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

DİKEY LOJİSTİK İŞBİRLİĞİ VARSAYIMIYLA BİR SÜRDÜRÜLEBİLİR ARAÇ ATAMA PROBLEMİ İÇİN TAM SAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI

Damla BENLİ

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2022

DİKEY LOJİSTİK İŞBİRLİĞİ VARSAYIMIYLA BİR SÜRDÜRÜLEBİLİR ARAÇ ATAMA PROBLEMİ İÇİN TAM SAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI

Damla BENLİ

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

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2022

KABUL VE ONAY

Damla BENLİ tarafından, "Dikey Lojistik İşbirliği Varsayımıyla Bir Sürdürülebilir Araç Atama Problemi İçin Tam Sayılı Doğrusal Programlama Yaklaşımı" başlıklı bu çalışma, 1.06.2022 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi. Bülent ÇEKİÇ (Başkan)

Dr. Öğr. Üyesi. Mustafa ÇİMEN (Danışman)

Doç. Dr. Mehmet SOYSAL

Doç. Dr. Sedat BELBAĞ

Dr. Öğr. Üyesi. Çağrı SEL

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

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

01/06/2022

Damla BENLİ

"Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"

*(1) Madde 6.1. Lisansüstü tezle 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 tezlere 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 özgün olduğunu, **Dr. Öğr. Üyesi, Mustafa ÇİMEN** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Damla BENLİ

Canım Anneannem'e

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında benden bilgisini ve vaktini esirgemeyen, motivasyonumu kaybettiğimde desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen, yapabileceğimin en iyisini yapmam konusunda arkamda duran, bana inanan ve güvenen, sadece tez danışmanım olmaktan öte akademik yaşamımın her alanında yaptığı rehberlik, verdiği emek ve sonsuz katkıları için değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİMEN'e,

Bu tez çalışmam başta olmak üzere yaptığım diğer çalışmalarda da çok büyük katkıları olan, bilgisiyle, tecrübesiyle ve fikirleriyle çalışmalarım boyunca bana ışık tutan ve yol gösteren sayın hocam Doç. Dr. Mehmet SOYSAL'a,

Yüksek lisansa beraber başladığım, birlikte çalışmaktan keyif aldığım, bu sürecin tüm stresini, heyecanını ve mutluluğunu ortak yaşadığım, beni en iyi anlayan ve her türlü desteğiyle tüm aşamaları kolaylaştıran kader arkadaşım Merve İBİŞ'e,

Hangi konuda olursa olsun ne zaman kapısını çalsam hiçbir zaman beni geri çevirmeyen, her zaman bana yardımcı olmak için uğraşan, yıllardır tüm sıkıntılarımı paylaştığım en yakın arkadaşım Canberk GAZİOĞLU'na,

Her zaman olduğu gibi bu süreçte de güçlü kalmamı sağlayan, dertlerimi ve sevinçlerimi paylaştığım, hayatımın hiçbir aşamasını onlarsız hayal edemediğim canım abim Onur TOPRAK'a ve teyzem Ayşe Filiz TOPRAK'a,

Hayatım boyunca attığım her adımda ve aldığım tüm kararlarda beni destekleyen, bu süreci benimle birlikte yaşayan, en az benim kadar yorulan, her düştüğümde beni kaldıran ve bana güç veren, haklarını asla ödeyemeyeceğim biricik annem Yıldız BENLİ'ye ve babam Nuri BENLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

BENLİ, Damla. *Dikey Lojistik İşbirliği Varsayımıyla Bir Sürdürülebilir Araç Atama Problemi İçin Tam Sayılı Doğrusal Programlama Yaklaşımı* Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2022.

Üretim ve tüketimin geniş coğrafyalara yayılması ve uluslararası ticaretin gelişmesi ile lojistik operasyonların önemi işletmeler için giderek artmaktadır. Bu doğrultuda, müşterilerin taleplerine hızlı ve ekonomik cevap vererek rekabet avantajını sağlayabilmek için işletmelerin ilgili lojistik operasyonlarını etkin ve verimli bir şekilde planlanması gerekmektedir. Ayrıca, çevresel ve sosyal sorunlara karşı artan farkındalık, lojistik operasyonlarının planlaması yapılırken sürdürülebilirlik boyutlarının da değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Öte yandan, operasyon planlamaları yapılırken müşteriler ile gerçekleştirilen işbirliği, hem taşımacılık faaliyetlerinin verimliliğini hem de müşteri memnuniyetini arttırarak işletmelerin rekabet avantajına ve kârlılıklarına katkı sağlama potansiyaline sahiptir. Bununla birlikte işbirliği yaklaşımının araç kullanım oranını iyileştirmesi; daha az emisyon üretimi, daha az yakıt maliyeti ve daha fazla kâr marjı sağlaması, müşteri ve çalışan memnuniyetini arttırması ile işletmelerin sürdürülebilirliğin ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarındaki performansına katkısı olan lojistik operasyonlar gerçekleştirmesine olanak tanımaktadır. Bu tez çalışmasının amacı, lojistik sektöründe faaliyet gösteren firmalara bir karar destek modeli önerisi sunmaktır. Bu doğrultuda, dikey işbirliği varsayımı altında ele alınan sürdürülebilir araç tahsis problemi için karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Önerilen matematiksel model kullanılarak kâr maksimizasyonunun sağlanması, ve dikey lojistik işbirliği varsayımının taşımacılık operasyonları performansına ve sürdürülebilirliğin üç boyutuna etkilerinin incelenmesi hedeflenmektedir. Model homojen araç filo yapısını ve deterministik müşteri taleplerini dikkate almaktadır. Modelin doğruluğu ve uygulanabilirliği, gerçek bir lojistik ağı büyüklüğüne en yakın şekilde oluşturulan hipotetik veri setini ele alan örnek olay ve sonrasında yapılan sayısal analizler ile gösterilmektedir. Sayısal analizler, dikey lojistik işbirliğinin hem sistem hem de sürdürülebilirlik performansı üzerindeki pozitif etkiyi ortaya koymaktadır.

Anahtar Sözcükler

Araç Tahsis Problemleri, Sürdürülebilirlik, Dikey Lojistik İşbirliği, Tam Sayılı Doğrusal Programlama

ABSTRACT

BENLİ, Damla. *An Integer Linear Programming Approach for a Sustainable Vehicle Allocation Problem with the Assumption of Vertical Logistics Collaboration* Master of Science Thesis, Ankara, 2022

With the spread of production and consumption around wider locations and the development of international trade, the importance of logistics operations is increasing for businesses. Accordingly, businesses need to plan their related logistics operations effectively and efficiently to provide a competitive advantage by meeting demands of customers faster and economically. Furthermore, increasing awareness of environmental and social problems reveal the necessity of taking into account the sustainability pillars (economic, environmental and social) while planning logistics operations. Besides, collaboration with customers during operation planning increases both the efficiency of transportation activities and customer satisfaction, thus contributing to competitive advantage and profitability of businesses. Additionally, improving vehicle utilization through the logistics collaboration approach enables businesses to carry out logistics operations that contribute to the performance of the three pillars of sustainability by providing less fuel consumption and emissions and more profit margins, and increasing customer/employee satisfaction. This thesis aims to propose a decision support model to businesses operating in the logistics sector. In this direction, an integer linear programming model is proposed for the sustainable vehicle allocation problem, which is considered under the assumption of vertical logistics collaboration. The use of the proposed mathematical model aims to maximize profit, and to examine the effects of vertical logistics collaboration assumption on the performance of transportation operations and the three pillars of sustainability. The model takes into account homogeneous vehicle fleet and deterministic customer demands. The accuracy and applicability of the model are demonstrated by a case study and subsequent numerical analyses that employ a hypothetical data set that is constructed as close to the size of an entire logistics network as possible. Numerical analyses reveal the positive impact of vertical logistics collaboration on system and sustainability

performance.

Keywords

Vehicle Allocation Problems, Sustainability, Vertical Logistics Collaboration, Integer Linear Programming

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY ..... **i**

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI ..... **ii**

ETİK BEYAN ..... **iii**

ADAMA ..... **iv**

TEŞEKKÜR ..... **v**

ÖZET ..... **vi**

ABSTRACT ..... **viii**

İÇİNDEKİLER ..... **x**

KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xiii**

TABLOLAR DİZİNİ ..... **xiv**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xv**

GİRİŞ **1**

1. BÖLÜM: TANIMLAR VE KAVRAMLAR **5**

1.1 TANIMLAR **5**

1.2 İLGİLİ PROBLEM TÜRLERİ VE VARSAYIMLAR **9**

2. BÖLÜM: AKADEMİK YAZINDA YÜK TAŞIMACILIĞI VE ARAÇ TAHSİS PROBLEMLERİ 14

2.1 YÜK TAŞIMACILIĞI 14

2.2 KARAYOLU YÜK TAŞIMACILIĞI 19

2.3 ARAÇ TAHSİS PROBLEMLERİ 20

2.4 ARAÇ TAHSİS PROBLEMLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE İŞBİRLİĞİ ÜZERİNE BİR LİTERATÜR TARAMASI 23

3. BÖLÜM: PROBLEM TANIMI VE BİR MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ 29

4. BÖLÜM: SAYISAL ANALİZLER 35

4.1 ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ 35

4.1.1 Veri Setinin Tanıtılması 36

4.1.2 Örnek Olayın Çözümü ve Analizi 39

4.2 ÖRNEK OLAY ÜZERİNDE SENARYO ANALİZLERİ 43

4.2.1 Dikey Lojistik İşbirliğinde Müşteri Katılım Oranının Sistem Performansına Etkisi 44

4.2.2 Dikey Lojistik İşbirliğinin Ekonomik Sürdürülebilirlik Performansına Etkisi 46

4.2.3 Dikey Lojistik İşbirliğinin Çevresel Sürdürülebilirlik Performansına Etkisi 55

4.2.4 Dikey Lojistik İşbirliğinin Sosyal Sürdürülebilirlik Performansına Etkisi 56

SONUÇ 59

KAYNAKÇA 62

EK 1: ORİJİNALLİK RAPORU…… 70

EK 2: ETİK KURUL MUAFİYET FORMU…… 71

KISALTMALAR DİZİNİ

ATP	Araç Tahsis Problemleri
PKY	Parsiyel Kamyon Yükü
TKY	Tam Kamyon Yükü
TSDP	Tam Sayılı Doğrusal Programlama

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1 Araç Tahsis Problemlerinde Sürdürülebilirlik ve İşbirliği Yaklaşımlarını Ele Alan Çalışmaları İnceleme Tablosu 24

Tablo 2 Notasyon Tablosu 32

Tablo 3 Şehirlerarası Mesafe (km) 37

Tablo 4 Örnek Olay Veri Seti 39

Tablo 5 Örnek Olayın Performans Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi . . 41

Tablo 6 İşbirliği Yapan Müşteri Oranının Performans Kriterlerine Etkisi . . . 45

Tablo 7 Dikey Lojistik İşbirliği Varsayımının Amaç Fonksiyonuna Etkisi . . 48

Tablo 8 Uygulanan Farklı Fiyat Düzeylerinde Dikey Lojistik İşbirliği Varsayımının Amaç Fonksiyonuna Etkisi 49

Tablo 9 İşbirliği Varsayımının Ceza Maliyetinin Uygulandığı ve Uygulanmadığı Senaryolarda Amaç Fonksiyonuna Etkisi 51

Tablo 10 Sistemdeki Araç Sayısı Değişimi ile Dikey Lojistik İşbirliği Varsayımının Amaç Fonksiyonu Bileşenlerine Etkisi 53

Tablo 11 Dikey Lojistik İşbirliği Varsayımının Yüksüz Araç Hareketlerinden Kaynaklı Emisyon Miktarına Etkisi 56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1 Araç Kapasitesi Kullanımına Göre Karayolu Taşımacılığı Türleri. Kaynak: Ghiani ve diğ., 2013 20

Şekil 2 Bir lojistik ağı için ATP'lerde karar seçeneklerinin şematik gösterimi. Kaynak: Powell, 1986 21

Şekil 3 Açıklayıcı bir örnek (Siyah sayılar geliri, kırmızı sayılar taşımacılık maliyetini temsil etmektedir) 30

Şekil 4 İşbirliği Yapan Müşteri Oranı Değişiminin Toplam Gelir, Maliyet ve Kâr Üzerindeki Etkisi 46

Şekil 5 Farklı Araç Sayıları ile Dikey Lojistik İşbirliği Varsayımının Elde Edilen Toplam Kâr Üzerindeki Etkisi 54

Şekil 6 Üst Seviye Grubu Müşterilerin Şirket ile Lojistik İşbirliği Yapmaları Durumunda Taşımacılık Maliyetlerindeki Değişim Oranları 57

GİRİŞ

Küresel pazarlarda işletmelerin amacı, müşterilerin isteklerine hızlı ve ekonomik cevap vererek rekabet avantajını sağlayabilmek, varlıklarını devam ettirebilmek ve kâr elde edebilmektedir. Geniş coğrafyaya yayılan üretim ve tüketimin ve gelişen uluslararası ticaretin etkisi ile lojistik operasyonların önemi işletmeler için giderek artmaktadır. Buna bağlı olarak, özellikle uzun yol yük taşımacılığının etkin ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi işletmeler için bir zorunluluk haline gelmektedir. Bu kapsamda, uzun yol taşımacılığında karşılaşılan taktik sorunlardan biri olan Araç Tahsis Problemleri (ATP) ile daha sık karşılaşılmaktadır.

Son zamanlarda, teknolojik ve çeşitli stratejik gelişmeler ile birlikte lojistik operasyonlar üzerinde belirgin etkisi olan birçok yeni kavram ortaya çıkmaktadır. Bu kavramlara ilk örnek, taşımacılık şirketlerinin kendi arasında veya müşterileriyle gerçekleştirdiği "işbirlikli lojistik operasyon" kavramıdır. Taşımacılık operasyonlarında işbirliği; araç kullanımını ve lojistik performansını arttırırken müşteri tedarik sürelerini, sürücü devir hızlarını ve yakıt maliyetlerini azaltma fırsatları sağlayan bir yaklaşımdır (Ergun ve diğ., 2007). Bu doğrultuda, operasyonların verimli yürütülebilmesi için işbirliği yaklaşımının entegre edildiği problemlerden biri, (uzun yol yük taşımacılığında karşılaşılan) ATP'dir. İlgili problemlerde işbirliği stratejileri, farklı düğümlerdeki arz ve talep arasında oluşan dengesizlikten kaynaklanan sorunları en aza indirmek için araçların gelecekteki talepleri etkin bir şekilde karşılamak üzere yeniden konumlandırılmasına olanak tanımaktadır (Zolfagharinia & Haughton, 2014). ATP'inde hem yatay hem de dikey işbirliği, toplam katma değeri arttırmaya ve ilgili maliyetleri azaltmaya katkıda bulunma potansiyaline sahiptir.

Taşımacılık şirketlerinin bakış açısıyla işbirliği, ulaşım/taşımacılık kaynaklarının gereksiz kullanımını azaltmak ve elde edilen kârı arttırmak için katkı sağlamaktadır (Cao & Zhang, 2011). Müşteriler ile yapılan (dikey) işbirliğinde, şirketin yanı sıra müşteri kazanımlarının da dikkate alınmasıyla bir kazan-kazan durumu elde etmek amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen operasyonlar, müşteri memnuniyetinin artmasını ve böylece taşımacılık şirketinin hizmet verdiği müşterisini güvence altına alarak rekabet avantajı elde etmesini sağlamaktadır.

Büyüyen çevresel ve sosyal sorunlara karşı hem tüketiciler/müşteriler hem de şirketler tarafından artan farkındalık, lojistik operasyonların planlaması yapılırken ele alınan bir diğer kavram olan sürdürülebilirliği ortaya çıkarmaktadır. Taşımacılık, üretim ve tüketim arasında sosyal ve ekonomik faaliyetleri destekleyen ve aynı zamanda çok fazla enerji tüketimi nedeniyle doğrudan çevresel etkiye sahip önemli bir bağlantıdır (B. Lin & Du, 2017). Bu durum, özellikle taşımacılık problemlerinde sürdürülebilirliğin üç boyutunun (ekonomik, çevresel, sosyal) birbirinden bağımsız olarak değerlendirilemeyeceğinin göstergesidir. Tüketicilerin çevresel sorunlar için artan farkındalığı, yeşil/çevreci şirketlerin rağbet görmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla şirketler taşımacılık faaliyetlerinde, araçların yollardaki hareketlerini planlayan ve verimli araç kullanımı sağlayan yaklaşımları dikkate alarak az yakıt tüketimi ve emisyon üretimi ile yeşil operasyonlar gerçekleştirmeyi hedeflemektedir. Bu operasyonlar aynı zamanda hava kirliliği, trafik sıkışıklığı ve çalışan memnuniyeti gibi sosyal boyuta da katkısı olan faktörleri (olumlu yönde) etkilemektedir. Ayrıca, araç kullanım oranındaki artış ile yakıt maliyeti azaltılarak kâr marjının arttırılması ve müşteri memnuniyetinin/bağlılığının güçlenlendirilmesi ile rekabet avantajının elde edilmesi, şirketler için ekonomik boyutta da bir motivasyon oluşturmaktadır. Tüm bunların ışığında, sürdürülebilirliğin üç boyutu arasındaki koordinasyonun esas olduğu görülmektedir (Gunasekaran & Subramanian, 2018). Üretim ve tüketim arasındaki mesafelerin artması, taşımacılık operasyonlarının sürdürülebilirlik üzerindeki etkisinin güçlenmesine sebep olmaktadır. Bu yüzden ATP'nde sürdürülebilirlik kavramının üç boyutu ile birlikte ele alınması önem taşımaktadır.

Taşımacılık operasyonlarının planlanması; kullanılacak taşımacılık türü seçimi, kiralık veya şirkete ait araçların kullanılması, operasyonlar için en uygun filo boyutunun belirlenmesi, mevcut talepler doğrultusunda düğümler arasında araçların yönlendirilmesi ve hareketlerinin planlanması gibi farklı amaçlara hizmet eden kararları içermektedir (Ghiani ve diğ., 2013). Buna bağlı olarak, planlama sürecinde farklı varsayımlar altında birçok problem ile karşılaşılabilmektedir ve ilgili problemler için çeşitli nicel karar yöntemleri geliştirilmektedir. Oluşan mevcut talepler doğrultusunda araç rotalarının oluşturulması, karar vericilerin karşılaştığı en temel problemlerden biridir. Bu problemin bir varyasyonu olan ATP'nde talepler, rotalama problemlerinin çoğunda olduğu gibi düğümler üzerinde değil yaylar üzerinde oluşmaktadır. Bu

durum, araç tahsis problemleri için özel olarak geliştirilmiş karar destek modellerinin gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca, işbirliği ve sürdürülebilirlik gibi farklı varsayımlar altında ele alınan problemlerde kısıt ve karar değişkeni sayısının artması ile karmaşık hale gelmesi, bu değişikliklerin karar destek modellerine yansıtılması gereksinimini ortaya çıkarmaktadır.

Bu tez çalışmasında amaç, lojistik sektöründe faaliyet gösteren firmalara bir karar destek modeli önerisi sunmaktır. Bu doğrultuda, bir araç tahsis problemi dikey işbirliği varsayımı altında ele alınmaktadır. İlgili varsayım kapsamında işbirliği, taşımacılık şirketi ile müşteri arasında gerçekleşmektedir. Birden fazla fabrikaya sahip işbirliği yapan müşterilerin fabrikaları arasındaki üretim kaydırma (kapasite tahsis) kararları taşımacılık şirketi ile ortak verilmektedir. Problem için Tam Sayılı Doğrusal Programlama (TSDP) modeli önerilmektedir. Önerilen matematiksel model kullanılarak kâr maksimizasyonun sağlanması, dikey işbirliği varsayımının lojistik operasyonların performansına ve sürdürülebilirliğin üç boyutuna etkileri, ve bu etkilerin sonuçlarının incelenmesi hedeflenmektedir. Literatürde, ATP'nde dikey işbirliği varsayımının ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik açısından eş zamanlı olarak değerlendirildiği bir çalışma bilindiği kadarıyla bulunmamaktadır. Ayrıca, çalışma kapsamında işbirliği yapan müşterilerin talepleri karşılayacağı tedarik noktasının bir başka noktaya kaydırılması için taşımacılık ücreti üzerinden indirim yapılması, işbirliği yapmayan müşterilerin mevcut taleplerinin bir kısmının reddedilmesine imkan tanınması ve işbirliği yapan müşterilerin karşılanamayan talepleri için ceza maliyeti uygulanması önerilen modelin literatüre olan katkısını arttıracağı düşünülmektedir. Tez kapsamında önerilen matematiksel modelin uygulanabilirliği ve sağlayacağı katkıları göstermek adına örnek bir olay üzerinde sayısal analizler yapılmaktadır.

Bu tez çalışması, giriş ve sonuç bölümleri dahil olmak üzere beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, tez kapsamında ele alınan problemde kullanılan ilgili lojistik kavramları açıklanacaktır. Ayrıca, ele alınan problem ile bağlantılı farklı problem türleri hakkında genel bilgiler verilecektir ve ATP'nin tanımı yapılacaktır. Son olarak, çalışma kapsamında yapılan analizlerde değerlendirilecek olan lojistik trendlerin anlamları/tanımları verilecektir.

İkinci bölümde, ATP'nin taşımacılık operasyonları ve literatürdeki yeri hakkında bilgiler verilecektir. Bu doğrultuda, yük taşımacılığı ve yük taşımacılığının türleri anlatılarak, ATP ile karşılaşılan operasyon özelliklerinden bahsedilecektir. Ardından, ATP detaylı bir şekilde anlatılacak ve ilgili literatür sunulacaktır.

Üçüncü bölümde, tez kapsamında ele alınan araç tahsis problemi için problem tanımına ve çözümü için önerilen matematiksel modele ilişkin bilgilere yer verilecektir.

Dördüncü bölümde, önerilen matematiksel model kullanılarak elde edilen optimal sonuçlar incelenecek ve bu sonuç çalışma kapsamında probleme dahil edilen varsayımların olmadığı çözümün sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilecektir. Ayrıca, problem üzerinden farklı senaryo analizleri gerçekleştirilecek ve bu analizlerin sonuçları paylaşılacaktır.

Sonuç bölümünde ise, yapılan çalışmanın kapsamı ve analizlerden elde edilen sonuçlar özetlenerek tez çalışması ile ilgili genel değerlendirmeler yapılacaktır.

1. BÖLÜM

TANIMLAR VE KAVRAMLAR

Yük taşımacılığında karşılaşılan lojistik problemlerinde belirlenen amaç doğrultusunda karar vericilerin en iyi kararları (araç rotalama, envanter, araç tahsis,... vb.) vermelerini sağlamak için çeşitli yaklaşımlar ve çözüm yöntemleri önerilmektedir. Ele alınan problemin türü ve ilgili problemin hangi koşullar altında değerlendirildiği uygulanacak olan yaklaşımın ve çözüm yönteminin belirlenmesini etkilemektedir. Farklı koşullar problemi tanımlarken kullanılan varsayımlar ile temsil edilmektedir. Dolayısıyla, problem kapsamında kullanılacak olan kavramların ve varsayımların anlaşılması ele alınan problemin anlaşılması için önemlidir. Bu bölümde, tez çalışması kapsamında ele alınan problemde kullanılan lojistik kavramları, problem ile ilişkili bazı farklı lojistik problemleri ve problemde kullanılan varsayımlar, gerekli tanımlamalar ile açıklanacaktır.

1.1 TANIMLAR

- **Talep:** Belirli bir zaman diliminde tüketicilerin/müşterilerin farklı fiyatlar ile satın almaya istekli olduğu ve satın alabildiği mal/ürün veya hizmet miktarıdır. Talep, bir ürün veya hizmete karşı olan ihtiyaç ve gereksinim sonucunda ortaya çıkmaktadır. Üretim ve taşımacılık başta olmak üzere işletmeler süreç planlamalarını oluşan talep miktarına göre ve bu talebi karşılama amacı ile değerlendirmelidir. **Talep noktaları**, taleplerin oluştuğu coğrafi lokasyonlar (noktalar ya da düğümler) olarak ifade edilebilir.

- **Düğüm/Nokta:** Lojistik ağının parçası olan düğümler lojistik merkezlerini temsil etmektedir (Pavlić Skender ve diğ., 2019). Bir başka ifade ile düğümler, fiziksel veya coğrafi bir lokasyonu (noktayı) göstermektedir. Bu konumlar ilgili probleme göre, taleplerin oluştuğu veya müşterilerin bulunduğu noktaları, taleplerin karşılanması için fabrikaların kurulduğu noktaları temsil edebilir.

- **Yay/Ark:** Lojistik problemlerinde yaylar, başlangıç ve bitiş düğümleri arasındaki okları temsil etmektedir. Bu yaylar karayollarını, demiryollarını, gemi hatlarını vb. içerir ve tüm yayların toplamı ulaşım ağını temsil eder (Pavlić Sken-

der ve diğ., 2019). Yaylar tek yönlü ve genellikle tedarik noktasından talep noktasına doğrudur. Problemlerde talepler ve araç hareketleri yaylar üzerinde gösterilir.

- **Teslimat (Seyahat) Süresi:** Teslimat (seyahat) süresi, bir gönderinin çıkış noktası ile varış noktası arasında hareket etmesi için geçen süredir. Hava ve trafik koşullarına ve noktalar arası mesafeye göre değişebilmektedir. Dakika, saat, gün ve hafta gibi zaman dilimleri/periyotları ile ölçülebilir.

- **Planlama Ufku:** En temelde planlama ufku, belirli bir plan için hesaplanan süre ya da planların yapıldığı geleceğe kadar geçen sürenin uzunluğu olarak tanımlanabilmektedir. Bu süre; gün, hafta, ay, yıl gibi farklı zaman periyotları ile ölçülebilmektedir. Planlama ufku belirli bir süreye sahip ise (6 hafta, 10 gün, 5 yıl gibi) sonlu planlama ufku, süresi belirsiz ise sonsuz planlama ufku olarak adlandırılmaktadır. Planlama ufkunun uzunluğu arttıkça belirsizliği de artmaktadır.

- **Tedarik/Arz:** Arz, tedarikçilerin müşterilere sağlamaya istekli olduğu ve sağlayabildiği kaynakların toplam miktarı olarak tanımlanabilir. Bu kapsamda tedarikçiler, firmalar veya üreticiler; müşteriler, piyasa veya bireyler; kaynaklar, mallar, hammaddeler veya hizmetler olarak örneklendirilebilir. **Tedarik noktaları**, oluşan taleplerin karşılanması için kurulan fabrikaların bulunduğu coğrafi lokasyonlar (noktalar ya da düğümler) olarak ifade edilebilir.

- **Üretim Kapasitesi:** Gerekli kaynakların (girdi) kullanımı ile oluşturulan ürün ve/veya hizmetlerin (çıktı) mümkün olan maksimum miktarıdır. Bir işletme için fabrikasında belirli bir zaman aralığında ‘’ne kadar üretim yapılabilir?” sorusuna aldığı cevap olarak düşünülebilir. Hafta, gün veya ay gibi bir zaman diliminde hesaplanabilir.

- **Yük:** Nokta çiftleri arasında oluşan talebi karşılamak için taşınması gereken mal veya üründür. Bu ürünler; hammade, yarı mamül ya da nihai ürün olabilir. Taşınan yüke bağlı olarak taşıma aracının özellikleri seçilebilmektedir. Örneğin, yumurta, et, tavuk, balık, meyve ve sebzeler, taze çiçek gibi bozulabilir ürünler özel sistemlere sahip (dondurucu vb.) araçlar ile taşınabilmektedir. Araba, beyaz eşya gibi kapasite kısıtını zorunlu hale getirebilecek boyutta olan

yükleri taşımak için kullanım kapasitesi belirli bir hacmin üzerinde olan araçlar gerekmektedir.

- **Araçlar:** Noktalar arasında genellikle hammadde, yarı mamul ve nihai ürünlerin taşınmasında kullanılan araçlardır. Bu araçlar gerçekleştirilen yük taşımacılığı türüne göre; kamyon, kamyonet, tır, tren, uçak ya da gemi olabilir.

- **Filo:** Filo, ortak bir amaç doğrultusunda birden fazla ulaşım aracından oluşmaktadır. Bunlar bir işletmeye/şirkete (araba kiralama, taşımacılık ve kargo firmaları vb.) veya kuruluşa (halk otobüsleri, polis departmanları vb.) ait uçak, gemi ya da karayollarında kullanılan ticari veya binek araçlardan oluşabilmektedir. Ayrıca filo, işletmeye ait olabileceği gibi işletme tarafından kiralanabilmektedir. En genel çerçevede araç filosu, bir şirketin taşımacılık ve/veya ulaşım operasyonlarında kullandığı tüm taşıtlar olarak ifade edilebilir. Filo boyutu ve özellikleri; ihtiyaç duyulan araç sayısı, kullanım alanı ve maliyetlere göre belirlenmektedir. Araç tipine göre homojen filo ve heterojen filo olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Homojen filoda kapasite ve boyut (uzunluk, genişlik vb.) gibi özellikler açısından aynı araçlar bulunurken; heterojen filoda araçlar bu özellikler ile birbirinden farklılaşmaktadır.

- **Yük taşımacılığı:** Hammaddelerin, yarı mamullerin ve/veya nihai ürünlerin taşınmasının fiziksel sürecidir. Yük taşımacılığı, hammaddelerin kaynaklardan fabrikalara, yarı mamullerin fabrikalar arasında, nihai ürünlerin müşterilere ve perakende satış noktalarına taşınması esas almaktadır (Ghiani ve diğ., 2013). Ayrıca, ürünlerin doğru, zamanında/hızlı, güvenilir ve ekonomik şekilde taşınmasını sağlayan önemli bir tedarik zinciri bileşenidir. Büyüyen pazarlar ile üretim ve tüketimin coğrafi olarak birbirinden uzak lokasyonlarda gerçekleşmesi, yük taşımacılığına olan talebin her geçen gün artmasına sebep olmaktadır. Yük taşımacılığı, operasyonun gerçekleştiği noktalar arasındaki mesafe açısından değerlendirildiğinde, kısa mesafe ve uzun mesafe yük taşımacılığı olarak ikiye ayrılmaktadır.

- **Taşımacılık türleri:** Taşımacılık operasyonlarının gerçekleşmesi için kullanılan beş temel mod/tür bulunmaktadır. Bunlar; boru hattı, denizyolu, havayolu, demiryolu ve karayolu yük taşımacılığı olarak sıralanabilmektedir. İlgili ope-

rasyonlar için her bir mod/tür ayrı kullanılabileceği gibi, kapıdan kapıya (*door-to-door*) taşımacılık hizmeti için bazı modlar/türler diğer modlar/türler ile birleştirilebilir (intermodal taşımacılık).

- **Karayolu yük taşımacılığı:** Karayolu yük taşımacılığı, oluşan talepler sonucunda ürünün (yükün) motorlu taşıtlar vasıtasıyla (genellikle tır veya kamyonlar) kalkış ve varış noktaları arasında karayolu üzerinde taşınmasıdır. Diğer ulaşım türleri ile karşılaştırıldığında; erişebilirlik, esneklik, operasyonel verimlilik, zamanındalık, güvenilirlik ve hız özellikleri ile en çok kullanılan taşımacılık türüdür (Żak ve diğ., 2011). Karayolu yük taşımacılığı, araç/kamyon kapasitesi kullanımına göre iki çeşit olarak değerlendirilebilir: Parsiyel kamyon yükü (*less-than-truckload*) ve tam kamyon yükü (*full-truckload*).

- **Kısa mesafe yük taşımacılığı:** Kısa mesafeli yük taşımacılığı, nispeten mesafelerin az olduğu alanlarda (şehir vb.) malların genellikle kamyon kullanılarak teslim alınması ve teslim edilmesi şeklinde gerçekleşir. İlgili teslim alma ve teslim etme noktaları; depo, terminal veya müşteriler olabilir.

- **Uzun mesafe yük taşımacılığı:** Uzun mesafeli yük taşımacılığı, malların taşınacağı noktaların/tesislerin (terminaller, depolar, fabrikalar vb.) arasındaki mesafenin nispeten uzun olduğu taşımacılık türü olarak tanımlanabilir. İlgili taşımacılık; kamyon, demiryolu, gemi veya çeşitli mod kombinasyonları ile gerçekleşebilir.

- **Parsiyel kamyon yükü (PKY) taşımacılık:** PKY taşımacılığında, bir teslimat bir kamyon kapasitesinin tamamını doldurmadığı için birkaç gönderi aynı araç tarafından ortaklaşa taşınır. Bir başka ifadeyle taşımacılık, bir kamyon ile aynı anda birden fazla noktadan alınan yüklerin farklı varış noktalarına teslim edilmesi şeklinde gerçekleşir.

- **Tam kamyon yükü (TKY) taşımacılık:** TKY taşımacılığında, teslimat kamyon kapasitesinin tamamını doldurmaktadır ve doğrudan başlangıç noktasından varış noktasına taşınır. Bu nedenle bir kamyon bir seferde tek bir talebi karşılamak için kullanılabilir.

1.2 İLGİLİ PROBLEM TÜRLERİ VE VARSAYIMLAR

Taşımacılık alanında faaliyet gösteren pek çok şirketin sıklıkla karşılaştığı, operasyonel düzeyde lojistik yönetimindeki temel sorunlardan bir tanesi araç rotalama problemleridir (Toth & Vigo, 2014). Araç rotalama problemlerinin çeşitli varyasyonları bulunmaktadır. Birbiriyle ilişkili araç rotalama ve envanter kararlarından oluşan ''envanter rotalama problemleri" ile ürünlerin birden fazla çıkış ve varış noktası arasında taşındığı ''toplama ve dağıtım problemleri" en temel varyasyon örneklerindendir. ATP, toplama ve dağıtım problemlerinde ürünün çıkış ve varış noktası arasına başka bir noktanın girmemesi olarak ifade edilebilmektedir. Ayrıca, ele alınan dikey lojistik işbirliği varsayımı doğrultusunda mevcut müşteri taleplerinin fabrika kapasitesine bağlı olarak tedarik noktaları arasında kaydırılması, çalışılan problemin envanter rotalama problemi ile olan ilişkisini ortaya koymaktadır.

Bu bölümde, tez çalışmasında ele alınan problem ile ilişkisine kısaca değinilen lojistik problemleri varsayımları ile birlikte açıklanmaktadır. Ardından, çalışma kapsamında değerlendirilen sürdürülebilirlik ve işbirliği varsayımlarından bahsedilmektedir.

Araç Rotalama Problemleri

Araç rotalama problemleri, malların bir araç filosu aracılığıyla bir veya birkaç depodan bir dizi müşteriye dağıtılması olarak tanımlanabilir (Soysal & Çimen, 2017). Rotalama planlaması yapılırken ele alınan en yaygın kısıtlamalar; kapasite (bir araç tarafından taşınan talep miktarı araç kapasitesini aşmamalı), zaman pencereleri (müşterilere önceden belirlenmiş zaman aralıklarında hizmet verilmeli), toplam zaman limiti (herhangi bir rotanın uzunluğu önceden belirlenen sınırı aşmamalı), düğümler arası öncelik ilişkileri (hangi şehir veya müşteri hangi şehirden veya müşteriden önce ziyaret edilmeli) ve şehir/müşteri sayısı sınırı (herhangi bir rotadaki ziyaret edilecek düğüm sayısı aşılmamalı) şeklinde sıralanabilir (Ghiani ve diğ., 2013). Ele alınan kısıtlar ile birlikte problemde genellikle toplam talebin karşılanması ve toplam maliyetin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Planlama ufku boyunca talebin belli olduğu durumlarda araç rotaları önceden planlanabilir, ya da sisteme yeni bir/birkaç talebin eklenmesi durumunda araç rotaları dinamik olarak belirlenebilir.

Toplama ve Dağıtım Problemleri

Araç rotalama problemlerinin bir uzantısı olan toplama ve dağıtım problemleri, konum çiftleri arasında bir dizi talebin teslim alınarak ve teslim edilerek karşılanması olarak tanımlanmaktadır (Soysal ve diğ., 2018). Bir başka ifade ile, malların farklı çıkış noktalarından farklı varış noktalarına taşındığı bir çeşit rotalama problemidir. Taşınan her bir talep için tek bir çıkış noktası ve tek bir varış noktası belirlenmelidir ve ilgili yük herhangi bir aktarma yapılmaksızın direk olarak taşınmalıdır. Planlama ufku boyunca, filodaki tüm araçlar bir depodan hareket eder ve oraya geri döner. Toplama ve dağıtım problemleri, talep tipine ve dikkate alınan rota yapısına göre üç ana kategoride sınıflandırılabilir. Çoktan-çoka problemlerinde, her malın birden fazla çıkış ve varış noktası olabileceği gibi herhangi bir nokta, birden fazla malın çıkış veya varış noktası olabilmektedir (örn, parakende mağazaları arasında envanterlerin yeniden konumlandırılması). Birden-çoka problemler, bir depodan çok sayıda müşteriye teslim edilecek malların olması ve/veya müşterilerden toplanarak depoya geri taşınacak malların olması şeklinde ifade edilebilir (örn, içeceklerin dağıtımı ve boş şişelerin toplanması). Birden-bire problemlerde, her malın taşınması gereken tek bir çıkış ve tek bir varış noktası vardır (örn, şehir içi kurye operasyonları) (Toth & Vigo, 2002).

Envanter Rotalama Problemleri

Envanter rotalama problemleri, envanter yönetimi ve araç rotalama kararlarının koordinasyonunun ele alınması olarak değerlendirilebilir. Aslında amaç, bir dağıtım merkezi ile bir dizi lokasyon arasındaki dağıtım rotalarına ve her lokasyon için envanter politikasına ortaklaşa karar vermektir (Ghiani ve diğ., 2013). Envanter rotalama problemlerinde, müşterilerdeki stoklar tedarikçi tarafından yönetildiğinden, tedarikçinin üç kararı aynı anda vermesi gerekir: (1) müşterilere ne zaman teslimat yapılacağı, (2) her bir müşteriye hizmet sağlandığında her bir müşteriye ne kadar teslimat yapılacağı ve (3) müşterilerin araç rotalarında nasıl birleştirileceği (Coelho ve diğ., 2014). Bu bağlamda, toplam envanter ve lojistik/taşımacılık maliyetini en aza indirmek amaçlanmaktadır. İlgili problem, tedarikçi ve müşteri sayısına göre üç temel dağıtım türü açısından ele alınabilir: (1) birden-bire: bir tedarikçi bir müşteriye hizmet eder, (2) birden-çoka: bir tedarikçi bir dizi müşteriye hizmet eder ve (3) çoktan-çoka: birkaç

tedarikçi bir dizi müşteriye hizmet eder (Coelho & Laporte, 2014). Müşteri siparişlerini belirli bir zamanda karşılamayı amaçlayan temel araç rotalama problemlerinden farklı olarak; envanter rotalama problemlerinde tedarikçiler, müşterilere gönderilen gönderilerin miktarına ve süresine karar verme fırsatına sahiptir (Soysal ve diğ., 2019).

Araç Tahsis Problemleri (ATP)

ATP, genellikle uzak mesafelere yük taşımacılığı yaparak gelir elde eden taşıyıcıların oluşturduğu sistemlerdir (Ghiani ve diğ., 2013). Araç tahsis problemleri bu tez çalışmasında ele alınan problem türüdür. İlgili problemin detaylı anlatımı literatür taraması ile birlikte bölüm 2.3'de verilecektir.

Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik en genel şekilde, bir şeyin zaman içinde varlığını devam ettirme yeteneği olarak ifade edilebilir. Sürdürülebilirlik, ilk kez "sürdürülebilir kalkınma" kavramı olarak 1987 yılında UNEP tarafından hazırlanan Bruntland Komisyonu Raporunda ele alınmıştır ve kullanılan en yaygın tanım olmuştur. İlgili raporda sürdürülebilir kalkınma, "bugünün ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetinden ödün vermeden karşılamak" olarak tanımlanmıştır. Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma kavramları genellikle eş anlamlı olarak kullanılsa da UNESCO aradaki farkı şu şekilde tanımlamıştır: "Sürdürülebilirlik genellikle uzun vadeli bir hedef olarak düşünülürken (sürdürülebilir bir dünya), sürdürülebilir kalkınma bunu başarmak için birçok süreç ve yolu ifade eder (örneğin, sürdürülebilir tarım ve ormancılık, sürdürülebilir üretim ve tüketim, iyi hükümet, araştırma ve teknoloji transferi, eğitim ve öğretim, vb.)."

Sürdürülebilirlik kavramı ekonomik sürdürülebilirlik, sosyal sürdürülebilirlik ve çevresel sürdürülebilirlik olmak üzere üçe ayrılmaktadır. **Ekonomik boyut**, firmanın sermayesinin bozulmasının engellenmesini ve korunmasını sağlar (Goodland, 2002). **Sosyal boyut**, firmanın işgücü, müşteri ve toplum açısından önemli olan konulara ışık tutma yeteneğini; **çevresel boyut** ise firmanın, havaya, toprağa, suya ve ekosisteme

etkisini ölçer (Jacobs ve diğ., 2014). Bir başka ifade ile sürdürülebilirlik, şirketlerin ekonomik (ör. kârlılık, maliyetler, verimlilik), çevresel (ör. yakıt tüketimi, emisyon seviyeleri) ve sosyal (ör. çalışan memnuniyeti, trafik sıkışıklığı) sonuçlar açısından faydalar elde etmelerini sağlar (Soysal & Bloemhof-Ruwaard, 2017).

İşbirliği

İşbirliği, bir görevi tamamlamak veya bir hedefe ulaşmak için iki veya daha fazla kişi veya kuruluşun birlikte çalışma süreci olarak tanımlanabilir. Daha basit ve genel çerçevede işbirliği, ortaklık olarak düşünülebilir. Sağladığı iyileştirilmiş performans (doğru tahminler, iyi planlama, kaynakların verimli kullanımı gibi), geliştirilmiş malzeme akışı, hızlı teslimatlarla etkili müşteri hizmeti sayesinde işletmeler için işbirliğinin önemi artmakta ve gerçekleştirilen operasyonlarda ele alınması ihtiyaç haline gelmektedir (Waters, 2021).

Dikey ve yatay işbirliği olmak üzere yaygın olarak kullanılan iki türü vardır. **Dikey işbirliği**, tedarik zincirinin farklı seviyelerinde faaliyet gösteren şirketleri içerirken (bir toptancı ve bir perakendeci veya bir müşteri ve bir taşımacılık şirketi arasındaki işbirliği gibi), **yatay işbirliği**, tedarik zincirinin aynı seviyesindeki şirketleri içermektedir (iki tedarikçi veya iki taşımacılık şirketi arasındaki işbirliği gibi) (Caputo & Mininno, 1996).

Dikey işbirliği genellikle tedarikçiler (hizmet sağlayıcılar) ile müşteriler arasında gerçekleşmektedir ve tüketici/müşteri odaklı bir kazan-kazan durumuna yol açmaktadır. Başarılı bir dikey işbirliği için bazı ön koşullar sağlanmalıdır: (i) finansal koşullar (maliyet düşürme ve ortak kârlılık), (ii) ilişki özellikleri (karşılıklı güven ve bağlılık), (iii) strateji uyumu (ortak geliştirilen hedef ve stratejiler), (iv) etkili müzakereler (süreçte aktif katılım sağlanması ve sürecin iyi yönetilmesi), (v) hesap yönetimi (ortakların performansı ve ilgili rakamların kaydı) (Renko, 2011). Bu koşulların sağlanması ile gerçekleştirilen dikey işbirliği, işletmelerin pazar üzerindeki kontrollerini/güçlerini arttırmalarına ve böylece, elde ettikleri rekabet avantajı ile stratejik faydalar sağlamalarına katkıda bulunur. Temel amacı müşterileri rakiplerinden daha iyi memnun etmek olan işletmelerin, "doğru malları doğru zamanda doğru yerlere en az maliyetle" sağlamaları gerekmektedir (Kottler & Keller, 2009). Verimli kaynak akışı,

hızlı teslimat, değişen taleplere hızlı yanıt, iyileştirilmiş operasyonlar ve arttırılmış hizmet kalitesi gibi çeşitli yönlerden katkı sağlayan dikey işbirliği, hem müşterilerin hem de hizmet sağlayıcıların eş zamanlı olarak gerçekleşen operasyonlardan fayda sağlamasına olanak tanımaktadır. Tüm bunların ışığında, müşteri ile taşımacılık şirketi arasında gerçekleştirilen dikey işbirliği varsayımı tez çalışması kapsamında ele alınmaktadır. İlgili varsayım, birden fazla tedarik noktası ile birden fazla talep noktasına sahip müşterilerin üretim akışlarının ve taşımacılık şirketinin araç hareketlerinin ortak kârlılık amacı ile planlanması şeklinde gerçekleşmektedir.

2. BÖLÜM

AKADEMİK YAZINDA YÜK TAŞIMACILIĞI VE ARAÇ TAHSİS PROBLEMLERİ

Bu bölümde, tez çalışmasında ele alınan ATP'nin literatürdeki yerinin gösterilmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, genelden özele giden bir yaklaşım ile yük taşımacılığı, karayolu yük taşımacılığı ve ATP sırası ile açıklanacaktır.

2.1 YÜK TAŞIMACILIĞI

Lojistik faaliyetler; işletmelerdeki malzeme akışlarını, bu akışlar ile ilgili bilgilerin planlanmasını ve kontrol edilmesini kapsamaktadır. Bu sebeple lojistik, kaynaktan alınan hammaddenin nihai ürün olarak teslim edilmesine kadar olan süreçte fiziksel ürün akışının yanında ilgili bilgi ve kaynak akışı ile ürünün depolanmasının sağlanması şeklinde tanımlanabilmektedir (Rushton ve diğ., 2006). İşletmeler için kilit nokta, hammaddenin, yarı mamulün ve nihai malların ne zaman ve nasıl elde edileceği, taşınacağı ve depolanacağı kararlarının verilmesidir (Ghiani ve diğ., 2013). Lojistiğin genel amacı, doğru malzemeleri doğru zamanda doğru yere ve doğru maliyet ile ulaştırmaktır. Bu doğrultuda lojistik, işletmelerin üretim ve dağıtım süreçlerini verimli bir şekilde yönetmesine ve rekabet gücünü arttırmasına yardımcı olmaktadır.

Lojistik sistemler, üretim merkezleri, depolar, dağıtım merkezleri, aktarma merkezleri ve tüketici noktaları (örneğin, parakende satış mağazaları) gibi tesislerin taşımacılık hizmetleri ile birbirine bağlanmasından oluşmaktadır. Bu sistemlerde kilit unsur, farklı tüm faaliyetleri birleştiren taşımacılık sistemleridir. Üretimden nihai tüketicilere teslimata ve geri dönüşe kadar tüm üretim süreçlerinde gereken taşımacılık, lojistik maliyetlerinin üçte birini oluşturmakta ve taşımacılık sistemleri, lojistik sistem performansını büyük ölçüde etkilemektedir (Tseng ve diğ., 2005). Taşımacılık sistemlerinin genel amacı, maliyeti en aza indirmek ve müşterilere verilen hizmeti en üst düzeye çıkarmak için bir ürün hareketlerinin sistem içindeki planlanmasıdır (Fair & Williams, 1981). Bu doğrultuda taşımacılık, işletmelerin lojistik sistemlerinde verimliliğe, hizmet kalitesine, rekabet gücüne ve ekonomiye fayda sağlayan temel unsur olarak düşünülebilmektedir.

Taşımacılık, mal veya hizmetlerin tüketiciye ulaştırılması sürecinde ihtiyaç duyulan faaliyetler olarak tanımlanabilmektedir. Ürünlerin aynı yerde üretilip aynı yerde tüketilmesi nadir karşılaşılan bir durumdur. Bu doğrultuda taşımacılık, bir işletmenin tesis konumlarının belirlenmesine ve envanter seviyerinin ayarlanmasına ilişkin kararlarında önemli bir etkiye sahiptir. Hızlı bir şekilde gerçekleştirilen taşımacılık, pazar ihtiyaçlarına duyarlı olunmasını ve bu ihtiyaçlara hızlı cevap verilebilmesini sağlarken, sebep olduğu yüksek maliyetler ile işletmelerin verimliliğini azaltabilmektedir (Chopra & Meindl, 2007). Bu nedenle, taşımacılık faaliyetlerinin doğru ve etkin/etkili şekilde yönetilmesi işletmelerin hem pazara yanıt verme hızını hem de verimliliklerini olumlu yönde etkilemekte ve işletmeler için bu iki unsurun dengede kalmasını sağlamaktadır.

Yük taşımacılığı, üretim ve tüketimin coğrafi olarak birbirinden uzak lokasyonlarda gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Uzak konumlara erişebilirliğin artması ile pazarlar daha geniştir. Bu durum, farklı ülkelerdeki üreticiler arasında rekabeti teşvik etmektedir. Ayrıca, gelişmiş ülkelerdeki şirketler, üretim veya lojistik tesislerini farklı lokasyonlara kurarak, diğer ülkelerdeki düşük maliyetli işgücünden, düşük üretim ücretlerinden ve düşük enerji fiyatlarından yararlanabilirler. Bu kampsamda, yük taşımacılığı faaliyetlerinin şirket maliyetlerinin önemli bir kısmını oluştuduğu ve müşterilere sağlanan hizmet seviyesini etkilediği çıkarımı yapılabilmektedir. Sonuç olarak, yük taşımacılığı faaliyetlerinin etkin, verimli ve az maliyetle gerçekleştirilmesi, şirketlerin küresel pazarlardaki sürekliliği ve rekabet avantajı üzerinde doğrudan ve önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Yük taşımacılığı, gönderilerin çıkış ve varış noktaları arasındaki mesafelere göre kısa mesafe ve uzun mesafe olarak sınıflandırılabilir. Kısa mesafeli yük taşımacılığında mallar/gönderiler, mesafelerin az olduğu aynı şehir veya bölgede bulunan teslim alma ve teslimat noktaları arasında taşınmaktadır. Yapı itibari ile genellikle araçlar tek bir depoda bulunmaktadır, araç rotaları kısa sürelidir ve rotalar birden fazla teslim alma ve teslimat noktası içerebilmektedir. Ayrıca, kısa mesafeli yük taşımacılığı genellikle hacim olarak küçük araçlara sahip filolar ile gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla, ilgili operasyonlarda karşılanan müşteri talepleri miktar olarak daha azdır. Bu taşımacılık; depodan küçük kamyonetler ile perakende satış noktalarının veya müşterilerin taleplerini tedarik eden dağıtım şirketleri, aynı bölgedeki noktalar arası yük taşıyan

kuryeler ve birleştirilmiş yükleri uzak terminallere göndermeden önce yüklerin farklı noktalardan toplanmasında ve uzak terminallerden gelen birleştirilmiş yüklerin ayrılarak dağıtılmasında uzun mesafeli taşıyıcılar tarafından kullanılmaktadır (Ghiani ve diğ., 2013). Farklı amaçlar için geniş bir kullanım alanına sahip olan kısa mesafe yük taşımacılığında çeşitli lojistik problemlerinin ele alındığı görülmektedir. Örneğin, araç rotalama problemleri (Çimen & Soysal, 2017), gezgin satıcı problemleri (Ouaarab ve diğ., 2014), nokta rotalama ve çizelgeleme problemleri (Solomon, 1987) ve yay rotalama problemleri (Hertz ve diğ., 2000) bunlara örnek olarak verilebilir.

Uzun mesafeli yük taşımacılığı, malların/gönderilerin şehirlerarası rotalar üzerindeki teslimatlarını içermektedir ve bu rotalar genellikle bir veya daha fazla gün içinde tamamlanmaktadır (Kantawong, 2020). İlgili taşımacılık yapı itibari ile genellikle uzun araç rotalarına sahiptir ve rotalar tek bir teslim alma ve teslimat noktası içermektedir. Ayrıca, çoğunlukla hacim olarak büyük araçlara sahip filoların kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla, ilgili taşımacılık operasyonlarında karşılaşılan müşteri talepleri miktar olarak daha fazladır. Uzun mesafe yük taşımacılığında, kamyon (karayolu), tren (demiryolu), gemi (denizyolu) gibi herhangi bir taşıma aracı (türü) veya taşımacılık araçlarının (türlerinin) kombinasyonları kullanılarak malların taşınması sağlanabilmektedir. Bu taşımacılık türünü içeren sistemleri yönetmek için çeşitli karar problemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. İlgili literatürde ele alınan farklı problemlere örnek olarak; yük atama problemleri (Uddin & Huynh, 2015), servis ağı tasarım problemleri (Hoff ve diğ., 2010) ve araç tahsis problemleri (Vasco & Morabito, 2016) verilebilir. Bu tez çalışması kapsamında, mesafeye bağlı yük taşımacılığı türlerinden uzun mesafe yük taşımacılığı ile ilgilenilmektedir.

Yük taşımacılığı, beş farklı taşıma türünün ayrı ayrı veya farklı kombinasyonlar ile birlikte kullanılması ile gerçekleştirilebilir. Bu taşımacılık türleri aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

Boru hattı yük taşımacılığı, sıvı (petrol, su) ve gaz (doğalgaz) formundaki ürünlerin boru sistemi (botu hattı) aracılığıyla kısmen düşük maliyetler ile uzun mesafeli olarak taşınmasıdır. Taşımacılık operasyonları sürekli (7/24) ve güvenilirdir. Diğer taşımacılık türleri ile karşılaştırıldığında; geri dönmesi gereken boş bir araç olmadığından tek yönlü taşımacılık için ideal olması, hava koşullarına duyarsız olması,

işletme maliyetlerinin düşük olması, ulaşımın ana maliyeti olan sermaye maliyetinin nakliye maliyeti üzerinde küçük bir etkisinin olması ve çevre dostu olması özellikleri ile avantaja sahiptir (Subramanya, 1998).

Demiryolu yük taşımacılığı, özellikle uzun mesafeli yük taşımacılığı faaliyetlerinde kullanılmaktadır. Diğer taşımacılık türleri ile karşılaştırıldığında en ucuz türlerden biridir ve daha yavaştır. Yük kapasitesi, fiyat yapısı ve ulaşım süresi açısından değerlendirildiğinde uzun mesafelerde zamana duyarlı olmayan büyük, yüksek yoğunlukta veya ağır ürünleri taşımak için idealdir (Chopra & Meindl, 2007). Sonuç olarak, demiryolu, hammadeler (kimyasallar, kömür, vb.) ve düşük değerli nihai ürünlerin (konserve gıda, kağıt, vb.) yavaş taşıyıcısı olarak düşünülebilmektedir (Ghiani ve diğ., 2013). Demiryolu yük taşımacılığı, doğrudan bağlantılarının oldukça nadir olması ve pahalı ekipmanlara sahip olması özellikleri sebebiyle genellikle karayolu taşımacılığına göre daha az esnek ve daha sermaye odaklıdır.

Denizyolu yük taşımacılığı, yapısı gereği belirli alanlar ile sınırlıdır ve diğer taşımacılık türleri ile karşılaştırıldığında en yavaş olandır. En büyük avantajı çok büyük yüklerin düşük maliyetler ile uzun mesafelerde taşınabilmesine olanak sağlamasıdır. Küresel ticarette her çeşit ürünün (araba, tahıl, giyim, vb.) taşınmasında en hâkim taşıma türüdür (Chopra & Meindl, 2007).

Havayolu yük taşımacılığı, diğer türler ile kıyaslandığında yüksek taşımacılık hızına sahip olması en büyük avantajıdır. Sabit maliyeti (demiryolu, denizyolu ve boru hattına kıyasla) düşük olmasına rağmen değişken maliyeti yakıt, kullanıcı ücretleri, bakım ve ekiplerinin işgücü yoğunluğu sebebiyle oldukça yüksektir (Bowersox & Cooper, 2002). İlgili taşımacılık, taşımacılık aracı (uçak) özelliklerinden kaynaklı olarak kapasite, yük boyutu, yük ağırlığı ve araç (uçak) mevcudiyeti açısından sınırlıdır. Kapıdan-kapıya taşımacılığın gerçekleştirilebilmesi için genellikle karayolu taşımacılığı ile birlikte kullanılmaktadır. Değeri yüksek ürünler veya zaman kavramının önemli olduğu ve uzun mesafe taşınması gereken ürünler için ideal taşımacılık türüdür.

Karayolu yük taşımacılığı, genellikle hammaddelerin, yarı mamüllerin ve nihai ürünlerin tedarik ve talep noktaları arasında kamyonlar ile taşınması ile gerçekleşmektedir. Demiryolu ile kıyaslandığında, karayolu yük taşımacılığı daha pahalıdır. Bu özelli-

ğinin aksine, kapıdan kapıya taşıma için elverişli olması ve esnek yapısından kaynaklı (özellikle kısa mesafe taşımacılıkta verimli olması) taşımacılık türleri arasında avantaja sahiptir. Karayolu yük taşımacılığı operasyonlarının sabit maliyetleri düşük olmasına rağmen değişken maliyetleri yüksek olabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, taşımacılık türleri arasından karayolu yük taşımacılığı ile ilgilenilmektedir ve Bölüm 2.2'de detaylı olarak incelenecektir.

Arz ve talep noktaları arasındaki taşımacılık operasyonlarını sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirmek amacı ile hizmet sağlayıcılar, farklı taşımacılık türlerini birleştirmek zorundadır. Bu amaçla, mümkün olan tüm taşıma sistemleri içinde multimodal yük taşımacılığı, ürün tesliminin çıkış noktası ile varış yeri arasındaki en sürdürülebilir taşıma şekli olarak ortaya çıkmıştır (Kumar & Anbanandam, 2019). Prensipte beş temel taşımacılık türünün çeşitli kombinasyonları olmasına rağmen, pratikte en yaygın olarak hava-kamyon (*birdyback*), tren-kamyon (*piggyback*) ve gemi-kamyon (*fishyback*) taşımacılığı kullanılmaktadır (Ghiani ve diğ., 2013). Taşımacılık operasyonlarının maliyeti ve süresi arasında denge kurabilmek için birleştirilen türlerin özelliklerinden yararlanılmaktadır. Böylece verimli, etkili, düşük maliyetli ve hızlı taşımacılık faaliyetleri gerçekleştirilebilir.

Kullanılacak olan taşımacılık türü seçilirken maliyet ve taşımacılık süresi dikkate alınan en temel iki faktördür. Taşıma hizmetinin maliyeti, terminaller ve araçlarla ilgili olan bütün maliyetleri kapsamaktadır ve ilgili maliyet şirket tarafından müşteriye yansıtılmaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde en pahalı taşımacılık türü havayoludur ve bunu sırasıyla karayolu, demiryolu, boru hattı ve denizyolu takip etmektedir. Gönderinin arz ve talep noktaları arasında geçen zamanı ifade eden taşımacılık süresi ise dış faktörlerden (hava ve trafik koşulları gibi) etkilenerek değişiklik gösterebilmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde taşımacılık türleri en hızlıdan (taşımacılık süresi en düşük) en yavaşa (taşımacılık süresi en fazla) doğru; boru hattı, havayolu, karayolu, demiryolu ve denizyolu şeklinde sıralanabilmektedir. Bu iki temel özelliğin yanı sıra, yükün özellikleri (örn. boyutu), yükün nereden nereye taşınacağı (örn. fabrika konumu, müşteri lokasyonu), taşımacılık aracının veya türünün ulaşabilirliği ve esnekliği gibi çeşitli fakörler de taşımacılık türünün seçilmesini etkileyebilmektedir.

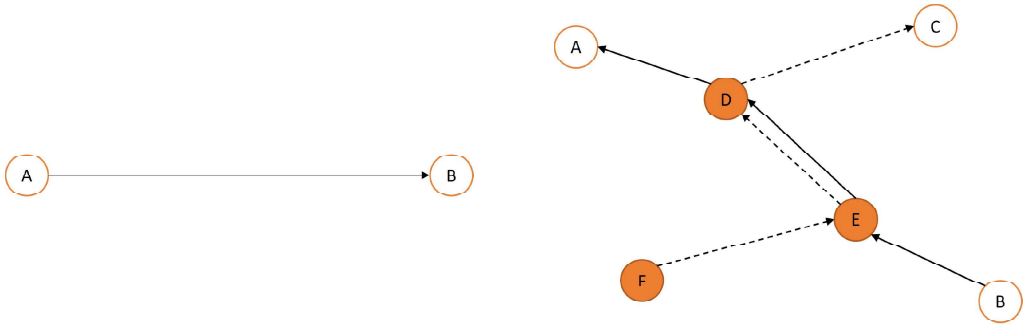
2.2 KARAYOLU YÜK TAŞIMACILIĞI

Karayolu yük taşımacılığı, bütün yük taşımacılığı türlerine entegrasyon kolaylığı, neredeyse tüm lokasyonlar için geniş, yaygın ve kullanıma hazır ağ yapısı (yollar), farklı lojistik operasyonlarda kullanılmak üzere oluşturulacak filo yapısında çeşitliliğe izin vermesi gibi özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Kapıdan kapıya taşımacılık hizmetinin gerçekleştirilebilmesi için genellikle karayolu diğer ulaşım türleri ile birlikte kullanılmaktadır. Tüm bunlar, karayolunun hem kısa mesafe hem de uzun mesafe yük taşımacılığında diğer alternatifler arasında birçok lojistik sistemde en sık kullanılan taşıma modu olması nedenlerine örnek olarak gösterilebilmektedir.

Karayolu yük taşımacılığı operasyonu, bir lojistik ağı içerisinde malların bir motorlu araç filosu ile tedarik noktasından talep noktasına hareket ettiği süreçte gerçekleşen faaliyetlerden oluşmaktadır. Taşımacılık şirketleri, temel iş süreçlerini oluşturan bu araç hareketleri üzerinden gelir sağlamaktadır. Bu nedenle, taşımacılık operasyonlarının (araç hareketlerinin) etkin ve verimli bir şekilde planlanması şirketler için önem taşımaktadır.

Karayolu yük taşımacılığı, araç kapasitesinin kullanım durumuna göre PKY taşımacılık ve TKY taşımacılık olarak gerçekleştirilebilmektedir. TKY taşımacılık sürecinde araç, bir tedarik noktasından aldığı gönderiyi direk olarak bir talep noktasına götürür ve ardından boş olarak yeni bir tedarik noktasına veya hazırlık noktasına (terminal, depo vb.) hareket eder. Burada, tek bir rota (düğüm çifti ya da yay) tek bir müşteri talebine aittir ve talepler geldikçe araç rotaları oluşmaktadır. PKY taşımacılık sürecinde ise araç, farklı arz-talep çiftleri arasında hareket etmesi gereken farklı yükleri taşımaktadır. Tek bir rota birden fazla talebe aittir ve bu nedenle rota, yüklerin teslim alma ve teslimat noktalarına göre oluşturulmaktadır. PKY taşımacılığı ve TKY taşımacılığındaki araç rotaları için örnek görseller Şekil 1'te gösterilmektedir. İlgili şekilde; harflendirilmiş yuvarlaklar tedarik ve/veya talep noktalarını (şehirler, perakende satış noktaları, fabrika veya depo konumları vb.), oklar ise araç rotalarını ifade etmektedir.

Karayolu yük taşımacılığı ekonomik kalkınma için gerekli olmakla birlikte çevreye ve insan sağlığına da zararlıdır. Bu taşımacılık faaliyetlerinin planlaması ile ilgili ya-



(a) Tam Kamyon Yükü Taşımacılık Örneği **(b)** Parsiyel Kamyon Yükü Taşımacılık Örneği

Şekil 1. Araç Kapasitesi Kullanımına Göre Karayolu Taşımacılığı Türleri. Kaynak: Ghiani ve diğ., 2013

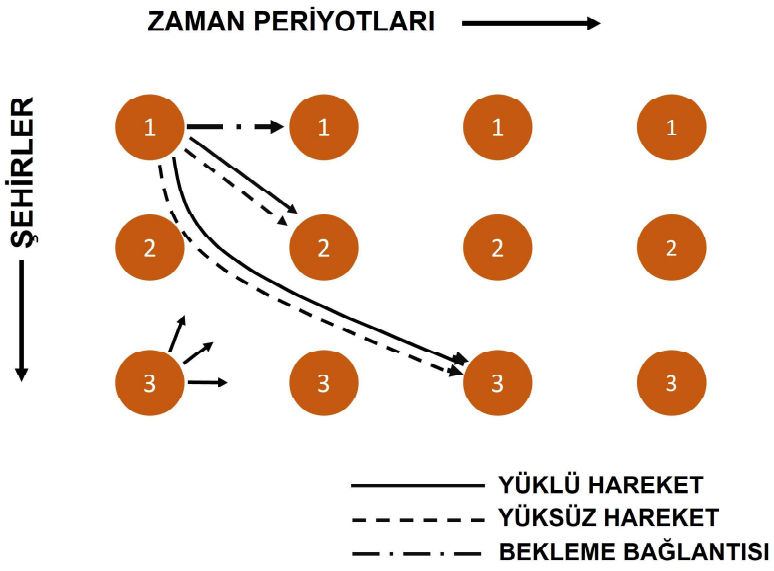
pılan çalışmalarda genellikle maliyet minimizasyonuna odaklanılmaktadır (Demir ve diğ., 2014). Halbuki, operasyon çıktıları oldukça geniş bir etki alanına sahip olan karayolu yük taşımacılığı planlamasında çok yönlü kararların verilmesi gerekmektedir. Bu noktada, operasyon verimliliğinin ve mevcut potansiyelinin arttırılmasına katkı sağlamak adına farklı koşullar altında (mesafe, araç kapasite kullanımı vb.) ve farklı amaçlar doğrultusunda (maliyet minimizasyonu, kâr maksimizasyonu vb.) ele alınan çeşitli lojistik problemleri vardır. Bu tez çalışması kapsamında ele alınan ATP, genellikle uzun mesafelerde TKY taşımacılığında karşılaşılan lojistik problemlerine örnek olarak verilebilir. İlgili problem Bölüm 2.3'ta detaylı olarak tanıtılmaktadır.

2.3 ARAÇ TAHSİS PROBLEMLERİ

ATP, tam araç kapasitesinin kullanılanılmasıyla mevcut taleplerin karşılandığı uzun yol yük taşımacılığı operasyonlarında en sık karşılaşılan lojistik problemlerinden biridir. Problem, genel bir çerçevede değerlendirildiğinde, bir dizi aracın sonlu planlama ufku boyunca düğüm çiftleri arasında oluşan talepleri doğrudan bir sevkiyat ile karşıladığı sistemler olarak düşünülebilir. Ayrıca, genellikle uzun mesafe yük taşımacılığı gerçekleştirerek gelir elde eden işletmelerin lojistik ağlarının yönetilmesinde karşılaşılan problem türüdür. Bu doğrultuda, işletmelerin lojistik faaliyetlerinin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi için ilgili problemlerde kullanılabilecek karar destek mo-

dellerine ihtiyaç duyulmaktadır.

ATP, belirli bir planlama ufku boyunca bir araç filosundaki yüklü veya boş araç hareketlerinin yönetilmesi gerekliliğinden ortaya çıkmaktadır. Problemde yüklü araç hareketleri ile TKY taşımacılığı gerçekleştirilirken, boş araç hareketleri ile gelecekteki talepler için araçların yerlerinin değiştirilmesi amaçlanmaktadır (Frantzeskakis & Powell, 1990). Klasik bir araç tahsis probleminde, bir düğümde bulunan mevcut araçlar için üç farklı karar verilebilmektedir. Araçlar, düğüm çiftleri arasında oluşan talepleri karşılamak için yüklü hareketleri gerçekleştirebilir. Ayrıca, planlama ufkunun sonraki dönemlerinde oluşacak talepleri karşılamak için bir başka düğüme yeniden konumlandırılabilir ya da mevcut düğümlerinde boş bekleyebilir. Tipik bir araç tahsis problemi için karar seçenekleri şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilde, sütunlar her bir zaman periyodunu, satırlar her bir şehri, noktalar arasında çizilen oklar da olası araç hareketi türlerini temsil etmektedir.



Şekil 2. Bir lojistik ağı için ATP'lerde karar seçeneklerinin şematik gösterimi. Kaynak: Powell, 1986

ATP üzerine yapılan ilk çalışma (Powell, 1986) ile birlikte pek çok çalışmada düğümler arasında gerçekleşen yüklü ve yüksüz araç hareketi kararları ile kârı maksimize etmek veya maliyeti minimize etmek amaçlanmaktadır. Klasik kararların yanı sıra, taleplerin kabul edilmesi veya reddedilmesi, mevcut talepleri karşılamak için

araç tipi seçimi gibi çeşitli kararlar da problem kapsamında dikkate alınabilmektedir. Ayrıca, araç tahsis problemleri klasik amaçların (kâr maksimizasyonu, maliyet minimizasyonu) yanı sıra farklı hedeflere ulaşmak için de uygulanabilmektedir.

Ele alınan kararların ve farklı amaç fonksiyonlarının yanı sıra ATP, bunlarla sınırlı olmamakla birlikte, taze ürün lojistiği, gıda lojistiği, ağır makine lojistiği gibi çeşitli uygulama alanlarında karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, genellikle karayolu yük taşımacılığında problem varsayımlarına (uzun mesafeli TKY taşımacılığı) rastlanmasına rağmen, denizyolu (eg Crainic ve diğ., 1993; Lam ve diğ., 2007) ve demiryolu (eg Boilé & Perić, 2013; Upadhyay & Bolia, 2014) gibi diğer taşımacılık türlerinde de araç tahsis problemlerinin varsayımları ile karşılaşılabilmektedir.

Sürdürülebilirlik, çevresel ve sosyal farkındalıkla birlikte ortaya çıkan lojistikle ilgili birçok yeni kavramdan bir tanesidir ve ATP'ne dahil edilmeyi beklemektedir. ATP'nde ele alınan klasik kararların (yüklü ve yüksüz araç hareketlerinin); ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik açısından lojistik operasyonların performansı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Operasyonlar kapsamında gerçekleştirilen yüklü araç hareketleri, taşımacılık şirketinin ekonomik performansına doğrudan katkı sağlamaktadır. Yüksüz araç hareketleri ise taşımacılık maliyetleri ile ekonomik, emisyon miktarı ile çevresel ve iş yükü yoğunluğu ile sosyal performansı olumsuz yönde etkileme potansiyaline sahip çıktılara sebep olmaktadır. Ancak, gelecekte elde edilecek kârlar için araçların yerlerinin değiştirilmesine olanak tanımaktadır (Vasco & Morabito, 2016). Araçların aynı noktada boş bir şekilde beklemesi kararı gelecekteki talepler için araçların konumlarının korunmasını sağlar ve yüksüz araç hareketleri gibi anlık çevresel veya sosyal performansı etkileyecek çıktılar üretmez. Tüm bu nedenlerle sürdürülebilirliğin ATP kapsamında ele alınması gereken bir kavram olduğu görülmektedir.

ATP'nde, müşteri talepleri yaylar üzerinde oluşmaktadır ve ilgili talepler doğrudan sevkiyat ile karşılanmaktadır. Bu durum, taşımacılık operasyonlarında yüklü araç hareketlerinin gerçekleşmesi gerektiği sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bununla birlikte, gelecekte oluşacak talepler için lojistik operasyonlarda araç akışının korunabilmesi için yüksüz araç hareketlerinin de gerçekleşmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, ATP'nde verimli araç kullanımına olanak tanıyan (araç kullanım oranını arttıran) ve

lojistik performansını iyileştiren "işbirlikli taşımacılık" kavramının ele alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında ATP sürdürülebilirlik ve dikey işbirliği varsayımları ile ele alınacaktır. Bu doğrultuda, ilgili çalışmaların ele alındığı literatür incelemesi bir sonraki bölümde detaylı olarak verilecektir.

2.4 ARAÇ TAHSİS PROBLEMLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE İŞBİRLİĞİ ÜZERİNE BİR LİTERATÜR TARAMASI

Bu tez çalışması kapsamında ele alınan ATP ile ilgili literatür incelemesi için "Web of Science" veri tabanı kullanılmaktadır. Bu veri tabanında "vehicle allocation (*araç tahsisi*)" anahtar sözcüğü ile "topic (*konu*)" esaslı tarama yapılmıştır. Yapılan tarama sonucunda 130 çalışmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmalar arasında ATP için nicel bir karar modeli içeren 64 makale detaylı olarak incelenmiştir. İnceleme sonucunda sayısal modellerinde "sürdürülebilirlik" ile ilgili varsayım içeren 19 makale, "iş birliği" ile ilgili varsayım içeren 9 makale olduğu görülmüştür. Tablo 1 bu nicel çalışmalara model tipi, çözüm yöntemi, ele alınan sürdürülebilirlik boyutu ve işbirliği türü ile ilgili bilgilerle genel bir bakış sağlanmaktadır.

Tablo 1. Araç Tahsis Problemlerinde Sürdürülebilirlik ve İşbirliği Yaklaşımlarını Ele Alan Çalışmaları İnceleme Tablosu

#	Makale	Model Tipi	Çözüm Yöntemi	Sürdürülebilirlik Boyutu			İşbirliği Türü	
				Ekonomik	Çevresel	Sosyal	Yatay	Dikey
1	Beaujon ve Turnquist, 1991	Doğrusal olmayan tamsayılı programlama	Frank-Wolfe algoritması	√			√	
2	Kamarthi ve diğ., 2003	Simülasyon modeli	Simülasyon		√			
3	de Oliveira Simonetto ve Borenstein, 2007	Tamsayılı doğrusal programlama	Renaud and Boctor's algoritması	√	√			
4	Fan ve diğ., 2008	Doğrusal programlama	Monte-carlo algoritması	√	√	√	√	
5	Beltran ve diğ., 2009	Analitik	Sezgisel rota oluşturma ve genetik algoritmalar	√	√			
6	Chen ve diğ., 2009	Tamsayılı doğrusal programlama	İki kademeli çözüm yöntemi			√		
7	C. Wu ve diğ., 2010	Doğrusal tamsayılı programlama	Çok amaçlı optimizasyon yöntemi	√	√	√		
8	Tan ve diğ., 2011	Doğrusal tamsayılı programlama	Gri bulanık doğrusal programlama yöntemi		√	√		
9	Ibri ve diğ., 2012	Karışık tamsayılı programlama	Genetik algoritma			√		
10	Fan, 2013	Stokastik doğrusal programlama	Bilgisayar yazılımı	√	√	√	√	
11	Zolfagharinia ve Haughton, 2014	Karışık tamsayılı programlama	Bilgisayar yazılımı	√		√		√
12	Turner ve diğ., 2015	Analitik	Görev takas tahsisi algoritması			√		
13	Yang ve diğ., 2015	Tamsayılı programlama	Lagrange sezgisel algoritması	√	√		√	
14	Kaewpuang ve diğ., 2016	Tamsayılı doğrusal programlama ve Simülasyon modeli	Oyun Teorisi	√	√		√	
15	Zolfagharinia ve Haughton, 2016	Karışık tamsayılı programlama	Bilgisayar yazılımı	√		√		√
16	Kim ve Lee, 2017	Tamsayılı doğrusal programlama	Bilgisayar yazılımı	√	√		√	
17	Irannezhad ve diğ., 2018	Tamsayılı doğrusal programlama	Simülasyon	√	√		√	
18	Jian ve diğ., 2020	Matematiksel optimizasyon modeli	Ayrık parçacık sürüsü optimizasyonu ile tabu arama algoritması		√			
19	Lei ve diğ., 2020	Oyun teorisi modeli	Miyop olmayan algoritma	√	√			
20	Shima ve diğ., 2021	Üç fazlı optimizasyon modeli	K-ortalamalar ve Genetik algoritması			√		
21	Bu çalışma	Karışık tamsayılı programlama	Bilgisayar yazılımı	√	√	√		√

Yapılan literatür taraması sonucunda ATP'nin farklı varsayımlar ile ele alındığı görülmektedir. Örneğin, ilgili alanda yapılan ilk çalışma Powell (1986), problemi belirli/sonlu bir planlama ufku boyunca taleplerin belirsiz olduğu varsayımı ile düğümler arasında gerçekleşen dolu ve boş araç hareketlerini ele almaktadır. Bununla birlikte, List ve diğ. (2003), Powell (1987) ve Shi ve diğ. (2014) çalışmalarında ATP'ni belirsiz talep varsayımı altında değerlendirmişlerdir. Belirsiz talep varsayımının yanı sıra bahsedilmeye değer bir diğer bulgu ise, problemlerde zaman içerisinde değişen verilere bağlı olarak sistemin yeniden değerlendirilmesi ve kararların güncellenmesi gerekliliği üzerine oluşturulan dinamiklik varsayımının ele alınma sıklığıdır. Literatürde ATP'nde ilgili varsayımı, dinamik fiyatlandırma (eg Andrade & Cunha, 2015) ve dinamik araç tahsisi (eg Lam ve diğ., 2007; Shi ve diğ., 2014; Vasco & Morabito, 2016) gibi farklı açılardan ele alan çalışmalar bulunmaktadır.

Literatürde, yukarıda bahsedilen varsayımların yanı sıra matematiksel modellerinde, tez kapsamında değerlendirilen lojistik trendlerden (sürdürülebilirlik ve işbirliği) herhangi biri ile ilgili bir varsayım içeren pek çok çalışma olduğu görülmektedir (bkz. Tablo 1). Yapılan çalışmalar incelendiğinde; Beaujon ve Turnquist (1991), lojistik operasyonlarda araç havuzunun kullanımı ile işbirliği kavramını (yatay); Kamarthi ve diğ. (2003), depozitolu (geri verilebilir) ürünlerin sevkiyat planlaması üzerinden ATP'nde sürdürülebilirlik kavramını (çevresel) tartışan ilk çalışmalar olduğu görülmektedir. Ayrıca tablonun hızlı bir incelemesi, 1991-2003 yılları arasında ilgili lojistik trendlerin ATP kapsamında ele alındığı bir çalışma olmadığını; fakat, 2003'ten sonra yapılan çalışmaların üçte birinin (18/54) ATP'nde işbirliği ve/veya sürdürülebilirlik varsayımlarından en az birini ele aldığını ortaya koymaktadır.

İlgili literatür incelemesinin sunulduğu Tablo 1'deki çalışmalara bakıldığında işbirliği kavramının çalışmaların beşte ikisinde ele alındığı görülmektedir. ATP'nde yatay işbirliği, ulaşım operasyonlarının ortak varlıkları (örneğin, araba paylaşımı, araç havuzu, yük konsolidasyonu) olarak araçların kullanılmasının farklı varyasyonları ile ele alınmaktadır. Beaujon ve Turnquist (1991) ve Kaewpuang ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmalarda, araç havuzu kullanımı üzerinden yatay işbirliği varsayımını probleme dahil ederek, mevcut araçların tahsisini belirleyen bir model önerilmektedir. Kaewpuang ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada farklı olarak araç havuzu ile az yakıt tüketimi sağlayarak çevresel faydalarını da ele almaktadır. Fan (2013), Fan ve

diğ. (2008) ve Kim ve Lee (2017) tarafından yapılan çalışmalarda araç paylaşımının probleme dahil edilmesi ile yakıt tüketiminin, emisyon miktarının ve hava kirliliğinin azaltılması amaçlanarak, yatay işbirliğinin çevresel faydaları değerlendirilmektedir. Irannezhad ve diğ. (2018), denizyolu taşımacılığının kara kısmında (*inland freight*) gerçekleştirilen operasyonlarda; Yang ve diğ. (2015) ise, farklı tedarik noktalarından toplanan ürünlerin birleştirilerek taşınması ile gerçekleştirilen operasyonlarda yatay işbirliğini çalışmalarına dahil etmektedir.

Gerçekleştirilen literatür incelemesinde, dikey işbirliği varsayımını dikkate alan yalnızca iki çalışma olduğu görülmektedir. Zolfagharinia ve Haughton (2014, 2016) tarafından yapılan çalışmalarda, taşımacılık şirketinin lojistik operasyon planlamasından önce müşterilerden talep bilgisini alması ile dikey işbirliğine ve sürücülerin evlerinden ayrı kalma süresinin önerilen modelde kısıt olarak kullanılması ile planlanan operasyonların sosyal faydasına odaklanılmaktadır. Dikey işbirliğinin ele alındığı çalışmalarda, işbirliği varsayımı ve taşımacılık operasyonlarının sürdürülebilirlik performansı birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmektedir. Bu durumun aksine, yatay işbirliği kapsamında ele alınan çalışmalarda, işbirliği varsayımının operasyonların sürdürülebilirlik performansı üzerindeki etkileri dikkate alınmaktadır.

Tablo 1'deki çalışmalara bakıldığında sürdürülebilirlik boyutlarının (ekonomik, çevresel, sosyal) hemen her çalışmada ele alındığı görülmektedir. Özellikle ekonomik ve çevresel sürdürülebilik, en sık değerlendirilen boyut olmuştur. ATP, klasik/genel yapısı açısından (yüklü ve yüksüz araç hareketi kararları optimize edilerek kâr maksimizasyonu veya maliyet minimizasyonu amaçlanması) ekonomik sürdürülebilirlik performansına doğrudan katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte çevresel sürdürülebilirlik, çalışmalarda en sık değerlendirilen diğer boyut olmuştur. Bu bağlamda yapılan çalışmaların neredeyse tamamında, lojistik operasyonlardan kaynaklanan emisyonlar ele alınmıştır. Emisyonlar ile başa çıkmak için farklı yöntemlere odaklanıldığı görülmektedir. Irannezhad ve diğ. (2018), Jian ve diğ. (2020), Tan ve diğ. (2011) ve C. Wu ve diğ. (2010) çalışmalarında çevre açısından verimli araç tahsis kararları (örneğin; düşük yakıt tüketimi, artan araç kullanımı) için karar destek modelleri geliştirmiş; Beltran ve diğ. (2009) ise çalışmasında yeşil araçların kullanımını ele almıştır. Bunların yanı sıra çevresel sürdürülebilirlik, geri dönüştürülebilir ürünlerin kullanılması (Kamarthi ve diğ., 2003) ve katı atık toplama operasyonlarının planlanması (de Oli-

veira Simonetto & Borenstein, 2007) üzerine yapılan çalışmalar ile farklı açılardan değerlendirilmiştir. Ancak sosyal sürdürülebilirlik kaygısı taşıyan çalışmalara literatürde daha az yer verildiği görülmektedir. ATP'nde sürdürülebilirliğin sosyal boyutu; tahliye planlaması (Chen ve diğ., 2009; Tan ve diğ., 2011; Turner ve diğ., 2015; C. Wu ve diğ., 2010), çalışan memnuniyeti (Shima ve diğ., 2021; Zolfagharinia & Haughton, 2014, 2016) ve trafik sıkışıklığı/güvenliği (Fan, 2013; Fan ve diğ., 2008) konuları ile ilgili yapılan çalışmalar ışığında farklı açılardan değerlendirilmiştir.

ATP'nde kullanılan klasik (yaygın ya da genel) amaç fonksiyonları kâr en büyüklemesi (maksimizasyonu) veya maliyet en küçüklemesi (minimizasyonu) olmasına rağmen yapılan literatür taraması, çeşitli alanlarda hedeflere ulaşmak için ilgili problemin farklı amaç fonksiyonları ile ele alındığını göstermektedir. Örneğin, acil durum operasyon uygulamalarında araç hareketlerinin planlanması için yapılan çalışmalarda problem; ambulans sayısının en aza indirilmesi (van Buuren ve diğ., 2018), hizmet-/kapsama alanının en üst düzeye çıkarılması (Andrade & Cunha, 2015; Liu ve diğ., 2016), mesafenin en aza indirilmesi (L. Wu, 2016), ve seyahat süresinin en aza indirilmesi (Ibri ve diğ., 2012) gibi çeşitli amaç fonksiyonları ile ele alınmaktadır. Fabrika üretkenliğinde önemli rol oynayan Otomatik Malzeme Taşıma Sistemlerine odaklanan çalışmalarda maksimum verimlilik (Huang ve diğ., 2012; Schmaler ve diğ., 2016) ve minimum bekleme süresi (J. T. Lin ve diğ., 2013) için amaç fonksiyonları kullanılmaktadır. Hanehalkının taleplerini karşılamak için araç tahsisinin yapıldığı çalışmalarda amaç fonksiyonu, kişilerin araç kullanımını en üst düzeye çıkarmaya odaklanmaktadır (Miller ve diğ., 2005; M. Roorda ve diğ., 2006; M. J. Roorda ve diğ., 2009). Jian ve diğ. (2020) çalışmalarında uydular arasındaki yörüngelerde lojistik desteği, montaj ve bakım gibi çeşitli görevleri yerine getiren servis araçlarının maksimum yakıt verimliliğini amaçlamaktadır.

Literatürde, çeşitli amaç fonksiyonları ile ele alınan problemler için farklı modeller kullanılmaktadır. Analiz edilen çalışmalarda tam sayı programlama tabanlı yaklaşımların en sık kullanılanılan modelleme tekniği olduğu görülmektedir. Tam sayılı programlama tekniğinin hem doğrusal programlama (Fan ve diğ., 2008; Kaewpuang ve diğ., 2016; Vasco & Morabito, 2016) hem de doğrusal olmayan programlama (Beaujon & Turnquist, 1991; Tari & Hashemi, 2016) ile olan örnekleri de bulunmaktadır. Sıklıkla tercih edilen bir diğer teknik de belirsizlik tabanlı modellemedir (Fan, 2013;

Lam ve diğ., 2007; Mesa-Arango & Ukkusuri, 2017; Powell, 1986). Farklı teknikler ile modellenen ATP için geliştirilen/uygulanan çeşitli çözüm yöntemleri/yaklaşımları mevcuttur. Çalışmaların büyük bir kısmında farklı sezgisel yöntemler kullanılmıştır. En çok tercih edilen sezgisel yaklaşımların Açgözlü Algoritma (Jixian ve diğ., 2019; Li ve diğ., 2019; J. T. Lin ve diğ., 2013; Sánchez-Martínez ve diğ., 2016; Vasco & Morabito, 2016) ve Genetik Algoritma (Gkiotsalitis ve diğ., 2019; Liu ve diğ., 2016; M. Roorda ve diğ., 2006; Tari & Hashemi, 2016) olduğu görülmektedir. Bunlara ek olarak, Parçacık Sürü Algoritması (Jian ve diğ., 2020; L. Wu, 2016; Zhang ve diğ., 2009) ve Tabu Arama Algoritması (Lee ve diğ., 2008; Sung & Song, 2003) kullanılan diğer sezgisel yaklaşımlara örnek olarak gösterilebilir. Sezgisel yöntemler ile birlikte simülasyon çözüm yönteminin de literatürde sayıca fazla kullanıldığı görülmektedir (örneğin, (Jian ve diğ., 2020; L. Wu, 2016; Zhang ve diğ., 2009)).

Bu tez çalışmasında, bir araç tahsis probleminde dikey lojistik işbirliği varsayımının hem lojistik operasyonları performansı hem de bu operasyonların sürdürülebilirlik (ekonomik, çevresel, sosyal) performansı üzerindeki etkilerinin ele alınmasının karar vericiler için fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Literatür taraması kapsamında incelenen çalışmalarda, dikey lojistik işbirliğinin, sürdürülebilirliğin üç boyutunun ve bunlar arasındaki etkileşimin eş zamanlı olarak ele alındığı bir çalışma bilindiği kadarıyla bulunmamaktadır. Bu yönü ile diğer çalışmalardan ayrılması, tez kapsamında ele alınan çalışmanın literatüre olan katkısını ortaya koymaktadır.

3. BÖLÜM

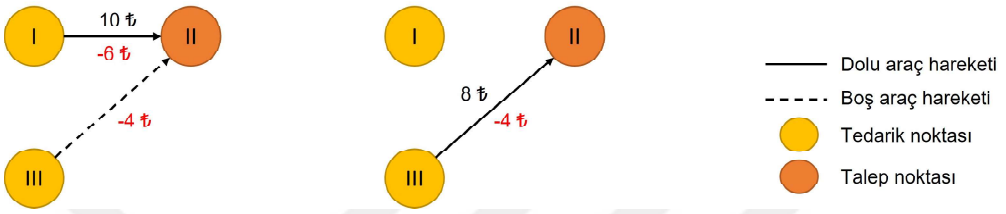
PROBLEM TANIMI VE BİR MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ

Bu tez çalışamasında, TKY taşımacılık ile gerçekleştirilen uzun yol yük taşımacılığında karşılaşılan bir araç tahsis problemi dikey lojistik işbirliği varsayımı altında ele alınmaktadır. Bu bölümde, ilgili problem tanımına ve önerilen matematiksel modele yer verilmektedir.

Dikey lojistik işbirliği varsayımı ile ele alınan araç tahsis probleminde, $N = \{1, 2, \ldots, |N|\}$ düğüm kümesi, $C = \{1, 2, \ldots, |C|\}$ işbirliği yapılan müşteri kümesi ve $A = \{(i, j) : i, j \in N, i \neq j\}$ düğümler arası yaylar kümesi olarak tanımlanmaktadır. Her bir $c \in C$ müşterisi için; $S_c = \{1, 2, \ldots, |S_c|\}$ tedarik düğümlerinin (fabrika konumları) kümesi ve $D_c = \{1, 2, \ldots, |D_c|\}$ ise talep düğümlerinin kümesi şeklinde ifade edilmektedir. Bu çalışmada, taşımacılık faaliyetlerinden elde edilecek kârın maksimize edilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla, işbirliği yapan müşteriler için fabrikalar arası üretim kaydırma (kapasite tahsis) kararları ve taşımacılık şirketi için yüklü ve yüksüz araç tahsis kararları eş zamanlı olarak planlanmaktadır.

Problemde iki farklı müşteri grubuna hizmet veren bir taşımacılık şirketi ele alınmaktadır. Taşımacılık şirketi ile işbirliği yapan müşteri grubu üst seviye, işbirliği yapmayan müşteri grubu ise alt seviye olarak ifade edilmektedir. Hem endüstriyel hem de bireysel müşterilerden oluşabilen alt seviye müşteri grubunun önceden tanımlanmış ve değiştirilmesi mümkün olmayan arz-talep çiftlerine sahip olduğu bilinmektedir. Yalnızca edüstriyel müşterilerden oluşan üst seviye müşteri grubu ile kapasite tahsis kararlarının ortak alınabildiği varsayılmaktadır. Üst seviye grubundan her müşteri, her dönemde birden fazla düğümde meydana gelebilcek talepleri karşılayabilen birden fazla tedarik düğümüne sahiptir. İlgili müşterilerin hangi düğümdeki talebi hangi tedarik düğümündeki fabrikadan karşılayacağı konusunda birincil planları bulunmaktadır. Her müşterinin her fabrikasının her dönem için sahip olduğu üretim kapasitesi $f_{c,i,t}$ $(c \in C, i \in S_c, t \in T = \{1, 2, ..., |T|\})$ önceden tanımlanmıştır. Lojistik şirketi, verilen üretim limitleri $[0, f_{c,i,t}]$ dahilinde, üst seviye grubundaki her müşterinin taleplerini, nakliye ücreti indirimi ile ilgili müşterinin tedarik noktalarındaki fabrikalar arasında kaydırma seçeneğine sahiptir. Bununla birlikte, üretim kapasitesi kısıtına bağlı olarak taşımacılık şirketinin her müşteri için ilgili düğümden ilgili zaman pe-

riyodunda gönderebileceği araç sayısı $\vartheta_{c,i,t}$ $(c \in C, i \in S_c, t \in T = \{1, 2, ..., |T|\})$ sınırlanmaktadır. Gerçekleştirilen lojistik anlaşması kapsamında üst seviye grubundaki müşterinin taşımacılık maliyetleri azaltılırken, taşımacılık şirketinin araç kullanım oranı iyileştirilebilmektedir.



Şekil 3. Açıklayıcı bir örnek (Siyah sayılar geliri, kırmızı sayılar taşımacılık maliyetini temsil etmektedir)

Şekil 3, üst seviye grubundaki bir müşterinin talepleri için tedarik düğümlerinin yeniden tahsis edilmesinin lojistik operasyonların performansını iyileştirdiği olası senaryolardan bir örnek göstermektedir. Başlangıçta, müşteri II. düğümünde oluşan talebini, I. düğümdeki fabrikasından karşılamayı planlamaktadır ve 10₺ lojistik ücreti ödediği varsayılmaktadır. Lojistik şirketi, maliyeti 6₺ olan bu nakliyattan 4₺ kâr elde etmektedir. Aynı zamanda, şirketin III. düğümden II. düğüme 4₺ maliyet ile hareket eden (başka) boş bir aracı bulunmaktadır. Taşımacılık şirketinin ilgili dönemdeki bahsedilen taşımacılık operasyonundan elde ettiği toplam kârı 0₺ olarak hesaplanmaktadır. Bu durumda lojistik şirketi ilgili müşteriye II. düğümde oluşan talebini karşılamak için tedarik noktasını I. düğümden III. düğüme kaydırması durumda 8₺ nakliye ücreti uygulayacağı bir anlaşma sunmaktadır. Müşteri ile şirket arasında bu işbirliği anlaşmasının gerçekleşmesi sonucunda, hem üst seviye grubundaki müşterinin karşılaşacağı taşımacılık maliyetinin azaldığı (10₺ yerine 8₺) hem de taşımacılık şirketinin elde edeceği kârın arttığı (0₺ yerine 4₺) görülmektedir.

Taşımacılık operasyonlarının gerçekleştiği yayın, başlangıç ve bitiş düğümleri arasındaki seyahat süresi $\tau_{i,j}$ $i, j \in N$ ile ifade edilmektedir. Bu süre, gün bazlıdır ve aracın kalkış-varış düğümleri arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir. Her $t \in T$ dönemi için bir yay üzerinde oluşan; alt seviye grubunun toplam talebi $\theta_{i,j,t}$ $(i, j \in N)$, üst seviye grubundaki her $c \in C$ müşterisinin talepleri $\delta_{c,i,j,t}$ $(i \in S_c, j \in D_c)$ ile gösterilmektedir. Herhangi bir düğüm çifti arasındaki talep miktarı araç sayısı ile öl-

çülür. Taşımacılık şirketinin sahip olduğu araç filosu V homojen araçtan oluşmaktadır. Planlama ufkunun başlangıcında düğümlerde bulunan araç sayısı bilinmektedir. Ayrıca, $t \in T$ döneminde $i \in N$ düğümünden sisteme giren ve sistemden ayrılan araç sayıları $m_{i,t}$ ile gösterilmektedir.

Taşımacılık şirketi, karşılayacağı veya reddedeceği alt seviye grubundaki müşteri taleplerini seçebilmesine rağmen, üst seviye grubundaki müşterilerin tüm taleplerini karşılamak zorundadır. Düğüm çifti $i, j \in N$ arasındaki mevcut taleplerin karşılanması, yani her bir dolu araç hareketi, sonucunda elde edilen gelir $p_{i,j}$ ile gösterilmektedir. Üst seviye grubundaki müşterinin tedarik düğümlerini değiştirmesi durumunda, taşımacılık şirketi kaydırılan talep miktarı için indirimli fiyat $\hat{p}_{i,j}$ uygulamaktadır. Bunun yanı sıra, üst seviye grubundaki müşterilerin herhangi bir $t \in T$ döneminde karşılanamayan talebi olması durumunda, şirketin dışarıdan araç temin etmesi gerektiğinden (araç kiralama, başka taşımacılık şirketinin araçlarını kullanmak için anlaşma yapma vb.), bir ceza maliyeti $\eta_{i,j,t}$ $(i, j) \in A$ oluşmaktadır. Ayrıca şirket, her bir yay $(i, j) \in A$ üzerinde gerçekleşen yüksüz araç hareketi sonucu taşımacılık maliyetine $e_{i,j}$ katlanmaktadır.

Problemde dört karar değişkeni ele alınmaktadır. $X_{i,j,t}$ karar değişkeni, mevcut talebi karşılamak için $t \in T$ dönemi başlangıcında $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne hareket eden yüklü araç sayısını ifade etmektedir. Diğer bir karar değişkeni olan $Y_{i,j,t}$ ise $t \in T$ dönemi başında $i, j \in N$ düğüm çifti arasında yüksüz hareket eden araç sayısını temsil etmektedir. Karar değişkenlerinden $U_{i,j,t}$ ise üst seviye grubundaki müşterilerin $t \in T$ döneminde $(i, j) \in A$ yayı üzerinde taşımacılık şirketinin kendi araç filosu ile karşılayamadığı talepleri için dışarıdan temin edeceği araç taleplerini göstermektedir. Kullanılan son karar değişkeni olan $Z_{c,(k,j),(i,j),t}$ ise $t \in T$ döneminde üst seviye grubundaki $c \in C$ müşterisinin (k, j) yayından (i, j) yayına kaydırılan talep miktarını ifade etmektedir. Bu değişken için $i, k \in S_c$ ilgili müşterinin iki farklı tedarik noktasını, $j \in D_c$ ise talep noktasını temsil etmektedir. Söz konusu karar değişkenlerinin tümü tam sayı değerler almaktadır.

Ele alınan problemin amacı, planlama ufku boyunca, taşımacılık şirketinin lojistik operasyonlarındaki yüklü ve yüksüz araç hareketleri ile üst seviye grubundaki müşteriler için üretim kaydırma hareketlerini belirlemektir. Böylece, hem şirket hem de

müşteriler için toplam kârın eş zamanlı olarak maksimize edilmesi hedeflenmektedir.

Dikey lojistik işbirliği seçeneğinin ele alındığı bir araç tahsis probleminin çözümü için TSDP modeli önerilmiştir. Önerilen model Ghiani ve diğ. (2013) tarafından sunulan temel ATP modeline dayalı olarak geliştirilmiştir. Önerilen model; (i) amaç fonksiyonuna eklenen ceza maliyeti ve indirim miktarı, (ii) yüklü araç sayısı kısıt setine dahil edilen farklı talepler, (iii) dış araç kullanımıyla karşılanan talepler için eklenen kısıt seti, ve (iV) kaydırılan talep miktarı için eklenen kısıt setleri ile temel modelden farklılaşmıştır. Tez kapsamında geliştirilen modelin notasyon tablosu Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Notasyon Tablosu

Sembol	Açıklama	Birim
N	Düğüm kümesi, $N = \{1, 2, ..., \|N\|\}$	
A	Yay kümesi, $A = \{(i, j) : i, j \in N\}$	
C	İşbirliği yapan müşteri kümesi, $C = \{1, 2, ..., \|C\|\}$	
S_c	İşbirliği yapan c müşterisinin fabrika/tedarik düğümlerinin kümesi, $S_c = \{1, 2, ..., \|S_c\|\}$, $S_c \subset N$	
D_c	İşbirliği yapan c müşterisinin talep düğümlerinin kümesi, $D_c = \{1, 2, ..., \|D_c\|\}$, $D_c \subset N$	
T	Zaman periyotları, $T = \{1, 2, ..., \|T\|\}$	Gün
$\delta_{c,i,j,t}$	İşbirliği yapan c müşterisinin, $t \in T$ döneminde $i \in S_c$ tedarik düğümü ile $j \in D_c$ talep düğümü arasında oluşan talep miktarı	Adet
$\theta_{i,j,t}$	İşbirliği yapmayan müşterilerin, $t \in T$ döneminde $(i, j) \in A$ yayında oluşan talep miktarı	Adet
$\tau_{i,j}$	Düğüm çifti $i, j \in N$ arasındaki seyahat süresi	Gün
$p_{i,j}$	Düğüm çifti $i, j \in N$ arasındaki taleplerin karşılanmasından elde edilen gelir	₺/Adet
$e_{i,j}$	Yay $(i, j) \in A$ üzerindeki yüksüz araç hareketinin sebep olduğu taşımacılık maliyeti	₺/Adet
$\eta_{i,j}$	Yay $(i, j) \in A$ üzerindeki işbirliği yapan $c \in C$ müşterisinin araç filosu ile karşılanamayan talebinin ceza maliyeti	₺/Adet
$\hat{p}_{i,j}$	İşbirliği yapan müşterinin tedarik düğümünü $k \in S_c$'dan $i \in S_c$'ye kaydırdığı talep miktarı için uygulanan indirimli fiyat	₺
$\vartheta_{c,i,t}$	İşbirliği yapan $c \in C$ müşterisi için $i \in S_c$ düğümünden hareket eden maksimum araç sayısı	Adet
$m_{i,t}$	$t \in T$ döneminde $i \in N$ düğümünden sisteme dahil olan veya sistemden ayrılan araç sayısı	Adet
$X_{i,j,t}$	$t \in T$ döneminde $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne hareket eden yüklü araç sayısı	Adet
$Y_{i,j,t}$	$t \in T$ döneminde $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne hareket eden yüksüz araç sayısı	Adet
$U_{i,j,t}$	$t \in T$ döneminde $i, j \in N$ düğüm çifti arasında işbirliği yapan müşterilerin talepleri için dışarıdan temin edilecek araç talebi	Adet
$Z_{c,(k,j),(i,j),t}$	$t \in T$ döneminde işbirliği yapan $c \in C$ müşterisinin (k, j) yayından (i, j) yayına kaydırılan talep miktarı, $i, k \in S_c$, $j \in D_c$	Adet

Maksimize (en büyükle)

$$\sum_{t=1}^{T} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{j \in N, \\ j \neq i}} (p_{i,j} X_{i,j,t} - e_{i,j} Y_{i,j,t}) - \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (\eta_{i,j} * \sum_{t=1}^{T} U_{i,j,t}) - \sum_{t=1}^{T} \sum_{c \in C} \sum_{j \in N} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{k \in N, \\ k \neq i}} (\hat{p}_{i,j} Z_{c,(k,j),(i,j),t}) \tag{3.1}$$

Amaç fonksiyonu (3.1), yüklü araç hareketlerinden elde edilen gelir, boş araç hareketlerinden kaynaklanan taşımacılık maliyeti, üst seviye grubundaki müşterilerin tedarik

düğümlerinin kaydırılması durumunda uygulanan indirim miktarı ve bu müşterilerin dışarıdan araç temin ederek karşılanan talepleri için katlanılan ceza maliyetlerinden oluşmaktadır.

Kısıt seti altında

$$\sum_{j \in N} (X_{i,j,1} + Y_{i,j,1}) = m_{i,1}, \qquad i \in N \tag{3.2}$$

$$\sum_{j \in N} (X_{i,j,t} + Y_{i,j,t}) - \sum_{\substack{h \in N \\ h \neq i \\ t > \tau_{h,i}}} (X_{h,i,(t-\tau_{h,i})} + Y_{h,i,(t-\tau_{h,i})}) - Y_{i,i,(t-1)} = 0$$

$$i \in N, t \in \{2, ..., T\} \tag{3.3}$$

Kısıt (3.2) ve (3.3), her zaman periyodunun başında her düğüm için yüklü ve yüksüz araç hareketlerini dikkate alarak araç akışlarını dengeler.

$$X_{i,j,t} \leq \sum_{c \in C} (\delta_{c,i,j,t} + \sum_{\substack{k \in N \\ k \neq i}} (Z_{c,(k,j),(i,j),t} - Z_{c,(i,j),(k,j),t})) + \theta_{i,j,t}$$

$$i \in N, j \in N, t \in \{1, ..., T\} \tag{3.4}$$

Kısıt (3.4), düğüm çiftleri arasında hareket eden yüklü araç sayısının, ilgili yaydaki toplam talep miktarından fazla olmamasını sağlar. Söz konusu toplam talep, üst seviye ve alt seviye müşteri gruplarının mevcut talepleri ile üst seviye grubundaki müşterilerin ilgili yaya kaydırılan taleplerinden oluşmaktadır.

$$U_{i,j,t} + X_{i,j,t} \geq \sum_{c \in C} \left(\delta_{c,i,j,t} + \sum_{\substack{k \in N \\ k \neq i}} \left(Z_{c,(k,j),(i,j),t} - Z_{c,(i,j),(k,j),t} \right) \right)$$

$$i \in N, j \in N, t \in \{1, ..., T\} \tag{3.5}$$

Kısıt (3.5) üst seviye grubundaki bir müşterinin şirketin araç filosu ile karşılanamayan talepleri için dışarıdan temin edeceği araç talebi miktarının, ilgili yaydaki toplam talep miktarı (mevcut talep ve kaydırılan talep) ile yüklü hareket eden araç sayısı arasındaki farktan büyük veya eşit olmasını sağlar.

$$\sum_{i \in N} Z_{c,(k,j),(i,j),t} \leq \delta_{c,k,j,t} \qquad c \in C, k \in N, j \in N, t \in \{1, ..., T\} \tag{3.6}$$

Kısıt (3.6) üst seviye grubundaki bir müşterinin ilgili yaydan kaydırılan talep miktarını, o yaydaki mevcut talep miktarı ile sınırlar.

$$\sum_{j \in N} \sum_{\substack{k \in N \\ k \neq i}} Z_{c,(k,j),(i,j),t} \leq \vartheta_{c,i,t} \qquad c \in C, i \in N, t \in \{1, ..., T\} \tag{3.7}$$

Kısıt (3.7) üst seviye grubundaki bir müşterinin ilgili düğüme kaydırılan talep miktarını, o düğümden ayrılabilecek maksimum araç sayısı ile kısıtlar.

$$X_{i,j,t} \in N, \qquad i \in N, j \in N, t \in \{1, ..., T\} \tag{3.8}$$

$$Y_{i,j,t} \in N, \qquad i \in N, j \in N, t \in \{1, ..., T\} \tag{3.9}$$

$$U_{i,j,t} \in N, \qquad i \in N, j \in N, t \in \{1, ..., T\} \tag{3.10}$$

$$Z_{c,(k,j),(i,j),t} \in N, \qquad c \in C, j \in N, i \in N, k \in N, k \neq i, t \in \{1, ..., T\} \tag{3.11}$$

Kısıt setleri (3.8), (3.9), (3.10), ve (3.11) karar değişkenleri üzerindeki değer kısıtlamalarını tanımlar.

4. BÖLÜM

SAYISAL ANALİZLER

Bu bölümde, yapılan sayısal analizlere ve bu analizlerin sonuçlarına yer verilecektir. Öncelikle, sayısal analizler ile modelin uygulanabilirliğinin gösterilmesi amaçlanmaktadır. Ardından, belirlenen performans kriterleri üzerinden yapılan değerlendirmeler ile modelin katma değerinin ortaya konması hedeflenmektedir.

Bu doğrultuda, dikey lojistik işbirliği varsayımına sahip bir araç tahsis probleminde önerilen matematiksel modelin uygulaması sunulacaktır ve problem çözümünden elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir. Ardından, çalışma kapsamında önerilen model kullanılarak belirlenen performans kriterleri üzerinden değerlendirmeler yapılacaktır. Devamında, dikey lojistik işbirliği varsayımının sürdürülebilirlik performansına etkisi incelenecek ve farklı senaryolar ile bu etkinin büyüklüğü değerlendirilecektir. Analizler kapsamında ele alınan problem setlerinin çözümü için Intel® Core ™ i7-8565U CPU @ 1.80 GHz işlemci ve 16 GB RAM içeren bir makinede IBM ILOG CPLEX Studio IDE v.12.10 kullanılmıştır.

İlk olarak, oluşturulan örnek olay veri seti ile birlikte tanıtılmaktadır ve çözümü yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmektedir. Bu sonuçlar ile dikey lojistik işbirliği varsayımının dikkate alınmadığı problem çözümünün sonuçları tanımlanan performans kriterleri üzerinden karşılaştırılarak gösterilmektedir. Son olarak, problemin ele alındığı farklı senaryolar üzerinden yapılan analizlerin sonuçları değerlendirilmektedir.

4.1 ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ

Bu bölümde, ilk olarak örnek olayın veri seti tanıtılacak, ardından örnek olayın çözümü ve analizine yer verilecektir.

4.1.1 Veri Setinin Tanıtılması

Problemde planlama periyodu gün olarak alınmıştır ve planlama ufku 15 gündür. Taşımacılık faaliyetlerinin (nüfus yoğunluklarına göre seçilen) Türkiye'nin 30 şehri arasında gerçekleştiği varsayılmaktadır. Öncelikle şehirler bulundukları bölgelere göre ayrılmıştır (Akdeniz, Doğu Anadolu, Ege, Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu, Karadeniz, Marmara) ve her bölgenin toplam nüfusu hesaplanmıştır. Toplam nüfusu 0 ile 10.000.000 arasında olan bölgelerden üç, 10.000.000 ile 15.000.000 arasında olan bölgelerden beş, 15.000.000'dan fazla olan bölgelerden altı şehir seçilmiştir. Seçilen şehirler, nüfus yoğunluklarına göre (bölge içerisinde en yüksek nüfusa sahip olan şehirler) belirlenmiştir. Şehirler arasındaki mesafeler Karayolları Genel Müdürlüğünün sitesinden alınmıştır. Veri setinde kullanılan şehirler arası mesafe tablo 3'da gösterilmektedir.

Tablo 3. Şehirlerarası Mesafe (km)

İL ADI	ADANA	ANKARA	ANTALYA	AYDIN	BALIKESİR	BURSA	DENİZLİ	DİYARBAKIR	ERZURUM	ESKİŞEHİR	GAZİANTEP	HATAY	İSTANBUL	İZMİR	KAHRAMANMARAŞ	KAYSERİ	KOCAELİ	KONYA	MALATYA	MANİSA	MERSİN	MUĞLA	ORDU	SAKARYA	SAMSUN	SİVAS	ŞANLIURFA	TEKİRDAĞ	TRABZON	VAN
ADANA	0	492	548	881	903	857	762	538	809	691	216	196	951	908	198	335	841	358	397	887	69	858	708	803	754	428	355	1082	839	905
ANKARA	492	0	543	596	536	385	477	900	876	234	654	689	453	584	579	316	342	259	653	563	485	619	558	305	412	442	793	583	733	1215
ANTALYA	548	543	0	346	506	544	221	1086	1246	421	764	745	716	449	746	616	605	321	955	428	468	310	1051	568	904	812	903	846	1226	1453
AYDIN	881	596	346	0	291	441	124	1412	1455	474	1097	1078	680	128	1079	825	567	528	1165	152	813	98	1163	621	1016	1021	1236	620	1338	1726
BALIKESİR	903	536	506	291	0	152	285	1424	1397	303	1119	1100	391	175	1101	848	278	550	1176	139	896	390	1050	316	903	987	1258	369	1225	1738
BURSA	857	385	544	441	152	0	435	1273	1238	152	1026	1054	244	325	951	688	131	504	1025	289	850	540	891	157	744	836	1165	378	1066	1587
DENİZLİ	762	477	221	124	285	435	0	1293	1336	355	978	959	649	228	960	706	539	409	1046	207	689	145	1044	502	897	902	1117	652	1219	1607
DİYARBAKIR	538	900	1086	1412	1424	1273	1293	0	316	1121	322	516	1351	1439	369	582	1241	889	247	1418	607	1396	720	1203	836	493	177	1482	618	367
ERZURUM	809	876	1246	1455	1397	1238	1336	316	0	1119	654	788	1229	1469	634	636	1118	932	412	1448	879	1479	404	1081	551	438	493	1360	302	410
ESKİŞEHİR	691	234	421	474	303	152	355	1121	1119	0	874	887	323	414	799	536	213	338	873	393	683	498	801	176	654	684	1013	454	976	1435
GAZİANTEP	216	654	764	1097	1119	1026	978	322	654	874	0	195	1105	1124	78	336	994	574	242	1103	285	1074	687	957	712	408	139	1236	818	689
HATAY	196	689	745	1078	1100	1054	959	516	788	887	195	0	1148	1104	176	434	1037	555	376	1083	266	1054	785	1000	810	506	333	1278	917	884
İSTANBUL	951	453	716	680	391	244	649	1351	1229	323	1105	1148	0	564	1029	767	113	676	1104	527	944	792	882	148	735	892	1243	131	1057	1636
İZMİR	908	584	449	128	175	325	228	1439	1469	414	1124	1104	564	0	1106	852	452	555	1191	37	900	227	1152	489	1005	1035	1263	499	1327	1753
KAHRAMANMARAŞ	198	579	746	1079	1101	951	960	369	634	799	78	176	1029	1106	0	261	919	556	222	1084	267	1056	612	882	637	332	217	1160	743	736
KAYSERİ	335	316	616	825	848	688	706	582	636	536	336	434	767	852	261	0	656	302	335	831	328	849	482	619	453	202	475	897	613	897
KOCAELİ	841	342	605	567	278	131	539	1241	1118	213	994	1037	113	452	919	656	0	566	993	415	833	681	772	37	625	782	1133	243	947	1526
KONYA	358	259	321	528	550	504	409	889	932	338	574	555	676	555	556	302	566	0	641	534	351	552	737	529	590	498	713	807	912	1203
MALATYA	397	653	955	1165	1176	1025	1046	247	412	873	242	376	1104	1191	222	335	993	641	0	1170	467	1188	564	956	589	246	269	1234	594	562
MANİSA	887	563	428	152	139	289	207	1418	1448	393	1103	1083	527	37	1084	831	415	534	1170	0	879	251	1131	452	984	1014	1241	506	1306	1732
MERSİN	69	485	468	813	896	850	689	607	879	683	285	266	944	900	267	328	833	351	467	879	0	777	777	796	747	497	424	1074	908	974
MUĞLA	858	619	310	98	390	540	145	1396	1479	498	1074	1054	792	227	1056	849	681	552	1188	251	777	0	1187	644	1040	1045	1213	719	1362	1750
ORDU	708	558	1051	1163	1050	891	1044	720	404	801	687	785	882	1152	612	482	772	737	564	1131	777	1187	0	734	147	307	815	1013	175	811
SAKARYA	803	305	568	621	316	157	502	1203	1081	176	957	1000	148	489	882	619	37	529	956	452	796	644	734	0	588	745	1096	279	909	1488
SAMSUN	754	412	904	1016	903	744	897	836	551	654	712	810	735	1005	637	453	625	590	589	984	747	1040	147	588	0	350	840	866	322	958
SİVAS	428	442	812	1021	987	836	902	493	438	684	408	506	892	1035	332	202	782	498	246	1014	497	1045	307	745	350	0	497	1023	415	808
ŞANLIURFA	355	793	903	1236	1258	1165	1117	177	493	1013	139	333	1243	1263	217	475	1133	713	269	1241	424	1213	815	1096	840	497	0	1374	805	544
TEKİRDAĞ	1082	583	846	620	369	378	652	1482	1360	454	1236	1278	131	499	1160	897	243	807	1234	506	1074	719	1013	279	866	1023	1374	0	1188	1767
TRABZON	839	733	1226	1338	1225	1066	1219	618	302	976	818	917	1057	1327	743	613	947	912	594	1306	908	1362	175	909	322	415	805	1188	0	709
VAN	905	1215	1453	1726	1738	1587	1607	367	410	1435	689	884	1636	1753	736	897	1526	1203	562	1732	974	1750	811	1488	958	808	544	1767	709	0

Şehirler arasındaki seyahat süreleri $\tau_{i,j}$, noktalar arasındaki mesafeye göre değişmektedir. Bu süreler; mesafe 0 ile 499 kilometre arasında ise bir gün, 500 ile 999 kilometre arasında ise iki gün ve 1000 kilometreden fazla ise üç gün olacak şekilde belirlenmiştir.

Şehir çiftleri arasında taşımacılık operasyonlarının üstlenildiği, üst seviye grubunda beş müşteri $(C = \{1, 2, 3, 4, 5\})$ olduğu varsayılmaktadır. Üst seviye grubundaki müşteri talepleri $\delta_{c,i,j,t}$, her bir müşteri ve her bir dönem/periyot için ayrı olarak ve sıfır ile iki arasındaki sayılardan $[0, 2]$ rastgele seçilerek belirlenmiştir. İlgili nokta çiftleri arasındaki alt seviye müşteri grubu talepleri $\theta_{i,j,t}$ ise her bir dönem için bütün müşterilerin talepleri toplamı olarak ele alınmıştır. Alt seviye müşteri grubunun talep verisi, sıfır ile üç arasında $[0, 3]$ olacak şekilde rassal olarak oluşturulmuştur. Taşımacılık şirketinin talepleri karşılayan 10 teker ve $60m^3$ hacme sahip homojen bir araç filosu kullandığı varsayılmaktadır ve planlama ufkunun başlangıcında tüm noktalarda (şehirlerde) bulunan araç sayıları $m_{1,i}$ bellidir. Zaman içinde sisteme yeni bir araç dahil olmamaktadır ve sistemden hiçbir araç ayrılmamaktadır $m_{t,i} = 0, t \in 2, 3, ..., 15, i \in N$. Ayrıca, üst seviye grubundaki her müşterinin fabrikalarında kaydırılan talepler için ayırdığı ekstra üretim kapasitesi bulunmaktadır. Bu kapasiteye bağlı olarak taşımacılık şirketinin ilgili fabrikanın bulunduğu noktadan (şehirden) gönderebileceği araç sayısı $\vartheta_{c,i,t}$; her dönem, her müşteri ve her tedarik noktası için sabit ve 2 birim olarak belirlenmiştir. Tüm planlama ufku boyunca noktalar (şehirler) arası üst seviye müşteri grubunun toplam talebinin 261 adet, alt seviye müşteri grubunun toplam talebinin 230 adet ve başlangıçta farklı noktalarda (şehirlerde) bulunan toplam araç sayısının 26 olduğu varsayılmaktadır.

Araçların noktalar (şehirler) arasında oluşan talepleri karşılamasından (yüklü araç hareketleri) elde edilen gelir veri seti $p_{i,j}$, kilometre başına $3,1$ ile 5 arasında uniform dağılım ile rassal olarak oluşturulmuştur. Üst seviye grubundaki müşterilerin kaydırılan talepleri için uygulanan indirim doğrultusunda geri ödenen miktar $\hat{p}_{i,j}$, ilgili nokta çiftine bağlı olarak elde edilen gelirin $\%10$'u ile $\%30$'u arasında rassal olarak değişmektedir. İlgili nokta (şehir) çiftleri arasındaki yüksüz araç hareketlerinden kaynaklanan taşıma maliyeti de $e_{i,j}$, elde edilen gelirin üçte biri olacak şekilde hesaplanmıştır. Üst seviye grubundaki müşterilerin dış kaynak kullanımı ile karşılanan talepleri için katlanılan ceza maliyetinin $\eta_{i,j}$ ise taşımacılık maliyetinin bir buçuk $1,5$ katı olduğu

varsayılmaktadır. Örnek olay veri setinin oluşturulma kriterleri ve parametre değerleri Tablo 4'te özetlenmektedir.

Tablo 4. Örnek Olay Veri Seti

Setler ve Parametreler	Veri Oluşturma Kriteri	Değerler
Zaman periyodu (planlama ufku), T		$T = \{1, 2, ..., 15\}$
Lojistik işbirliği yapan müşteriler, C		$C = \{1, 2, ..., 5\}$
Düğümler (şehirler), N	Nüfus yoğunluğuna göre	$N = \{1, 2, ..., 30\}$
Seyahat süresi, $\tau_{i,j}$	Her 400 km 1 gün, 1000 km ve sonrası 3 gün	$\tau_{i,j} = \{1, 2, 3\}$
İşbirliği yapan müşteri talebi, $\delta_{c,i,j,t}$	0 ile 2 arasında rastgele olarak	$\delta_{c,i,j,t} = [0, 2]$
İşbirliği yapmayan müşterilerin toplam talebi, $\theta_{i,j,t}$	0 ile 3 arasında rastgele olarak	$\theta_{i,j,t} = [0, 3]$
Başlangıçta şehirlerdeki araç sayısı, $m_{i,1}$	0 ile 2 arasında rastgele olarak	$m_{i,1} = [0, 2]$
Fabrika ekstra üretim kapasitesine bağlı araç sayısı, $\vartheta_{c,i,t}$	Her dönem, her müşteri ve her düğüm için sabit, 2	$\vartheta_{c,i,t} = 2$
Yüklü araç hareketinden elde edilen gelir, $p_{i,j}$	Kilometre başına 3,1 ile 5 arasında uniform dağılım ile rassal olarak	$p_{i,j} = km * rand[3.1, 5]$
İade edilen taşımacılık ücreti, $\hat{p}_{i,j}$	0,1 ve 0,3 arasında rassal olarak değişen oranlar ile ilgili yayda elde edilen gelir üzerinden	$\hat{p}_{i,j} = p_{i,j} * rand[0.1, 0.3]$
Yüksüz araç hareketlerinin taşımacılık maliyeti, $e_{i,j}$	İlgili yayda elde edilen gelirin 1/3'ü	$e_{i,j} = p_{i,j} * 1/3$
Dış araç kullanımının ceza maliyeti, $\eta_{i,j}$	İlgili yayda ödenen taşımacılık maliyetinin 1,5 katı	$\eta_{i,j} = e_{i,j} * 1,5$

4.1.2 Örnek Olayın Çözümü ve Analizi

Bu bölümde, yukarıda tanımlanan örnek olayın çözümünden elde edilen sonuçlar temel performans kriterleri dikkate alınarak incelenecektir. Bu doğrultuda yapılan örnek olay analizinde, amaç fonksiyonu kârın maksimize edilmesi (en büyükleme) olarak alınmıştır.

Örnek olay için, dikey lojistik işbirliği varsayımının ele alındığı durum ve ilgili varsayımın ele alınmadığı durum olmak üzere iki farklı çözüm elde edilmiştir. İlk durumda, önerilen modelde üst seviye grubundaki müşterinin başka bir tedarik noktasına kaydırılan talep miktarı karar değişkeninin tam sayı değerler almasını sağlayan kısıt seti (3.11) kullanılmıştır. İkinci durumda ise ilgili kısıt seti, karar değişkeninin her koşulda sıfır değerini alması sağlanacak şekilde değiştirilmiştir. Değiştirilen kısıt seti (3.12)'de gösterilmiştir. Böylece, araç tahsis kararları verilirken dikey lojistik işbirliği varsayımının (talep kaydırma seçeneğinin) etkisi elde edilen sonuçlar ile değerlendirilmiştir. Her iki durum için çözüm yapılırken kullanılan modeller aşağıda verilmiştir.

$$Z_{c,(k,j),(i,j),t} = 0, \qquad c \in C, j \in N, i \in N, k \in N, k = i, t \in \{1, ..., T\} \tag{3.12}$$

Dikey lojistik işbirliği varsayımının olduğu durum;

En büyükle Amaç Fonksiyonu (3.1);

Kısıt seti altında

Kısıtlar (3.2) – (3.11)

Dikey lojistik işbirliği varsayımının olmadığı durum;

En büyükle Amaç Fonksiyonu (3.1);

Kısıt seti altında

Kısıtlar (3.2) – (3.10)

Ek kısıt (3.12)

Yukarıda bahsedilen örnek olayın farklı iki durum altında önerilen model kullanılarak elde edilen sonuçları Tablo 5'da karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. İlgili sonuçlar, üst seviye grubundaki her müşteri, alt seviye müşteri grubu ve taşımacılık şirketi için değerlendirilmektedir.

Tablo 5. Örnek Olayın Performans Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi

	Temel Performans Kriteri	İşbirliği Yapılmadığında	İşbirliği Yapıldığında
Üst Seviye Müşteri Grubu	Müşteri 1		
	Kaydırılan talep oranı (%)	0	33/61(%54)
	Taşımacılık Maliyeti (₺)	131.091	122.167
	Müşteri 2		
	Kaydırılan talep oranı (%)	0	14/35(%40)
	Taşımacılık Maliyeti (₺)	91.907	88.442
	Müşteri 3		
	Kaydırılan talep oranı (%)	0	34/66(%52)
	Taşımacılık Maliyeti (₺)	177.471	163.240
	Müşteri 4		
	Kaydırılan talep oranı (%)	0	19/30(%63)
	Taşımacılık Maliyeti (₺)	78.880	66.955
	Müşteri 5		
	Kaydırılan talep oranı (%)	0	41/69(%59)
	Taşımacılık Maliyeti (₺)	150.939	134.161
Alt Seviye Müşteri Grubu	Talep karşılanma oranı (%)	9	12
Taşımacılık Şirketi	Kaydırılan talep miktarı (adet)	0	141
	Talep karşılama oranı (%)	32	40
	Dolu araç sayısı (adet)	156	195
	Boş araç sayısı (adet)	108	65
	Araç kullanım oranı (%)	59	75
	Elde edilen gelir* (₺)	488.348	588.660
	Taşımacılık maliyeti** (₺)	31.377	22.282
	Ceza maliyeti*** (₺)	328.530	105.699
	İndirim miktarı**** (₺)	0	55.323
	Toplam kâr (₺)	128.441	405.356

*Yüklü araç hareketinden elde edilen gelir

**Yüksüz araç hareketinden kaynaklanan taşımacılık maliyeti

***Dış araç kullanımı ile karşılanan üst seviye grubundaki müşteri taleplerinin ceza maliyeti

****İşbirliği sonucunda uygulanan indirim karşılığında üst seviye grubundaki müşteriye iade edilen taşımacılık ücreti

Üst seviye grubundaki her müşteri için kaydırılan talep oranı, ilgili müşterinin planlama ufku boyunca başka bir tedarik noktasına kaydırılan toplam talep miktarının mevcut toplam talep miktarına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Bu oranlar sırasıyla; $\%54$, $\%40$, $\%52$, $\%63$, $\%59$ şeklindedir. Ayrıca, her müşteri için iki durumda da (işbirliği yapıldığı ve yapılmadığı) katlanılan taşımacılık maliyetleri hesaplanmıştır. Bu doğrultuda, işbirliği yapıldığı durumda, her müşterinin katlandığı taşımacılık maliyetinin işbirliği yapılmadığı duruma göre azaldığı gözlemlenmiştir. Bu azalışlar; birinci müşteri için $\%7$, ikinci müşteri için $\%4$, üçüncü müşteri için $\%8$, dördüncü müşteri için $\%15$ ve beşinci müşteri için $\%11$ olarak hesaplanmıştır.

Taleplerin tedarik noktalarının değiştirilemediği alt seviye müşteri grubunun da doğrudan olmasa dâhi üst seviye grubundaki müşteriler üzerinden gerçekleştirilen talep kaydırma durumundan (yapılan dikey lojistik işbirliğinden) olumlu yönde etkilendiği görülmektedir. Bu durumda, işbirliğinin gerçekleşmediği duruma kıyasla, alt seviye müşteri grubunun karşılanan talep miktarının $\%35$ arttığı görülmektedir.

Dikey lojistik işbirliği varsayımının ele alınmadığı problem çözüldüğünde amaç fonksiyonu değeri (elde edilen kâr) 128.441₺ olarak bulunmuştur. Sistemde planlama ufku boyunca araçlar toplamda 156 kez yüklü/dolu, 80 kez yüksüz/boş olarak hareket etmiştir. Bu süreçte 28 araç aynı şehirde/noktada bir periyot boş olarak beklemiştir. Taşımacılık şirketi, yüklü araç hareketlerinden 488.348₺ gelir elde ederken yüksüz araç hareketlerinden dolayı 31.377₺ taşımacılık maliyetine katlanmıştır. Bununla birlikte, taleplerinin karşılanmak zorunda olduğu üst seviye müşteri grubunun mevcut toplam talebinin $\%48(125/261)$'i dış araç kullanımı ile (başka taşımacılık şirketlerinden destek alınarak, ekstra araç kiralanarak vb.) karşılanmıştır ve bunun için taşımacılık şirketi 328.530₺ ceza maliyeti ödemiştir. Lojistik şirketi, kendi araç filosu ile mevcut müşterileri taleplerinin (üst seviye ve alt seviye müşteri grupları) $\%32$'sini karşılayabilmiştir.

Problem dikey lojistik işbirliği varsayımı altında değerlendirildiğinde, amaç fonksiyonu değeri (elde edilen kâr) 405.356₺ olarak hesaplanmıştır. Bu çözümde 195 kez yüklü/dolu araç hareketi, 57 kez yüksüz/boş araç hareketi gerçekleşmiştir ve 8 araç aynı şehirde/noktada bir periyot boş olarak beklemiştir. Taşımacılık şirketi, müşteri taleplerini karşılayarak (dolu araç hareketleri sonucu) toplamda 588.660₺ gelir elde

etmiştir. Yüksüz/boş araç hareketleri şirketin $22.282₺$ taşımacılık maliyetine katlanmasına sebep olmuştur. Ayrıca taşımacılık şirketi, talep reddetme seçeneğinin olmadığı müşteri grubunun (üst seviye müşteri grubu) mevcut talebinin $\%36(93/261)$'sını dış araç kullanımı ile karşılamıştır ve bu durum için $105.699₺$ ceza maliyetine katlanmıştır. Bununla birlikte, yapılan lojistik işbirliği sonucunda uygulanan indirim karşılığında müşterilerine $55.323₺$ ücret iadesi yapmıştır.

Müşteriler ile dikey lojistik işbirliği varsayımının dahil edildiği ve edilmediği durumlar kapsamında çözülen problemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında; işbirliği yapılması ile dolu hareket eden araç sayısı $\%25$ artarken, boş hareket eden araç sayısı $\%40$ azalmaktadır. Bununla birlikte, hem üst seviye müşteri grubunun (ortalama $\%54$) hem de alt seviye müşteri grubunun ($\%3$) karşılanan talep miktarı artarken, reddedilen talep miktarının $\%3$ azaldığı görülmektedir. Müşteri odaklı değerlendirme yapıldığında, üst seviye grubundaki her müşterinin katlandığı taşımacılık maliyetinin de azaldığı (ortalama $\%9$) ve dolayısıyla elde ettiği kârın arttığı saptanmıştır. Taşımacılık şirketinin kendi araçları ile karşıladığı talep miktarının artması, dışarıdan kaynak/araç sağlanarak karşılanan talep miktarının azalması, katlanılan ilgili ceza maliyetinin $\%68$ azalmasına sebep olmuştur. Genel çerçevede bakıldığında, amaç fonksiyonu değeri (net kâr) neredeyse 3 kat artmaktadır. Böylece, dikey lojistik işbirliği varsayımının problemin performans parametrelerini doğrudan ve olumlu/pozitif etkilediği görülmüştür. Ayrıca, müşteri ile gerçekleştirilen lojistik işbirliğinin, her iki taraf için de kazanç sağladığı ve bunun sonucunda müşteri memnuniyetinin artmasıyla müşteri-şirket bağlılığını desteklediği sonucuna varılabilmektedir.

4.2 ÖRNEK OLAY ÜZERİNDE SENARYO ANALİZLERİ

Bu bölümde, Bölüm 4.1'de açıklanan örnek olay verileri kullanılarak müşteriler ile yapılan lojistik işbirliğinin problem parametreleri ve amaç fonksiyonu üzerindeki etkisi gözlemlenerek senaryo analizleri yapılacaktır. Yapılacak olan senaryo analizlerindeki amaç, parametre değişikliklerinin performans kriterleri üzerindeki etkisini incelemektir. Ayrıca, dikey lojistik işbirliğinin sürdürülebilirliğin üç boyutu (ekonomik, çevresel, sosyal) açısından etkilerini gözlemlemektir. Analizler kapsamında veri setinde değişiklik yapıldığında ve/veya eklenen parametreler olduğunda ilgili bölümde

ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

4.2.1 Dikey Lojistik İşbirliğinde Müşteri Katılım Oranının Sistem Performansına Etkisi

Dikey lojistik işbirliği kapsamında yapılan analizde, üst seviye grubunda bulunan müşteri sayısının toplam müşteri sayısına oranı ele alınmaktadır. Bu noktada, lojistik şirketinin beş müşteriye hizmet ettiği ve mevcut müşteri taleplerinin tamamının şirket tarafından karşılandığı varsayılmaktadır. Üst seviye grubunda bulunan müşteri sayısının değişmesi durumunda amaç fonksiyonunda, dışarıdan destek alarak karşılanan talep miktarında (dış araç kullanımı), dolu ve boş araç hareketlerinde ve kaydırılan talep miktarında meydana gelen değişimler incelenmektedir.

Analiz yapılırken, hiçbir müşterinin işbirliği yapmadığı varsayımından başlayarak sırasıyla müşterilerin $\%20$'sinin, $\%40$'ının, $\%60$'ının, $\%80$'inin ve tamamının işbirliği yaptığı senaryo çözümleri önerilen model kullanılarak elde edilmiştir. Bu doğrultuda, müşterilerin fabrikalarında kaydırılan talepler için kullanılabilecek ekstra üretim kapasitesine bağlı olan düğümden gönderilebilecek araç sayısı ile ilgili parametre $(\vartheta_{c,i,t})$ değiştirilerek senaryolar için veri setleri oluşturulmuştur. Örneğin, müşterilerin $\%40$'ının $(2/5$'sinin) işbirliği yaptığı varsayılan senaryoda, iki müşterinin fabrikalarının bulunduğu düğümlerden gönderilebilecek araç sayısı için değer ataması yapılırken (her düğüm için 2 adet), alt seviye müşteri grubunun fabrikalarının ekstra üretim kapasitesinin olmadığı (sıfır olduğu) kabul edilmiştir. Bu senaryo çözümlerinin belirlenen performans kriterlerine (dışarıdan destek alarak karşılanan talep miktarı, dolu ve boş araç hareketleri ve kaydırılan talep miktarı), amaç fonksiyonu bileşenlerine (yüklü araç hareketinden elde edilen gelir, yüksüz araçların taşımacılık maliyeti, dış araç kullanımı ceza maliyeti, iade edilen toplam indirim miktarı) ve amaç fonksiyonuna ilişkin değerler Tablo 6'de gösterilmektedir. Bu değerler, olası bütün işbirliği yapan müşteri kombinasyonlarının değerlendirilip elde edilen sonuçların ortalamasının hesaplanması ile oluşturulmuştur.

Tablo 6. İşbirliği Yapan Müşteri Oranının Performans Kriterlerine Etkisi

	İşbirliği yapan müşteri oranı					
	%0	%20	%40	%60	%80	%100
Kaydırılan talep miktarı (adet)	0	28	58	87	115	137
Yüklü araç hareketi sayısı (adet)	146	156	163	171	177	184
Yüksüz araç hareketi sayısı (adet)	122	113	105	99	92	84
Dış araç kullanımı* (adet)	115	105	98	89	83	77
Elde edilen gelir** (₺)	433.735	446.420	464.702	483.286	508.032	533.648
Taşımacılık maliyeti*** (₺)	36.058	36.986	35.710	35.412	33.271	32.123
Ceza maliyeti**** (₺)	294.830	241.205	194.828	148.825	114.275	83.264
İndirim miktarı***** (₺)	0	10.601	22.048	33.610	44.944	55.790
Net kâr (₺)	102.847, 167	157.628, 37	212.115, 46	265.439, 24	315.542, 17	362.472, 12

*Lojistik şirketinin sahip olduğu araç filosu ile karşılanamayan (dışarıdan destek alınarak karşılanan) talep miktarı

**Yüklü araç hareketinden elde edilen gelir

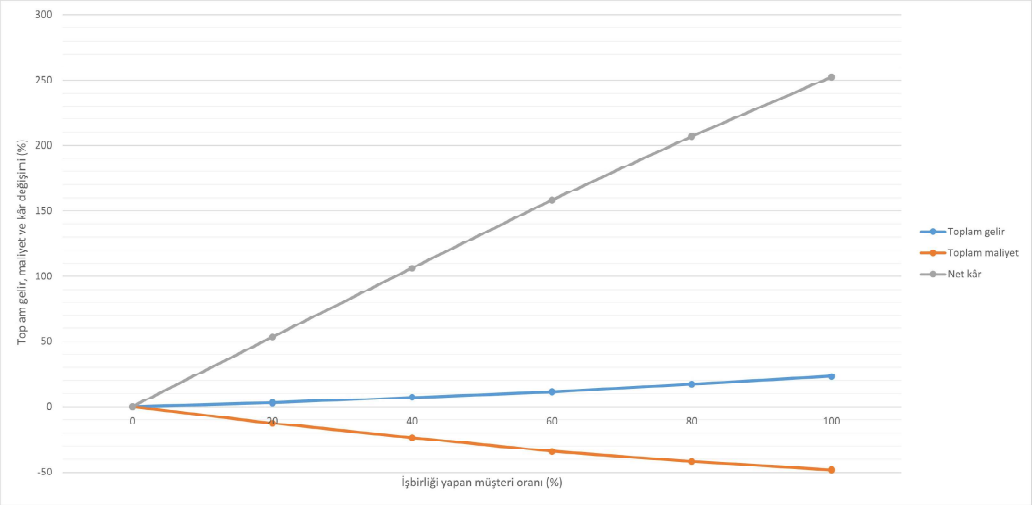
***Yüksüz araç hareketinden kaynaklanan taşımacılık maliyeti

****Dış araç kullanımı ile karşılanan müşteri taleplerinin ceza maliyeti

*****İşbirliği sonucunda uygulanan indirim karşılığında müşteriye iade edilen taşımacılık ücreti

Tablo 6'te gösterilen performans kriterlerine ait değerler incelendiğinde, üst seviye grubundaki müşteri sayısı arttıkça bir başka tedarik düğümüne kaydırılan talep miktarında da artış olduğu gözlemlenmektedir. Bununla birlikte; boş araç hareketinin müşteri oranındaki artışa paralel olarak kademeli bir şekilde azalarak 122'den 84'e düştüğü (toplamda %31 azalabildiği), yüklü hareket eden araç sayısının da müşteri oranındaki artışa paralel olarak kademeli bir şekilde artarak 146'dan 184'e yükseldiği (toplamda %26 artabildiği) görülmektedir. Bu durum, taşımacılık şirketinin kendi araç filosu ile daha fazla müşteri talebini karşıladığını, dolayısıyla dış araç kullanımını (araç kiralama, başka bir taşımacılık şirketi ile anlaşma vb.) 115 araçtan 77 araca (toplamda %33'e kadar) azalttığını göstermektedir. Bahsedilen bu değişimlere bağlı olarak elde edilen gelir (yüklü araç hareketi ile) %23'e kadar artarken; taşımacılık maliyeti (yüksüz araç hareketi ile) %11'e ve ceza maliyeti (dış araç kullanımı ile) %72'ye kadar azaldığı hesaplanmaktadır.

Hiçbir müşterinin işbirliği yapmadığı (üst seviye grubundaki müşteri oranının %0 olduğu) duruma göre, işbirliği yapan müşteri oranındaki artışın toplam gelir, maliyet ve kâr değişimi üzerindeki etkisi Şekil 4'teki grafikte gösterilmektedir. Genel çerçevede hiçbir müşterinin işbirliği yapmadığı senaryo ile tüm müşterilerin işbirliği yaptığı senaryo karşılaştırıldığında, toplam gelirin %23 arttığı ve toplam maliyetin %48



Şekil 4. İşbirliği Yapan Müşteri Oranı Değişiminin Toplam Gelir, Maliyet ve Kâr Üzerindeki Etkisi

azaldığı; dolayısıyla, bu değişimlerin net kâra yaklaşık olarak üç kat artış şeklinde yansıdığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 6'te verilen değerlerin ve Şekil 4'teki grafikte gösterilen değişimlerin değerlendirilmesi sonucunda müşteriler ile yapılan lojistik işbirliğinin taşımacılık şirketine fayda sağladığı açık bir şekilde görülmektedir. Bunun yanı sıra, üst seviye grubundaki müşteri sayısı arttıkça her müşterinin katlandığı taşımacılık maliyeti üzerinden uygulanan indirim miktarı artmaktadır. Böylece, müşterilere taşımacılık şirketi tarafından yansıtılan taşımacılık maliyeti düşmektedir. Ayrıca bu durumun, müşteri memnuniyetini ve bağlılığını olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir.

4.2.2 Dikey Lojistik İşbirliğinin Ekonomik Sürdürülebilirlik Performansına Etkisi

Ekonomik sürdürülebilirlik üzerine yapılan analizlerde, dikey lojistik işbirliği varsayımının problemdeki farklı parametreler ile birlikte amaç fonksiyonunda meydana getirdiği değişimler incelenmektedir. İlk olarak, problemde işbirliği varsayımının doğrudan amaç fonksiyonu üzerindeki etkisi gözlemlenecektir. Daha sonra sırasıyla; mevcut talepleri karşılamak için fiyatın kademeli olarak arttırılması, ceza maliyeti uygu-

lanması ve uygulanmaması, ve sistemdeki araç sayısının kademeli olarak azaltılması ve arttırılmasının dikey lojistik işbirliği varsayımı ile birlikte amaç fonksiyonundaki meydana getirdiği değişiklikler değerlendirilecektir.

Ekonomik sürdürülebilirlik kapsamında ele alınan ilk analizde, örnek olay parametreleri ile birlikte dikey lojistik işbirliği varsayımının ele alındığı ve alınmadığı durumlarda taşımacılık şirketinin kâr durumu, elde ettiği gelir ve katlandığı maliyetler ile birlikte değerlendirilmektedir. Bu analizdeki sonuçlara, modelde yer alan kısıt seti (3.11)'in ve (3.12)'nin kullanılması ile ulaşılmaktadır. Elde edilen sonuçlar Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablodaki sonuçlar değerlendirildiğinde; taşımacılık şirketinin müşterileri ile lojistik işbirliği yapması, dolu araç hareketlerinden elde ettiği geliri $\%21$ arttırmaktadır. Bununla birlikte, boş araç hareketlerinden kaynaklanan taşımacılık maliyetinin $\%29$ ve dış araç kullanımı için ödenen ceza maliyetinin $\%68$ azaldığı görülmektedir. Bunların yanı sıra, elde edilen toplam gelirin $\%9$'u, gerçekleştirilen işbirliği kapsamında uygulanan indirimden sonra müşterilere iade edilmektedir. Sonuç olarak, toplam gelir ile toplam maliyetler arasında makasın önemli derecede açılmasından kaynaklı taşımacılık şirketinin net kârındaki artış neredeyse üç kat olarak hesaplanmaktadır. Bir başka ifade ile, gerçekleştirilen dikey lojistik işbirliğinin kârı arttıran bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 7. Dikey Lojistik İşbirliği Varsayımının Amaç Fonksiyonuna Etkisi

	İşbirliği yapılmadığında	**İşbirliği yapıldığında**
Elde edilen gelir* (₺)	488.348	588.660
Taşımacılık maliyeti** (₺)	31.377	22.282
Ceza maliyeti*** (₺)	328.530	105.699
İndirim miktarı**** (₺)	0	55.323
Net kâr (₺)	128.441	405.356

*Yüklü araç hareketinden elde edilen gelir

**Yüksüz araç hareketinden kaynaklanan taşımacılık maliyeti

***Dış araç kullanımı ile karşılanan işbirliği yapan müşteri taleplerinin ceza maliyeti

****İşbirliği sonucunda uygulanan indirim karşılığında müşteriye iade edilen taşımacılık ücreti

İkinci analizde, mevcut taleplerin karşılanması için müşteriler tarafından ödenen fiyatın (lojistik şirketinin dolu araç hareketlerinden elde ettiği gelirin) farklı düzeylerde ele alınmasında dikey lojistik işbirliği varsayımının etkisi amaç fonksiyonu değeri üzerinden değerlendirilmektedir. Farklı gelir düzeyleri, örnek olayda kullanılan gelir parametresi ($p_{i,j}$) üzerinden sırasıyla $\%25$, $\%50$ ve $\%100$ artış yapılması ile elde edilmektedir. Oluşturulan farklı gelir parametreleri üzerinden dikey lojistik işbirliği varsayımının amaç fonksiyonunda meydana getirdiği değişim Tablo 8'da gösterilmektedir.

Tablo 8. Uygulanan Farklı Fiyat Düzeylerinde Dikey Lojistik İşbirliği Varsayımının Amaç Fonksiyonuna Etkisi

	İşbirliği yapılmadığında	**İşbirliği yapıldığında**
Örnek Olay		
Elde edilen gelir* (₺)	488.348	588.660
Taşımacılık maliyeti** (₺)	31.377	22.282
Ceza maliyeti*** (₺)	328.530	105.699
İndirim miktarı**** (₺)	0	55.323
Net kâr (₺)	128.441	405.356
%25 Fiyat Artışı		
Elde edilen gelir* (₺)	610.435	730.573
Taşımacılık maliyeti** (₺)	39.222	27.908
Ceza maliyeti*** (₺)	410.663	127.410
İndirim miktarı**** (₺)	0	69.221
Net kâr (₺)	160.551	506.033
%50 Fiyat Artışı		
Elde edilen gelir* (₺)	732.522	876.687
Taşımacılık maliyeti** (₺)	47.066	33.490
Ceza maliyeti*** (₺)	492.795	152.892
İndirim miktarı**** (₺)	0	83.065
Net kâr (₺)	192.661	607.240
%100 Fiyat Artışı		
Elde edilen gelir* (₺)	976.696	1.168.916
Taşımacılık maliyeti** (₺)	62.755	44.653
Ceza maliyeti*** (₺)	657.060	203.856
İndirim miktarı**** (₺)	0	110.753
Net kâr (₺)	256.881	809.653

*Yüklü araç hareketinden elde edilen gelir

**Yüksüz araç hareketinden kaynaklanan taşımacılık maliyeti

***Dış araç kullanımı ile karşılanan işbirliği yapan müşteri taleplerinin ceza maliyeti

****İşbirliği sonucunda uygulanan indirim karşılığında müşteriye iade edilen taşımacılık ücreti

Tabloda gösterilen sonuçlar incelendiğinde; amaç fonksiyonu (net kâr) ve amaç fonksiyonu bileşenlerinin (gelir, taşımacılık maliyeti, ceza maliyeti, indirim miktarı) aldığı değerlerin fiyat artış oranı ile paralel olarak değiştiği görülmektedir. Genellikle, ilgili artış (elde edilen gelir, net kâr ve indirim miktarı) ve azalışlar (taşımacılık maliyeti, ceza maliyeti) gerçekleştirilen lojistik işbirliğinden bağımsız olarak uygulanan fiyat artış oranı ile birebir oranlarda ($\%25, \%50, \%100$) değişmektedir. Bu durumun aksine, dikey lojistik işbirliği altında fiyat artışına paralel olarak elde edilen gelirin $\%24, \%49, \%99$ ve ceza maliyetinin $\%21, \%45, \%93$ oranlarında arttığı gözlemlenmektedir. Sonuç olarak taşımacılık şirketi, herhangi bir gelir seviyesinde müşterileri ile işbirliği yapması durumunda, işbirliği yapmadığı duruma göre daha fazla kâr elde etmektedir.

Örnek olay kapsamında lojistik işbirliği yapan müşterilerin taşımacılık şirketinin araçları ile karşılanamayıp dışarıdan destek alarak karşılanan talepleri için ceza maliyetinin ($\eta_{i,j}$) uygulandığı varsayılmıştı. Ekonomik sürdürülebilirlik üzerine yapılan üçüncü analizde ise, dikey lojistik işbirliği varsayımı altında bu ceza maliyetinin uygulandığı durumun yanı sıra ceza maliyetinin uygulanmadığı senaryo için de işbirliği varsayımının amaç fonksiyonu üzerindeki etkisi incelenmektedir. Dış araç kullanımı (*outsource*) ile karşılanan üst seviye grubundaki müşteri talepleri için taşımacılık şirketinin katlandığı ceza maliyeti varsayımının ele alındığı ve alınmadığı senaryo çözümlerine ilişkin (amaç fonksiyonu ve amaç fonksiyonu bileşenleri) değerler Tablo 9'te gösterilmektedir.

Tablo 9. İşbirliği Varsayımının Ceza Maliyetinin Uygulandığı ve Uygulanmadığı Senaryolarda Amaç Fonksiyonuna Etkisi

	İşbirliği yapılmadığında	**İşbirliği yapıldığında**
Ceza maliyeti uygulanmadığında		
Elde edilen gelir* (₺)	553.991	619.900
Taşımacılık maliyeti** (₺)	21.177	12.358
Ceza maliyeti*** (₺)	0	0
İndirim miktarı**** (₺)	0	30.543
Net kâr (₺)	532.814	576.9997
Ceza maliyeti uygulandığında		
Elde edilen gelir* (₺)	488.348	588.660
Taşımacılık maliyeti** (₺)	31.377	22.282
Ceza maliyeti*** (₺)	328.530	105.699
İndirim miktarı**** (₺)	0	55.323
Net kâr (₺)	128.441	405.356

*Yüklü araç hareketinden elde edilen gelir

**Yüksüz araç hareketinden kaynaklanan taşımacılık maliyeti

***Dış araç kullanımı ile karşılanan işbirliği yapan müşteri taleplerinin ceza maliyeti

****İşbirliği sonucunda uygulanan indirim karşılığında müşteriye iade edilen taşımacılık ücreti

Tablo 9'te verilen sonuçlar incelendiğinde, hem müşteriler ile lojistik işbirliğinin gerçekleştiği hem de gerçekleşmediği senaryolar için, elde edilen net kârın beklenildiği gibi uygulanan ekstra maliyetten kaynaklı düştüğü görülmektedir. Dikey lojistik işbirliği varsayımı; ceza maliyetinin uygulanmadığı senaryoda elde edilen geliri $\%12$ arttırırken (yüklü araç hareketindeki $\%17$ artış ile (156/183)), taşımacılık maliyetini $\%42$ (yüksüz araç hareketindeki $\%35$ azalış ile (91/59)) azaltmaktadır. Ceza maliyetinin uygulandığı senaryoda ise dikey lojistik işbirliği varsayımı etkisi ile elde edilen gelir $\%21$ artarken (yüklü araç hareketindeki $\%25$ artış ile (156/195)), taşımacılık maliyeti $\%29$ (yüksüz araç hareketindeki $\%40$ azalış ile (91/59)) azalmaktadır. Bu analiz kapsamında, tabloda gösterilenlere ek olarak, dikey lojistik işbirliği varsayımının; ceza maliyetinin uygulanmadığı senaryoda dışarıdan temin edilen araçlar ile karşılanan talep miktarını $\%22$ $(184/143)$ azaltırken, ceza maliyetinin uygulandığı senaryoda ilgili talep miktarını $\%26$ $(125/93)$ azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Tüm bunların ışığında, ceza maliyeti uygulamasının taşımacılık şirketini daha fazla talep karşılamaya teşvik ettiği görülmektedir. Ayrıca, dikey lojistik işbirliği varsayımı ile karşılanan talep miktarı arttırılırken, katlanılan ceza maliyeti azaltılmaktadır. Dolayısıyla, şirket için müşterileri ile işbirliği yapmanın, elde edilen kâr üzerinde olumlu/pozitif bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Dördüncü analizde, sistemdeki araç sayısı değişimi ile dikey lojistik işbirliği varsayımının etkisi amaç fonksiyonu değeri üzerinden değerlendirilmektedir. Ele alınan örnek olayda (problemde), planlama ufku boyunca sisteme giren ve sistemden ayrılan araç olmadığı varsayıldığı için, bu analiz kapsamında başlangıçta noktalarda bulunan araç sayıları ($m_{i,1}$) değiştirilmektedir. Farklı araç sayıları, örnek olayda başlangıçta sistemde bulunan toplam araç saysı üzerinden sırasıyla $\%10$ ve $\%20$ azaltılarak ve aynı oranlarda arttırılarak elde edilmektedir. Farklı araç sayıları ile oluşturulan veri setleri kullanılarak dikey lojistik işbirliği varsayımının amaç fonksiyonunda meydana getirdiği değişim Şekil 5'deki grafikte gösterilmektedir. Ayrıca, Tablo 10'da amaç fonksiyonu bileşenlerinin (gelir, taşımacılık maliyeti, ceza maliyeti, indirim miktarı) sistemdeki araç sayısına bağlı olarak aldığı değerler ayrıntılı bir şekilde sunulmaktadır. Şekil 5'teki grafikte gösterilen net kâr değerleri Tablo 10'da verilen ilgili bölümdeki toplam gelir ile toplam maliyet arasındaki farkın hesaplanması ile elde edilmektedir.

Tablo 10. Sistemdeki Araç Sayısı Değişimi ile Dikey Lojistik İşbirliği Varsayımının Amaç Fonksiyonu Bileşenlerine Etkisi

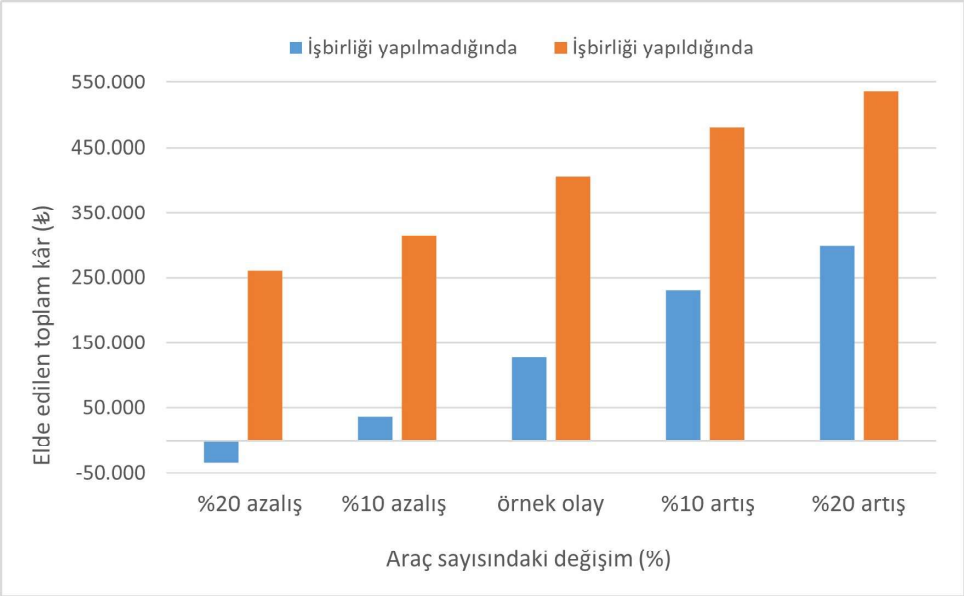
	İşbirliği yapılmadığında	**İşbirliği yapıldığında**
Araç sayısının %20 azalması		
Elde edilen gelir* (₺)	401.485	487.383
Taşımacılık maliyeti** (₺)	24.234	19.318
Ceza maliyeti*** (₺)	411.159	150.365
İndirim miktarı**** (₺)	0	53.836
Araç sayısının %10 azalması		
Elde edilen gelir* (₺)	438.680	526.379
Taşımacılık maliyeti** (₺)	27.593	19.812
Ceza maliyeti*** (₺)	374.394	131.751
İndirim miktarı**** (₺)	0	58.825
Örnek olay		
Elde edilen gelir* (₺)	488.348	588.660
Taşımacılık maliyeti** (₺)	31.377	22.282
Ceza maliyeti*** (₺)	328.530	105.699
İndirim miktarı**** (₺)	0	55.323
Araç sayısının %10 artması		
Elde edilen gelir* (₺)	537.270	650.350
Taşımacılık maliyeti** (₺)	35.648	28.951
Ceza maliyeti*** (₺)	270.669	80.150
İndirim miktarı**** (₺)	0	59.227
Araç sayısının %20 artması		
Elde edilen gelir* (₺)	574.413	695.667
Taşımacılık maliyeti** (₺)	37.360	29.366
Ceza maliyeti*** (₺)	238.413	69.326
İndirim miktarı**** (₺)	0	60.868

*Yüklü araç hareketinden elde edilen gelir

**Yüksüz araç hareketinden kaynaklanan taşımacılık maliyeti

***Dış araç kullanımı ile karşılanan işbirliği yapan müşteri taleplerinin ceza maliyeti

****İşbirliği sonucunda uygulanan indirim karşılığında müşteriye iade edilen taşımacılık ücreti



Şekil 5. Farklı Araç Sayıları ile Dikey Lojistik İşbirliği Varsayımının Elde Edilen Toplam Kâr Üzerindeki Etkisi

Amaç fonksiyonunun işbirliği ve araç sayılarına göre değişiminin gösterildiği grafikte (Şekil 5) sunulan sonuçlarda görüldüğü gibi sistemdeki toplam araç sayısı farklı değerler aldığında müşteri ile işbirliği yapılması taşımacılık şirketi kârının artmasına sebep olmaktadır. İşbirliği varsayımı ile araç sayısı $\%10$ azaltıldığıda kârın 36.693₺'den 315.991₺'ye; araç sayısı $\%10$ arttırıldığında kârın 230.953₺'den 482.022₺'ye; araç sayısı $\%20$ arttırıldığında ise kârın 298.640₺'den 536.108₺'ye yükseldiği hesaplanmıştır. Bahsedilen bu araç sayısı değişimlerinde, taşımacılık operasyonlarında müşteri ile işbirliği yapılmasa da sistem kâr etmektedir ve lojistik işbirliğinin gerçekleştirilmesi elde edilen kârın artmasını sağlamaktadır. Bu durumun aksine, sistemdeki araç sayısı $\%20$ azaltıldığında taşımacılık şirketi gerçekleştirdiği operasyonlar sonucunda zarar etmektedir (amaç fonksiyonu değeri -33.908₺). Fakat aynı durumda müşteri ile lojistik işbirliği yapıldığında, şirketin kâr ettiği net bir şekilde görülmektedir (amaç fonksiyonu değeri 259.814₺).

Sistemdeki araç sayısının artması veya azalması, dolu/boş araç hareketi sayısını ve taşımacılık şirketinin dışarıdan sağlayacağı araç sayısını doğrudan etkileyen bir faktördür. Bunun doğal bir sonucu olarak, dikey lojistik işbirliği varsayımından bağımsız, araç sayısının artması taşımacılık operasyonlarından elde edilen kârın artmasına, araç

sayısının azalması ise kârın azalmasına sebep olmaktadır. Dikey lojistik işbirliği, araç kullanım oranını arttırdığı için kâr artışına katkı sağlamaktadır. Başka bir ifadeyle, sistemde bulunan araç sayısının azalması ya da artması farketmeksizin taşımacılık şirketi, müşterileri ile lojistik işbirliği yapması durumunda daha fazla kâr elde etmektedir. Ayrıca, araç kullanım oranını arttıran (mevcut araçların verimli kullanılmasını sağlayan) lojistik işbirliği, şirketin zarara uğramasına sebep olan lojistik operasyon planlamasını iyileştirerek şirketin kâr durumuna geçmesini sağlayabilmektedir.

4.2.3 Dikey Lojistik İşbirliğinin Çevresel Sürdürülebilirlik Performansına Etkisi

Çevresel sürdürülebilirlik kapsamında yapılan analizde, işbirliği varsayımının boş araç sayısında meydana getirdiği değişimler ve boş araç hareketlerinden kaynaklanan CO_2 emisyon miktarları incelenmektedir. Örnek olay kapsamında ele alınan problemde taşımacılık şirketinin 10 teker ve $60m^3$ hacme sahip homojen bir araç filosuna sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu araçlar kilometre başına ortalama olarak $0,27$ ile $0,32$ litre arasında yakıt tüketmektedir (Man, 2021). Yapılan analiz kapsamında, kilometre başına $0,3$ litre yakıt tüketimi olduğu kabul edilmiştir. Bununla birlikte, yakıt tüketimi $2,63kg/litre$ yakıt dönüşüm faktörü ile emisyon oranlarına dönüştürülmüştür (DEFRA, 2007). Kullanılan emisyon miktarı verisi oluşturulurken ilk olarak, yüksüz araçların katettiği toplam mesafe (km); ardından, toplam yakıt tüketimi (toplam mesafe (km) x kilometre başına yakıt tüketimi ($litre/km$)) ve toplam emisyon miktarı (yakıt miktarı ($litre$) x yakıt dönüşüm faktörü ($kg/litre$)) hesaplanmıştır. Dikey lojistik işbirliği varsayımının ele alınması veya alınmaması durumuna bağlı olarak değişen yüksüz/boş araç hareketi sayısı, boş araçların toplam mesafesi, toplam yakıt tüketimi ve toplam emisyon miktarı değerleri Tablo 11'da gösterilmektedir.

Tablo 11. Dikey Lojistik İşbirliği Varsayımının Yüksüz Araç Hareketlerinden Kaynaklı Emisyon Miktarına Etkisi

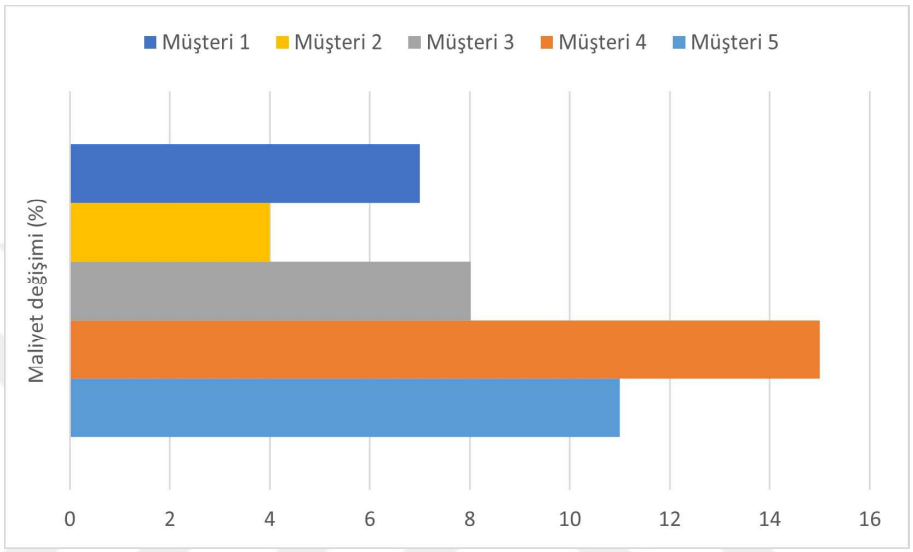
	İşbirliği yapılmadığında	**İşbirliği yapıldığında**
Boş hareket eden araç (adet)	80	57
Toplam mesafe (km)	24.353	17.204
Toplam yakıt tüketimi (litre)	7.306	5.161
Toplam emisyon miktarı (kg)	19.215	13.574

Ele alınan araç tahsis probleminde, müşterilerin yaylar üzerinde oluşan talepleri için doğrudan sevkiyat talep edilmektedir ve bu da araçların yüklü seyahatlerinin gerçekleşmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Dolayısıyla hem dolu hem de boş araçların hareketleri sonucunda oluşan emisyon üretimini tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir. Bunun için lojistik firması, yüksüz araç seyahatlerini mümkün olduğunca engelleyerek gereksiz emisyon üretimine engel olabilir. Tablo 11'da verilen değerler ışığında, müşteriler ile işbirliği yapılması yüksüz hareket eden araç sayısında, boş araç hareketleri ile seyahat edilen mesafede, boş araç hareketlerindeki yakıt tüketim miktarında ve bu araç hareketleri sonucunda üretilen emisyon miktarında $\%29$ azalmaya sebep olmaktadır. Bu sonuçlar, müşteriler ile lojistik işbirliği yapılmasının toplam emisyon miktarını azalttığını göstermektedir. Ayrıca, yakıt tüketiminin azalması yakıt maliyetinin düşmesine, emisyon miktarının azalması hava kirliliğinin önlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu durum, müşteriler ile lojistik işbirliğinin teşvik edilmesinin hem ekonomik hem sosyal hem de çevresel faydaları olduğunu göstermektedir.

4.2.4 Dikey Lojistik İşbirliğinin Sosyal Sürdürülebilirlik Performansına Etkisi

Sosyal sürdürülebilirlik üzerine yapılan analizde, işbirliği varsayımı altında üst seviye grubundaki her müşteri açısından katlanılan toplam taşımacılık maliyetindeki değişimler incelenmektedir. Bu doğrultuda, örnek olay parametreleri kullanılarak, öncelikle her müşterinin işbirliği yapmadığı durumda mevcut talepleri için ödediği toplam taşımacılık maliyeti hesaplanmaktadır. Daha sonra, her müşterinin işbirliği yapması durumunda, yani tedarik noktalarını başka tedarik noktalarına kaydırmayı kabul et-

mesi durumunda, katlandığı toplam taşımacılık maliyeti hesaplanmaktadır. İşbirliği yapılmasının her müşterinin toplam taşımacılık maliyetlerinde meydana getirdiği değişim Şekil 6'deki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 6. Üst Seviye Grubu Müşterilerin Şirket ile Lojistik İşbirliği Yapmaları Durumunda Taşımacılık Maliyetlerindeki Değişim Oranları

Üst seviye grubundaki her müşteri için toplam taşımacılık maliyetindeki değişimin gösterildiği grafikten (Şekil 6) anlaşılacağı üzere müşterilerin işbirliği yapılması durumunda katlandıkları taşımacılık maliyeti azalmaktadır. İşbirliği varsayımı altında toplam taşımacılık maliyetinin birinci müşteri için 131.091₺'den $122.166,99$₺'ye; ikinci müşteri için 91.907₺'den $88.442,27$₺'ye; üçüncü müşteri için 177.471₺'den $163.239,81$₺'ye; dördüncü müşteri için 78.880₺'den $66.955,3$₺'ye ve beşinci müşteri için 150.939₺'den $134.160,75$₺'ye düştüğü hesaplanmıştır. Başka bir ifade ile, üst seviye grubundaki her müşterinin katlandığı toplam taşımacılık maliyetinin işbirliği varsayımı altında sırasıyla; $\%7$, $\%4$, $\%8$, $\%15$ ve $\%11$ oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar, üst seviye grubundaki müşterilerin taşımacılık şirketi ile işbirliği yapmayı kabul ettiği durumda maliyet avantajına sahip olacaklarını göstermektedir. Bununla birlikte, taşımacılık şirketi işbirliği sonucunda operasyonlarında verimli araç kullanımı gerçekleştirirken, ilgili operasyonlardan daha fazla kâr elde edebilecektir ve artan müşteri memnuniyeti ile rekabet avantajı sağlayabilecektir. Özetle, müşterinin karar sürecine dahil edilmesi hem taşımacılık şirketi hem de müşteri için bir kazan-

kazan senaryosunun mümkün olduğunu göstermektedir.

SONUÇ

Bu tez çalışmasında uzun mesafelerde TKY ile gerçekleştirilen taşımacılık operasyonlarında karşılaşılan ATP için TSDP modeli önerilmektedir. İlgili problem dikey lojistik işbirliği varsayımı ile ele alınmaktadır. Varsayım kapsamında işbirliği, taşımacılık şirketi ve müşterinin fabrikalar arasındaki üretim kaydırma kararlarını ortak vermesi ile gerçekleşmektedir. Önerilen modelde dikey lojistik işbirliği varsayımı altında toplam kârın maksimizasyonu amaçlanmaktadır. Toplam kâr kapsamında, taşımacılık operasyonlarında elde edilen gelir, ceza maliyeti, taşımacılık maliyeti ve işbirliği gerçekleşmesi durumunda iade edilen indirim miktarı dikkate alınmaktadır. Yapılan analizler kapsamında ilk olarak, ATP'nde dikey lojistik işbirliği varsayımının sistem performansına etkisi işbirliği yapan müşteri sayısı üzerinden değerlendirilmektedir. Ardından, dikey lojistik işbirliği varsayımının sürdürülebilirliğin üç boyutuna etkileri belirlenen performans kriterlerinde meydana gelen değişimler üzerinden incelenmektedir. Bu amaçla, ekonomik sürdürülebilirlik için taşımacılık şirketinin kâr durumu, çevresel sürdürülebilirlik için emisyon miktarı, sosyal sürdürülebilirlik için müşterilerin taşımacılık maliyetleri değerlendirilmektedir.

ATP'nde işbirliği ve sürdürülebilirlik kavramlarını ele alan çalışmalar incelendiğinde, Zolfagharinia ve Haughton (2014) ve Zolfagharinia ve Haughton (2016) tarafından yapılan çalışmalarda dikey işbirliği varsayımı ve sosyal sürdürülebilik kavramının dikkate alındığı görülmektedir. Yapılan iki çalışmada da ilgili kavramlar kapsamında müşterilerden sağlanan talep bilgisi ve çalışanlarının evlerinden uzak kalacağı süre ele alınmaktadır. Ancak bu tez çalışması, Zolfagharinia ve Haughton (2014) ve Zolfagharinia ve Haughton (2016) tarafından yapılan çalışmalar ile kıyaslandığında müşterilerin talep karşılayacağı tedarik düğümlerini değiştirmesi durumunda indirim uygulanması ve müşterilerin taşımacılık maliyetlerinin düşmesini sağlanması ile dikey lojistik işbirliği ve sosyal sürdürülebilirlik kavramlarına farklı açılardan yaklaşmaktadır. Ayrıca, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik kavramları ve dikey lojistik işbirliğinin sürdürülebilirliğin üç boyutuna etkisi de yapılan tez çalışması kapsamında ele alınmaktadır. İlgili literatürde, bu tez çalışmasında önerilen modelde olduğu gibi dikey lojistik işbirliği varsayımını ve ekonomik, çevresel, sosyal sürdürülebilirlik kav-

ramlarını eş zamanlı olarak ele alan, aynı zamanda dikey lojistik işbirliği varsayımının sürdürülebilirliğin üç boyutu üzerindeki etkisini inceleyen bir başka çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple önerilen modelin işbirliği ve sürdürülebilirlik gibi güncel lojistik trendlere ve literatüre katkı sağlayabilecek nitelikte olduğu düşünülmektedir.

Tez kapsamında yapılan analizler sonucunda; karşılaştırmalar için temel alınan örnek olaya ilişkin analiz incelendiğinde, dikey lojistik işbirliği yapılması durumunda, elde edilen gelirin $\%21$ arttığı, taşımacılık maliyetinin $\%29$ azaldığı, dış araç kullanım maliyetinin $\%68$ azaldığı ve uygulanan indirim doğrultusunda gelirin $\%9$'unun geri ödendiği gözlemlenmektedir. Dolayısıyla, dikey lojistik işbirliğinin gerçekleştiği durumda elde edilen net kâr, dikey lojistik işbirliğinin gerçekleşmediği duruma kıyasla yaklaşık olarak üç kat artmaktadır. Ayrıca, gerçekleştirilen dikey lojistik işbirliği kapsamında müşterilerin taleplerinin $\%46$'sı başka bir tedarik noktasından karşılanmaktadır. Bunun sonucunda, dolu hareket eden araç sayısı $\%25$ artmakta, boş hareket eden araç sayısı $\%40$ azalmakta ve şirketin kendi araç filosu ile karşılayamadığı talepler için dış araç kullanımı $\%26$ azalmaktadır. Ek olarak, üst seviye müşteri grubunun (işbirliğine dahil olan) yanı sıra alt seviye müşteri grubunun (işbirliğine dahil olmayan) da talep karşılanma oranları yaklaşık olarak $\%5$ yükselmektedir.

Örnek olay analizinin yanı sıra sürdürülebilirliğin üç boyutu kapsamında yapılan analizlerde, ele alınan dikey işbirliği varsayımının belirlenen performans kriterleri üzerinde ilgili boyutu destekleyen nitelikte etkilerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ekonomik sürdürülebilirlik için yapılan analizlerde kârın yükselmesinin yanı sıra, farklı fiyat seviyelerinin uygulanması, ceza maliyetinin uygulanması veya uygulanmaması ve sistemdeki araç sayısının arttırılması veya azaltılması gibi incelenen farklı senaryolarda da dikey lojistik işbirliği varsayımının belirlenen performans kriterlerini olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Özellikle mevcut/toplam araç sayısının azaltıldığı senaryoda dikey lojistik işbirliği varsayımı olmadan sistemin zarar ettiği ve sonrasında dikey lojistik işbirliği varsayımının uygulanması sonucunda sistemin aynı araç sayısı ile kâra geçtiği gözlemlenmiştir. Çevresel sürdürülebilirlik için yapılan analizde, boş araç hareketinin azalmasına bağlı olarak üretilen toplam emisyon miktarının $\%29$ azalması ile dikey lojistik işbirliği varsayımının olumlu etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Sosyal sürdürülebilirlik için yapılan analizde ise, uygulanan indirimler ile müşterilerin katlandığı taşımacılık maliyetlerinin en az $\%4$ oranında

azaldığı, böylece dikey lojistik işbirliği varsayımının ilgili sürdürülebilirlik boyutunu destekleyici etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tüm bu analizler (sayısal göstergeler) taşımacılık operayonları planlaması yapılırken dikey lojistik işbirliği gerçekleştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Özellikle arz ve tedarik noktaları arasındaki mesafelerin fazla olduğu problemlerde, ilgili operasyon çıktılarının sistem üzerindeki etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda, uzun yol yük taşımacılığında karşılaşılan ATP'ne dikey lojistik işbirliği varsayımının dahil edilmesinin taşımacılık operasyonları performansına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ele alınan işbirliği yaklaşımı ile araç kullanımının iyileştirilmesi (verimli hale getirilmesi) ve boş araç yükünün toplam araç yükündeki oranının azaltılması; yakıt tüketiminin (dolayısıyla yakıt maliyetinin), emisyon miktarının (dolayısıyla çevre kirliliğinin), trafik yoğunluğunun, şirketler için işgücü kullanımının, çalışanlar (özellikle sürücüler) için iş yükünün, araçların yıpranma oranlarının (dolayısıyla bakım maliyetlerinin) azalması anlamına gelmektedir. Ayrıca, toplam talebin karşılanma oranının arttırılması ile üst seviye müşteri grubunun yanı sıra alt seviye müşteri grubuna da sadık hizmet verilmesine katkı sağlanmaktadır. Müşteriler açısından karşılanan taleplerin artması ve taşımacılık maliyetlerinin düşmesi; müşteri memnuniyetinin ve refah düzeyinin artmasına dolayısıyla, taşımacılık şirketinin rekabet avantajı sağlamasına sebep olmaktadır. Özetle, dikey lojistik işbirliğinin hem ekonomik hem çevresel hem de sosyal açıdan taşımacılık sektöründe verimliliği yükseltmek için katkı sağlayabilecek bir yaklaşım olduğu düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasının kısıtı olarak örnek olayda ele alınan problemde hipotetik ve deterministik veri ile sınırlı kalınması gösterilebilmektedir. İlerleyen çalışmalar için model gerçek hayata uygulanabilir. Büyük veri setleri ile oluşturulan problemler için sezgisel çözüm yöntemlerinden yararlanılabilir. Ayrıca, modele belirsiz talep varsayımı, yol şartları, trafik yoğunluğu, heterojen araç filosu kullanımı gibi kısıtlar eklenerek yeni modeller ve çözüm yöntemleri geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

Andrade, L. A. C. & Cunha, C. B. (2015). An ABC heuristic for optimizing moveable ambulance station location and vehicle repositioning for the city of São Paulo. *International Transactions in Operational Research*, *22*(3), 473–501.

Beaujon, G. J. & Turnquist, M. A. (1991). A model for fleet sizing and vehicle allocation. *Transportation Science*, *25*(1), 19–45.

Beltran, B., Carrese, S., Cipriani, E. & Petrelli, M. (2009). Transit network design with allocation of green vehicles: A genetic algorithm approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *17*(5), 475–483.

Boilé, M. & Perić, K. (2013). A bilevel model for transit vehicle allocation. *Gradevinar*, *65*(3).

Bowersox, D., D Closs & Cooper, M. (2002). *Supply Chain Logistic Management*. Brent Gordon.

Cao, M. & Zhang, Q. (2011). Supply chain collaboration: Impact on collaborative advantage and firm performance. *Journal of operations management*, *29*(3), 163–180.

Caputo, M. & Mininno, V. (1996). Internal, vertical and horizontal logistics integration in Italian grocery distribution. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.

Chen, M.-y., Lin, Y., Xiong, H., Wu, C., Huang, G., Yan, X., Cai, Y., Li, Y. & Lv, N. (2009). An inexact optimization model for evacuation planning. *Kybernetes*.

Chopra, S. & Meindl, P. (2007). Supply chain management. Strategy, planning & operation. *Das summa summarum des management* (ss. 265–275). Springer.

Coelho, L. C., Cordeau, J.-F. & Laporte, G. (2014). Thirty years of inventory routing. *Transportation Science*, *48*(1), 1–19.

Coelho, L. C. & Laporte, G. (2014). Optimal joint replenishment, delivery and inventory management policies for perishable products. *Computers & Operations Research*, *47*, 42–52.

Crainic, T. G., Gendreau, M. & Dejax, P. (1993). Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers. *Operations research*, *41*(1), 102–126.

Çimen, M. & Soysal, M. (2017). Time-dependent green vehicle routing problem with stochastic vehicle speeds: An approximate dynamic programming algorithm. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *54*, 82–98.

DEFRA, U. (2007). Guidelines to Defra's GHG conversion factors for company reporting, annexes updated June 2007.

Demir, E., Bektaş, T. & Laporte, G. (2014). A review of recent research on green road freight transportation. *European journal of operational research*, *237*(3), 775–793.

de Oliveira Simonetto, E. & Borenstein, D. (2007). A decision support system for the operational planning of solid waste collection. *Waste Management*, *27*(10), 1286–1297.

Ergun, O., Kuyzu, G. & Savelsbergh, M. (2007). Reducing truckload transportation costs through collaboration. *Transportation science*, *41*(2), 206–221.

Fair, M. L. & Williams, E. W. (1981). *Transportation and logistics*. Business Publications, Incorporated.

Fan, W. (2013). Management of dynamic vehicle allocation for carsharing systems: Stochastic programming approach. *Transportation research record*, *2359*(1), 51–58.

Fan, W., Machemehl, R. B. & Lownes, N. E. (2008). Carsharing: Dynamic decision-making problem for vehicle allocation. *Transportation Research Record*, *2063*(1), 97–104.

Frantzeskakis, L. F. & Powell, W. B. (1990). A successive linear approximation procedure for stochastic, dynamic vehicle allocation problems. *Transportation Science*, *24*(1), 40–57.

Ghiani, G., Laporte, G. & Musmanno, R. (2013). *Introduction to logistics systems management*. John Wiley & Sons.

Gkiotsalitis, K., Wu, Z. & Cats, O. (2019). A cost-minimization model for bus fleet allocation featuring the tactical generation of short-turning and interlining options. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *98*, 14–36.

Gunasekaran, A. & Subramanian, N. (2018). Sustainable operations modeling and data analytics.

Hertz, A., Laporte, G. & Mittaz, M. (2000). A tabu search heuristic for the capacitated arc routing problem. *Operations research*, *48*(1), 129–135.

Hoff, A., Lium, A.-G., Løkketangen, A. & Crainic, T. G. (2010). A metaheuristic for stochastic service network design. *Journal of Heuristics*, *16*(5), 653–679.

Huang, C.-J., Chang, K.-H. & Lin, J. T. (2012). Optimal vehicle allocation for an automated materials handling system using simulation optimisation. *International Journal of Production Research*, *50*(20), 5734–5746.

Ibri, S., Nourelfath, M. & Drias, H. (2012). A multi-agent approach for integrated emergency vehicle dispatching and covering problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *25*(3), 554–565.

Irannezhad, E., Prato, C. G. & Hickman, M. (2018). The effect of cooperation among shipping lines on transport costs and pollutant emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *65*, 312–323.

Jacobs, F. R., Chase, R. B. & Lummus, R. R. (2014). *Operations and supply chain management*. McGraw-Hill/Irwin New York, NY.

Jian, W., Qingguo, L., Xinxue, L. & Yaxiong, L. (2020). Fuel-Efficient on-Orbit Service Vehicle Allocation Based on an Improved Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, *2020*.

Jixian, Z., Jing, Z., Qianyu, X., Xuejie, Z. & Weidong, L. (2019). Truthful Auction Mechanism for Vehicle Allocation and Pricing in Car-hailing services. *2019 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM)*, 1–6.

Kaewpuang, R., Niyato, D., Tan, P.-S. & Wang, P. (2016). Cooperative management in full-truckload and less-than-truckload vehicle system. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, *66*(7), 5707–5722.

Kamarthi, S. V., Gupta, S. M. & Lerpong, J. (2003). Simulation study on vehicle dispatching strategies for returnable transport packaging. *Gupta Publications*, 104.

Kantawong, K. (2020). The New Methodology for Long-Haul Time Dependent Vehicular Network. *Wireless Personal Communications*, *111*(2), 753–761.

Kim, K. H. & Lee, Y. H. (2017). VEHICLE-RELOCATION OPTIMIZATION FOR ONE-WAY CARSHARING. *International Journal of Industrial Engineering*, *24*(5).

Kottler, P. & Keller, K. L. (2009). Marketing management. *New Jersey Penerbit Prentice Hall*.

Kumar, A. & Anbanandam, R. (2019). Multimodal freight transportation strategic network design for sustainable supply chain: an or prospective literature review. *International Journal of System Dynamics Applications (IJSDA)*, *8*(2), 19–35.

Lam, S.-W., Lee, L.-H. & Tang, L.-C. (2007). An approximate dynamic programming approach for the empty container allocation problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *15*(4), 265–277.

Lee, Y. H., Kim, J., Kang, K. & Kim, K. (2008). A heuristic for vehicle fleet mix problem using tabu search and set partitioning. *Journal of the Operational Research Society*, *59*(6), 833–841.

Lei, C., Jiang, Z. & Ouyang, Y. (2020). Path-based dynamic pricing for vehicle allocation in ridesharing systems with fully compliant drivers. *Transportation Research Part B: Methodological*, *132*, 60–75.

Li, B., Yang, X. & Xuan, H. (2019). A hybrid simulated annealing heuristic for multistage heterogeneous fleet scheduling with fleet sizing decisions. *Journal of Advanced Transportation*, *2019*.

Lin, B. & Du, Z. (2017). Can urban rail transit curb automobile energy consumption? *Energy Policy*, *105*, 120–127.

Lin, J. T., Wu, C.-H. & Huang, C.-W. (2013). Dynamic vehicle allocation control for automated material handling system in semiconductor manufacturing. *Computers & operations research*, *40*(10), 2329–2339.

List, G. F., Wood, B., Nozick, L. K., Turnquist, M. A., Jones, D. A., Kjeldgaard, E. A. & Lawton, C. R. (2003). Robust optimization for fleet planning under uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *39*(3), 209–227.

Liu, Y., Li, Z., Liu, J. & Patel, H. (2016). A double standard model for allocating limited emergency medical service vehicle resources ensuring service reliability. *Transportation research part C: emerging technologies*, *69*, 120–133.

Mesa-Arango, R. & Ukkusuri, S. V. (2017). Minimum cost flow problem formulation for the static vehicle allocation problem with stochastic lane demand in truckload strategic planning. *Transportmetrica A: Transport Science*, *13*(10), 893–914.

Miller, E. J., Roorda, M. J. & Carrasco, J. A. (2005). A tour-based model of travel mode choice. *Transportation*, *32*(4), 399–422.

Ouaarab, A., Ahiod, B. & Yang, X.-S. (2014). Discrete cuckoo search algorithm for the travelling salesman problem. *Neural Computing and Applications*, *24*(7), 1659–1669.

Pavlić Skender, H., Adelajda Zaninović, P. & Lolić, A. (2019). The importance of logistics distribution centers as nodes in logistics networks. *Pomorstvo*, *33*(2), 149–157.

Powell, W. B. (1986). A stochastic model of the dynamic vehicle allocation problem. *Transportation science*, *20*(2), 117–129.

Powell, W. B. (1987). An operational planning model for the dynamic vehicle allocation problem with uncertain demands. *Transportation Research Part B: Methodological*, *21*(3), 217–232.

Renko, S. (2011). Vertical collaboration in the supply chain. *Supply Chain Management-New Perspectives*. IntechOpen.

Roorda, M., Miller, E. J. & Kruchten, N. (2006). Incorporating within-household interactions into mode choice model with genetic algorithm for parameter estimation. *Transportation research record*, *1985*(1), 171–179.

Roorda, M. J., Carrasco, J. A. & Miller, E. J. (2009). An integrated model of vehicle transactions, activity scheduling and mode choice. *Transportation Research Part B: Methodological*, *43*(2), 217–229.

Rushton, A., Croucher, P. & Baker, P. (2006). *The handbook of logistics distribution management*. Kogan Page Publishers.

Sánchez-Martínez, G. E., Koutsopoulos, H. N. & Wilson, N. H. (2016). Optimal allocation of vehicles to bus routes using automatically collected data and simulation modelling. *Research in Transportation Economics*, *59*, 268–276.

Schmaler, R., Hammel, C., Schmidt, T. & Schoeps, M. (2016). Dispatching rules considering transport-related restrictions during failure scenarios—A use case: FA: Factory automation. *2016 27th Annual SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC)*, 94–99.

Shi, N., Song, H. & Powell, W. B. (2014). The dynamic fleet management problem with uncertain demand and customer chosen service level. *International Journal of Production Economics*, *148*, 110–121.

Shima, Y., Kadir, R. A. & Ali, F. H. (2021). A Novel Approach to the Optimization of a Public Bus Schedule Using K-Means and a Genetic Algorithm. *IEEE Access*, *9*, 73365–73376.

Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations research*, *35*(2), 254–265.

Soysal, M. & Bloemhof-Ruwaard, J. M. (2017). Toward sustainable logistics. *Sustainable Logistics and Transportation* (ss. 1–17). Springer.

Soysal, M. & Çimen, M. (2017). A simulation based restricted dynamic programming approach for the green time dependent vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, *88*, 297–305.

Soysal, M., Çimen, M., Belbağ, S. & Toğrul, E. (2019). A review on sustainable inventory routing. *Computers & Industrial Engineering*, *132*, 395–411.

Soysal, M., Çimen, M. & Demir, E. (2018). On the mathematical modeling of green one-to-one pickup and delivery problem with road segmentation. *Journal of cleaner production*, *174*, 1664–1678.

Subramanya, K. (1998). Pipeline transportation technology: An overview. *Current Science*, 824–826.

Sung, C. S. & Song, S. H. (2003). Integrated service network design for a cross-docking supply chain network. *Journal of the Operational Research Society*, *54*(12), 1283–1295.

Tan, Q., Huang, G. H., Wu, C. & Cai, Y. (2011). IF-EM: An interval-parameter fuzzy linear programming model for environment-oriented evacuation planning under uncertainty. *Journal of Advanced Transportation*, *45*(4), 286–303.

Tari, F. G. & Hashemi, Z. (2016). A priority based genetic algorithm for nonlinear transportation costs problems. *Computers & Industrial Engineering*, *96*, 86–95.

Toth, P. & Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*. SIAM.

Toth, P. & Vigo, D. (2014). *Vehicle routing: problems, methods, and applications*. SIAM.

Tseng, Y.-y., Yue, W. L., Taylor, M. A. ve diğ. (2005). The role of transportation in logistics chain.

Turner, J., Meng, Q. & Schaefer, G. (2015). Increasing allocated tasks with a time minimization algorithm for a search and rescue scenario. *2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 3401–3407.

Uddin, M. M. & Huynh, N. (2015). Freight traffic assignment methodology for large-scale road–rail intermodal networks. *Transportation Research Record*, *2477*(1), 50–57.

Upadhyay, A. & Bolia, N. (2014). Combined empty and loaded train scheduling for dedicated freight railway corridors. *Computers & Industrial Engineering*, *76*, 23–31.

van Buuren, M., van der Mei, R. & Bhulai, S. (2018). Demand-point constrained EMS vehicle allocation problems for regions with both urban and rural areas. *Operations Research for Health Care*, *18*, 65–83.

Vasco, R. A. & Morabito, R. (2016). The dynamic vehicle allocation problem with application in trucking companies in Brazil. *Computers & Operations Research*, *76*, 118–133.

Waters, D. (2021). *Logistics An Introduction to supply chain management*. Palgrave macmillan.

Wu, C., Huang, G. H., Yan, X., Cai, Y. & Li, Y. (2010). An interval-parameter mixed integer multi-objective programming for environment-oriented evacuation management. *International journal of systems science*, *41*(5), 547–560.

Wu, L. (2016). Research on Expressway Emergency Vehicle Allocation Based on Improved PARTICLE Swarm Optimization. *International Conference on Genetic and Evolutionary Computing*, 139–145.

Yang, W., Cheong, T. & Song, S. H. (2015). A multiperiod vehicle lease planning for urban freight consolidation network. *Mathematical Problems in Engineering*, *2015*.

Żak, J., Redmer, A. & Sawicki, P. (2011). Multiple objective optimization of the fleet sizing problem for road freight transportation. *Journal of advanced transportation*, *45*(4), 321–347.

Zhang, N.-z., Sun, G.-h., Wu, Y.-h. & Geng, F.-h. (2009). A modified particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *2009 7th Asian Control Conference*, 1679–1684.

Zolfagharinia, H. & Haughton, M. (2014). The benefit of advance load information for truckload carriers. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *70*, 34–54.

Zolfagharinia, H. & Haughton, M. (2016). Effective truckload dispatch decision methods with incomplete advance load information. *European Journal of Operational Research*, *252*(1), 103–121.

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORİJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 23/06/2022

Tez Başlığı : Dikey Lojistik İşbirliği Varsayımıyla Bir Sürdürülebilir Araç Atama Problemi İçin Tam Sayılı Doğrusal Programlama Yaklaşımı

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 62 sayfalık kısmına ilişkin, 23/06/2022 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 8 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

1- ☐ Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç
2- ☒ Kaynakça hariç
3- ☒ Alıntılar hariç
4- ☐ Alıntılar dâhil
5- ☒ 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı 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.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Damla BENLİ
Öğrenci No: N19131138
Anabilim Dalı: İşletme
Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Tezli Yüksek Lisans

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİMEN
(Unvan, Ad Soyad, İmza)

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: Dikey Lojistik İşbirliği Varsayımıyla Bir Sürdürülebilir Araç Atama Problemi İçin Tam Sayılı Doğrusal Programlama Yaklaşımı

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 Kurullar 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:	Damla BENLİ
Öğrenci No:	N19131138
Anabilim Dalı:	İşletme
Programı:	Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Tezli Yüksek Lisans
Statüsü:	☒ Yüksek Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Doktora

DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİMEN

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

Detaylı Bilgi: http://www.sosyalbilimler.hacettepe.edu.tr
Telefon: 0-312-2976860 **Faks:** 0-3122992147 **E-posta**: sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr