ve Zacharia, Z. G. (2001). Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, 1-25.
- Meyer, D. (2011, March 28). *Toronto Sustainability Speakers Series* .  
<https://tsss.ca/uncategorized/collaborative-competition-sustainability-the-21st-century-supply-chain-solution>
- Mohamed, E. ve Ndiaye, M. (2018). Optimal Routing and Scheduling in E-Commerce Logistics Using Crowdsourcing Strategies. *2018 7th International Conference on Industrial Technology and Management* (s. 248-253). IEEE.
- Mucowska, M. (2021). Trends of Environmentally Sustainable Solutions of Urban Last-Mile Deliveries on the E-CommerceMarket—A Literature Review. *Sustainability*.
- Murphy, P. R. ve Wood, J. D. (2004). *Contemporary Logistics*. Prentice Hall.
- Nahmias, S. ve Olsen, T. L. (2015). *Production and operations analysis*. Waveland Press.
- Nasrollahi, M., Razmi, J. ve Ghodsi, R. (2018). A computational method for measuring transport related carbon emissions in a healthcare supply network under mixed uncertainty: An empirical study. *Promet-TrafficveTransportation*, 693–708.
- Neghabadi, P. D., Samuel, K. E. ve Espinouse, M.-L. (2019). Systematic literature review on city logistics: overview, classification and analysis. *International Journal of Production Research*, 865–887.

- Oliveira, L. K., Oliveira, R. L., Sousa, L. T., Caliari, I. D. ve Nascimento, C. D. (2019). Analysis of accessibility from collection and delivery points: Towards the sustainability of the e-commerce delivery. . *Revista Brasileira de Gestão Urbana*.
- Oliveira, W. J. ve Dos Santos, A. G. (2020). Last Mile Delivery with Lockers: Formulation and Heuristic. *In Proceedings of the 22nd International Conference on Enterprise Information Systems* (s. 460-467). Scitepress.
- Olsson, J., Hellström, D. ve Pålsson, H. (2019). Framework of Last Mile Logistics Research: A Systematic Review of the Literature. *Sustainability*.
- Orenstein, I., Raviv, T. ve Sadan, E. (2019). Flexible parcel delivery to automated parcel lockers: models, solution methods and analysis. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 683-711.
- Özcan, S. (2008). Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelerde Lojistik Yönetiminin Önemi/The Importance of Logistics Management in Small And Medium Sized Enterprises. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 275-300.
- Palmer, A., Slikker, M., De Kok, T., Ballot, E., Pan, S., Herrero, D., ve diğerleri (2013). *Development of collaborative business models*. CO3 european project commission.
- Pan, S., Ballot, E., Fontane, F. ve Hakimi, D. (2012.). Environmental and economic issues arising from the pooling of smes' supply chains: case study of the food industry in western france. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 1-27.
- Pan, S., Zhang, L., Thompson, R. G. ve Ghaderi, H. (2021). A parcel network flow approach for joint delivery networks using parcel lockers. *International Journal of Production Research*, 2090-2115.
- Penrose, E. (1959). *The Theory of the Growth of the Firm*. London: Billing ve Sons.
- Perreaul, W. ve Russ, F. (1974). Physical Distribution Service-Neglected Aspect of Marketing Management. *MSU Business Topics*, 37-45.
- Pomponi, F., Fratocchi, L., Tafuri, S. R. ve Palumbo, M. (2013). Horizontal Collaboration in Logistics: A Comprehensive Framework. *Research in Logistics and Production* , 243-254.

- Prandtstetter, M., Seragiotto, C., Braith, J., Eitler, S., Ennser, B., Hauger, G. ve Steinbauer, M. (2021). On the Impact of Open Parcel Lockers on Traffic. *Sustainability*.
- Punakivi, M. ve Tanskanen, K. (2002). Increasing the cost efficiency of e-fulfillment using shared reception box . *International Journal of Retail ve Distribution Management*.
- Punakivi, M., Yrjöla, H. ve Holmström, J. (2001). Solving the Last Mile Issue: Reception Box or Delivery Box?. *International Journal of Physical Distribution ve Logistics Management*, 427-439.
- Qin, Y., Mao, H. ve Li, Y. (2014). Optimizing Method of Express Delivery Network and Vehicle Routes Based on Automatic Parcel Machine. *Applied Mechanics and Materials*.
- Rabe, M., Gonzalez-Feliu, J., Chicaiza-Vaca, J. ve Tordecilla, R. D. (2021). Simulation-Optimization Approach for Multi-Period Facility Location Problems with Forecasted and Random Demands in a Last-Mile Logistics Application. *Algorithms*.
- Ranieri, L., Digiesi, S., Silvestri, B. ve Roccotelli, M. (2018). A Review of Last Mile Logistics Innovations in an Externalities Cost Reduction Vision. *Sustainability*.
- Rautela, H., Janjevic, M. ve Winkenbach, M. (2021). Investigating the financial impact of collection-and-delivery points in last-mile E-commerce distribution. *Research in Transportation Business ve Management*.
- Redi, A. A., Jewpanya, P., Kurniawan, A. C., Persada, S. F., Nadlifatin, R. ve Dewi, O. A. (2020). A Simulated Annealing Algorithm for Solving Two-Echelon Vehicle Routing Problem with Locker Facilities. *Algorithms*.
- Rushton, A., Croucher, P. ve Baker, P. (2021). *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain*. Kogan Page Publishers.
- Schaefer, J. S. ve Figliozzi, M. A. (2021). Spatial accessibility and equity analysis of Amazon parcel lockers facilities. *Journal of Transport Geography*.
- Schnieder, M., Hinde, C. ve West, A. (2021). Combining Parcel Lockers with Staffed Collection and Delivery Points: An Optimization Case Study Using Real Parcel Delivery Data (London, UK). *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*.

- Schwerdfeger, S. ve Boysen, N. (2020). Optimizing the changing locations of mobile parcel lockers in last-mile distribution. *European Journal of Operational Research*, 1077-1094.
- Sea-Electric. (2022). *SEA ISUZU FRR EV*. Erişim: 01.05.2022 <https://www.sea-electric.com/products/frr-ev/>
- Serrano-Hernandez, A., Martinez-Abad, S., Ballano, A., Faulin, J., Rabe, M. ve Chicaiza-Vaca, J. (2021). A Hybrid Modeling Approach for Automated Parcel Lockers as a Last-Mile Delivery Scheme: A Case Study in Pamplona (Spain). *2021 Winter Simulation Conference* (s. 1-12). IEEE.
- Simatupang, T. ve Sridharan, R. (2002). The Collaborative Supply Chain. *International Journal of Logistics Management*, 15-30.
- Sitek, P. ve Wikarek, J. (2019). Capacitated vehicle routing problem with pick-up and alternative delivery (CVRPPAD): model and implementation using hybrid approach. *Annals of Operations Research*, 257-277.
- Sitek, P., Wikarek, J., Rutczyńska-Wdowiak, K., Bocewicz, G., ve Banaszak, Z. (2021). Optimization of capacitated vehicle routing problem with alternative delivery, pick-up and time windows: A modified hybrid approach. *Neurocomputing*, 670-678.
- Song, L., Cherrett, T., McLeod, F. ve Guan, W. (2009). Addressing the Last Mile Problem : Transport Impacts of Collection and Delivery Points. *Journal of the Transportation Research Board*.
- Soysal, M., Belbağ, S., ve Sel, Ç. (2021). A closed vendor managed inventory system under a mixed fleet of electric and conventional vehicles. *Computers ve Industrial Engineering*.
- Soysal, M. ve Bloemhof-Ruwaard, J. M. (2017). Toward sustainable logistics. In *Sustainable Logistics and Transportation* (s. 1-17). Springer, Cham
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., ve van der Vorst, J. G. (2018). Modeling a green inventory routing problem for perishable products with horizontal collaboration. *Computers and Operations Research*, 168-182.
- Soysal, M., Çimen, M. ve Belbağ, S. (2020). Pickup and delivery with electric vehicles under stochastic battery depletion. *Computers & Industrial Engineering*, 146, 106512.

- Statista. (2020). *Retail e-commerce sales worldwide from 2014 to 2021 (in billion u.s. dollars)*. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/379046/worldwide-retail-e-commerce-sales/>
- Statista. (2021a). <https://www.statista.com/statistics/660142/transportation-and-logistics-most-outsourced-services/>
- Statista. (2021b). *Global retail e-commerce sales 2014-2024*. Erişim: 03.03.2022 <https://www.statista.com/statistics/379046/worldwide-retail-e-commerce-sales/>
- Stock, J. R. ve Lambert, D. M. (2001). *Strategic Logistics Management*. McGraw Hill.
- Taniguchi, E., Thompson, R. G. ve Yamada, T. (1999). *Modelling City Logistics. International Conference on City Logistics*. Queensland.
- Temiz, S. (2021). *İnsani yardım lojistiğinde tesis yer seçimi ve rotalama problemi için bir matematiksel model önerisi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Torrentellé, M., Tsamboulas, D. ve Moraiti, P. (2012). *Elicitation of the Good Practices on Urban Freight Transport*. C-LIEGE.
- United Nation (UN). (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. New York: United Nations.
- Van Duin, J. R., Wiegmans, B. W., Van Arem, B. ve Van Amstel, Y. (2020). From home delivery to parcel lockers: a case study in Amsterdam. *Transportation Research Procedia*.
- Van Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 475-489.
- Verdonck, L. (2017). *Collaborative Logistics from the Perspective of Freight Transport Companies*. PhD Thesis: Hasselt University.
- Verstrepen, S., Cools, M., Cruijssen, F. ve Dullaert, W. (2009). A dynamic framework for managing horizontal cooperation in logistics. *International Journal of Logistics Systems and Management*.
- Visser, L. (2007). *Logistics Collaboration between Shippers and Logistics Service Providers*. Technical Report: Fontys University of Applied Sciences.



- Von Boventer, E. (1961). The relationship between transportation costs and location rent in transportation problems. *Journal of Regional Science*, 27-40.
- Wang, C., Wang, Z., Tian, Y., ve Zhang, X. (2021). A Dual-Population Based Evolutionary Algorithm for Multi-Objective Location Problem Under Uncertainty of Facilities. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*.
- Wang, X., Zhan, L., Ruan, J., ve Zhang, J. (2014). How to Choose “Last Mile” Delivery Modes for E-Fulfillment. *Mathematical Problems in Engineering*.
- Wang, Y., Bi, M. ve A, C. Y. (2020a). A Scheduling Strategy of Mobile Parcel Lockers for The Last Mile Delivery Problem. *Promet-TrafficveTransportation*, 875-885.
- Wang, Y., Bi, M., Lai, J. ve Chen, Y. (2020b). Locating Movable Parcel Lockers under Stochastic Demands. *Symmetry*.
- Wang, Y., Zhang, D., Liu, Q., Shen, F. ve Lee, L. H. (2016). Towards enhancing the last-mile delivery: an effective crowdtasking model with scalable solutions. *Transportation Research Part E*, 279-293.
- Waters, D. (2003). *Logistics An Introduction to Supply Chain Management*. New York: Palgrave MacMillan.
- Williamson, O. (1985). *The Economic Institutions of Capitalism*. New York: The Free Press.
- World Economic Forum . (2020). *The Future of the Last-Mile Ecosystem*. Geneva: World Economic Forum.
- Xu, X. (2013). *Collaboration Mechanism in the Horizontal Logistics Collaboration*. Doktora Tezi, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris.
- Yang, G., Huang, Y., Fu, Y., Huang, B., Sheng, S., Mao, L. ve Yin, Q. (2020). Parcel Locker Location Based on a Bilevel Programming Model. *Mathematical Problems in Engineering*.
- Yang, Y., Zhu, J., Huang, H. ve Li, Y. (2021). A Simulated Annealing Genetic Algorithm for Logistics Distribution Problem in Community Scenario. *24th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design* (s. 708-713). IEEE.

- Yu, V. F., Susanto, H., Jodiawan, P., Ho, T. W., Lin, S. W. ve Huang, Y. T. (2022a). A Simulated Annealing Algorithm for the Vehicle Routing Problem With Parcel Lockers. *IEEE Access*, 20764-20782.
- Yu, V., Susanto, H., Yeh, Y., Lin, S. ve Huang, Y. (2022b). The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery and Parcel Lockers. *Mathematics*.
- Yu, Y., Lian, F. ve Yang, Z. (2021). Pricing of parcel locker service in urban logistics by a TSP model of last-mile delivery. *Transport Policy*, 206-214.
- Zeng, W., Xia, Y. ve Qi, M. (2021). Truck Departure Optimization from Distribution Center to Parcel Locker with Stochastic Demand Arrival. *2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (s. 683-687). IEEE.
- Zhang, C., Zhao, Y. ve Leng, L. (2020). A hyper-heuristic algorithm for time-dependent green location routing problem with time windows. *IEEE Access*.
- Zhang, S. Z. ve Lee, C. K. (2016). Flexible Vehicle Scheduling for Urban Last Mile Logistics: The Emerging Technology of Shared Reception Box. *IEEE*.
- Zhao, K., Su, S., Huang, H. ve Zhu, J. (2019). Logistics scheduling for UAV based on tabu search algorithm. *20th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT)* (s. 455-460). IEEE.

## EK 1. SENARYO ANALİZLERİ SONUCU ELDE EDİLEN KARGO DOLABI DOLULUK ORANLARI

**Tablo 62.** Birinci Şirket için Mobil Kargo Dolaplarının Doluluk Oranları

| Mobil Kargo Dolabı | Kargo Boyutuna Göre Kargo Dolabı Kapasitesi |    | Dolaba Yüklenen Kargo Miktarı | Doluluk Oranı(%) |
|--------------------|---|----|-------------------------------|------------------|
| S2                 | En küçük                                    | 20 | 17                            | 85               |
|                    | Küçük                                       | 25 | 22                            | 88               |
|                    | Büyük                                       | 25 | 24                            | 96               |
|                    | En Büyük                                    | 30 | 18                            | 60               |
| S1                 | En küçük                                    | 30 | 23                            | 77               |
|                    | Küçük                                       | 30 | 29                            | 97               |
|                    | Büyük                                       | 30 | 28                            | 93               |
|                    | En Büyük                                    | 30 | 29                            | 97               |

**Tablo 63.** İkinci Şirket için Mobil Kargo Dolaplarının Doluluk Oranları

| Mobil Kargo Dolabı | Kargo Boyutuna Göre Kargo Dolabı Kapasitesi |    | Dolaba Yüklenen Kargo Miktarı | Doluluk Oranı(%) |
|--------------------|---|----|-------------------------------|------------------|
| S2                 | En küçük                                    | 20 | 16                            | 80               |
|                    | Küçük                                       | 25 | 17                            | 68               |
|                    | Büyük                                       | 25 | 24                            | 96               |
|                    | En Büyük                                    | 30 | 24                            | 80               |
| S1                 | En küçük                                    | 30 | 23                            | 77               |
|                    | Küçük                                       | 30 | 22                            | 73               |
|                    | Büyük                                       | 30 | 25                            | 83               |
|                    | En Büyük                                    | 30 | 21                            | 70               |

**Tablo 64.** Üçüncü Şirket için Mobil Kargo Dolaplarının Doluluk Oranları

| Mobil Kargo Dolabı | Kargo Boyutuna Göre Kargo Dolabı Kapasitesi | Dolaba Yüklenen Kargo Miktarı | Doluluk Oranı(%) |    |
|--------------------|---|-------------------------------|------------------|----|
| S2                 | En küçük                                    | 20                            | 15               | 75 |
|                    | Küçük                                       | 25                            | 17               | 68 |
|                    | Büyük                                       | 25                            | 18               | 72 |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 19               | 63 |
| S1                 | En küçük                                    | 30                            | 22               | 73 |
|                    | Küçük                                       | 30                            | 24               | 80 |
|                    | Büyük                                       | 30                            | 22               | 73 |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 24               | 80 |

**Tablo 65.** Üçlü Yatay İşbirliklerinde Depo1'in Ana Depo Olarak Kullanıldığı Senaryo İçin Mobil Kargo Dolaplarının Doluluk Oranları

| Mobil Kargo Dolabı | Kargo Boyutuna Göre Kargo Dolabı Kapasitesi | Dolaba Yüklenen Kargo Miktarı | Doluluk Oranı(%) |     |
|--------------------|---|-------------------------------|------------------|-----|
| S1                 | En küçük                                    | 30                            | 30               | 100 |
|                    | Küçük                                       | 30                            | 30               | 100 |
|                    | Büyük                                       | 30                            | 23               | 77  |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 30               | 100 |
| S2                 | En küçük                                    | 20                            | 15               | 75  |
|                    | Küçük                                       | 25                            | 17               | 68  |
|                    | Büyük                                       | 25                            | 18               | 72  |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 19               | 63  |
| S4                 | En küçük                                    | 30                            | 25               | 83  |
|                    | Küçük                                       | 30                            | 23               | 77  |
|                    | Büyük                                       | 30                            | 28               | 93  |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 22               | 73  |
| S5                 | En küçük                                    | 20                            | 14               | 70  |
|                    | Küçük                                       | 25                            | 14               | 56  |
|                    | Büyük                                       | 25                            | 24               | 96  |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 16               | 53  |
| S7                 | En küçük                                    | 30                            | 21               | 70  |
|                    | Küçük                                       | 30                            | 29               | 97  |
|                    | Büyük                                       | 30                            | 27               | 90  |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 20               | 67  |
| S8                 | En küçük                                    | 20                            | 11               | 55  |
|                    | Küçük                                       | 25                            | 16               | 64  |
|                    | Büyük                                       | 25                            | 25               | 100 |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 28               | 93  |


**Tablo 66.** Üçlü Yatay İşbirliklerinde Depo2'nin Ana Depo Olarak Kullanıldığı Senaryo İçin Mobil Kargo Dolaplarının Doluluk Oranları

| Mobil Kargo Dolabı | Kargo Boyutuna Göre Kargo Dolabı Kapasitesi | Dolaba Yüklenen Kargo Miktarı | Doluluk Oranı(%) |     |
|--------------------|---|-------------------------------|------------------|-----|
| S1                 | En küçük                                    | 30                            | 28               | 93  |
|                    | Küçük                                       | 30                            | 30               | 100 |
|                    | Büyük                                       | 30                            | 30               | 100 |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 21               | 70  |
| S2                 | En küçük                                    | 20                            | 15               | 75  |
|                    | Küçük                                       | 25                            | 17               | 68  |
|                    | Büyük                                       | 25                            | 18               | 72  |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 19               | 63  |
| S4                 | En küçük                                    | 30                            | 25               | 83  |
|                    | Küçük                                       | 30                            | 23               | 77  |
|                    | Büyük                                       | 30                            | 28               | 93  |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 22               | 73  |
| S5                 | En küçük                                    | 20                            | 11               | 55  |
|                    | Küçük                                       | 25                            | 16               | 64  |
|                    | Büyük                                       | 25                            | 25               | 100 |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 28               | 93  |
| S7                 | En küçük                                    | 30                            | 23               | 77  |
|                    | Küçük                                       | 30                            | 30               | 100 |
|                    | Büyük                                       | 30                            | 30               | 100 |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 30               | 100 |
| S8                 | En küçük                                    | 20                            | 14               | 70  |
|                    | Küçük                                       | 25                            | 13               | 52  |
|                    | Büyük                                       | 25                            | 14               | 56  |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 15               | 50  |

**Tablo 67.** Üçlü Yatay İşbirliklerinde Depo3'ün Ana Depo Olarak Kullanıldığı Senaryo İçin Mobil Kargo Dolaplarının Doluluk Oranları

| Mobil Kargo Dolabı | Kargo Boyutuna Göre Kargo Dolabı Kapasitesi | Dolaba Yüklenen Kargo Miktarı | Doluluk Oranı(%) |     |
|--------------------|---|-------------------------------|------------------|-----|
| S1                 | En küçük                                    | 30                            | 29               | 97  |
|                    | Küçük                                       | 30                            | 26               | 87  |
|                    | Büyük                                       | 30                            | 30               | 100 |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 25               | 83  |
| S2                 | En küçük                                    | 20                            | 10               | 50  |
|                    | Küçük                                       | 25                            | 25               | 100 |
|                    | Büyük                                       | 25                            | 19               | 76  |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 15               | 50  |
| S4                 | En küçük                                    | 30                            | 25               | 83  |
|                    | Küçük                                       | 30                            | 23               | 77  |
|                    | Büyük                                       | 30                            | 26               | 87  |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 24               | 80  |
| S5                 | En küçük                                    | 20                            | 15               | 75  |
|                    | Küçük                                       | 25                            | 17               | 68  |
|                    | Büyük                                       | 25                            | 18               | 72  |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 19               | 63  |
| S7                 | En küçük                                    | 30                            | 25               | 83  |
|                    | Küçük                                       | 30                            | 20               | 67  |
|                    | Büyük                                       | 30                            | 28               | 93  |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 28               | 93  |
| S8                 | En küçük                                    | 20                            | 12               | 60  |
|                    | Küçük                                       | 25                            | 18               | 72  |
|                    | Büyük                                       | 25                            | 24               | 96  |
|                    | En Büyük                                    | 30                            | 24               | 80  |

## EK 2. ORJİNALLİK FORMU

|  |
|--|
|  <p><b>HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ</b><br/><b>SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ</b><br/><b>YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU</b></p>   |
| <p><b>HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ</b><br/><b>SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ</b><br/><b>İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA</b></p> <p style="text-align: right;">Tarih: 23/06/2022</p> <p>Tez Başlığı: YATAY İŞBİRLİĞİ ALTINDA SON MİL TAŞIMACILIKTA KULLANILAN MOBİL KARGO DOLAPLARI YER SEÇİMİ VE ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ</p> <p>Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 115 sayfalık kısmına ilişkin, 23/06/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 9'dur.</p> <p>Uygulanan filtrelemeler:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1- <input type="checkbox"/> Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç</li> <li>2- <input checked="" type="checkbox"/> Kaynakça hariç</li> <li>3- <input checked="" type="checkbox"/> Alıntılar hariç</li> <li>4- <input type="checkbox"/> Alıntılar dâhil</li> <li>5- <input checked="" type="checkbox"/> 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç</li> </ol> <p>Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'm inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.</p> <p>Gereğini saygılarımla arz ederim.</p> <p style="text-align: right;">Tarih ve İmza</p> <p><b>Adı Soyadı:</b> Simay Göksu KORKMAZ</p> <p><b>Öğrenci No:</b> N20136257</p> <p><b>Anabilim Dalı:</b> İşletme</p> <p><b>Programı:</b> Üretim ve İşlemler Yönetimi Tezli Yüksek Lisans</p> |
| <p><b><u>DANIŞMAN ONAYI</u></b></p> <p>UYGUNDUR.</p> <p>_____<br/>Doç. Dr. Mehmet SOYSAL</p>   |

## EK 3. ETİK KURUL MUAFİYET FORMU



**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
TEZ ÇALIŞMASI ETİK KOMİSYON MUAFİYETİ FORMU**

**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA**

Tarih: 23/06/2022

Tez Başlığı: YATAY İŞBİRLİĞİ ALTINDA SON MİL TAŞIMACILIKTA KULLANILAN MOBİL KARGO DOLAPLARI YER SEÇİMİ VE ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmam:

1. İnsan ve hayvan üzerinde deney niteliği taşımamaktadır,
2. Biyolojik materyal (kan, idrar vb. biyolojik sıvılar ve numuneler) kullanılmasını gerektirmemektedir.
3. Beden bütünlüğüne müdahale içermemektedir.
4. Gözlemsel ve betimsel araştırma (anket, mülakat, ölçek/skala çalışmaları, dosya taramaları, veri kaynakları taraması, sistem-model geliştirme çalışmaları) niteliğinde değildir.

Hacettepe Üniversitesi Etik Kurulları ve Komisyonlarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre tez çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kurul/Komisyon'dan izin alınmasına gerek olmadığını; aksi durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

**Adı Soyadı:** Simay Gökse KORKMAZ

**Öğrenci No:** N20136257

**Anabilim Dalı:** İşletme

**Programı:** Üretim ve İşlemler Yönetimi

**Statüsü:**  Yüksek Lisans  Doktora  Bütünleşik Doktora

### DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI

Doç. Dr. Mehmet SOYSAL

Detaylı Bilgi: <http://www.sosyalbilimler.hacettepe.edu.tr>

Telefon: 0-312-2976860

Faks: 0-3122992147

E-posta: [sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr](mailto:sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr)