



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim ve İşlemler Yönetimi Programı

**ZAMAN PENCERESİ GEVŞEKLIĞİNİN ARAÇ ATAMA
PROBLEMLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERFORMANSI
ÜZERİNDE ETKİLERİ**

Aslıhan AYDIN ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2024

ZAMAN PENCERESİ GEVŞEKLİĞİNİN ARAÇ ATAMA PROBLEMLERİNDE
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERFORMANSI ÜZERİNDE ETKİLERİ

Aslıhan AYDIN ÇELİK

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim ve İşlemler Yönetimi Programı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2024

KABUL VE ONAY

Aslıhan AYDIN ÇELİK tarafından hazırlanan “Zaman Penceresi Gevşekliğinin Araç Atama Problemlerinde Sürdürülebilirlik Performansı Üzerinde Etkileri” başlıklı bu çalışma, 11.06.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Aydın ULUCAN (Başkan)

Doç. Dr. Mustafa ÇİMEN (Danışman)

Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ (Üye)

Prof. Dr. Kazım Barış ATICI (Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Bülent ÇEKİÇ (Üye)

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⁾

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

Aslıhan AYDIN ÇELİK

1 “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, **Doç. Dr. Mustafa ÇİMEN** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Aslıhan AYDIN ÇELİK

ÖZET

AYDIN ÇELİK, Aslıhan. *Zaman Penceresi Gevşekliğinin Araç Atama Problemlerinde Sürdürülebilirlik Performansı Üzerinde Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2024.

Bu çalışma Araç Tahsis problemlerinde farklı zaman penceresi seçimlerinin sürdürülebilirliğin ekonomik, sosyal ve çevresel olmak üzere üç boyutu üzerinde etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla, zaman pencereleri kısıtları altındaki bir Araç Tahsis Problemi, Karma Tam Sayılı Programlama modeli kullanılarak formüle edilmiştir. İlgili model kullanılarak sıkı ve gevşek zaman pencerelerinin; ekonomin boyut açısından şirketin kârlılığı, sosyal boyut açısından ceza maliyeti varsayımı altında memnuniyeti sağlanmış müşteri sayısı, çevresel boyut açısından da taşıma faaliyetlerinden ortaya çıkan emisyon oranına etkileri incelenmiş ve analiz edilmiştir. Bilindiği kadarıyla literatürde araç tahsis problemlerinde zaman penceresi seçimlerinin sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini analiz eden bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasının literatürdeki bu boşluğu doldurarak potansiyel olarak sürdürülebilir yük taşımacılığı yönetimi literatürüne katkıda bulunabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Sözcükler

Araç Tahsis, Zaman Penceresi, Karma Tam Sayılı Programlama, Sürdürülebilirlik.

ABSTRACT

AYDIN ÇELİK, Aslıhan. *The Effects of Time Window Slackness on the Sustainability Performance in Vehicle Allocation Problems*, Master's Thesis, Ankara, 2024.

This study aims to examine the effects of different time window choices in Vehicle Allocation problems on three dimensions of sustainability: economic, social, and environmental. For this purpose, a Vehicle Allocation Problem under time window constraints is formulated using the Mixed Integer Programming model. Tight and loose time windows are examined using the relevant model; The profitability of the company in terms of the economic dimension, the number of satisfied customers under the assumption of penalty costs in terms of the social dimension, and the effects on the emission rate resulting from transportation activities in terms of the environmental dimension were examined and analyzed. As far as is known, there is no study in the literature that analyzes the effects of time window choices on sustainability in vehicle allocation problems. It is anticipated that this thesis study can potentially contribute to the sustainable freight transportation management literature by filling this gap in the literature.

Keywords

Vehicle Allocation, Time Windows, Mixed Integer Programming, Sustainability.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI.....	ii
ETİK BEYAN.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
GİRİŞ.....	1
1. BÖLÜM: LOJİSTİK KAVRAMI	5
1.1. LOJİSTİK YÖNETİMİ	6
1.2. LOJİSTİĞİN ÖNEMİ	8
1.3. LOJİSTİK SİSTEMLERİN İŞLEYİŞİ	9
1.3.1. Sipariş İşleme Aktiviteleri.....	9
1.3.2. Envanter Yönetimi Aktiviteleri	10
1.3.3. Yük Taşımacılığı Aktiviteleri	11
1.4. YÜK TAŞIMACILIĞI	12
1.4.1. Yük Taşımacılığı ile İlgili Kavramlar ve Varsayımlar	13
1.4.2. Kısa Mesafe Yük Taşımacılığı	17
1.4.3. Uzun Mesafe Yük Taşımacılığı.....	17
2. BÖLÜM: LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	25
3. BÖLÜM: PROBLEM TANIMI	35
4. BÖLÜM: SAYISAL ANALİZLER.....	45
4.1. DENEY TASARIMI	46

4.2. TEMEL PROBLEM	48
4.3. ZAMAN PENCERESİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BOYUTLARI ÜZERİNE ETKİSİ	50
4.3.1. Sürdürülebilirliğin Ekonomik Boyutu	50
4.3.2. Sürdürülebilirliğin Sosyal Boyutu.....	52
4.3.3. Sürdürülebilirliğin Çevresel Boyutu	60
5. BÖLÜM: YÖNETİMSEL ÇIKARIMLAR	62
SONUÇ	65
KAYNAKÇA	68
EK 1. ORJİNALLİK RAPORU	73
EK 2. ETİK KURUL MUAFİYET FORMU	75

KISALTMALAR DİZİNİ

SOLE: The International Society of Logistics

CSCMP: Council of Supply Chain Management Professionals

TL: Truckload (Tam Araç Yüğü)

LTL: Less Than Truckload (Eksik Araç Yüğü)

CLM: The Council Of Logistics Management (Lojistik Yönetimi Konseyi)

VRP: Vehicle Routing Problem (Araç Rotalama Problemi)

VAP: Vehicle Allocation Problems (Araç Tahsis Problemi)

PL: Picewise Linear (Parçalı Doğrusal)

VFMP: Vehicle Fleet Mix Problem

MCFP: Multi-Commodity Flow Problem

GRASP: Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

ATP: Araç Tahsis Problemleri

CO₂: Karbondioksit

SA: Simulated Annealing (Benzetimli Tavlama)

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Taşımacılık Modları Sınıflandırma.....	15
Tablo 2. Literatür Özeti	33
Tablo 3. Parametre Özet Tablosu.....	48
Tablo 4. İki Zaman Penceresi Durumu Varsayımı Altında Temel Çözüm Sonuçları	49



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Lojistik Süreci (Kurtuluş, 2007)	7
Şekil 2. Dağıtım Kanalları (Ghiani v.d. 2004).....	14
Şekil 3. Her Bir Zaman Penceresi Durumu İçin Elde Edilen Faaliyet Kâr Değerleri.....	51
Şekil 4. Talebi Termin Tarihinden “a” Periyot Önce Karşılama Üzere Dolu Olarak Seyahat Eden Araç Sayısı	52
Şekil 5. $\alpha=0,1,2,3$ Değerleri İçin Dolu Araç Sayısı	55
Şekil 6. $\alpha=0,1,2,3$ Değerleri İçin Boş Araç Sayısı	56
Şekil 7. $\alpha=0,1,2,3$ Değerleri İçin Karşılana Talep Miktarı	56
Şekil 8. $\alpha=0,1,2,3$ Değerleri İçin Reddedilen Talep Miktarı	57
Şekil 9. $\alpha=0,1,2,3$ Değerleri İçin Karşılana Talep Miktarı	58
Şekil 10. Farklı Zaman Penceresi Değerlerinde (α) Çeşitli İskonto Oranlarının Uygulanması ile Amaç Fonksiyonu Değeri Değişimi	59
Şekil 11. Farklı Zaman Penceresi Uygulaması ile Değişen Emisyon Seviyeleri.....	61

GİRİŞ

Son yıllarda teknolojinin hızla gelişmesi ile küreselleşen dünyada, ekonomik anlamda üretim ve tüketim artık devlet sınırlarını aşarak ülkeler dışına yayılmış ve ülkelerin ticaret ve ekonomiye bakış açıları değişmiştir. İşletmeler açısından değerlendirildiğinde dünya pazarlarında rekabet ortamı gün geçtikçe artmaktadır. Tüketiciler, dünyanın farklı bölgelerinden birçok ürün ve hizmete erişim imkânı elde etmekte ve dünya çapında ticaret ve yatırımın serbestleşmesi sonucu işletmeler çıkarları doğrultusunda fırsatları değerlendirebildiği ölçüde uluslararası pazarlarda tutunabilmektedir. Ticaretin küreselleşmesiyle sınırlar önem kaybetmektedir ve taşımacılıkta mesafeler uzamaktadır. Mesafelerin uzaması, işletmelerin toplam maliyetleri arasında büyük paya sahip olan taşımacılık maliyetlerini arttırmaktadır. Bu durumda, taşımacılık maliyetlerini azaltacak iyileştirmeler işletmelerin dünya pazarında tutunabilmesi açısından gün geçtikçe daha önemli hale gelmektedir.

Ticaretin küreselleşmesiyle birlikte lojistik hizmetler, dünya pazarında rekabet üstünlüğü elde etmek için önemli bir kavram haline gelmiştir. Taşımacılık, ürünün toplam maliyetinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır ve toplam ulusal harcamaların önemli bir bileşenidir (Crainic ve Laporte, 1997, Crainic 1998). Lojistik hizmetler, tüketiciye fiyat avantajı ve yüksek düzeyde hizmet sağlama açısından neredeyse tüm sektörler ile doğrudan ilişkilidir. Ürün ve hizmetin müşteriye daha hızlı, daha güvenli ve daha ekonomik olarak ulaştırılması işletmelere rekabet avantajı sağlamaktadır. Bu rekabet avantajının sağlanması, lojistik yönetimine gereken önemin verilmesi ile gerçekleşecektir.

Lojistik yönetiminin temel amacı, doğru ürünü doğru zamanda doğru yere ulaştırmaktır. Etkili bir lojistik yönetimi sonucunda, küreselleşen dünyada işletmeler açısından çok önemli bir maliyet unsuru olan taşımacılık maliyetleri en aza indirilerek müşterilere fiyat avantajı sağlanabilir.

Genel olarak bakıldığında lojistik faaliyetler üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; sipariş işleme, envanter yönetimi ve yük taşımacılığıdır. Literatürde bu

üç ana bileşen ile ilgili maliyetleri azaltmak için geliştirilmiş modeller ve sezgisel yaklaşımlar mevcuttur. Yük taşımacılığı, lojistik hizmetler içerisinde bir ürünün istenilen güven düzeyinde istenilen bölgeye taşınmasıdır. Küreselleşme ve ticaretin serbestleşmesi ile coğrafi pazarlar ve ulaşım ağları genişlemiştir. Bu nedenle, literatürde taşımacılık problemlerine olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Taşımacılık problemleri ile ilgili literatür incelendiğinde çözümü zor ve zaman alan problemler içerdiği görülecektir.

Taşımacılık faaliyetleri gerek yakıt gerek işgücü giderleri nedeniyle yüksek maliyetli faaliyetlerdir. Bu yüksek maliyetler, taşımacılık ağı yönetimi ve lojistik yönetimi ile ilgili planlamaların önemini arttırmaktadır. Aynı zamanda, iyi bir taşımacılık planlaması işletmelere yeni pazarlara açılma ve ucuz iş gücü olan ülkelerde üretim yapabilme imkânı sağlamaktadır. Bu durumda, işletmeler açısından ürün başına düşen birim maliyetler azalacağından diğer şirketlere karşı rekabet avantajı elde edilecektir. Bu nedenlerden dolayı taşımacılık ile ilgili maliyetlerin azaltılmasına yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Taşımacılık problemleri literatürde güncelliğini korumakta ve gün geçtikçe bu konuya olan ilgi artmaktadır.

Literatürde, taşımacılık problemleri uzun mesafeli taşımacılık problemleri ve kısa mesafeli taşımacılık problemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Kısa mesafeli taşımacılık genellikle bir günden az sürede siparişin teslim edildiği taşımacılıktır. Uzun mesafeli taşımacılıkta ise sipariş genellikle daha uzun sürelerde teslim edilir.

İşletmeler taşımacılık faaliyetlerinde kaynaklarını daha etkin kullanabilmek için aralarında iş birliği yapmaya yönelebilmektedir. Literatürde dikey ve yatay iş birliği olarak iki temel iş birliği modeli vardır. Dikey iş birliği, dağıtım kanalının farklı seviyelerindeki işletmeler arasında gerçekleştirilir (Caputo, M., Mininno, V., 1996). Aynı tedarik zinciri içerisinde yer alan iki veya daha fazla firmanın, ortak bir amaç doğrultusunda kendi aralarında yaptıkları iş birliğine ise yatay iş birliği denir (Cohen ve Roussel 2005). Yatay iş birliği, tedarik zinciri yönetimi sisteminin aynı kademesinde gerçekleşir ve işletmelerin kârlarını ve hizmet kalitesini artırabileceği belirtilmiştir (Li vd, 2015). Lojistik faaliyetlerini yürüten

firmalar genellikle toplu olarak hareket etmekte ve tedarik zinciri yönetimini merkezi bir sistem üzerinden sağlamaktadır (Bleeke ve Ernst, 2002, Soysal vd., 2018).

Küresel ısınma ve hava kirliliği gibi çevresel konularda farkındalığın artması, yük taşımacılığı yapan şirketlerin sürdürülebilirlik kavramı konusunda bilinçlenmesini sağlamıştır. Sürdürülebilirlik kavramının ekonomik, sosyal ve çevresel olmak üzere üç boyutu bulunmaktadır. Ekonomik boyut, şirket sermayesinin zarar görmesinin önlenmesini amaçlamaktadır (Goodland, 2002). Sosyal boyut; şirketin paydaşlarının refahı ile ilgili sorunları ele alma yeteneğini ölçerken çevresel boyut; şirketin hava, toprak, su ve ekosistem üzerindeki olumsuz etkilerini ölçmektedir (Chopra and Meindl, 2015, pp 498-500). Şirketler rekabet avantajı sağlayabilmek ve gelecekte hizmet sunmaya devam edebilmek için sürdürülebilirliğin bahsedilen bu üç boyutuna da uyum sağlamak ve faaliyetlerini gerçekleştirirken bu boyutları göz önünde bulundurmak zorundadır.

“Zaman penceresi” terimi, taşıma faaliyetinin gerçekleşeceği zaman aralığının alt ve üst sınırlarının belirlenmesini ifade etmektedir. Literatürde, esnek ve esnek olmayan olmak üzere iki farklı zaman penceresi türü yer almaktadır. Taşımacılığın sağlandığı düğümler arasında, araçların, zaman penceresinin alt sınırından önce ya da üst sınırdan sonra varışına izin verildiği durumda esnek zaman penceresi, zaman penceresi sınırlarının ihlalinin kesin bir şekilde engellendiği durumda ise esnek olmayan zaman penceresinden söz edilmektedir (Ichou, Gendreau ve Potvin, 2003).

Literatürde araç tahsis problemleri; taze gıda taşımacılığı, evden eve taşıma veya doğrudan paket teslimatları gibi sürdürülebilirlik endişelerine konu olan birçok sektörde karşımıza çıkmaktadır. Bu sektörlerdeki zaman penceresi seçimleri doğrultusunda teslimat süresi yönetimi; araç tahsis problemlerindeki dolu ve/veya boş araç sayısı ya da karşılanan veya reddedilen talep sayısı gibi ana kararları etkileyebileceğinden çok önemlidir. Bu nedenle, zaman penceresi seçimlerinin araç tahsis problemlerindeki kararların ekonomik, sosyal ve çevresel performansları üzerindeki etkileri araştırılmaya değerdir. Bu tez çalışması, araç tahsis problemlerinde zaman penceresi seçimlerinin ekonomik,

sosyal ve çevresel göstergeler üzerindeki etkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bilindiği üzere ilgili literatürde böyle bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasında zaman pencereleri kısıtları altındaki bir araç tahsis problemi, karma tamsayılı doğrusal programlama modeli (mixed-integer linear programming model) olarak formüle edilecektir. İlgili model kullanılarak sıkı ve gevşek zaman pencerelerinin; ekonomin boyut açısından şirketin kârlılığı, sosyal boyut açısından ceza maliyeti varsayımı altında memnuniyeti sağlanmış müşteri sayısı, çevresel boyut açısından da taşıma faaliyetlerinden ortaya çıkan emisyon oranına etkileri incelenecek ve analiz edilecektir. Bilindiği kadarıyla literatürde araç tahsis problemlerinde zaman penceresi seçimlerinin sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini analiz eden bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasının literatürdeki bu boşluğu doldurarak potansiyel olarak sürdürülebilir yük taşımacılığı yönetimi literatürüne katkıda bulunabileceği öngörülmektedir.

Bu çalışmada birinci bölümde lojistik kavramı, yük taşımacılığı ve araç tahsis problemi kavramları açıklanmıştır. İkinci bölümde araç tahsis problemleri ve araç rotalama problemleri ile ilgili literatür araştırması derlenmiştir. Üçüncü bölümde, ele alınan problemin tanımı, varsayımlar ve matematiksel model açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, problem ve çözüm ile ilgili sayısal analizler yer almaktadır. Beşinci bölümde, yapılan analizler doğrultusunda derlenen yönetimsel çıkarımlar; sonuç bölümünde ise, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek ileride bu konu ile ilgili yapılabilecek çalışmalar hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Son olarak da bu çalışmada yararlanılan eserlerin yer aldığı kaynakça paylaşılmıştır.

1. BÖLÜM

LOJİSTİK KAVRAMI

Literatürde lojistik kavramının birçok tanımı mevcuttur. SOLE tanımına göre lojistik; ürünün ömrü boyunca her aşamada başarılı bir şekilde desteklenmesini sağlayan profesyonel bir disiplindir. Tasarım mühendisliğinden üretim ve hammaddeye, ambalajlama ve pazarlamaya, dağıtım ve elden çıkarmaya kadar lojistik, ürün destek sürecinin her olası aşamasını içerir.

Tedarik Zinciri Uzmanları Konseyi (Council of Supply Chain Management Professionals, CSCMP) lojistiği; “Müşteri gereksinimlerini karşılamak için ürün, hizmet ve ilgili bilgilerin çıkış noktasından varış noktasına ya da tersine etkili ve verimli bir biçimde taşınması ve depolanması için gerekli prosedürleri planlama, uygulama ve denetleme süreci” olarak tanımlamıştır.

Lojistik yönetimi ve lojistik kavramı bazı araştırmacılar tarafından birbiri yerine kullanılmaktadır. Lojistik; materyal sağlanması işleminden, müşteri memnuniyetine kadar tüm süreçlerin dağıtımı ile ilgilidir. Oysa lojistik yönetimi; materyal yönetimi, fiziksel yaşam eğrisi ve fiziksel dağıtım bileşiminden oluşmaktadır (Kurtuluş, 2007).

Lojistik ile ilişkili önemli faaliyetlerden birisi de tedarik zinciri yönetimidir. Tedarik zinciri yönetimi bir ürünün hammadde oluşundan itibaren malın tüketiciye ulaştırılması ve sonraki faaliyetlerine kadar tüm hareketinin yönetimidir. Literatürde bazı araştırmacılar tedarik zinciri yönetimini lojistik yönetimini de içeren daha kapsamlı bir kavram olarak değerlendirmektedir. Bazı araştırmacılar ise günümüzde lojistik yönetiminin daha kapsamlı olduğu görüşündedir ve tedarik zinciri yönetimi ile lojistik yönetimi birbiri yerine kullanılabilen iki kavram olarak değerlendirmektedir. Genel olarak ifade edilmek istenilirse lojistik yönetimi, bir ürünün ilk üretim aşamalarından son tüketiciye ulaşana kadar geçirdiği tüm süreçlerin yönetimidir. Buradan yola çıkarak lojistik

yönetimi; ‘doğru ürünü, doğru miktarda, doğru yerde, doğru kalitede ve doğru fiyatla sağlamakla ilgilenir.’ sonucuna ulaşabiliriz.

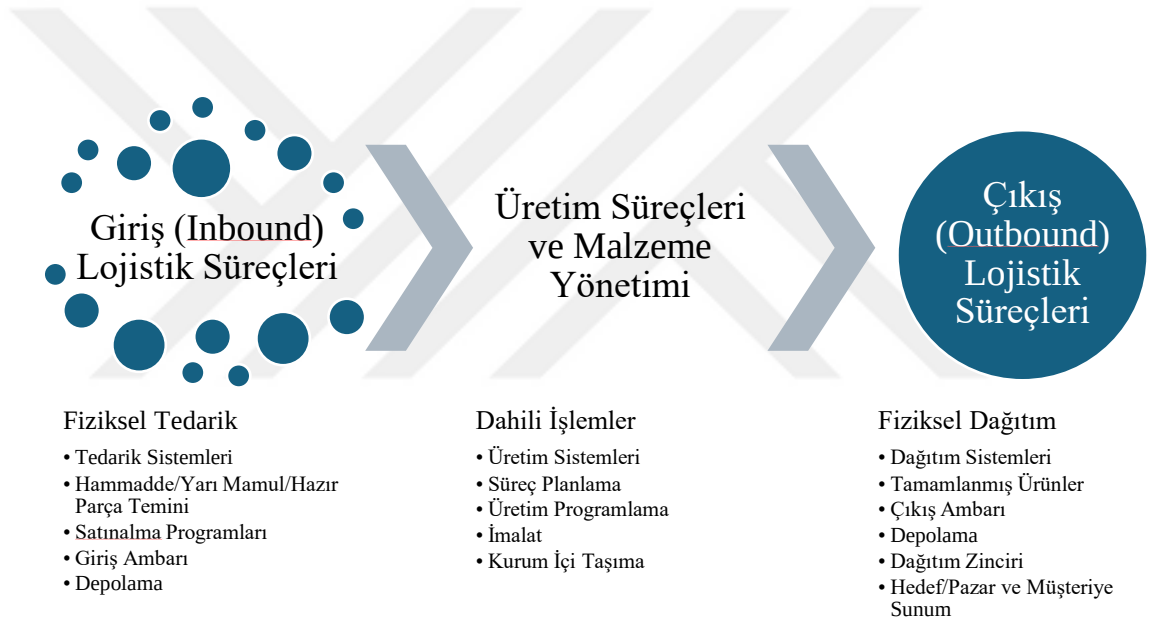
1.1. LOJİSTİK YÖNETİMİ

Lojistik yönetimi, Lojistik Yönetim Konseyi (The Council Of Logistics Management) tarafından “tüketicilerin gereksinimini karşılamak amacıyla, kaynaktan tüketicilere gelinceye kadar, hammaddelerin, tamamlanmış mal ve bunlara ilişkin bilgilerin maliyet etkinliği sağlayacak tarzda akışının sağlanması, depolanması, envanterlerinin tutulması, planlanması, uygulanması ve verimliliğinin kontrol edilme süreci” olarak tanımlanmaktadır (Polat, 2007).

Lojistik yönetimi Şekil 1’de gösterildiği gibi üretim öncesi lojistik, üretim lojistiği ve üretim sonrası lojistik olarak bölümlendirilebilir. Üretim öncesi lojistik faaliyetleri (giriş lojistiği olarak da tanımlanmaktadır.); hammaddelerin tedarikçiden toplanmasını, depolanmasını ve üretimini lojistik yönetimi çerçevesinde düzenlenmesi faaliyetlerini içerir (Yavuz, 2006). Üretim lojistiği, üretim tesisi içinde gerçekleşen lojistik faaliyetleridir. Üretim sonrası lojistik (çıkış lojistiği olarak da tanımlanabilir.) ise; üretimi tamamlanmış, bitmiş ürünün lojistik faaliyetleridir ve şirketler ile müşteriler arasında gerçekleşen dağıtım, araç kargo takibi, teslimat, iadeler gibi lojistik faaliyetleri kapsar (Eker, 2006).

Bazı durumlarda işletmeler için lojistik faaliyetlerinin tamamını veya bir kısmını lojistik konusunda uzmanlaşmış firmalara vermesi daha az maliyetli veya daha verimli olabilir. Bu durumda lojistik faaliyetlerinde dış kaynak kullanımı yapılabilmektedir ve bu süreç üçüncü parti lojistik olarak adlandırılmaktadır. Üçüncü parti lojistik sürecinin; gönderici, alıcı ve bu iki firma arasında lojistiğin bir kısmını veya tamamını gerçekleştiren uzmanlaşmış lojistik firması olmak üzere üç bileşeni vardır. Günümüzde birçok işletme lojistik ihtiyaçlarının tamamının veya bir bölümünün bir üçüncü parti lojistik firması tarafından yerine getirilmesini daha kaliteli ve/veya ekonomik bulmaktadır (Maltz ve Ellram, 1997).

Lojistikte dış kaynak kullanımı ile ilgili bir diğer kavram da dördüncü parti lojistikdir. Üçüncü parti lojistikten farklı olarak dördüncü parti lojistikte bir müşteri ile bir ya da daha fazla ortak işletme arasında yapılan uzun vadeli sözleşmeler söz konusudur. Üçüncü parti lojistik firmalarının işletmelerin karmaşık lojistik ihtiyaçlarını tam anlamıyla karşılayamaması üzerine 1990'larda ortaya çıkan dördüncü parti lojistik kavramında, şirket müşterisi olan işletmenin tüm tedarik zinciri tasarımı ve yönetimini üstlenir. Tedarik zinciri yönetiminin yapılabilmesi için çeşitli lojistik servis sağlayıcılar ile müşteri arasında ortak bir zemin oluşturur.



Şekil 1. Lojistik Süreci (Kurtuluş, 2007)

Lojistik stratejisi geliştirilirken amaç, yatırım ve işletme maliyetlerini azaltmak, hizmet seviyesini artırmaktır. Yatırım maliyetlerini azaltmak, sahip olunan ekipman ve envanteri azaltmak ile mümkün olur. Örneğin; işletme sahip bir depolama alanına sahip olmak yerine ortak bir depolama alanı kullanabilir, yük taşımacılığı için araç satın almak yerine filo kiralayabilir, üçüncü parti bir lojistik firması ile anlaşabilir. Yatırım maliyetlerinin azaltılması genellikle işletme maliyetlerini artırır. İşletme maliyetlerinin azaltılması taşıma ve depolama

maliyetlerinin azaltılması ile mümkündür. Yatırım maliyetlerini azaltarak aynı zamanda işletme maliyetlerini en aza indirebilmek için daha verimli bir envanter yönetimi ve lojistik yönetimi yapılması gerekmektedir. Bu iki kalem pek çok işletmede maliyetlerin çok büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Maliyetlerin azaltılmasından müşteri hizmet seviyesinin kötü yönde etkilenmemesinde lojistik yönetimi çok önemli bir rol oynamaktadır. İyi bir lojistik yönetimi müşteri hizmet seviyesini ve buna bağlı olarak işletme gelirlerini artırır.

1.2. LOJİSTİĞİN ÖNEMİ

Lojistik kelimesi kökü Latince'den gelen logic (mantık) ve statics (istatistik) kelimelerin birleşimiyle mantıklı hesap işleri anlamına gelmektedir. Lojistik terimi ilk önce askeri alanda mücadele gücü sağlama ile ilgili faaliyetleri tanımlamak için kullanılmıştır. Zaman geçtikçe, lojistiğin anlamı iş ve hizmet faaliyetlerini de kapsayacak şekilde genelleştirilmiştir. İşletmeler açısından esas önemi II. Dünya Savaşı'ndan sonra anlaşılmış ve lojistiğe bilimsel bir konu gözüyle bakılmaya başlanılmıştır.

Lojistiğin temel bir özelliği, içerdiği tüm faaliyetlere genel bir çerçeveden bakmasıdır. Sipariş işleme, envanter yönetimi ve yük taşımacılığı lojistiğin önemli bileşenleridir. Lojistik işletmeye değer sağlamak için bu faaliyetlerin entegrasyonu ile ilgilidir. Bu nedenle lojistik, zaman ve uzaklık ile birbirinden ayrılabilen üretim ve tüketim noktaları arasında bir köprü olarak görev almaktadır (Ballou, 1995, Alkusal, 2006).

Lojistik fonksiyonunun işletme yönetiminde önem kazanmasında etkili olan etmenler şöyle sıralanabilir (Kobu, 1996);

- Taşıma uzaklıklarının ve maliyetlerinin artması.
- Üretim teknolojilerinin pek çok alanda doyuma noktasına ulaşması nedeni ile yöneticilerin maliyet düşürmek için lojistik alanına yönelmesi.

- Stok kontrolünde tam zamanında tedarik, kanban vb. sistemlerin yaygın biçimde kullanılması.
- Mamul çeşitlerinin gelişen ve değişen tüketici isteklerini karşılama zorunluluğu ile hızla artması.
- Bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ve haberleşme sistemlerinin gelişmesi.
- Çevreyi koruma amacıyla kullanılmış malzemenin yeniden kullanılmak üzere işlenmesi.
- Büyük uluslararası üretim ve satış firmalarının çoğalması.

1.3. LOJİSTİK SİSTEMLERİN İŞLEYİŞİ

Lojistik sistem, ulaştırma hizmetleriyle bağlantılı bir dizi tesisten oluşur. Tesisler, malzemelerin işlendiği yerlerdir. Bunlar arasında imalat ve montaj merkezleri, depolar, dağıtım merkezleri (distribution centers - DC'ler), aktarma merkezleri, aktarma terminalleri, perakende satış mağazaları, posta ayıklama merkezleri, çöp imha tesisleri, çöplükler vb. tesisler bulunmaktadır. Bu tesisler arasında ulaştırma hizmetlerinin sağlanması lojistik sistemlerin görevidir. Ulaştırma hizmetleri, palet, römork, mürettebat, konteynır, tren, kamyon, uçak, gemi gibi araç ve ekipmanlar kullanılarak malzemelerin tesisler arasında taşınmasını kapsar. Lojistik sistemlerde tesisler arasında ulaştırma hizmetlerini sağlama kapsamında üç temel aktivite vardır. Bunlar; sipariş işleme, envanter yönetimi ve yük taşımacılığıdır.

1.3.1. Sipariş İşleme Aktiviteleri

Sipariş işleme, paketlenmiş ürünlerin toplanması, paketlenmesi ve taşıyıcıya teslim edilmesiyle ilgili süreçlerdir. Sipariş işleme, siparişin yerine getirilmesinde kilit bir unsurdur. Etkin bir sipariş işleme süreci, siparişlerin doğru yerde ve doğru zamanda, müşteri hizmet seviyesini gerçekleştirecek bir sonuçta teslim

edilmesi ile gerçekleşmektedir ve müşteriye teslim maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Genellikle sipariş işleme tesisleri dağıtım merkezi olarak adlandırılır. Sipariş işleme, birçok sıralı işlemten oluşmaktadır ve lojistik sistemdeki bilgi akışı ile doğrudan ilişkilidir.

Son yıllarda, teknolojinin gelişmesiyle sipariş işleme süreci eskisi kadar zaman alıcı bir işlem olmaktan çıkmıştır. Bu durum modellerde bu sürenin göz ardı edilebilmesini sağlamıştır. Ancak maliyet birçok modelde bulunmaktadır. Örneğin, barkod tarama perakendecilerin gerekli ürünleri hızla tanımlamasını ve envanter seviyesini güncellemelerini sağlamaktadır. Satış elemanları, ilgili ürünün stokta olup olmadığını eş zamanlı olarak kontrol etmekte ve siparişleri anında girmektedirler.

İdeal sipariş işleme süreci şu şekilde olmalıdır Rushton v.d. (2014):

- Müşteriler, sipariş formu doldurarak ürün talep ederler.
- Siparişler iletilir ve kontrol edilir.
- Talep edilen ürünlerin uygunluğu ve müşterinin kredi durumu doğrulanır.
- Sipariş kalemleri stoktan düşülür, paketlenir ve nakliye belgeleri ile teslim edilir.
- Müşteriler, siparişlerinin durumu hakkında bilgilendirilir.

1.3.2. Envanter Yönetimi Aktiviteleri

Envanter, firmanın elinde bulunan üretilmeyi, taşınmayı veya satılmayı bekleyen hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürünlerdir. Aşağıda envanter için örnekler verilmiştir Ghiani v.d. (2004):

- Bir tesiste üretilmeyi veya montaj için bekleyen bileşenler ve yarı mamul ürünler (ara stok, work-in-process);
- Tedarik zinciri boyunca taşınan malzemeler (hammadde, bileşenler, bitmiş ürünler);

- Satış öncesi dağıtım merkezinde depolanan bitmiş ürünler;
- Gelecek ihtiyaçları karşılamak için son kullanıcılarda (tüketiciler veya endüstriyel kullanıcılar) depolanan bitmiş ürünler.

Envanteri elde etmek ve elde tutmaya ilişkin harcamalar firma için büyük bir maliyet unsurudur. Envanter yönetiminde ele alınan ilgili maliyetler genellikle, envanter tutma maliyeti, satın alma maliyeti ve sipariş verme maliyetidir. Envanter tutmanın fırsat maliyeti, envantere bağlanan sermaye ile yatırım yapılabilir ve getiri sağlanabilir. Fırsat maliyeti, vazgeçilen en iyi ikinci alternatifin getirisiidir. Envanter bulundurmak beraberinde depolama maliyetlerini de getirecektir. Depolama maliyeti, malzemelerin fiziksel olarak depolanması ve elleçlenmesi ile ilgili masraflardır. Envanter yönetiminin amacı, müşteri hizmet seviyesini sağlayacak en düşük envanter seviyesinin belirlenmesidir. Firma, çeşitli sebeplerle lojistik ağının birkaç aşamasında envanter bulundurmaktadır.

Bu durumun sebeplerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Hizmet kalitesini iyileştirmek.
- Toplam lojistik maliyetini azaltmak.
- Talep ve teslim sürelerindeki değişkenlikten daha az seviyede etkilenmek.
- Sezonsal ürünleri yıl boyunca tedarik edebilmek.
- Fiyatlardaki sezonsallıktan yararlanmak.
- Lojistik sistemdeki verimsizlikleri yönetmek.

1.3.3. Yük Taşımacılığı Aktiviteleri

Basitçe ifade etmek gerekirse hammadde, yarı mamul veya bitmiş ürünlerin bir bölgeden diğer bir bölgeye taşınması işlemine yük taşımacılığı denir. Yük taşımacılığının gelişmesiyle, üretim ve tüketim birbirinden binlerce kilometre uzaklıkta yapılabilmektedir. Bu durum dünya pazarlarının genişlemesini sağlamıştır ve farklı ülkelerden üreticiler arasındaki doğrudan rekabeti artmıştır. Rekabetin artmasıyla doğru orantılı olarak kalite ve hizmet seviyesi de artmıştır.

Ayrıca, yüksek taşıma kapasitesi birim maliyetleri düşürmüştür. Bu anlamda işletmeler ölçek ekonomisinden faydalanmaktadır.

Yük taşımacılığının gelişmesiyle, üreticiler en uygun ürünleri üretme konusunda uzmanlaşır ve başka işletmeler tarafından daha verimli üretilbilecek ürünler/sağlanabilecek hizmetler elde etmek için ticaret yapar. Gelişmiş ülkelerdeki firmalar, gelişmekte olan ülkelerdeki ucuz iş gücünden yararlanabilir. Etkin bir taşımacılık sisteminin bir diğer getirisi de bozulabilen ürünler dünya pazarında satılabilir. Sonuç olarak, etkin ve verimli yük taşımacılığı hem üretici hem de tüketici rantına katkı sağlar. Bu tez çalışması kapsamında ele alınan lojistik aktivitesi olduğundan bu başlık daha detaylı incelenecektir.

1.4. YÜK TAŞIMACILIĞI

Taşımacılık sistemleri, önemli miktarda insan, finansal ve maddi kaynak gerektiren karmaşık organizasyonlardır. Lojistik maliyetlerinin çok önemli bir kısmını taşımacılık maliyetleri oluşturmaktadır ve müşteriye sunulan hizmetin kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, taşımacılık planlamasının lojistik sistem yönetiminde çok önemli bir rolü vardır.

Yük taşımacılığının üç temel unsuru vardır. Bunlardan ilki olan taşıyıcılar, ulaştırma hizmetini sağlarlar. İkincisi olan göndericiler taşıma talebini oluştururlar. Göndericilerin kendi taşıyıcıları olabilir. Bu durumda göndericiler taşıyıcı gibi davranır. Üçüncü olarak devlet, ulaştırma altyapısını sağlar ve endüstriyi denetler.

Yük taşımacılığı genel olarak üç farklı şekilde yapılabilir. Bunlardan ilki, sözleşmeli taşımacılık, bir taşıyıcı sözleşme ile düzenlenen doğrudan gönderiler yoluyla malzemelerin taşınmasından sorumludur. İkincisi, ortak taşımacılık, şirket birçok müşteri ihtiyacını karşılamak için ortak kaynak kullanan bir taşıyıcıya başvurur. Üçüncüsü, özel taşımacılık, işletmenin sahip olduğu veya kiraladığı araçların filosunu işlettiği durumdur.

Yük taşımacılığı uzun mesafe yük taşımacılığı ve kısa mesafe yük taşımacılığı olarak ikiye ayrılmaktadır.

Uzun mesafeli yük taşımacılığında, mallar terminaller veya diğer tesisler arasında taşınır. Ürünler karayolu, demiryolu, havayolu veya herhangi bir mod kombinasyonu ile taşınabilir. Kısa mesafe yük taşımacılığında, ürünler, genellikle karayolu ile, aynı alanda bulunan toplama ve teslim noktaları arasında taşınır. Bu tür görevlerde süre genellikle bir iş vardiyasından kısadır ve araç turları bir dizi görevle gerçekleştirilir.

1.4.1. Yük Taşımacılığı ile İlgili Kavramlar ve Varsayımlar

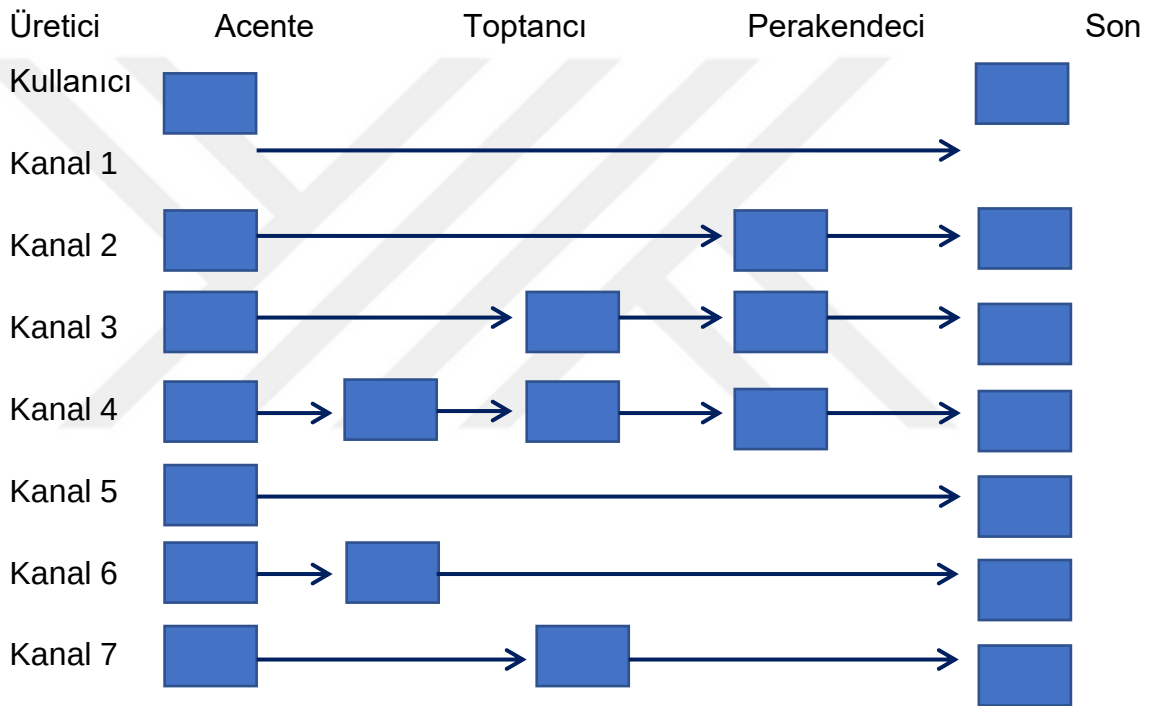
Bu bölümde, yük taşımacılığı ile ilgili kavramlardan dağıtım kanalları, yük birleştirme, taşıma modları ve zaman penceresi açıklanacaktır.

1.4.1.1. Dağıtım Kanalları

Dağıtım, bir mal ya da hizmetin tüketiciye doğru hareketinde izlediği yoldur. Taşımacılık maliyetlerinin düşmesi ve üretimin büyük ölçeklerde yapılmasıyla beraber ürünler üretim noktalarından uzak bölgelerde de tüketim yapabilmektedir. Bu mesafenin uzamasıyla, ürünü son tüketici ya da satış noktasına ulaştırmak karmaşık bir hale gelmektedir. Bu durumda üreticiler genellikle, ürünü doğrudan son tüketiciye satmak yerine dağıtım işlemi için aracı kullanmaktadır. Ürün dağıtımı sırasında aracılar, üretici için hareket eden satış temsilcileri, üreticiden ürün satın alan ve perakendecilere satış yapan toptancılar veya acenteler ve ürünü son kullanıcıya sunan perakendecilerdir. Aracı, ürünün satışından kâr elde eder. Ancak, üreticiye göre daha düşük taşıma maliyeti gerçekleştirdiği için genel olarak tüketiciye fayda sağlar.

Şekil 2 üzerinde 1-4. kanallar tüketim mallarına karşılık gelirken, 5-7. kanallar endüstriyel malların dağıtım kanallarıdır. Dağıtımda en kısa ve en basit kanal, üretici ürün satışında herhangi bir aracı ile iş birliği yapmadan doğrudan ürün veya hizmeti tüketiciye sunabilir. Üretim noktalarında direkt satışta, kişisel satış

veya posta yolu ile satışta bu kanal kullanılır. Üretici ürünü perakendeci aracılığıyla satabilir. Bu kanala örnek olarak ev eşyaları verilebilir. Üretici, toptancı kanalı ile perakendeciye ve daha sonra tüketiciye ulaşabilir. Bu kanal genellikle küçük üreticiler için daha az maliyetlidir. Bazı üreticiler toptancı yerine acente vasıtasıyla perakendeciye, daha sonra tüketiciye ulaşır. Daha çok büyük ölçekli perakendeciye ulaşmak istenildiğinde bu kanal tercih edilir.



Şekil 2. Dağıtım Kanalları (Ghiani v.d. 2004)

1.4.1.2. Yük Birleştirme

Yük birleştirme, aynı varış noktasına taşınacak birkaç küçük gönderinin bir araya getirilerek gönderilmesidir. Böylece, toplam taşıma maliyetlerini en aza indirilerek ölçek ekonomisinden faydalanmak amaçlanır. Yük birleştirme, taşımacılık maliyetini düşürmekte ve taşıma güvenliğini arttırmaktadır. Bu

nedenle, üretici ve tüketici fayda sağlar. Aynı zamanda, birden fazla araç yerine tek bir araç kullanılarak, karbon salınımı azaltılır ve sürdürülebilirliğe katkı sağlar.

1.4.1.3. Taşıma Modları

Ürünün taşınabileceği beş temel taşıma modu bulunmaktadır. Bunlar havayolu taşımacılığı, karayolu taşımacılığı, demiryolu taşımacılığı, denizyolu taşımacılığı ve boru hattı taşımacılığıdır. İşletme taşıma modu seçiminde temelde maliyet ve seyahat süresi olmak üzere ulaşılabilirlik, güvenilirlik gibi parametreleri de göz önünde bulundurur. Taşıma hizmetinin maliyeti, terminaller ve araçlar ile ilgili tüm maliyetlerin toplamıdır. Seyahat süresi ise, varış noktası ve kalkış noktası arasında geçen süredir. Taşıma modlarının bu parametrelere göre sınıflandırması Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Taşımacılık Modları Sınıflandırma

	Havayolu	Karayolu	Demiryolu	Denizyolu	Boru Hattı
Ulaşılabilirlik	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
Taşıma Maliyeti	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük	Yatırım Maliyeti Yüksek Operasyon Maliyeti Düşük
Yük Hacmi	Küçük	Orta	Büyük	Büyük	Sürekli Akış
Mesafe	Uzun	Kısa	Orta	Uzun	Çok Uzun
Seyahat Süresi	Çok Kısa	Çok Uzun	Kısa	Çok Kısa	Uzun
Güvenilirlik	Çok Yüksek	Orta	Çok Düşük	Yüksek	Çok Yüksek

Havayolu taşımacılığı genellikle yüksek hacimde ürünlerin uzun mesafelerde taşınması durumlarında seçilir. Havayolu taşımacılığının bir diğer seçilme sebebi de seyahat süresinin çok kısa olmasıdır. Çoğu durumda, karayolu ile birleştirilerek kapıdan kapıya teslim gerçekleştirilir. Karayolu taşımacılığı, genellikle yarı mamul ve bitmiş ürünlerin taşınmasında kullanılır. Kara yolu taşımacılığında araçlar TL ya da LTL hareket edebilmektedir. Demiryolu

taşımacılığı, düşük güvenilirlik düzeyi ve uzun seyahat süresi nedeniyle genellikle düşük değerli, ağır ve hacimli yükler için seçilir. Denizyolu taşımacılığı, taşıma modları arasında en düşük maliyetli ve güvenli olması nedeniyle genellikle çok büyük miktardaki ürünler ve konteyner ile taşınabilecek ürünler için seçilir. Uluslararası anlamda en yaygın taşıma modudur. Boru hattı taşımacılığında genellikle ham petrol, doğalgaz, su gibi likit ya da gaz halinde olan ürünler taşınmaktadır. Yüksek yatırım maliyeti dolayısıyla esnekliği düşüktür.

Gelişen lojistik ağları ile kapıdan kapıya taşımacılık zincirinde temelde kullanılan taşıma modlarının birleştirilerek birlikte kullanılması intermodal taşımacılık olarak adlandırılır. İntermodal taşımacılık; uçak ve kamyon ya da tır (birdyback), tren ve kamyon ya da tır (piddyback), gemi ve kamyon ya da tır (fishyback) birlikte kullanılarak yapılmaktadır.

Lojistiğin gelişmesi ve küreselleşmenin ticaret üzerindeki etkisi ile farklı taşıma modları farklı parametrelerde avantaj sağladıkları için taşıma modu seçimi ihtiyaca yönelik olmalıdır. Bu anlamda uzun mesafeli taşıma modları, daha verimli bir lojistik ağı geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Günümüzde çoğu son teslimat operasyonunda yaygın olan karayolu taşımacılığıdır. Karayolu taşımacılığının kullanımındaki artış eğilimi yıllardır sürmektedir ve karayolu taşımacılığının yük taşımacılığı içerisinde önemi giderek artmaktadır.

1.4.1.4. Zaman Penceresi

“Zaman penceresi” terimi, taşıma faaliyetinin gerçekleşeceği zaman aralığının alt ve üst sınırlarının belirlenmesini ifade etmektedir. Literatürde, esnek ve esnek olmayan olmak üzere iki farklı zaman penceresi türü yer almaktadır. Taşımacılığın sağlandığı düğümler arasında araçların zaman penceresinin alt sınırından önce ya da üst sınırdan sonra varışına izin verildiği durumda esnek zaman penceresi, zaman penceresi sınırlarının ihlalinin kesin bir şekilde engellendiği durumda ise esnek olmayan zaman penceresinden söz edilmektedir (Ichou, Gendreau ve Potvin, 2003). Şirketler hem üretim hem de

dağıtım planlaması sağlarken müşteri tarafından kabul edilebilecek zaman penceresi kısıtlarını göz önünde bulundurmaktadır.

1.4.2. Kısa Mesafe Yük Taşımacılığı

Kısa mesafe yük taşımacılığı yüklerin, küçük kamyonetler kullanılarak bir depodan satış mağazalarına doğru ya da müşteri siparişi dağıtımını yapan kargo şirketleri tarafından görece kısa mesafelerde taşınmasıdır. Kısa mesafe yük taşımacılığında genellikle tek bir depo vardır ve araç turları tek bir vardiyada gerçekleştirilir.

Kısa mesafe yük taşımacılığı problemleri ambulans hizmetleri gibi acil durumları içeren hizmetlerde, alet tamir hizmetlerinde, posta teslimatı gibi hizmetlerde daha çok kullanılmaktadır. Kısa mesafeli yük taşımacılığı genel anlamda birden çok kullanıcı barındırır.

Stratejik düzeyde, depo yer seçimi ile ilgili kararlar söz konusudur. Ancak araç rotaları için bazı uyarlamalar yapılmalıdır. Taktik düzeyde, filo boyutu ile kararlar söz konusudur. Operasyonel düzeyde ise, müşteri beklentisini en iyi düzeyde karşılayacak en az maliyetli araç konumlandırmasını ve rotalamasını yapmak söz konusudur. Günümüzde teknoloji gelişmelerle birlikte kısa mesafeli yük taşımacılığı yönetimi gerçek zamanlı olarak yapılabilmektedir. Coğrafi bilgi sistemi, küresel konumlama sistemi gibi teknolojilerle mevcut araç konumları, seyahat süresi tahmini verileri gerçek zamanlı olarak elde edilebilmektedir. Bu sistemler kullanıldığında araç rotaları bu gerçek zamanlı veriye göre güncellenebilir. Bu durum sayesinde kısa mesafe yük taşımacılığında çok daha gerçekçi ve verimli sonuçlar elde edilmiş olmaktadır.

1.4.3. Uzun Mesafe Yük Taşımacılığı

Uzun mesafe yük taşımacılığı hizmetlerini, özel taşımacılık ve kamu taşımacılığı olarak ikiye ayırabiliriz. Özel olarak işletilen taşımacılıkta (privately operated transportation), yük, az sayıda başlangıç noktasından (örneğin, fabrikalar ve

depolar) birkaç hedefe (örneğin, perakende satış yerleri ve müşteriler) taşınmaktadır. Bu az sayıdan çoğa ulaştırma sistemlerinin yönetimi, kamu taşımacıları tarafından işletilen, çok sayıdan çoğa ulaştırma sistemlerine göre daha kolaydır. Kamu taşımacılığı hizmetleri isteğe uyarlı veya birleştirme bazlıdır. İsteğe uyarlı taşımacılıkta bir araç tek seferde bir göndericinin talebini karşılar. Hizmet bireyseldir. Talep geldikçe, rotalar yeniden hesaplanır. TL olarak gerçekleştirilir. Birleştirme bazlı taşımacılıkta, birden çok göndericiye ait yük farklı başlangıç-varış noktası ikilileri için taşınır. Servis bireysel değildir. LTL olarak gerçekleştirilir.

Uzun mesafe yük taşımacılığında karar verici tarafından dikkate alınması gereken iki tip maliyet vardır. Bunlar taşıma maliyeti ve elleçleme maliyetidir.

Bir araç filosunun işletilmesindeki ana maliyetler ücretler, yakıt tüketimi, araç amortismanı, bakım, sigorta, yönetim ve doluluk ile ilgili maliyetlerdir. Bu maliyetler arasında, ücretler ve sigorta zamana bağlı; yakıt tüketimi ve bakımı mesafeye bağlıdır. Amortisman hem zamana hem de mesafeye bağlıdır.

Taşıyıcı tarafından ödenen taşıma maliyetlerinin ortak kaynak kullanımı nedeniyle hesaplanması zordur. LTL taşımacılığında, birçok gönderi bir araçta birleştiği için toplam maliyetin her gönderiye dağıtılması gerekir. TL taşımacılığında, araçlar bir varış noktasından bir sonraki başlangıç noktasına boş sefer yaptıkları için, fiyatlandırma aynı gönderi (aynı tip araç, aynı başlangıç-varış noktaları) için farklı zamanlarda farklı olabilir.

Ortak taşımacılık için gönderi maliyetleri taşıyıcının belirttiği ücret tarifesi geçerlidir. İsteğe uyarlı taşımacılıkta, başlangıç ve varış noktaları ile gerekli araç tipi belirleyicidir. Birleştirme bazlı taşımacılıkta, gönderi sınıfları vardır ve her gönderi sınıfı için ücret tarifesi geçerlidir.

Elleçleme maliyetleri ürünlerin başlangıç noktasında kutulanması (palet ya da konteynır), yüklenmesi ve varış noktasında indirilmesi ve ayrıştırılmasına yönelik maliyetlerdir.

Uzun mesafe yük taşımacılığı problemlerinde;

- Stratejik seviyede; işletme stratejisi kararları, fiziksel ağın tasarımı, pahalı kaynakların satın alınması,
- Taktiksel seviyede; Kaynakların atanması, kapasite yönetimi,
- Operasyonel seviyede; araç ve ekip çizelgelemesi, son dakika değişiklikleri (sipariş değişiklikleri, bozulmalar, hava koşulları)

kararları verilir.

Bir ulaşım sisteminin yönetilmesi çeşitli karar verme problemlerini de beraberinde getirmektedir. Bu problemler operasyonel bazı kısıtlamalar göz önünde bulundurularak ele alınmalıdır. Bunun bir sonucu olarak yük taşımacılığı planlama ve yönetim problemlerinin birçok varyantı ortaya çıkmıştır. Bazıları tüm taşıma sistemlerinde ortak iken, bazıları taşıma moduna veya sistemi kullanma biçimine özgüdür.

Özel olarak işletilen taşımacılık sistemlerinde alınacak olan kararlar göreceli olarak basittir. Talep verisinin periyodik olarak değiştiği durumlarda kullanılacak araçların hangi oranda satın alınıp hangi oranda kiralanacağı belirlenmelidir. Amaç, müşteri hizmet düzeyini koruyarak maliyeti en aza indirmektir.

Birleştirme tabanlı ulaştırma sistemlerinde stratejik olarak taşıyıcının taşınacak malların türleri, terminal sayısı, konumları ve araçların seyahat etmesi gereken rotalar belirlenmek zorundadır.

Özel taşıma sistemleri stratejik düzeyde en fazla karar verilen sistemlerdir. Taktiksel seviyede, yük seferlerinin maliyetleri ve ödenecek tutarları belirlenmelidir. Operasyonel seviyede, gelecek talepleri tahmin ederek kaynakların atanmasına ilişkin kararlar ile ilgilidir. Kaynakların atanmasında, eğer talebe yetecek kadar kaynak mevcut değilse en iyi şekilde atanması önem arz etmektedir. Burada getiriye en yüksek seviyeye çıkaracak olan boşta kalan kaynakların nasıl atanması gerektiği, hangi taleplerin kabul edilip hangilerinin reddedileceği kararlarıdır. Burada, yapılan talep tahmininin de hata payının en aza indirilebilmesi önemlidir. Taşımacılık sistemlerinde amaç, beklenen kârı enbüyüklemektir.

Filo kompozisyonu, sahip olunan araçlar ve kiralanan araçlardan oluşmaktadır. Talebin yıl içerisinde değişim gösterdiği durumlarda, hangi dönemlerde ne kadar kaynak gerektiğinin belirlenmesi önemli bir konudur. Bu durumda taşıyıcılar, talebin daha yoğun olduğu durumlarda araç kiralaması yapabilirler.

Uzun mesafe yük taşımacılığında kullanılan problem çeşitlerinden yük trafiği atama problemi, hizmet ağı tasarım problemi, dinamik sürücü atama problemleri ve araç tahsis problemleri bu bölümde açıklanacaktır.

1.4.3.1. Yük Trafiği Atama Problemleri

Yük trafiği atama problemi, taşınması gereken malların kalkış noktalarından varış noktalarına doğru en az maliyetli taşıma ağının planlanmasıdır. Özel yük trafiği atama problemi, talep atama probleminin bir varyasyonudur ve en düşük maliyetli ağ akış modeli uygulanarak çözülmektedir. Yük trafiği atama problemlerinde ayrıtlar için sabit maliyet yoktur. Yük trafiği atama probleminin ayrıtlara sabit maliyet eklenmiş hali sabit maliyetli ağ tasarımı problemi olarak isimlendirilmektedir ve bir sonraki başlıkta incelenecektir. Yük trafiği atama problemleri statik ya da dinamik olarak sınıflandırılabilir. Çözümü görece daha kolay olduğu için eğer alınan kararlar zamana bağlı olarak etkilenmeyecekse statik modeller tercih edilebilir. Dinamik modeller ise, taşımacılık hizmetlerinin zaman genişletilmiş bir grafik üzerinden zamana bağlı olarak planlanması söz konusu olduğunda tercih edilebilir. Zaman genişletilmiş grafikte, planlama ufku zaman dilimlerine ayrılarak problem çözülür. Yeni talepler geldikçe zaman dilimleri çoğaltılarak problem iterasyonel bir şekilde çözülür. Statik modellerde planlama ufku belirli sayıda periyot içermektedir. Ancak, dinamik modellerde planlama ufku zaman dilimleri sayısı her terminal için yazılır. En düşük maliyetli akış modeli kapsamında doğrusal tek ürünlü en düşük maliyetli akış problemi ve doğrusal çok ürünlü en düşük maliyetli akış problemi modellenebilir. Doğrusal çok ürünlü en düşük maliyetli akış problemi tek ürünlü akış problemine göre çok ürün kısıtı eklenerek daha sonra modele Lagranj gevşetmesi uygulanarak çözülmektedir.

1.4.3.2. Hizmet Ağı Tasarım Problemleri

Servis ağı tasarımı genelde birleştirme tabanlı taşımacılık ile ilgili taktiksel düzeyde ve operasyonel düzeyde karar vermede uygulanmaktadır. Servis ağı tasarım problemi bir ağ üzerinde birden fazla terminal arasında düzenlenecek rotalar, bu rotalardaki trafik ataması ve boş araçların konumlandırmasına karar verir. Amaç, maliyetin en küçüklenmesidir. Servis ağı tasarım problemleri, sabit maliyetli ağ tasarım problemi olarak modellenir. Sabit maliyetli ağ tasarım modeli, taşımacılık maliyetinin her akış için sabit olduğu varsayımı altında modellenirse, amaç fonksiyonu doğrusal olacağından doğrusal sabit maliyetli ağ tasarım modeli olarak adlandırılır.

1.4.3.3. Nakliye Koordinasyonu ve Dağıtım

Nakliye koordinasyonu ve dağıtım üreticiler tarafından sıklıkla karşılaşılan belirli bir planlama ufkunda müşteri siparişlerinin müşteri hizmet düzeyini koruyarak teslim edilmesini konu alır. Sipariş gönderiminde kullanılması gereken en iyi taşımacılık modu, siparişlerin nasıl birleştirilmesi gerektiği, araçların uğraması gereken duraklar gibi kararlar nakliye koordinasyonu ve dağıtımının konusudur. Üretici, sipariş gönderimi için tek yönlü kamyon seferi kiralayabilir ya da ortak bir LTL taşıyıcısı kiralayabilir. Problemin amacı maliyetin en küçüklenmesidir. Nakliye koordinasyonu ve dağıtım probleminin amaç fonksiyonu, kiralanan rota maliyeti ve ortak taşıma maliyetinin en küçüklenmesi ile hesaplanır. Matematiksel modelin çözümü için her bir zaman dilimini kapsayan bir ağ yaratılır. Daha sonraki aşamada, sabit maliyetli ağ tasarım modeli çözülür.

1.4.3.4. Yük Terminali Tasarımı ve Operasyonlar

Yük terminalleri, ürünlerin sınıflandırıldığı, konsolide edildiği, kısa bir süre için tutulduğu ara depolardır. Tasarım konusunda, terminallerin kaç kapısının olması gerektiği, terminal boyutu ve ürünlerin terminal içerisindeki yerleşimi kararları verilir.

Operasyonel düzeyde, araçların hangi terminal kapılarına nasıl atanması gerektiğine karar verilmelidir.

1.4.3.5. Dinamik Sürücü Atama Problemleri

Dinamik sürücü atama problemi, tam araç yükü taşıma yapan sistemlerde sürücülerin güncel veriler sisteme eklendikçe devam eden bir süreçte ne şekilde atanacağına karar verilen problemlerdir. Genellikle, müşteri talep verisi olmak üzere seyahat süreleri de stokastik olabilir.

1.4.3.6. Araç Tahsis Problemleri

Araç tahsis problemi, uzun mesafelerde tam araç yükü taşımacılığı yapılarak gelir sağlanması durumlarda kullanılır. Bir ağ üzerinde planlama ufku boyunca düğüm çiftleri arasındaki talepleri karşılamak üzere araçlar planlanmaktadır. Problemin amacı, talepleri karşılayarak elde edilen gelirin enbüyüklenmesidir. Bu amaç doğrultusunda araçlar en uygun şekilde konumlandırılmaktadır. Bu problemde, boş araçların gelecek talebi en iyi şekilde karşılamak üzere nasıl konumlandırılacağı ve hangi taleplerin kabul edilip hangilerinin reddedileceği kararları önemlidir.

Bu tez çalışmasının konusu zaman penceresine sahip Araç Tahsis Problemidir. Araç tahsis probleminin temel modeli aşağıda yer almaktadır.

Sembol Listesi

Bu bölümde, temel model için kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur.

Kümeler

N	yüklerin toplandığı ve teslim edildiği düğümler kümesi	
T	planlama ufkundaki periyotlar (gün) kümesi	$\{1, \dots, T\}$

Parametreler

d_{ijt} $t = 1, \dots, T$ periyodunda $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne taşınması gereken yük miktarı

τ_{ij} $i \in N$ düğümü ile $j \in N$ düğümü arasındaki seyahat süresi

p_{ij} yükün $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne taşınmasından elde edilen kâr (gelir – doğrudan işletme giderleri)

c_{ij} boş bir aracın $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne seyahat etmesinin maliyeti

m_{it} $t = 1, \dots, T$ periyodunda $i \in N$ düğümünde bulunan araç sayısı

Karar Değişkenleri

x_{ijt} $t = 1, \dots, T$ periyodunda $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne harekete başlayan yüklü araç sayısı

y_{ijt} $t = 1, \dots, T$ periyodunda $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne harekete başlayan boş araç sayısı

Matematiksel Model

Enbüyükle

$$Z = \sum_{t=1}^T \sum_{i \in N} \sum_{i \in N, j \neq i} (p_{ij} * x_{ijt} - c_{ij} * y_{ijt}) \quad (1)$$

Öyle ki;

$$\sum_{j \in N} (x_{ijt} + y_{ijt}) - \sum_{k \in N, k \neq i: t > \tau_{ki}} (x_{ki(t-\tau_{ki})} + y_{ki(t-\tau_{ki})}) - y_{ii(t-1)} = m_{it}, \quad \forall i \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (2)$$

$$x_{ijt} \leq d_{ijt} \quad i \in N, j \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (3)$$

$$x_{ijt} \geq 0 \quad i \in N, j \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (4)$$

$$y_{ijt} \geq 0 \quad i \in N, j \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (5)$$

Formülasyonu verilmiş olan Araç Tahsis Probleminin temel modelinde, (1) amaç fonksiyonu kabul edilen talepten elde edilen toplam kârdan, boş gönderilen araçların toplam maliyetlerinin çıkarılması ile hesaplanır ve bu değer enbüyüklenmesi amaçlanmaktadır. (2) Problemdeki ağ akış kısıtıdır. Şu şekilde sözel ifade edilebilir: i düğümünden bir varış noktasına doğru yola çıkan yüklü ve boş araçların toplam sayısından t anında i düğümünde varacak şekilde yola çıkmış dolu ve boş araçların toplam sayısı ve bir önceki periyottan i düğümünde bekleyen araç sayısı çıkarıldığında elde edilen sonuç t anında i düğümünde sisteme dahil olan toplam araç sayısına eşit olmalıdır. (3) Müşteriden gelen talep karşılanabilir ya da reddedilebilir. Müşteriye gönderilen araç sayısı, talebi geçemez.

2. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde araç tahsis alanında ilk çalışmalar, demiryolu taşımacılık sistemlerinde uygulanmıştır. İlk olarak deterministik ve statik modeller ve çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. White ve Bomberault (1969), çalışmalarında demiryolu sistemleri içerisindeki boş yük vagonlarının gelecekteki ihtiyaçlara göre planlanabilmesine yönelik bir problem ele almıştır. Araç tahsis problemlerinde ele alınan ilk problemlerde olduğu gibi problemde kullanılan tüm parametreler önceden bilinmektedir. Karar verici, talebi kabul etme ya da reddetme yetkisine sahiptir ve yük vagonları eşit kapasitelidir. Problemin çözümü için doğrusal programlama modeli kullanılmış, bir akış algoritması geliştirilmiş ve çözülmüştür. Bu alanda bir diğer çalışma da Holmberg v.d. (1970), tarafından ele alınan demiryolu sisteminde boş vagonların atanması problemidir. Bu çalışmada, White ve Bomberault (1969)' un çalışmasından farklı olarak yük vagonları farklı kapasitelere sahiptir. Ele alınan problem deterministik olup bir planlama ufku boyunca farklı kapasitelerdeki vagonların arz ve talep verisi mevcuttur. Problemin çözümü kapasiteli ağ tasarımı modeli ile gerçekleştirilmiştir. Sisteme yeni giren arz ve talep verisi oldukça ilgili parametreler güncellenerek model tekrar çözülmektedir. Arz ve talep verisi önceden bilinmektedir ya da bir tahmin yöntemi ile belirlenmektedir.

Bu öncü çalışmaları takiben araç tahsis problemleri farklı varsayımlar altında çalışılmaya devam etmiştir. Örneğin, demiryolu sistemlerinde ele alınan bir diğer problemde, problemin çözümü için envanter kontrol teorisi uygulanarak sonuçlar gözlemlenmiştir. Philip ve Sussman (1977), tarafından ele alınan bu problem, envanter kontrol teorisi ve teorinin boş yük vagonu atamasına uygulanabilirliği ana hatlarıyla çizilmiş ve buna dayalı bir benzetim modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, gerçek bir demiryolu sisteminde uygulanmıştır. Problem kapsamında, arz ve talepteki dalgalanmanın hesaplanması için bir kesikli olay benzetim modeli ele alınmıştır. Geliştirilen model statiktir ve yedi

günlük periyotlar şeklinde ele alınmıştır. Bu model, yalnızca bir depo için en iyi envanter düzeyini bulmayı amaçlamaktadır. Arz, talep ve maliyet verisi önceden bilinmektedir. Araç tahsisi için kullanılan teknikler genellikle standart statik optimizasyon metotlarıdır. Genel anlamda makalenin amacı, araçların yüklendikleri konumlardan gidecekleri konuma en az maliyetle taşınmasıdır.

Daha sonraki yıllarda bu alanda yapılan çalışmalar, daha gerçekçi çözümler sunan stokastik modeller üzerinde yoğunlaşmaya başlamıştır. Powell (1987), çalışmasında, geçmiş sonuçlara dayanan tahmin yöntemleri ile bir araç filosunun nasıl yönetileceğini belirlemek için gerçek zamanlı bir ortamda kullanılabilecek bir model geliştirilmiştir. Makalenin amacı, belirsizlik altında gerçek zamanlı tahsisin gerçekleştirilmesi için daha iyi bir yaklaşım sunmaktır. Bu problemde talep verisi belirsizdir. Bu anlamda problem stokastiktir. Çözüm için talep tahmin metodu kullanılmıştır. Makalede geliştirilen model, bir bölgeye gönderilen ek bir aracın değerini tahmin eden bölgesel etki modelidir. Daha sonra planlama ufku sonuna kadar belirli bir noktada başlayan bir aracın kazandığı ortalama net gelir Markov zinciri yöntemi ile hesaplanmıştır. Makalede, problemin çözümü için bu metotlar ile sezgisel bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Daha sonraki bir çalışmada, Frantzeskakis ve Powell (1990), hem stokastik hem de dinamik bir problem ele almıştır. Bu çalışmada, beklenen karı enbüyüklemek için belirsiz talep verisi ile belirli bir zamanda bir araç filosunun planlanmasını içeren stokastik dinamik araç tahsis problem çözümüne bir yaklaşım geliştirilmiştir. Problemin çözümü için, sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni sezgisel yaklaşımın analizi var olan çeşitli deterministik yaklaşımlarla karşılaştırılarak yapılmıştır. Çözüm için geliştirilen algoritma dönen planlama ufku kullanılarak yapılmıştır. Talep verisi belirsizdir. Sonuçların karşılaştırılabilmesi için makale içerisinde kabul edilen yük oranı, taşınan ortalama boş yük miktarı, boş olarak seyahat edilen ortalama uzaklık gibi değerlendirme ölçütleri belirlenmiştir. Çözüm yöntemi olarak ardışık doğrusal yaklaşımlar prosedürü kullanılmıştır. Bu yaklaşımda amaç, bir bölgenin t süre için talep edilme beklentisinin, doğrusal bir yaklaşımla ikame edilmesidir.

Beaujon ve Turnquist (1991)'nin çalışmasında ise, dinamik ve belirsiz koşullar altında, bir araç filosunun boyutlandırılmasıyla ilgili kararlar ve bu filonun yönetilmesi ile ilgili kararlar kümelerini aynı anda optimize etmek için bir model formüle edilmiştir. Talep ve seyahat süreleri belirsizdir. Amaç fonksiyonu ve kısıtlarda olan rastgele değişkenler ile stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Çözüm yöntemi varsayımsal problemler üzerinde uygulanmıştır. Sonuç olarak, araç filolarının boyutlandırılmasının boş araçların dağıtımı için iyi stratejilerin belirlenmesinde faydalı olduğu gözlemlenmiştir.

Sonraki yıllarda taşımacılık sektörünün gelişmesi ve yaygınlaşması ile taşımacılık problemleri zaman penceresi varsayımı altında çalışılmıştır. Bu kapsamda Wang ve Regan (2002) makalesinde, bir ya da daha fazla intermodal tesis içeren yerel bir bölgede taşınması gereken bir dizi yük için araç dağıtım problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü, gelecek talepleri öngörmeden olabildiğince fazla yükü taşımayı amaçlayan ve tam araç yükü araç tahsis probleminin bir versiyonu olarak gerçekleştirilmiştir. Zaman penceresi içeren çoklu gezgin satıcı problemi olarak ele alınmış ve çözüm birkaç iterasyonla sağlanmıştır. Her bir iterasyonda farklı kısıtların ihlal edilmiş ve edilmemiş hali çözülmüştür. Kısıtın ihlal edildiği çözüm, optimal sonuç için bir üst sınır oluşturmaktadır ve kısıtın ihlal edilmediği çözüm bir alt sınır oluşturmaktadır. Gerçek verilerden oluşan birkaç farklı problem çözülmüştür. Sonuç olarak, makalede geliştirilen çözüm yöntemi her sunucuya atanacak zaman kısıtlı görev sayısının çok küçük olduğu durumlarda uygundur.

Godfrey ve Powell (2002a) ise çalışmalarında ele alınan probleme, dinamik filo yönetiminde dinamik programlama algoritması ile çözüm bulmuştur. Bu makalede, dinamik kaynak dağıtım probleminin stokastik bir versiyonu ele alınmıştır. Problem, gelecekte oluşacak kaynakların değerini veren doğrusal olmayan fonksiyonel yaklaşımlar kullanan uyarlamalı bir dinamik programlama algoritması kullanılarak çözülmüştür. Kullanılan algoritmada fonksiyonel yaklaşımlar parçalı doğrusaldır (piecewise linear) ve tam sayılı çözümler sağlamaktadır. Sonuç olarak, kullanılan yaklaşımların deterministik problemlere optimal çözüm bulduğu ve stokastik problemlerde deterministik dönen planlama

ufku yöntemiyle çok daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Godfrey ve Powell (2002b) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, aynı yöntem kullanılarak çok periyotlu seyahat süreleri içeren problem çözülmüştür. Sonuç olarak kaynak sayısı azaldıkça gerçekleşen fayda artmıştır. Sonuçlar tek periyotlu seyahat süreleri uygulanan çözümdeki ile tutarlıdır.

Ichoua v.d. (2003) çalışmasında seyahat sürelerinin yalnızca gidilen yola bağlı bir değişken olmadığı, günün hangi saatinde seyahat edildiği de dahil olmak üzere birçok parametreden etkilendiği varsayımları altında çözüm bulmuştur. Seyahat sürelerini sabit olarak ele almak, Ichoua v.d. (2003)'a göre çözümün gerçekçiliğini azaltmaktadır. Bunun için çalışmada, değişken seyahat süreleri ile bir araç rotalama problemi ele alınarak çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu makalede ele alınan problem sabit ve değişken seyahat süreleri temel alınarak ayrı ayrı çözülmüştür. Problemin çözümü için tabu arama algoritması kullanılmıştır. Sonuç olarak, değişken seyahat süreleri kullanılan modelin sabit seyahat süreleri kullanılan modele göre gerçek hayatı daha iyi yansıttığı ve daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Kenyon ve Morton (2003) ise belirsiz seyahat sürelerinin yanı sıra hizmet sürelerinin de stokastik olduğu bir araç rotalama problemine bir ağ üzerinde çözüm bulmuştur. Ağ üzerinde her bir noktada rotalanmak üzere bir veya daha fazla araç bulunmaktadır. Problem statik olarak ele alınmıştır. Problem, iki ayrı amaç fonksiyonuna göre çözülmüştür. Problemin çözümü, Monte Carlo örneklem temelli yöntemi içerisine dal-ve-kes algoritması uygulanarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, çözülen iki modelden ilki beklenen görev tamamlanma süresini en aza indirmiş, ikincisi tüm görevlerin önceden belirlenen bir tarihte tamamlanma olasılığını en yüksek düzeye çıkarmıştır. Haghani ve Jung (2005), tarafından seyahat sürelerinin belirsiz olarak ele alındığı bir diğer çalışmada, değişken seyahat süreleri ile dinamik araç rotalama problemi için bir matematiksel formülasyon yapılmıştır. Ele alınan problemde, araçlar farklı kapasitelere sahiptir ve seyahat sürelerinin gerçek zamanlı varyasyonları göz önünde bulundurulmuştur. Problemin çözümü için genetik algoritma kullanılmıştır. Problem, eşzamanlı toplamalı dağıtım problemi olarak ele alınmış

ve karmaşık tamsayılı doğrusal programlama yöntemi ile çözülmüştür. Sonuç olarak, aynı zamanda seyahat süresi bilgisindeki belirsizlik oranı arttıkça, gerçek zamanlı trafik bilgisini hesaba katan dinamik bir stratejinin statik bir çözüme göre gerçek hayata daha uygun olduğu ve daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Ichoua v.d. (2006) çalışmasında, dinamik araç rotalama ve dağıtım problemlerinde karar vermede, gelecekteki belirsizliğin probleme dahil edildiği durumlar incelenmiştir. Benzetim tekniği kullanılarak gelecek taleplere ilişkin olası veriye dayanan bir gerçek zamanlı ortam oluşturulmuştur. Öngörülen talepler için kukla talep verileri oluşturulmuş ve simüle edilmiştir. Öngörülen kukla talep verileri, tabu arama algoritması kullanılarak oluşturulan planlı rotalara dahil edilmiştir. Geliştirilen bu yaklaşım özellikle az sayıda araç içeren filolar ve talep gelme sıklığı yüksek olduğu durumlarda önemli iyileştirmeler sağlamıştır.

Sonraki yıllarda araç paylaşımı sistemlerinin kullanımının artmasıyla, Fan vd. (2008) tarafından araç paylaşımı sistemi, dinamik araç tahsis problemi olarak ele alınmış gerçek zamanlı veri kullanılarak en karlı planlamanın oluşturulması amaçlanmıştır. Araç paylaşımı, üyelerine ihtiyaç duydukları bir konumda ve anda, kısa süreli olarak ortak kullanımlı araçlardan faydalanmasını sağlayan bir sistemdir. Bunun için talep belirsizliği gibi birçok sistem belirsizliklerini ortadan kaldırmaya yönelik çok aşamalı bir stokastik doğrusal tamsayı modeli olarak formüle edilmiştir. Çözüm için Monte Carlo örneklemesine dayanan stokastik bir optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir. Örnek bir çalışma olarak çözüm yöntemini test etmek için dört araç paylaşım noktasına sahip, beş aşamalı bir ağ tasarlanmış ve çözülmüştür. Bu çözüme dayanarak geliştirilen algoritmanın gerçek uygulamalarda başarılı çözümler sağlayacağı sonucuna varılmıştır. Bu çalışma daha sonraki yıllarda Fan (2013) tarafından geliştirilerek daha önceki çalışmadan farklı olarak, talepteki belirsizliği çözmek için yüksek, orta ve düşük düzeyde talep verisi ile farklı senaryo ağaçları geliştirilmiştir. Çözüm yöntemi olarak diğer makalede olduğu gibi stokastik doğrusal tamsayı modeli kullanılmıştır.

Lee v.d. (2008) çalışmasında, müşterilere farklı kapasitelerde araç filoları ile hizmet sağlayan araç rotalama probleminin bir varyasyonu olan araç filosu karmaşık problemi ele almıştır. Problemin çözümü için küme bölümlendirme (set partitoning) algoritması kullanan bir tabu arama algoritması geliştirilmiştir. Shi v.d. (2014) tarafından geliştirilen çalışmada talebin belirsiz olduğu bir dinamik filo yönetimi problemi ele alınmıştır. Müşteri tarafından belirlenen hizmet düzeyine göre dağıtım planlanmıştır. Bir talebin karşılanma süresi müşteri tarafından belirlenen hizmet seviyesine göre belirlenmiştir. Bu nedenle, herhangi bir talebin hizmet seviyesi rastgele bir değişken olarak kabul edilmiştir. Gelecekte oluşacak siparişler için müşteri hizmet seviyesi henüz belirlenmemiştir. Bu nedenle seyahat süreleri belirsizdir. Araçlar eşit kapasitelidir. Problemde esnek olmayan zaman penceresi kısıtı vardır. Talep müşteri tarafından belirlenen sürelerde karşılanmazsa, müşteriye hizmet sağlanamamaktadır.

Vasco ve Morabito (2016) tarafından ele alınan çalışmada, terminaller arasında tam dolu seyahat eden araçların dağıtım planlamasını içeren problem, dinamik olarak ele alınmıştır. Ele alınan dinamik araç dağıtım problemi çok dönemli kaynak ataması içermektedir. Problemin amacı, yüklü araçlar, yeniden konumlandırma için yüklü olmayan araçlar veya gelecekteki talepleri karşılamak için bir terminalde tutulan araçların dağıtımının en iyi şekilde yapılmasıdır. Ele alınan problemde seyahat süresi, bölgeler arasındaki mesafe gibi parametreler önceden bilinmektedir. Problem deterministiktir. Araç kapasiteleri eşit değildir. Bu makalede dinamik araç dağıtım probleminin çözümü için tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Makalede problemin çözümü için açgözlü algoritma, yerel arama (local search), dinamik araç tahsis probleminin çözümü için ise açgözlü rastgele uyarlanmış arama prosedürü (GRASP) ve benzetimli tavlama (simulated annealing) sezgisel yöntemleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, taşımacılık şirketlerinin karşılaştığı gerçek hayat problemlerinin çözümü için en iyi sonuçlar açgözlü rastgele uyarlanmış arama prosedürü (GRASP) ve benzetimli tavlama (SA) yöntemi ile elde edilmiştir ve göreceli daha düşük sürelerde daha iyi çözümler elde edilmiştir.

Mesa-Arango ve Ukkusuri (2017) çalışmasında, kamyon yükü (TL) taşımacılık yapan taşıma şirketlerinin karşı karşıya olduğu karmaşık stratejik planlama problemi ele alınmıştır. Problemden taşımanın gerçekleşeceği ağ üzerinde bulunan şeritlerde araç ataması yapılacağı varsayılmıştır ve talep önceden bilinmemektedir. Talep verisi stokastiktir. Şeritler, farklı olasılık dağılımlarını takip eden, birim zamandaki araç hacmi ile ilgili başlangıç varış çiftleridir. Doğru planlanmayan bir dağıtım modeli ile, talep gerçekleştirme düzeyi ve müşteri memnuniyeti düşecektir. Aynı zamanda yeniden konumlandırma maliyetleri artacaktır. Bu nedenle, talep değişikliğine ayak uydurabilmek için stratejik araç dağıtım planını bulmak çok önemlidir. Bu makalede, bu problemin çözümü için iki aşamalı bir stokastik model geliştirilmiştir. Makalede ele alınan karmaşık stokastik problem en az maliyetli akış problemi (MCFP) olarak ele alınmış ve literatürde yer alan temel en az maliyetli akış algoritmaları kullanılarak ağ dönüşümlerine dayanan yeni bir prosedür önerilmiştir.

Literatürde geniş yer tutan araç dağıtım problemlerine, birçok alanda olduğu gibi sağlık sektöründe de karşılaşılmaktadır. Buuren vd. (2018) çalışmasında, ambulans hizmetlerinin hizmet seviyesi azaltılmadan maliyetlerin azaltılmasına yönelik bir model geliştirilmiştir. Sağlık hizmeti talebi ve bu talebe bağlı olarak sağlık hizmetlerinin maliyetleri her geçen gün artmaktadır. Sağlık hizmetlerini üstlenmiş olan devlet, bütçesinde her geçen gün artan bu maliyetlerle baş etmek zorundadır. Sağlık hizmetleri içerisinde büyük maliyet oluşturan ambulans hizmetleri, yüksek kalitede hizmet sağlamak durumundadır. Literatürde en yüksek güvenilirlik düzeyi ve en yüksek uygunluk düzeyi olarak adlandırılan modeller kullanılarak, her talep noktasında en iyi performans düzeyini garanti edilmiştir. İlk olarak ambulans ulaşım maliyetlerini en aza indirebilmek için bir talep tahmini modeli kurulmuştur. Talep tahmin modeli, maliyetlerin nedenlerini anlamaya yönelik bir çalışmadır. Daha sonraki aşamada, maliyetin azaltılabilmesi için uyarlanmış kuyruk modeli çözülmüştür. Makalede ele alınan problem statik bir en yüksek güvenilirlik düzeyinde en yüksek uygunluk düzeyi modelidir. İki bölge arasındaki uzaklık, seyahat süreleri, araç sayısı, personel sayısı gibi parametreler önceden bilinmektedir. Bu

makalede, ambulans hizmetlerinin hizmet seviyesi azaltılmadan maliyetlerin azaltılmasına yönelik bir model geliştirilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, araç tahsis problemlerinde zaman penceresinin ekonomik, sosyal ve çevresel göstergeler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sıkı ve gevşek zaman penceresinin; ekonomik bağlamda şirketin karlılığı, sosyal bağlamda talebi reddetme cezası veya indirimli taşıma ücreti varsayımlarının müşteri memnuniyetine etkisi ve çevresel bağlamda taşıma sonucu ortaya çıkan emisyon oranı değerlendirilerek analiz edilmiştir. Ele alınan bu problemin çözümünde kullanılan model, karma tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Ayrıca, karar vericiye talebi reddetme izni verilmektedir. Böylece, karar vericiye esneklik sağlanmış olmakta ve elde edilen sonuçlar daha gerçekçi olmaktadır.

Literatür taraması kapsamında, “Google Scholar” indeksi Türkçe olarak taranmış ve zaman penceresi içeren araç tahsis problemlerinde sürdürülebilirlik ile ilgili analiz yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Araştırıldığı kadarıyla ilgili literatür taramasında bu konuda herhangi bir akademik çalışma ortaya çıkmamıştır. Ardından “Web of Science” veritabanında “araç tahsis” anahtar kelimesi kullanılarak konu bazlı yapılan tarama sonucu İngilizce yazılmış makalelere ulaşılmıştır. Arama kapsamı, “zaman penceresi” anahtar kelimesi kullanılarak daraltılmıştır. Ayrıca bu makalelerin literatür taramaları da incelenmiştir. Sonuç olarak, zaman penceresi içeren araç tahsis problemini konu alan altı çalışma elde edilmiştir. Literatür çalışmasına dair özet Tablo 2’de verilmiştir. İlgili tabloda; kullanılan modelleme yaklaşımının türü, tanımlanan zaman pencerelerinin türü (esnek veya esnek olmayan), taleplerin reddedilmesine izin verilip verilmediği ve zaman pencerelerinin ekonomik, sürdürülebilirliğin çevresel ve sosyal temelleri üzerine etkilerinin incelenip incelenmediği belirtilmiştir.

Tablo 2. Literatür Özeti

Makale	Model	Zaman Penceresi		Talebi Reddetme	Zaman Penceresinin Sürdürülebilirlik Boyutlarına Etkisi		
		Esnek	Esnek Olmayan		Ekonomik	Sosyal	Çevresel
Beaujon and Turnquist, 1991	Stokastik Dinamik Programlama	√		X	X	X	X
Godfrey and Powell, 2002a	Stokastik Dinamik Programlama		√	√	X	X	X
Godfrey and Powell, 2002b	Stokastik Dinamik Programlama	√		X	X	X	X
Ongarj and Ongkunaruk, 2013	Tamsayılı Programlama		√	X	X	X	X
Shi et al., 2014	Stokastik Dinamik Programlama		√	√	X	X	X
Kaewpuang et al., 2016	Stokastik Programlama ve Doğrusal Programlama		√	X	X	X	X
Bu Çalışma	Karmaşık Tamsayılı Doğrusal Programlama		√	√	√	√	√

Tablo 2’de özetlendiği gibi, araç tahsis problemlerinde zaman penceresi varsayımı ilk olarak Beaujon ve Turnquist (1991) tarafından yürütülen çalışmada ele alınmıştır. Godfrey ve Powell (2002b), esnek zaman penceresi

kullanarak zamanında reddedilen taleplerin bir sonraki dönemde karşılanmasını sağlamıştır. Bu iki çalışmanın aksine Godfrey ve Powell (2002a), Ongarj ve Ongkunaruk (2013), Shi ve diğerleri tarafından sıkı zaman pencereleri kullanılmıştır.

Özet tabloda incelenebileceği üzere, bilindiği kadarıyla araç tahsis problemlerinde zaman penceresi seçimlerinin sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini analiz eden bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasının literatürdeki bu boşluğu doldurarak sürdürülebilir yük taşımacılığı yönetimi literatürüne katkıda bulunabileceği öngörülmektedir.



3. BÖLÜM

PROBLEM TANIMI

Bu tez çalışmasında ele alınan problem, zaman penceresine sahip bir dinamik araç tahsis problemidir. Bu çalışma kapsamında, uzun mesafelerde tam araç yükü taşımacılık yaparak gelir sağladığı varsayılan bir firmanın araç tahsis planlaması yapılacaktır.

Ele alınan problemde talep, bir düğümden başka bir düğüme belirli bir zamanda taşınması gereken araç yükü miktarını ifade etmektedir. Karar verici, bir ağ üzerinde planlama ufku boyunca düğüm çiftleri arasındaki talepleri karşılamak üzere araçları planlamaktadır. Problemin amacı, talepleri karşılayarak elde edilen gelirin enbüyüklenmesidir. Bu amaç doğrultusunda araçlar en uygun şekilde konumlandırılmaktadır.

Araç tahsis problemi, zaman genişletilmiş bir yönlendirilmiş grafik üzerinde en az maliyetli akış problemi olarak modellenabilir. Ağ akış modeli, düğüm ve yaylardan oluşmaktadır. Düğüm genel anlamda model içerisinde bir fiziksel konum, bireysel bir işçi ya da zaman içinde bir nokta gibi problemin bazı yönlerini temsil eder ve bir daire ya da bir nokta olarak gösterilir. Yay ise, iki düğüm arasında yönlendirilen çizgi parçaları (ulaşım hizmetleri) olarak tanımlanabilir. Bu tez çalışması kapsamında ele alınan araç tahsis probleminde her bir yayda ihtiyaç duyulan seyahat süresi gün cinsinden ölçülmektedir ve her bir düğüm bir fiziksel konumu (örneğin şehirler) ifade etmektedir. Talepler, belirli bir zamanda ve yay üzerinde oluşmaktadır. Bu durumda talep, belirli bir zamanda bir başlangıç düğümünden varış düğümüne gitmesi gereken araç yükü miktarıdır. Örnek olarak, bir nakliye firmasına bir bölgeden başka bir bölgeye büyük malzemeler taşınması için gelen talep verilebilir.

İki düğüm arasında yük taşımalarının sağlanabilmesi için gerekli araçların tahsisi talebi oluşturmaktadır. Uzun mesafe yük taşımacılığında genellikle, talep periyodik olarak değişmektedir. Bu durumda, talebi karşılayabilmek için

kullanılacak araç sayısı da zaman içerisinde değişmelidir. Buna örnek olarak, sahip olunan araçların yanı sıra, belirli periyotlarda yoğunlaşan talebi karşılamak için araç kiralanabilir ya da bu dönemlerde talebi karşılamak için dış kaynak bir nakliye firması ile anlaşma durumu söz konusu olabilir. Bu tez çalışması kapsamında ele alınan problemde firmanın, bakım, tatil, kiralama gibi nedenlerle periyodik olarak değişen talebi karşılamak için gerekli araç sayısını önceden bir tahmin yöntemi ile hesapladığı varsayılmaktadır. Bu anlamda ele alınan problemde, araçlar belirli zamanlarda sisteme dahil olmaktadır. Başlangıçta sistemde bulunan araç sayısı, belirli zamanda sisteme giren ve sistemden çıkan araç sayısı bilinmektedir. Araç kapasiteleri birbirine eşittir ve tam araç yükü taşımacılık yapılmaktadır. Her bir talep bir araç ile karşılanmaktadır ve her bir talebin kârı birbirinden farklıdır.

Araç tahsis problemi, geniş bir coğrafi bölgede dağılmış düğümler arasında yük taşıyan araçların hareketlerinden oluşmaktadır. Araçlar, planlama ufkunun başında bir depodan hareket etmek yerine, belirli bir zamanda belirli düğümlerde bulunmaktadır. Planlama ufku boyunca hangi periyotlarda kaç araç olduğu bilinmektedir. Dolu bir araç yükü teslim ettiğinde boşalır. Boş bir araç, bulunduğu düğümden başka bir düğüme talep varsa, bu talebi karşılamak için kullanılabilir. Başka iki düğüm arasında gelecekte oluşacak talebi karşılamak üzere boş olarak seyahat edebilir ya da bulunduğu düğümden bekleyebilir. Boş araçların konumlandırılması karar verici tarafından planlanmaktadır. Araç tahsis problemi, boş araçların nasıl konumlandırılacağına karar verir. Bu tez çalışması kapsamında ele alınan problemde, sınırlı bir planlama ufku ($T = \{1, 2, \dots, T\}$) için en iyi çözüm elde edilmektedir.

Bir aracın bir düğümden diğer bir düğüme giderken geçirdiği süre, seyahat süresi olarak tanımlanmaktadır. Problemde seyahat süreleri gün olarak verilmiştir. Düğümler arasında geçen seyahat süresi belirlidir.

Uzun mesafe yük taşımacılığında genellikle uzun mesafelerde büyük hacimli yükler taşınmaktadır. Bu nedenle seyahat süreleri de uzundur. Aynı zamanda maliyeti yüksek ürünler taşınmaktadır. Bu noktada, talebi karşılamak üzere yola çıkan araçların yükleri, en hızlı ve en güvenli şekilde varış noktalarına

ulaştırmaları önem arz etmektedir. Güvenlik faktörünün öneminden dolayı genellikle hem gönderici hem de alıcı talebin karşılanma süresi konusunda görece esnek olabilmektedir. Bu nedenle bu problem kapsamında, talebin karşılanmasında zaman penceresi kullanılmıştır. Zaman penceresi, bir aktivitenin gerçekleşebileceği ya da gerçekleşmesi gereken zaman aralığıdır. Kullanılan zaman penceresinde, aktivite talebin karşılanmasıdır.

Uzun mesafe yük taşımacılığında yük taşıyan araçlar için bazı durumlarda talebin karşılanması kârlı olmayabilir. Örneğin, kısıtlı sayıda aracın bulunduğu bir durumda daha fazla gelir (kr) sağlayacak taleplerin karşılanması gerekmektedir. Bu durumda bu çalışmada ele alınan araç tahsis problemi, araçların konumlandırılmasına karar verirken aynı zamanda hangi taleplerin karşılanacağına hangilerinin reddedileceğine de karar vermektedir. Oluşturulan modelde, talebin reddedilmesine izin verilmektedir.

Düğümler arasındaki talebin karşılanması karar verici için bir gelir unsurudur. Ancak, araçların boş hareket etmesi verimlilik açısından istenmeyen bir durumdur. Araçların boş hareket etmesi sonucu firma taşıma giderine katlanmaktadır.

Problemin amacı, kârı enbüyüklemektir. Kr, bir talebi karşılamak üzere belirtilen periyotlarda belirtilen başlangıç düğümlerinden varış düğümlerine giden dolu araçlardan elde edilen toplam gelirden, boş hareket eden araçların maliyetinin çıkarılması ile hesaplanmaktadır.

Modelde, planlama ufku $\{1, 2, 3, \dots, T\}$ olacak şekilde sonlu sayıda periyottan oluşmaktadır ve N adet düğüm bulunmaktadır. Talepler bu düğüm çiftleri arasında oluşmaktadır.

Matematiksel Model

Sembol Listesi

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamalarıyla birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kümeler

N	yüklerin toplandığı ve teslim edildiği düğümler kümesi $\{1, \dots, N\}$
T	planlama ufkundaki periyotlar (gün) kümesi $\{1, \dots, T\}$

İndisler

i, j, k	düğümler
t	zaman periyodu
α	zaman penceresi süresi (gün/periyot)

Parametreler

d_{ijt}	$t \in T$ periyodunda $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne harekete başlayacak şekilde taşınması gereken yük miktarı
τ_{ij}	$i \in N$ düğümü ile $j \in N$ düğümü arasındaki seyahat süresi
p_{ijt}	yükün $i \in N$ düğümünden t periyodunda yola çıkarak $j \in N$ düğümüne taşınmasından elde edilen kâr (gelir – doğrudan işletme giderleri)
c_{ij}	boş bir aracın $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne seyahat etmesinin maliyeti
m_{it}	$t \in T$ periyodunda $i \in N$ düğümünde sisteme dahil olan araç sayısı

Karar Değişkenleri

W_{ijt}^α talebi, $(t + \alpha)$ periyodunda karşılamak üzere, $t \in T$ periyodunda $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne doğru harekete başlayan yüklü araç sayısı

X_{ijt} $t \in T$ periyodunda $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne harekete başlayan yüklü araç sayısı

Y_{ijt} $t \in T$ periyodunda $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne harekete başlayan boş araç sayısı

Z_{ijt} $t \in T$ periyodunda $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne reddedilen talep miktarı

Bu notasyona göre toplam gelir, düğümler arasında talebi, olması gerektiği gibi $t \in T$ periyodunda varacak şekilde ya da en fazla zaman penceresi süresi kadar gecikmeyle $[t, \dots, t + \alpha]$ periyotlarında varacak şekilde karşılamak üzere dolu seyahat eden araçlardan elde edilecek gelir toplamı;

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} \sum_{\substack{a \in \{0, \dots, \alpha\}, \\ (t+a) \leq T}} (p_{ij(t+a)} * W_{ijt}^a) \quad (1)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Maliyetler ise, düğümler arasında boş seyahat eden araçlardan oluşacak maliyetin toplamıdır.

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} \sum_{\substack{a \in \{0, \dots, \alpha\}, \\ (t+a) \leq T}} (c_{ij} * Y_{ijt}) \quad (2)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Sonuç olarak problemin amaç fonksiyonu dolu seyahat eden araçlardan elde edilecek gelir toplamından (toplam gelir) boş seyahat eden araçlardan

kaynaklanan maliyetin çıkarılmasından elde edilecek aşağıda verilen toplamın enbüyüklenmesi ile hesaplanmaktadır.

$$\sum_{t=T} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} \sum_{\substack{a \in \{0, \dots, \alpha\}, \\ (t+a) \leq T}} (p_{ij(t+a)} * W_{ijt}^a - c_{ij} * Y_{ijt}) \quad (3)$$

t periyodunda i noktasından herhangi bir j noktasına doğru talebi karşılamak üzere dolu olarak yola çıkabilecek araçlar;

$$\sum_{j \in N} (X_{ijt}) \quad \forall i \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (4)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

t periyodunda i noktasından herhangi bir j noktasına doğru boş olarak yola çıkabilecek tüm araçlar;

$$\sum_{j \in N} (Y_{ijt}) \quad \forall i \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (5)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

t periyodunda i noktasından herhangi bir j noktasına doğru yola çıkabilecek tüm araçlar;

$$\sum_{j \in N} (X_{ijt} + Y_{ijt}) \quad \forall i \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (6)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

t periyodunda herhangi bir k noktasından i noktasına varacak şekilde yola çıkmış (seyahatine başlamış, ancak tamamlamamış) dolu ve boş seyahat eden toplam araç sayısı;

$$\sum_{k \in N, k \neq i: t > \tau_{ki}} (X_{ki(t-\tau_{ki})} + Y_{ki(t-\tau_{ki})}) \quad \forall i \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (7)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

t anından önceki bir periyotta i düğümüne varmış ve bu düğümde t anında boş olarak bekleyen (t anında sisteme dahil olabilecek) araç sayısı;

$$Y_{ii(t-1)} \quad \forall i \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (8)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Bunun sonucunda; $t \in T$ periyodunda $i \in N$ düğümünde sisteme dahil olan araç sayısı; t periyodunda i noktasından herhangi bir j noktasına doğru yola çıkabilecek toplam araç sayısından, t periyodunda herhangi bir k noktasından i noktasına varacak şekilde yola çıkmış seyahatine devam eden dolu ve boş toplam araç sayısı ve i düğümünde t anında boş olarak bekleyen araç sayısının çıkarılması sonucu elde edilen sayıya eşit olmalıdır.

Bu durumda; sistemde toplam araç sayısı ile ilgili kısıt aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\sum_{j \in N} (X_{ijt} + Y_{ijt}) - \sum_{k \in N, k \neq i: t > \tau_{ki}} (X_{ki(t-\tau_{ki})} + Y_{ki(t-\tau_{ki})}) - Y_{ii(t-1)} \quad \forall i \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (9)$$

$$= m_{it}$$

Talebi $[t, \dots, t + \alpha]$ periyotları içerisinde karşılamak üzere, $t \in T$ periyodunda $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne doğru harekete başlayan yüklü araç sayısı toplamı;

$$\sum_{\substack{a \in \{0, \dots, \alpha\}, \\ t+a \leq T}} W_{ijt}^a \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (10)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Bu durumda, talebi zaman penceresi içerisinde, yani $[t, \dots, t + \alpha]$ periyotlarında karşılamak üzere, $t \in T$ periyodunda $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne doğru harekete başlayan yüklü araç sayısı toplamı, $t \in T$ periyodunda $i \in N$

düğümünden $j \in N$ düğümüne harekete başlayan yüklü araç sayısına eşit olmalıdır. İlgili kısıt aşağıda verilmiştir.

$$\sum_{\substack{a \in \{0, \dots, \alpha\}, \\ t+a \leq T}} W_{ijt}^a = X_{ijt} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (11)$$

Talebi teslim tarihinden α periyot kadar önce karşılamak üzere, $t \in T$ periyodunda $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne doğru harekete başlayan yüklü araç sayısı toplamı;

$$\sum_{\substack{a \in \{0, \dots, \alpha\}, \\ t-a \geq 1}} W_{ij(t-a)}^a \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (12)$$

Bu durumda, $t \in T$ periyodunda $i \in N$ düğümünden $j \in N$ düğümüne doğru oluşan taleplerin teslim tarihinden α periyot kadar önce karşılanabileceğini belirten eşitlik;

$$\sum_{\substack{a \in \{0, \dots, \alpha\}, \\ t-a \geq 1}} W_{ij(t-a)}^a = d_{ijt} - Z_{ijt} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (13)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Reddedilen toplam talep miktarı mevcut talep toplamını geçemez. İlgili kısıt aşağıda verilmiştir.

$$Z_{ijt} \leq d_{ijt} \quad i \in N, j \in N, t \in \{1, \dots, T\} \quad (14)$$

Problemin Formülasyonu

Amaç Fonksiyonu:

$$Z = \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} \sum_{\substack{a \in \{0, \dots, \alpha\}, \\ (t+a) \leq T}} (p_{ij(t+a)} * W_{ijt}^a - c_{ij} * Y_{ijt})$$

Enbüyük

Öyle ki;

$$\sum_{j \in N} (X_{ijt} + Y_{ijt}) - \sum_{k \in N, k \neq i: t > \tau_{ki}} (X_{ki(t-\tau_{ki})} + Y_{ki(t-\tau_{ki})}) - Y_{ii(t-1)} = m_{it} \quad \forall i \in N, t \in T \quad (15)$$

$$\sum_{\substack{a \in \{0, \dots, \alpha\}, \\ t+a \leq T}} W_{ijt}^a = X_{ijt} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in T \quad (16)$$

$$\sum_{\substack{a \in \{0, \dots, \alpha\}, \\ t-a \geq 1}} W_{ij(t-a)}^a = d_{ijt} - Z_{ijt} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in T \quad (17)$$

$$Z_{ijt} \leq d_{ijt} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in T \quad (18)$$

$$W_{ijt}^a \geq 0 \quad \forall a \in \{1, \dots, \alpha\}, \forall i \in N, \forall j \in N, t \in T \quad (19)$$

$$X_{ijt} \geq 0 \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in T \quad (20)$$

$$Y_{ijt} \geq 0 \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in T \quad (21)$$

$$Z_{ijt} \geq 0 \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in T \quad (22)$$

Modelin amaç fonksiyonu, zaman penceresi içerisinde dolu olarak seyahat eden araçlardan elde edilen gelirden (1) boş araçların neden olduğu maliyetin (2) çıkarılmasından elde edilen değer enbüyüklenmesi ile elde edilir. Kısıt (15), tüm periyotlar ve düğümler arasında araç akış dengesini sağlamaktadır. Bu kısıt ile t periyodunda i noktasından yola çıkabilecek potansiyel dolu ve boş araç sayısı; t periyodunda i noktasına varacak şekilde yola çıkmış (seyahatine başlamış, ancak tamamlamamış) dolu ve boş araç sayısı, bir önceki periyotta i düğümünde bekleyen dolu ve boş araç sayısı ve t periyodunda i noktasında bulunan araç sayısı toplamına eşittir. Kısıt (16) ile t döneminde yola çıkacak araçlar, talebi $[t, \dots, t + \alpha]$ zaman penceresi içerisinde karşılamak üzere o dönemde gönderilen yüklü araç sayısı dikkate alınarak belirlenir. Kısıt kümesi (17), talebin teslim tarihinden α periyot öncesine kadar da teslim edilmesine izin verildiğini göstermektedir. Kısıt (18), karşılanmayan talebin toplam talebe eşit veya küçük olmasının sağlanması için oluşturulmuştur. Kısıt kümeleri (19), (20), (21) ve (22) karar değişkenleri üzerindeki kısıtlamaları tanımlar.

4. BÖLÜM

SAYISAL ANALİZLER

Bu bölümde tez çalışması kapsamında önerilen modelin, örnek bir temel problem üzerinden çeşitli senaryolarda uygulamaları analiz edilecektir. Bu bölümde yapılan analizler modelin; gerçek hayatta uygulanabilirliğini ve araç tahsis problemlerinde farklı zaman penceresi varsayımlarının elde edilen sonuçlar üzerindeki ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarda potansiyel etkilerini göstermeyi amaçlamaktadır.

İlk olarak oluşturulan temel problemi, farklı sıkı ve gevşek zaman penceresi değerleri üzerinden test edilmiştir. Ardından, test edilen dört farklı zaman penceresi senaryosunun sonuçları sunulmuştur. Öncelikle sıkı zaman penceresi değerlerini içeren senaryoda ekonomik açıdan değerlendirme yapılabilmesi için test edilmiştir. Ardından talebin zaman penceresinin alt ve üst sınırları haricinde bir zamanda ceza maliyetine katlanılarak karşılanması durumunu içeren gevşek zaman penceresi senaryoları test edilmiştir. Bu durumda, müşterileri gevşek zaman penceresi anlaşmalarına uymaya teşvik etmek için fiyat indirimleri ve karşılanmayan talep için ceza maliyeti eklenerek araç tahsis problemlerinde müşteri memnuniyetinin sağlanması açısından sosyal sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesi için inceleme yapılmıştır. Son olarak, farklı zaman penceresi seçimlerinin çevresel boyutta önlenebilir emisyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak bu tez çalışması kapsamında, araç tahsis problemlerinde zaman penceresi varsayımlarının etkileri analiz edilerek sürdürülebilirliğin ekonomik, sosyal ve çevresel boyutları üzerine etkileri incelenmiştir.

Sayısal analiz için, önerilen matematiksel modeli geliştirmek ve çözmek için Intel® Core™ i7-8565U CPU @ 1.80 GHz işlemci ve 16 GB RAM'e sahip bir makinede IBM ILOG CPLEX Studio IDE v.12.10 yazılımı kullanılmıştır.

Bu bölümde öncelikle, yapılan analizlerde kullanılan deneysel tasarımı açıklanacaktır. Ardından, temel problem üzerinde gerçekleştirilen analizlerin ayrıntılı sonuçları sunulacaktır. Son olarak araç tahsis problemlerinde farklı zaman penceresi varsayımlarının sürdürülebilirliğin üç boyutuna (ekonomik, sosyal, çevresel) ilişkin analizlerin sonuçları tartışılacaktır.

4.1. DENEY TASARIMI

Sayısal analiz çalışmasında ele alınan temel problem için bir yük taşımacılığı şirketi tarafından araç dağıtımını planlaması yapılacağı ve araç dağıtımının Türkiye'nin nüfus yoğunluğu en fazla 15 ilinde gerçekleştirileceği varsayılmaktadır. Bunun yanı sıra araç dağıtımını için 25 günlük planlama yapılacaktır. Başka bir ifadeyle planlama ufku 25 gün olarak belirlenmiştir.

Seçilen iller arasındaki mesafe bilgisi için 15 ilin her birinin birbirine olan uzaklığı, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün internet sitesinden temin edilmiştir. Problemin gerçekçi ve uygulanabilir olması için araçların günde en fazla 400 kilometre yol katetebileceği varsayılmış ve modelde araçların günlük 400 kilometreden fazla seyahat etmesine izin verilmemiştir. Problemde kullanılacak parametrelerden biri olan şehirlerarası seyahat süreleri (τ_{ij}) bu varsayımlara göre hesaplanmıştır.

Seçilen 15 il arasında araç tahsis planlaması için toplamda taleplerin oluşabileceği $15 \times 14 = 350$ yay bulunmaktadır. Bu durumda 25 günlük planlama ufku boyunca, kalkış için son tarihi t olan ve şehir çiftleri ij arasında, toplam $350 \times 25 = 8750$ ijt demeti (yay) için talep verisi (d_{ijt}) oluşturulmuştur. Talep verisi, 8750 adet ijt demeti için 0 ve 4 arasındaki tamsayılardan eşit olasılıkla rastgele seçilerek oluşturulmuştur. Problem özelinde planlama ufku boyunca toplam 2185 adet talep ortaya çıkmıştır.

Ele alınan problemde zaman penceresi α değeri için taşımacılık şirketinin her bir talebi, α ; $[0,3]$ arasında bir tamsayı olmak üzere kalkış son tarihinden α dönem önce karşılama fırsatına sahip olduğu varsayılmıştır.

Planlama ufkunun başlangıcında, seçilen 15 ilin her birinde iki adet araç bulunduğu varsayılmıştır. Planlama ufku boyunca i ilinde ve t anında sisteme girecek ve çıkacak araç sayısı (m_{it}); -2 ile 2 arasındaki sayılardan rastgele seçilmiştir.

Taşımacılık şirketleri tarafından genellikle 10 tekerlekli ve 60 m^3 hacimli araçların kullanıldığı bilinmekte olup bu araçlar ortalama olarak 0,27 ile 0,32 litre arasında yakıt tüketmektedir (Erkek, 2020). Bu bilgi doğrultusunda tez çalışması kapsamında ele alınan problemde, kilometre başına ortalama 0,3 litre yakıt tüketimi yapıldığı varsayılmıştır. Bunun yanı sıra yakıt tüketiminin, 2,63 kg/litre yakıt dönüşüm faktörü ile emisyon oranına dönüştüğü bilinmektedir (Defra, 2007). Bu durumda, boş yolculuklardan kaynaklanan ulaşım maliyeti (c_{ij}) kilometre başına 3,00 TL olarak belirlenmiştir.

Bir i ilinden j iline, t anındaki talebin karşılanması durumunda nakliye şirketi (p_{ijt}) kadar gelir elde edecektir ve gelir verisi (p_{ijt}), ij şehirleri arasındaki mesafe doğrultusunda kilometre başına 3,10 TL ile 5,00 TL arasındaki sayılardan düzgün dağılımla rastgele oluşturulmuştur.

Sözü geçen veriler ve varsayımlar doğrultusunda oluşturulan parametre özet tablosu Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Parametre Özet Tablosu

Semboller	Değerler
Parametreler ve Kümeler	
N	$\{1, \dots, 15\}$
T	$\{1, \dots, 25\}$
α	$\{0, 1, 2, 3\}$
d_{ijt}	0 ve 4 arasında seçilen rastgele bir sayı
τ_{ij}	Her bir 400 km için 1 günlük seyahat süresi
p_{ij}	Kilometre başına 3,1₺ ve 5₺ arasında düzgün dağılımla seçilen bir sayı
c_{ij}	Kilometre başına 3₺
m_{it}	m_{i1} haricinde, -2 ile 2 arasındaki sayılardan rastgele, düzgün dağılımla seçilen bir sayı ($m_{i1} = 2$ her bir (i) değeri için)

4.2. TEMEL PROBLEM

Tez çalışmasının bu bölümü, bir önceki deney tasarımı bölümünde açıklanan problemin çözümünün $\alpha = 0$ ve $\alpha = 3$ olmak üzere iki farklı zaman penceresi değeri için ayrıntılı şekilde analizini içermektedir. Analiz sonucunda elde edilen değerler doğrultusunda temel performans göstergelerinin ayrıntılı sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Her bir durum için en iyi çözümün elde edilmesi yaklaşık olarak 3 saniyede gerçekleşmiştir.

Tablo 4. İki Zaman Penceresi Durumu ($\alpha = 0$, $\alpha = 3$) Varsayımı Altında Temel Çözüm Sonuçları

		$\alpha = 0$	$\alpha = 3$
Amaç fonksiyonu (Net kar)		461,192	697,722
Dolu olarak seyahat eden araç sayısı		185	285
“a” gün önce karşılanan talep sayısı	a = 0	185	97
	a = 1	0	67
	a = 2	0	61
	a = 3	0	60
Boş seyahat eden araç sayısı		94	9
Bulunduğu ilde bekleyen araç sayısı		73	37
Reddedilen talep miktarı		2,000	1,900
Karşılanan talep miktarı		185	285

Tablo 4'te verildiği üzere, problemin sıkı zaman penceresi varsayımı altında çözümü sonucunda talebin 185 adeti karşılanmıştır. Bunun yanı sıra, 94 adet araç maliyete katlanılarak boş olarak seyahat etmiştir. Gerçekleştirilen çözüm ile toplam 461,192 TL kâr elde edilmiştir.

Zaman penceresinin gevşek olduğu varsayımı altında beklenildiği üzere karşılanan talep miktarı artmış, boş olarak seyahat eden araç miktarı ise azalmıştır. Böylece, gevşek zaman penceresi kullanıldığında problem çözümünden elde edilen kâr beklenildiği gibi daha yüksek olmuştur. Gevşek zaman penceresinde talebin 285 adedi karşılanmış, 9 adet araç ise boş olarak seyahat etmiştir. Karşılanan 285 adet talebin 97 adeti termin tarihinde varmıştır.

Sonuçta 697,722 TL tutarında sıkı zaman penceresi varsayımına göre daha yüksek kâr elde edilmiştir.

Tablo 4'te görülebileceği üzere, optimal planda, talebin daha erken karşılanması seçeneğinden yararlanıldığı görülmektedir. Gevşek zaman penceresi varsayımı altında karşılanan 285 adet talebin yalnızca 97 adedi termin tarihinde karşılanmıştır. Buna karşın, 67 adet talebin bir gün önce, 61 adet talebin iki gün önce, 60 adet talebin ise üç gün önce karşılandığı görülmektedir.

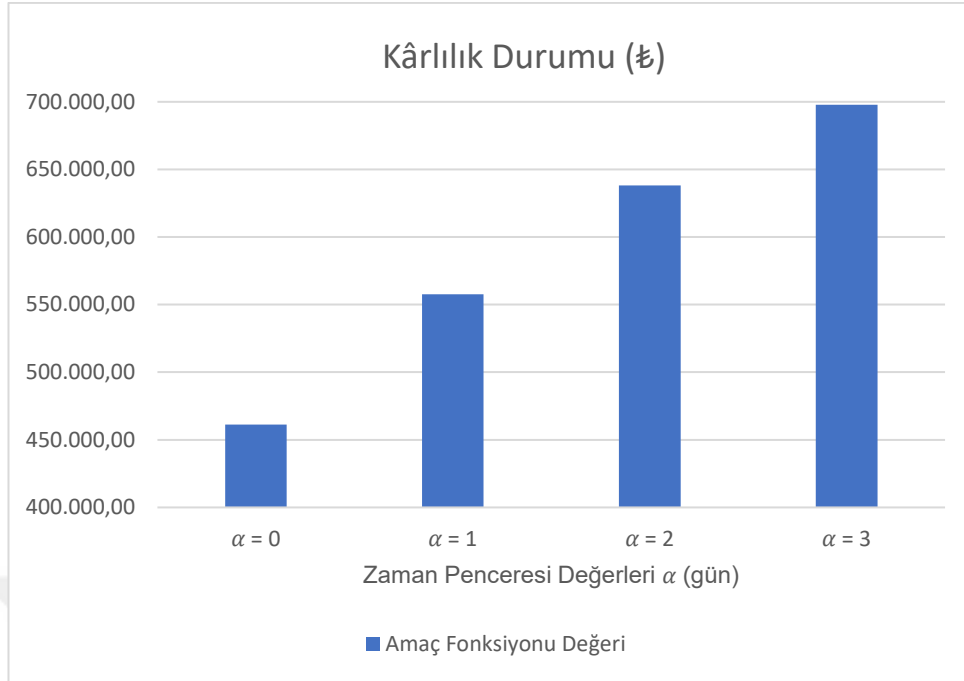
4.3. ZAMAN PENCERESİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BOYUTLARI ÜZERİNE ETKİSİ

Tez çalışmasının bu bölümünde, araç tahsis probleminde farklı zaman penceresi durumlarının sürdürülebilirliğin ekonomik, sosyal ve çevresel boyutları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

4.3.1. Sürdürülebilirliğin Ekonomik Boyutu

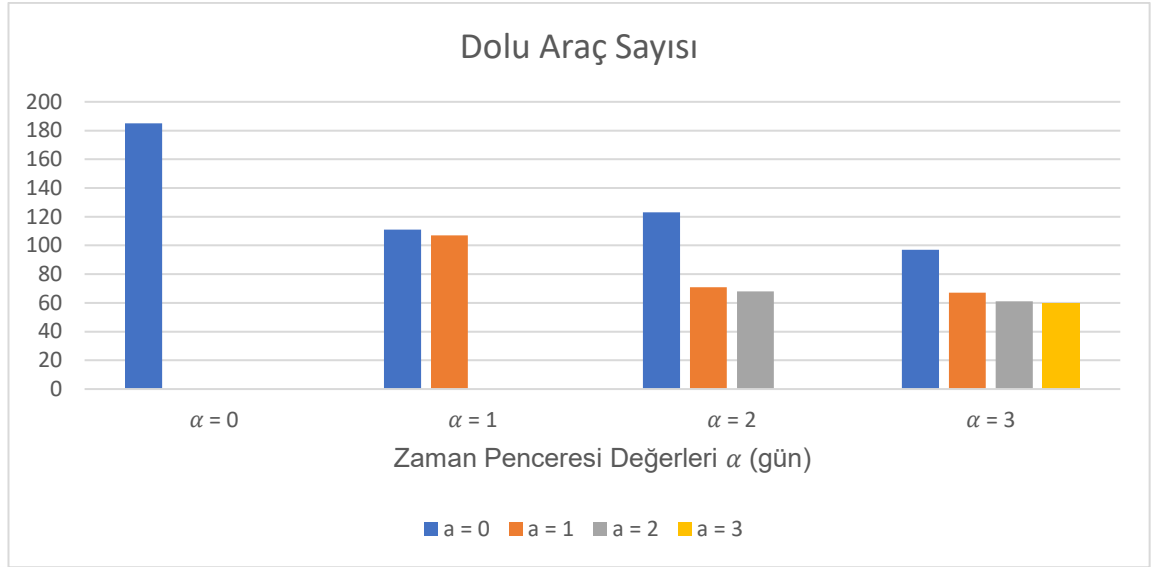
Herhangi bir şirketin hizmet sunumuna devam edebilmesi için karlılığını devam ettirmesi şarttır ve genel olarak şirketler sağladıkları kârı en yüksek seviyeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle şirketlerin kârını artırma amaçları doğrultusunda gerçekleştirilen aksiyonlar sürdürülebilirliğin ekonomik boyutu olarak ele alınmıştır.

Bu bölümde, araç tahsis problemlerinde kullanılan farklı zaman pencerelerindeki değişikliklerin şirketin faaliyet kârını nasıl etkileyebileceği incelenmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir. Bu nedenle önerilen model, temel veri seti kullanılarak farklı α değerleri üzerinden optimize edilmiş ve amaç fonksiyonu değerleri kaydedilmiştir. Kullanılan her bir zaman penceresi durumu için elde edilen faaliyet kâr değerleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Her Bir Zaman Penceresi Durumu İçin Elde Edilen Faaliyet Kâr Değerleri

Şekil 3'te görülebileceği gibi zaman pencerelerinin gevşetilmesi, başka bir ifadeyle α değerinin artırılması daha fazla sayıda talebin karşılanmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca termin tarihi $[0, \alpha]$ gün arasında olan taleplerden hangisinin karşılanacağını seçme esnekliğini de sağlamaktadır. Bu esneklik sayesinde şirket tarafından araç tahsis planlamasında, daha yüksek fiyatlı talepler tercih edilebilmekte ve maliyet oluşturan boş yolculukların sayısı da azalmaktadır. Zaman pencerelerinin uzunluğunun her bir birim artması sonucu tahsis planında gerçekleşen iyileşme Şekil 4'te gösterilmiştir. Buna paralel olarak, zaman pencerelerinin uzunluğu 0'dan 3 güne çıktığı zaman elde edilen kâr da %51 oranında artmaktadır.



Şekil 4. Talebi Termin Tarihinden “a” Periyot Önce Karşılama Üzere Dolu Olarak Seyahat Eden Araç Sayısı

Sonuçlar, nakliye şirketleri için müşterileriyle gevşek zaman penceresi anlaşmalarına yatırım yapmanın potansiyel ekonomik faydalarını göstermektedir.

4.3.2. Sürdürülebilirliğin Sosyal Boyutu

Bu bölümde sıkı ve gevşek zaman pencerelerinin sürdürülebilirliğin sosyal boyutu üzerindeki etkisi incelenecektir.

Taşımacılık sektöründe faaliyet gösteren firmalar tarafından hangi taleplerin karşılanacağı ve karşılanmayacağı firma tarafından belirlenebilmesi durumunda firma, gelir/maliyet oranının düşük bulunması, seyahat süresinin fazla uzun olarak değerlendirilmesi ya da herhangi başka bir nedenden dolayı talebi reddedebilir. Bu durum müşteri memnuniyetini olumsuz şekilde etkileyebilmektedir. Ayrıca, reddedilen talepler bu sektörde faaliyet gösteren herhangi bir diğer firma tarafından karşılanabilir. Taşımacılık sektöründe faaliyet gösteren diğer firmaların da benzer sebeplerden dolayı müşteri talebini reddetmesi durumunda, sektörde genel olarak hizmet kalitesi düşecek ve

rekabet gücü azalacaktır. Nihayetinde bu durum, sektörde faaliyet gösteren hizmet sağlayıcıların sayısının azalmasına neden olacaktır. En kötü senaryoda ise müşterilerin, istenilen sürelerde hiçbir firmadan hizmet alamaması söz konusu olabilir.

Müşteri memnuniyetinin, taşımacılık sektöründeki firmaların faaliyetini sürdürebilmesine ilişkin doğrudan etkisi değerlendirildiğinde, ele alınan problemde sürdürülebilirliğin sosyal boyutu kapsamında müşteri bakış açısının karar sürecine dahil edilmesi önem arz etmektedir.

Tez çalışması kapsamında çalışılan problemin sürdürülebilirliğin sosyal boyut açısından değerlendirilebilmesi amacıyla öncelikle temel modele reddedilen her talep için bir ceza maliyeti eklenerek sonuçlar analiz edilmiştir. İkinci olarak ise, müşterileri esnek zaman penceresi uygulamasına teşvik etmek amacıyla çeşitli fiyat indirimleri sunularak problem yeniden ele alınmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Ceza maliyetlerinin ele alındığı senaryoda, reddedilen her bir talebe bir ceza maliyeti atanmıştır. Bu durumda daha önce ele alınan temel modele, ceza maliyeti parametresi (f_{ijt}) eklenmiş ve karşılanmayan talep miktarı karar değişkeni (Z_{ijt}) ile çarpılması sonucu elde edilen toplam, maliyet unsuru olduğu için amaç fonksiyonuna eksi olarak eklenmiştir.

Önerilen model, aşağıda gösterilen amaç fonksiyonu (23) ve mevcut modelde bulunan sekiz kısıt (15,...,22) kullanılarak iki farklı ceza maliyetine göre temel veri seti için çalıştırılmıştır.

$$Z = \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{j \in N, a \in \{0, \dots, \alpha\} \\ j \neq i, t+a \leq |T|}} (p_{ijt+a} * W_{ijt}^a - c_{ij} * Y_{ijt} - f_{ijt} * Z_{ijt}) \quad (23)$$

Bu durumda çalıştırılan model aşağıda verilmiştir:

Amaç Fonksiyonu:

$$Z = \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{j \in N, a \in \{0, \dots, \alpha\} \\ j \neq i, t+a \leq |T|}} (p_{ijt+a} * W_{ijt}^a - c_{ij} * Y_{ijt} - f_{ijt} * Z_{ijt})$$

Enbüyükle

Öyle ki;

$$\sum_{j \in N} (X_{ijt} + Y_{ijt}) - \sum_{k \in N, k \neq i: t > \tau_{ki}} (X_{ki(t-\tau_{ki})} + Y_{ki(t-\tau_{ki})}) - Y_{ii(t-1)} = m_{it} \quad \forall i \in N, t \in T$$

$$\sum_{\substack{a \in \{0, \dots, \alpha\}, \\ t+a \leq T}} W_{ijt}^a = X_{ijt} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in T$$

$$\sum_{\substack{a \in \{0, \dots, \alpha\}, \\ t-a \geq 1}} W_{ij(t-a)}^a = d_{ijt} - Z_{ijt} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in T$$

$$Z_{ijt} \leq d_{ijt} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in T$$

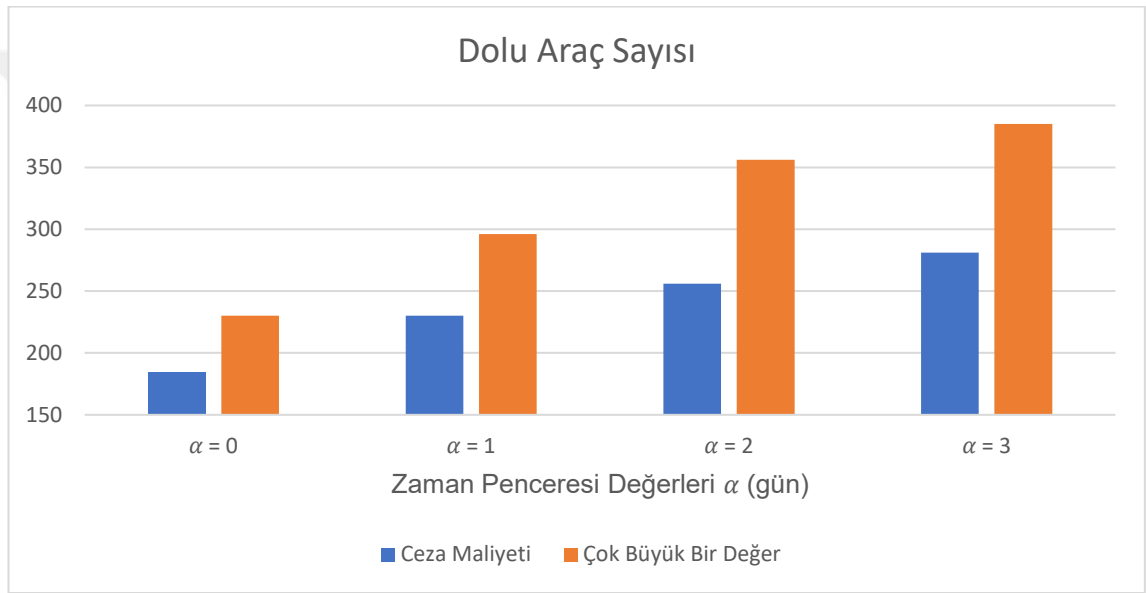
$$W_{ijt}^a \geq 0 \quad \forall a \in \{1, \dots, \alpha\}, \forall i \in N, \forall j \in N, t \in T$$

$$X_{ijt} \geq 0 \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in T$$

$$Y_{ijt} \geq 0 \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in T$$

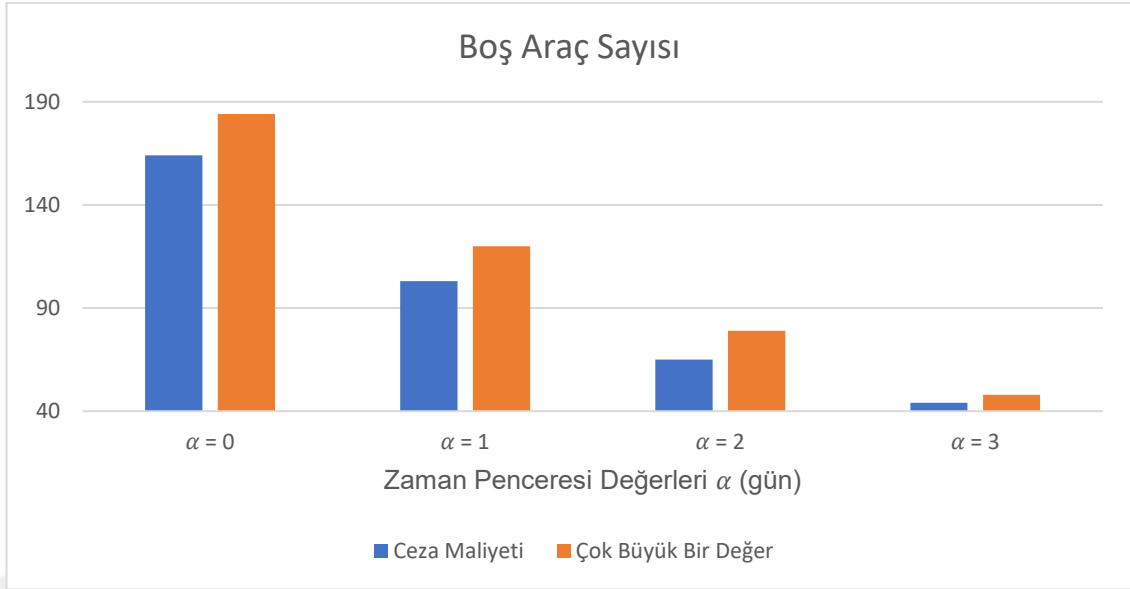
$$Z_{ijt} \geq 0 \quad \forall i \in N, \forall j \in N, t \in T$$

Birim ceza maliyet parametresi (f_{ijt}) belirlenirken iki farklı seçenek kullanılmıştır. İlk olarak, her bir ijt talep demeti için kazanılabilecek potansiyel kârın yarısı ceza maliyeti parametresi olarak belirlenmiştir. İkinci olarak ceza maliyeti, şirketi mümkün olduğunca fazla miktarda talebi karşılamaya zorlayacak şekilde, yeterince büyük bir sayı (büyük M yöntemi) olarak belirlenmiştir. İki farklı ceza maliyeti yöntemi uygulanması sonucunda ortaya çıkan sonuçlar temel performans göstergeleri olan dolu araç sayısı, boş araç sayısı, karşılanan talep miktarı ve reddedilen talep miktarı açısından değerlendirilmiştir.



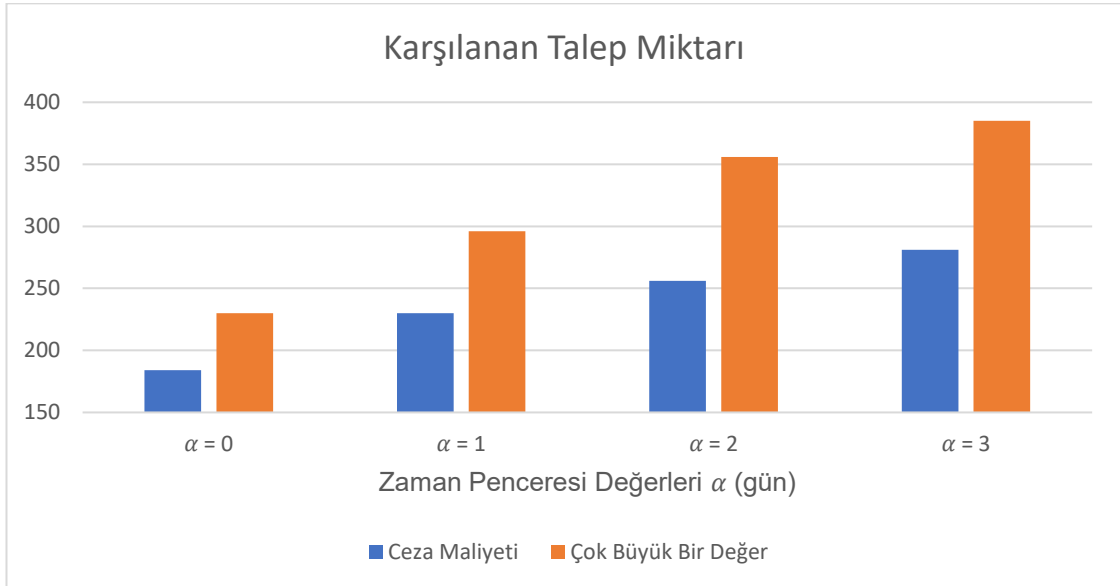
Şekil 5. $\alpha = 0, 1, 2, 3$ Değerleri İçin Dolu Araç Sayısı

α değerinin artarak zaman penceresinin gevşetilmesinin araçların yüklü olarak taşınma oranını artırdığı Şekil 5'te gözlenmektedir.



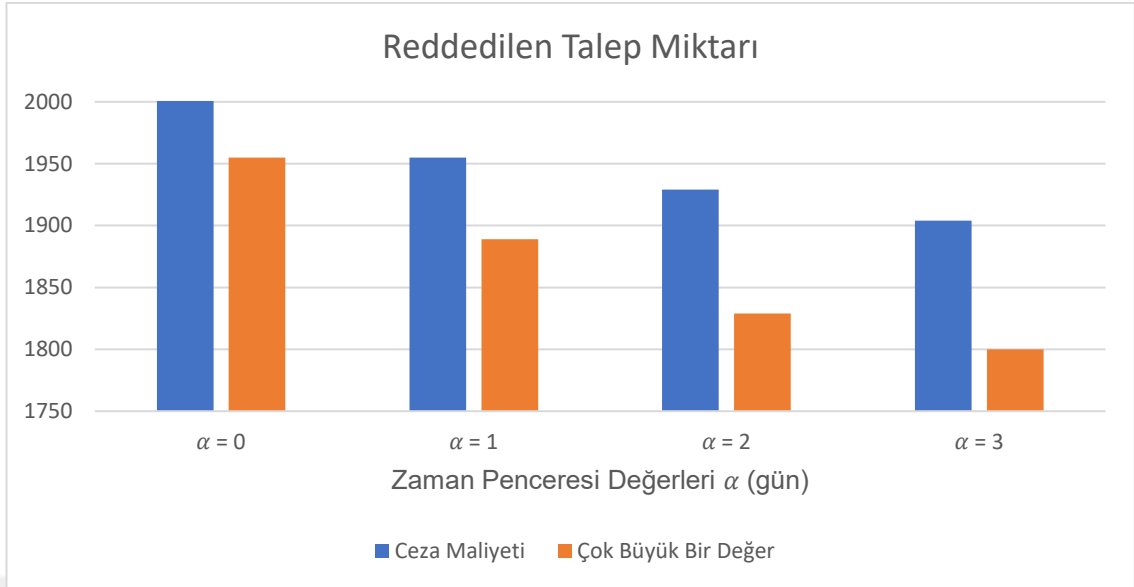
Şekil 6. $\alpha = 0, 1, 2, 3$ Değerleri İçin Boş Araç Sayısı

α değerinin artarak zaman penceresinin gevşetilmesinin ceza maliyetine katlanılarak boş seyahat eden araçların oranının azaldığı Şekil 6'da gözlenmektedir.



Şekil 7. $\alpha = 0, 1, 2, 3$ Değerleri İçin Karşılanan Talep Miktarı

α değerinin artarak zaman penceresinin gevşetilmesinin karşılanan talebin oranının arttığı Şekil 7'de gözlenmektedir.



Şekil 8. $\alpha = 0, 1, 2, 3$ Değerleri İçin Reddedilen Talep Miktarı

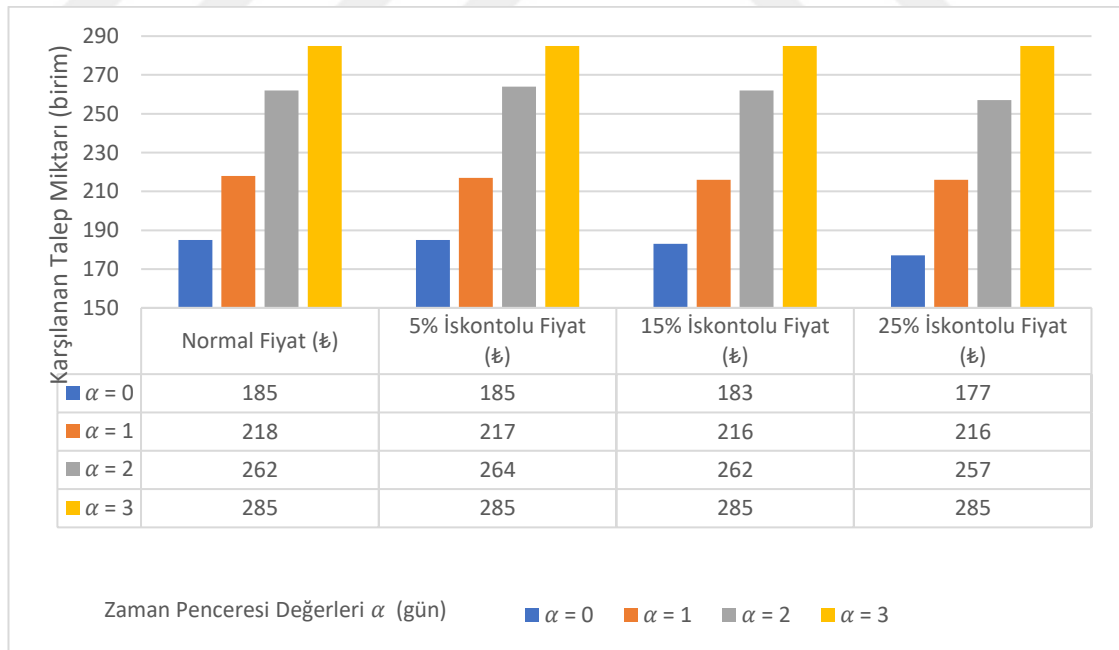
α değerinin artarak zaman penceresinin gevşetilmesinin reddedilen talebin oranının azaldığı Şekil 8'de gözlenmektedir.

Verilen şekillerde gösterilen grafikler değerlendirildiğinde ortaya çıkan sonuçlar, ceza maliyetlerinin kullanılmasının karşılanan taleplerin sayısını artırmaya ve karşılanmayan taleplerin ve boş seyahatlerin sayısını azaltmaya yardımcı olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra α değerinin artırılarak zaman penceresinin gevşetilmesi de amaç fonksiyonundaki bu iyileşmeye katkıda bulunmaktadır.

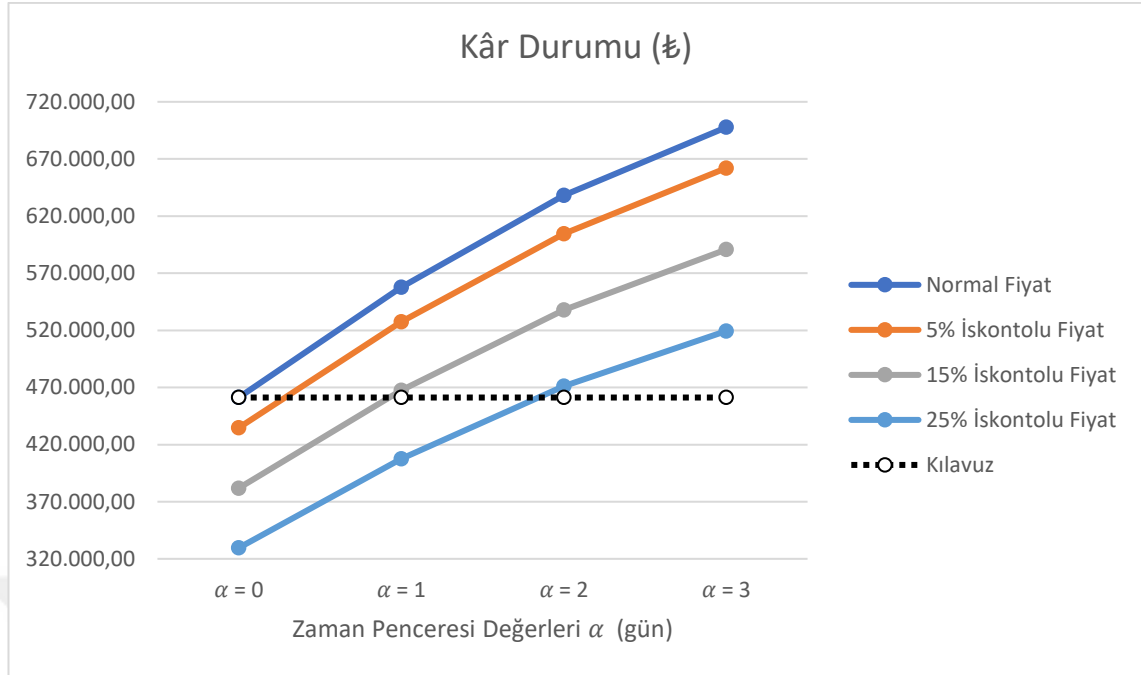
Gerçekleşen bu iyileşmelerden bağımsız olarak ceza maliyetlerinin probleme dahil edilmesinin, teslimat planlarının önemli ölçüde değişmesine ve ekonomik performansın düşmesine neden olabileceği göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle karar vericiler tarafından araç tahsis planlaması yapılırken ceza maliyeti kullanımından kaçınılabilmektedir. Bunun yanı sıra, teslimat süresi kararlarının tedarikçiye bırakılması; operasyonlarını aksatabileceği veya karar verme süreçlerini karmaşıklatabileceği için gevşek zaman penceresi yaklaşımı müşteriler için de tercih sebebi olmayabilir. Bu durumda, gevşek zaman penceresi kullanılması durumunda araç tahsis planlamasının etkin şekilde yapılması gerekmektedir.

Sosyal boyutun değerlendirilmesi için oluşturulan ikinci senaryoda ise zaman penceresi uygulamasına teşvik etmek amacıyla çeşitli fiyat indirimleri sunulmasının etkileri incelenmiştir. Bu senaryoda, her iki tarafın da (şirket ve müşteriler) karşılanmayan taleplerin sayısının azaltılmasından yararlanabileceği farklı bir çözüm yöntemine odaklanılmıştır. Bu noktada müşterilerin, herhangi bir teşvik olmadan zaman pencerelerinin gevşetilmesini kabul etmekte isteksiz olacakları değerlendirilerek araç tahsis planlaması yapan şirket tarafından, zaman penceresinin gevşemesi durumunda indirimli fiyat uygulayarak bu durumda da müşterileri memnun etmeye çalıştıkları varsayılmıştır.

İndirimli fiyat uygulamasının etkilerini incelemek amacıyla önerilen model, her bir α değeri için belirlenen farklı iskonto oranı parametresi eklenerek yeniden çalıştırılmıştır. Bu noktada, belirlenen zaman penceresi dışında teslimat kabul eden müşterilere hizmet bedeli üzerinden indirim uygulandığı varsayılmaktadır. Uygulanacak indirim oranları %5, %15 ve %25 olarak belirlenmiş ve normal fiyatlar ile %5, %15 ve %25'lik indirim oranlarının analiz edildiği senaryoların sonuçları analiz edilmiştir.



Şekil 9. $\alpha = 0, 1, 2, 3$ Değerleri İçin Karşılanaan Talep Miktarı



Şekil 10. Farklı Zaman Penceresi Değerlerinde α Çeşitli İskonto Oranlarının Uygulanması ile Amaç Fonksiyonu Değeri Değişimi

Müşterilerin gevşetilmiş zaman penceresi tercih etmemesi durumunda ve herhangi bir indirim olmadığında temel veri seti ile problem çözüldüğünde maksimum kâr 461.192 TL, karşılanmayan toplam talep sayısı ise 2.000 olarak hesaplanmış ve sonuçlar bir önceki bölümde aktarılmıştır. Bu bölümde bu performansın, zaman aralıklarının gevşetilmesi ve fiyatlar iskonto uygulanmasıyla hem müşteri hem de şirket için iyileştirilebilir olduğu görülmektedir.

Müşterilerin araç tahsisini son teslim tarihinden bir gün önce kabul etmesi durumunda, %5 hatta %15'lik bir indirim, şirketin daha yüksek kâr (sırasıyla 527.508 ₺ ve 467.570 ₺) elde ettiği ve sonuçta daha az sayıda karşılanmayan talep (sırasıyla 1.968 ve 1.969 birim) olduğu görülmektedir (Şekil 9). Bu durum aynı zamanda daha fazla sayıda karşılanan talep anlamına da gelmektedir. Karşılanan talep sayısı ise %5 ve %15'lik indirim için sırasıyla 217 ve 216 birimdir. Sürenin üç güne uzatılması durumunda, her üç indirim seviyesi teklifi için de şirketin erken araç tahsisine izin verilmeyen durumdan daha yüksek kâr elde ettiği gözlenmiştir. Bu durumda ise kâr miktarı %5, %15 ve %25'lik indirim

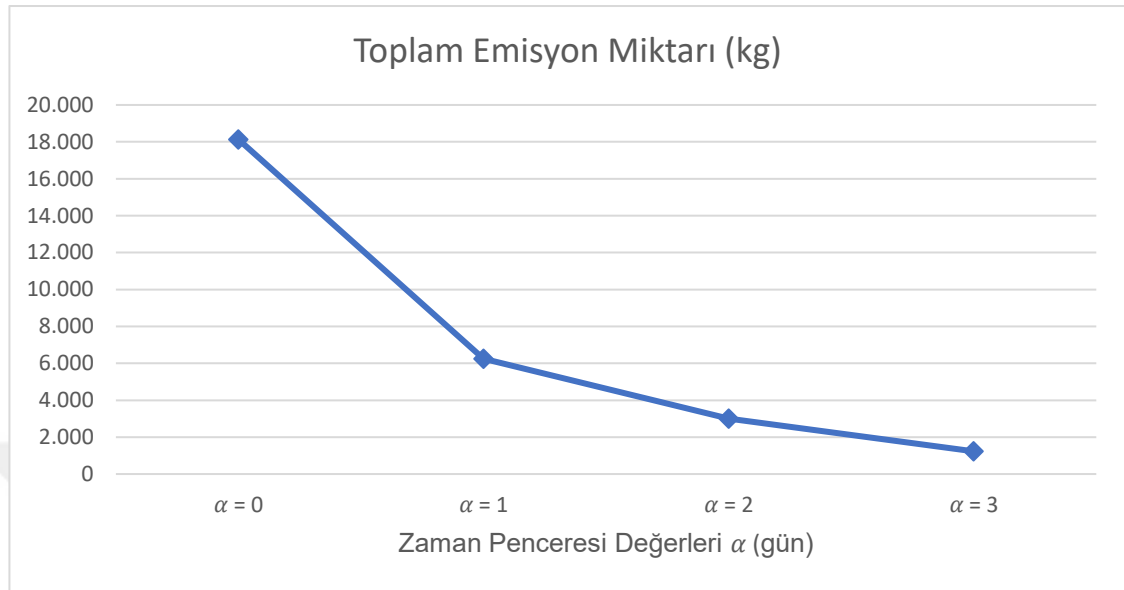
için sırasıyla ₺662.056, ₺590.725 ve ₺519.394 olmuştur. Aynı zamanda, toplam talebin daha fazlası karşılanmış ve reddedilen talepte azalma olmuştur. Tüm indirim düzeylerinde 285 adet talep karşılanırken, 1.900 adet talep karşılanamamıştır.

Elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde özetle, herhangi bir teşvik olmaksızın zaman pencerelerini gevşetme konusunda isteksiz müşterilere hizmet veren nakliye şirketlerine bir iş birliği politikası önerilerek sosyal açıdan sürdürülebilirlik sağlanabilir. Bunun yanı sıra, artan kâr ve taleplerin karşılanması yoluyla araç tahsis planlarının ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik performanslarını iyileştiren fiyat indirimleri ile bir kazan-kazan senaryosuna ulaşılabileceğini göstermektedir.

4.3.3. Sürdürülebilirliğin Çevresel Boyutu

Araç tahsis problemlerinde müşteriler belirli yaylar (belirli bir i şehirden j şehrine doğru) arasında doğrudan sevkiyat talep edebilmektedir ve bu durumda tahsis planı açısından çok kârlı olmasa bile, daha fazla sayıda araç dolu olarak seyahat etmek zorunda olmaktadır. Bu tür talepleri karşılamak amacıyla hareket eden bu araçların neden olduğu emisyonlar yalnızca farklı araç türleri ya da farklı teknolojiler kullanılarak ya da tamamen taleplerin ortadan kalkmasıyla azaltılabilecektir. Literatürde çevresel sürdürülebilirlik konusunda gerçekleştirilen araştırmaların çoğunun yayılan CO₂ emisyonlarına odaklandığı bilinmektedir. Bahsi geçen bu durumlar bu tez çalışması kapsamı dışında tutulmuştur. Bu tez çalışması kapsamında ele alınan problemde boş olarak seyahat eden araç sayısı azaltılmasıyla sürdürülebilirliğin çevresel boyutuna katkı sağlanması amaçlanmıştır. Boş yolculuk sayısının azaltılması, salınan “önlenebilir” karbon emisyonu miktarını da azaltacaktır. Bu amaçla, önerilen modelin temel veri seti farklı alfalarla çalıştırılmış ve sonuçta bulunan boş araç sayılarının emisyon katsayıları ile çarpılmasıyla elde edilen emisyon miktarlarındaki değişim gözlemlenmiştir. Böylece, sıkı ve gevşek zaman penceresinin, boş araç yolculuklarından kaynaklanan önlenebilir karbon

emisyonu miktarı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Şekil 11’de ilgili bulgular özetlemektedir.



Şekil 11. Farklı Zaman Penceresi Uygulaması ile Değişen Emisyon Seviyeleri

Zaman penceresi $\alpha = 0, 1, 2, 3$ değerleri için temel veri seti ile problem çözüldüğünde boş seyahat eden araç sayısının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Bu durumda araçların hareketleri sonucu oluşan CO₂ seviyeleri de zaman pencerelerinin gevşetilmesiyle azalmıştır (Şekil 11). $\alpha = 3$ olduğunda boş araçların hareketlerinden kaynaklanan önlenebilir emisyon miktarı, sıkı zaman penceresi durumuna ($\alpha = 0$) kıyasla %93 oranında azalmıştır. Bu sonuçlar, zaman pencerelerini gevşetmeye yatırım yapmanın ekonomik ve sosyal fayda sağlamanın yanı sıra, aynı zamanda lojistik sistemin çevresel performansına da katkıda bulunma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

5. BÖLÜM

YÖNETİMSEL ÇIKARIMLAR

Araç tahsis problemlerinde zaman penceresi kullanımıyla teslimatların izin verilen zaman aralıklarında gerçekleştirilmelerine imkân sağlanmaktadır. Bu bölümde, tez çalışması kapsamında sayısal veriler ile yapılan analizler doğrultusunda araç tahsis problemlerinde zaman penceresi kullanımı ile ilgili elde edilebilecek yönetimsel çıkarımlardan bahsedilecektir.

Araç tahsis problemleri, özellikle uzun yol tam yük taşımacılığında sıklıkla karşılaşılan bir problem türüdür. Mesafelerin uzaması, daha büyük lojistik maliyet ve gelirlerinin yönetilmesi gerekliliğini beraberinde getirmektedir. Bu durumda yapılan hataların bedelinin yüksek olacağı gibi yapılacak küçük iyileştirmelerin de yüzdesel olarak etkileri yüksek olabilecektir. Bu anlamda, büyük ölçekli ekonomik karşılıkları olan faaliyetlerin planlanması ve uygulanması süreçlerinde, bu çalışmada zaman penceresi ile ifade edilen, yükün belirli bir tarih yerine bir tarih aralığında taşınabilmesi esnekliği lojistik firmalarına önemli getiriler kazandırmaya adaydır.

Bu getiriler arasında ilk sayılabilecek olan ve bu çalışmada da analizlerle ortaya koyulan faydalar, daha etkili planlama yapabilme yetisinin kazanılmasıyla ilişkilidir. Geniş zaman penceresi ile kazanılan taşıma tarihi esnekliği, lojistik firmalarının araçlarıyla yükleri daha etkili biçimde eşleştirmesine olanak sağlamaktadır. Sayısal Analizler bölümünde araç tahsis problemlerinde zaman penceresi kullanımının boş bekleyen araç sayısını azalttığı ve talep karşılama oranlarını arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu da ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik performansının artması anlamına gelmektedir. Zira yüksüz araç taşıma maliyetlerinin düşmesi ve daha fazla talebin karşılanması firmaya ekonomik anlamda katkı sağlayacak, boş araçların gereksiz seyahatlerinin azaltılması çevreye daha az emisyon salınımı yapılmasını sağlayacak, daha fazla talebin karşılanması da daha fazla müşterinin ihtiyaçlarının karşılanması demek olduğundan toplumsal bir fayda elde edilmiş olacaktır.

Geniş zaman penceresi ile kazanılan taşıma tarihi esnekliğinin, çalışmanın önceki bölümlerde analiz edilmeyen bir diğer faydası da uygulama aşamasında

ortaya çıkabilecek beklenmedik gelişmelere karşı operasyonel tepkilerin verilebilmesi yetisidir. Problemin uzun yol tam yük taşımacılığında sıklıkla karşılaşılan bir problem olması yine bu noktada da önemi arttırmaktadır. Seyahat sürelerinin uzaması, bu uzun süre zarfında ortaya çıkabilecek daha fazla değişikliği de beraberinde getirmektedir. Taleplerde ya da kaynaklarda yaşanabilecek dalgalanmalar, yol kapanmaları, olumsuz hava koşulları ya da araç arızaları gibi aksaklıklar karşısında talebi karşılamak için daha geniş bir zaman aralığına sahip olmak, firmalara müşterilerini kaybetmeden planlarını değiştirme esnekliği kazandırabilir. Bu bağlamda çalışmada önerilen şekilde geniş zaman penceresi yatırımının yapılması (müşterilerle buna yönelik anlaşmalar yapılması) orta ve uzun vadede lojistik firmasının çalışma verimliliğini yükseltecektir.

Dolayısıyla bu kazanımlar ışığında firmalara geniş zaman pencerelerine yatırım yapılması ve müşterilerle buna ilişkin indirimler içeren dikey iş birliği anlaşmaları yapılmasının önerilmesi bu çalışmanın başlıca yönetsel sonucudur. Sayısal Analizler bölümünde elde edilen ekonomik değerler probleme özgü olmakla birlikte, bu yatırımların her iki taraf için de olumlu sonuç doğurabileceğini ortaya koymaktadır.

Ancak bu çalışmada önerilen indirim stratejisi, dikey iş birliğinin tek opsiyonu değildir. Farklı taşıma tarihleri sebebiyle karşılaşılabilecek olumsuz durumların etkisinin azaltılması ve/veya lojistik firmasının planlamasındaki anlık değişikliklerin takip edilebilmesi için etkilenen müşterilerle proaktif iletişimde bulunabilmek adına araç konumlarının izlenmesi ve güncellenmiş varış saatlerinin müşterilerle anlık olarak paylaşılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Bu durumda aynı zamanda yaşanabilecek herhangi olumsuz bir durumda müşterinin bilgilendirilmesiyle müşteri memnuniyetinin de sağlanacağı öngörülmektedir.

Bunun yanı sıra, teslimat önceliklerinin göz önünde bulundurulması da yine müşteri memnuniyetini olumlu şekilde etkileyebilir. Tüm taşıma anlaşmalarının geniş zaman penceresiyle yapılması hedefinin, pratikte müşteri kaybıyla sonuçlanması oldukça olasıdır. Bu sebeple indirim ve benzeri teşviklerle müşterilerin geniş zaman pencerelerini kabul etmesi ideal olsa bile, bu kabulü

tolere edemeyecek müşterilerin de planlamada yer alması müşteri portföyünün daralmasının önüne geçecektir.

Son olarak, firmalara, gelişen literatürle paralel olarak, farklı iş birlikleri ile operasyonlarını daha sürdürülebilir hale getirmeye devam etmeleri önerilebilir. Dikey iş birliğine ek olarak yatay iş birliği olanaklarının da kovalanması buna bir örnek olarak gösterilebilir. Taşımacılık sektöründe yatay iş birliği; taşıma, depolama ve dağıtım faaliyetlerini optimize etmek için şirketler arasındaki iş birliği ve koordinasyonu ifade etmektedir. Taşımacılık sektöründe faaliyet gösteren birden fazla şirketin boş bekleyen araç sayısı ve taşımacılık maliyetlerini en aza indirmek için kamyon veya konteyner vb. ulaşım kaynaklarını paylaşarak taşıma faaliyetlerinde iş birliği yapmasının verimlilik artışı ve müşteri memnuniyeti sağlayıp sağlamayacağı konusu araştırılmalıdır.

Bu bölümde, karar verici tarafından teslimat programlarının optimize edilmesi, operasyonel verimlilik ve müşteri memnuniyetinin artırılması için çıkarımlarda bulunulmuştur. Yöneticiler tarafından müşteri tercihleri, rota özellikleri ve kaynak kullanılabilirliği gibi faktörlerin göz önünde bulundurularak araçların etkili bir şekilde tahsis edilmesi ve operasyon yönetimi için bilinçli kararlar alınmasının sağlanabileceği değerlendirilmiştir.

SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında, bir araç tahsis problemi esnek olmayan zaman penceresi varsayımı altında modellenmiş ve analiz edilmiştir. Literatürde incelenen zaman penceresi kısıtlarıyla yapılan araç tahsis problemi çalışmalarından farklı olarak bu çalışmada, farklı zaman penceresi durumlarının lojistik sistemde sürdürülebilirliğin ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlara potansiyel etkileri incelenmiştir. Bilindiği kadarıyla bu çalışma, araç tahsis problemleri alanında zaman penceresi seçimlerinin sürdürülebilirliğin ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları üzerindeki etkilerini analiz etmeye yönelik ilk girişimdir.

Tez çalışması kapsamında öncelikle bir temel veri seti oluşturulmuş ve önerilen model bu veri seti ile çözülmüştür. Sonrasında ise önerilen modelin katma değeri çeşitli sayısal örneklerle sunulmuştur.

Sonuçlar değerlendirilecek olursa temel problem üzerinde yapılan analizler sonucunda, müşterilerin daha gevşek termin tarihi ile yapılan sevkiyatlara gönüllü olması durumunda; lojistik operasyonlarında yer alan araç tahsis planlamasında dolu olarak seyahat eden araç sayısının %54 arttığını, boş olarak seyahat eden araç sayısının %72 oranında azaldığını göstermektedir. Bunun yanı sıra, karşılanmayan talep miktarının ise %5 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, kârın %51 oranında, karşılanan talep miktarının ise %54 oranında arttığı görülmüştür. Ayrıca zaman penceresi uzunluğu genişletildiğinde ($\alpha = 0$ 'dan $\alpha = 3$ 'e), kârda %51, dolu olarak seyahat eden araç sayısında ise %54 artış olduğunu ve buna bağlı olarak ekonomik sürdürülebilirlik performansının önemli ölçüde iyileştirildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca termin tarihinden önce sevkiyat tercih etmeyen müşterileri teşvik etmek amacıyla zaman pencerelerinin gevşetilmesi için ücret indirim yapılması durumunda tahsis planında iyileştirmeler olacağı gözlemlenmiştir. Örneğin; müşterilere %25 oranında indirim uygulanması durumunda, karşılanan talep miktarının %61 ve lojistik firmasının kârının ise %58 oranında artacağı tespit

edilmiştir. Böylece, zaman penceresinin gevşetilmesinin sosyal sürdürülebilirlik performansına katkıda bulunacağı görülmüştür. Ayrıca zaman pencerelerinin gevşetilmesinin, boş araç hareketlerinden kaynaklanan CO₂ emisyon düzeylerini %93 oranında azaltarak çevresel sürdürülebilirlik performansına olumlu etki sağladığı görülmüştür.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular, gevşetilen zaman pencerelerinin, yük taşımacılığı şirketlerinin araç tahsis kararlarının ekonomik ve çevresel performanslarını artırma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, gevşetilen zaman pencerelerinin hem lojistik firmasının karını artırarak performansını iyileştirmekte olduğu hem de müşteri memnuniyeti açısından daha iyi sonuçlar sağlama eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda fiyat indirimleri yoluyla hem nakliye firmasına hem de müşterilere hitap eden, dolayısıyla amaçlanan lojistik ağının ekonomik ve sosyal performansını artıran bir ortaklık politikası sunulmuştur. Ayrıca tez çalışması kapsamında önerilen modelin yanı sıra sağlanan veriler ve elde edilen bulguların, çeşitli planlama uygulamalarında nakliye işletmelerinin yönetsel karar alma süreçlerinde kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Son olarak, bu tez çalışması kapsamında zaman penceresi kullanımının talebin karşılanma oranını artıracak sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumda sektörel açıdan değerlendirildiğinde ihtiyaç duyulan araç sayısında da artış olacağı öngörülmektedir. Talepteki bu artışı karşılamak adına taşımacılık faaliyetinde bulunan işletmeler arasında sağlanacak bir yatay iş birliğinin sektörün toplam müşteri memnuniyetini artırıp artırmayacağı ve genel olarak taşımacılık sektörüne de katkı sağlayıp sağlamayacağı konuları araştırılmaya değerdir.

Gelecek çalışmalarda, bu tez çalışmasında deterministik olarak ele alınan talep ve seyahat süresi verisinin stokastik olarak ele alınabileceği ve bu parametrelerdeki belirsizliği konu alan çalışma yapılabileceği değerlendirilmektedir. Böylece, gerçek hayatta karşılaşılabilecek yol kapanması, olumsuz hava koşulları vb. durumlar da göz önünde bulundurulmuş olacaktır. Gelecekteki bir başka araştırma konu önerisi ise, fiyat indirimlerinin miktarlarının müşteri bazında optimize edilmesi olabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca yakıt

tüketimi için bir tahmin yöntemi kullanılarak (yüke bağlı enerji hesaplaması gibi) hesaplanması ve modele entegre edilmesinin önerilen modelin değerini artıracığı değerlendirilmektedir.



KAYNAKÇA

- Alkusal, M. (2006). *Dondurulmuş gıda sektöründe bütünleşik lojistik ilişkilerin lojistik hizmet kalitesine ve performansına etkisi* (Doctoral dissertation, DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü).
- Ashenbaum, B., Maltz, A., & Rabinovich, E. (2005). Studies of trends in third-party logistics usage: what can we conclude?. *transportation Journal*, 39-50.
- Ballou, R. H. (1995). Logistics network design: modeling and informational considerations. *The International Journal of Logistics Management*, 6(2), 39-54.
- Beaujon, G. J., & Turnquist, M. A. (1991). A model for fleet sizing and vehicle allocation. *Transportation Science*, 25(1), 19-45.
- Bleeke, J., & Ernst, D. (2002). Is your strategic alliance really a sale. *Strategy: critical perspectives on business and management*, 4(4).
- Caputo, M., & Mininno, V. (1996). Internal, vertical and horizontal logistics integration in Italian grocery distribution. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 26(9), 64-90.
- Chopra, S., Meindl, P., & Kalra, D. V. (2013). *Supply chain management: strategy, planning, and operation* (Vol. 232). Boston, MA: Pearson.
- Cohen, S., Roussel, J., Strategic Supply Chain Management: The Five Disciplines for Top Performance, McGraw-Hill, Boston, MA, pp:139-167, 2005.
- Crainic, T.G. and Laporte, G. (1997). *Planning Models for Freight Transportation*. *European Journal of Operational Research*, 97(3):409—438.
- Crainic, T. G. (1998). *A survey of optimization models for long-haul freight transportation*. Centre for Research on Transportation= Centre de recherche sur les transports (CRT).

- Cruijssen, F., Bräysy, O., Dullaert, W., Fleuren, H., & Salomon, M. (2007). Joint route planning under varying market conditions. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(4), 287-304.
- Defra, (2007). Guidelines to Defra's GHG conversion factors for company reporting – Annexes updated June 2007. Technical Report, Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- Eker, Ö. (2006). Lojistik yönetimi ve tedarik lojistiği sürecinde performansın artırılması (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Fan, W., Machemehl, R. B., & Lownes, N. E. (2008). Carsharing: Dynamic decision-making problem for vehicle allocation. *Transportation Research Record*, 2063(1), 97-104.
- Fan, W. (2013). Management of dynamic vehicle allocation for carsharing systems: Stochastic programming approach. *Transportation Research Record*, 2359(1), 51-58.
- Frantzeskakis, L. F., & Powell, W. B. (1990). A successive linear approximation procedure for stochastic, dynamic vehicle allocation problems. *Transportation Science*, 24(1), 40-57.
- Gansterer, M., Hartl, R. F., & Vetschera, R. (2019). The cost of incentive compatibility in auction-based mechanisms for carrier collaboration. *Networks*, 73(4), 490-514.
- Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2004). *Introduction to logistics systems planning and control*. John Wiley & Sons.
- Godfrey, G. A., & Powell, W. B. (2002a). An adaptive dynamic programming algorithm for dynamic fleet management, I: Single period travel times. *Transportation Science*, 36(1), 21-39.
- Godfrey, G. A., & Powell, W. B. (2002b). An adaptive dynamic programming algorithm for dynamic fleet management, II: Multiperiod travel times. *Transportation Science*, 36(1), 40-54.

- Goodland, R. (2002). Sustainability: human, social, economic and environmental. *Encyclopedia of global environmental change*, 5, 481-491.
- Haghani, A., & Jung, S. (2005). A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times. *Computers & operations research*, 32(11), 2959-2986.
- Holmberg, K., Joborn, M., & Lundgren, J. T. (1970). A model for allocation of empty freight cars with capacity restrictions and fixed costs. *WIT Transactions on The Built Environment*, 6.
- Ichoua, S., Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2006). Exploiting knowledge about future demands for real-time vehicle dispatching. *Transportation Science*, 40(2), 211-225.
- Ichoua, S., Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2003). Vehicle dispatching with time-dependent travel times. *European journal of operational research*, 144(2), 379-396.
- 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.
- Kenyon, A. S., & Morton, D. P. (2003). Stochastic vehicle routing with random travel times. *Transportation Science*, 37(1), 69-82.
- Kobu, B. (1996). *Üretim yönetimi*. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi.
- Krajewska, M. A., & Kopfer, H. (2006). Collaborating freight forwarding enterprises. *OR spectrum*, 28(3), 301-317.
- Kurtuluş, S. (2007). Lojistik Sektöründe Dış Kaynak Kullanımı Ve Lojistik Hizmet Sağlayıcıların Konuya Bakışı İle İlgili Bir Araştırma. *İstanbul, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Lee, Y. H., Kim, J. I., Kang, K. H., & Kim, K. H. (2008). A heuristic for vehicle fleet mix problem using tabu search and set partitioning. *Journal of the Operational Research Society*, 59(6), 833-841.

- Li, J., Rong, G., & Feng, Y. (2015). Request selection and exchange approach for carrier collaboration based on auction of a single request. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 84, 23-39.
- Maltz, A. B., & Ellram, L. M. (1997). Total cost of relationship: an analytical framework for the logistics outsourcing decision. *Journal of Business Logistics*, 18(1), 45.
- “Man”, son erişim 20 Mart, 2024, <http://www.man.com.tr>.
- 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.
- Ongarj, L., & Ongkunaruk, P. (2013). An integer programming for a bin packing problem with time windows: A case study of a Thai seasoning company. In *2013 10th International Conference on Service Systems and Service Management* (pp. 826-830). IEEE.
- Philip, C. E., & Sussman, J. M. (1977). Inventory model of the railroad empty-car distribution process. *Transportation Research Record*, (656).
- Polat, S. (2007). Lojistik Şirketlerde Muhasebe Organizasyonu ve Lojistik Maliyetler, Uygulamalar. *İstanbul: Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- 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.
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2014). *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain*. Kogan Page Publishers.
- 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.

- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., & van der Vorst, J. G. (2018). Modeling a green inventory routing problem for perishable products with horizontal collaboration. *Computers & Operations Research*, 89, 168-182.
- 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.
- Yavuz, M.(2006). *Fiziksel dağıtım işlemlerinde lojistik tasarım ve optimizasyon* (Doctoral dissertation, DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü)
- Wang, X., & Regan, A. C. (2002). Local truckload pickup and delivery with hard time window constraints. *Transportation Research Part B: Methodological*, 36(2), 97-112.
- White, W. W., & Bomberault, A. M. (1969). A network algorithm for empty freight car allocation. *IBM Systems Journal*, 8(2), 147-169.

EK 1. ORJİNALLİK RAPORU

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-YL-15
		Yayın Tarihi Date of Pub.	04.12.2023
	FRM-YL-15 Yüksek Lisans Tezi Orijinallik Raporu <i>Master's Thesis Dissertation Originality Report</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev.Date	25.01.2024

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA

Tarih: 10/07/2024

Tez Başlığı: Zaman Penceresi Gevşekliğinin Araç Atama Problemlerinde Sürdürülebilirlik Performansı Üzerinde Etkileri

Yukarıda başlığı verilen tezin a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 88 sayfalık kısmına ilişkin, 10/07/2024 tarihinde ~~çalışmam~~ tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 10 'dur.

Uygulanan filtrelemeler*:

- ☒ Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç
- ☒ Kaynakça hariç
- ☐ Alıntılar hariç
- ☒ Alıntılar dâhil
- ☒ 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 tezin herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Aslıhan AYDIN ÇELİK

Öğrenci Bilgileri	Ad-Soyad	Aslıhan AYDIN ÇELİK
	Öğrenci No	N21227452
	Enstitü Anabilim Dalı	İşletme
	Programı	Üretim ve İşlemler Yönetimi Programı

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.
Doç. Dr. Mustafa ÇİMEN

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-YL-15
		Yayın Tarihi Date of Pub.	04.12.2023
	FRM-YL-15 Yüksek Lisans Tezi Orijinallik Raporu <i>Master's Thesis Dissertation Originality Report</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev.Date	25.01.2024

TO HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION

Date: 10/07/2024

Thesis Title (In English): The Effects of Time Window Slackness on the Sustainability Performance in Vehicle Allocation Problems

According to the originality report obtained by myself/my thesis advisor by using the Turnitin plagiarism detection software and by applying the filtering options checked below on 10/07/2024 for the total of 88 pages including the a) Title Page, b) Introduction, c) Main Chapters, and d) Conclusion sections of my thesis entitled above, the similarity index of my thesis is 10 %.

Filtering options applied**:

1. ☒ Approval and Declaration sections excluded
2. ☒ References cited excluded
3. ☐ Quotes excluded
4. ☒ Quotes included
5. ☒ Match size up to 5 words excluded

I hereby declare that I have carefully read Hacettepe University Graduate School of Social Sciences Guidelines for Obtaining and Using Thesis Originality Reports that according to the maximum similarity index values specified in the Guidelines, my thesis does not include any form of plagiarism; that in any future detection of possible infringement of the regulations I accept all legal responsibility; and that all the information I have provided is correct to the best of my knowledge.

Kindly submitted for the necessary actions.

Aslıhan AYDIN ÇELİK

Student Information	Name-Surname	Aslıhan AYDIN ÇELİK
	Student Number	N21227452
	Department	Business Administration
	Programme	Production and Operations Management

SUPERVISOR'S APPROVAL

APPROVED
Assoc. Prof. Mustafa ÇİMEN

EK 2. ETİK KURUL MUAFİYET FORMU

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-YL-09
		Yayın Tarihi Date of Pub.	22.11.2023
	FRM-YL-09 Yüksek Lisans Tezi Etik Kurul Muafiyeti Formu <i>Ethics Board Form for Master's Thesis</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev. Date	25.01.2024

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA

Tarih: 11/06/2024

Tez Başlığı (Türkçe): Zaman Penceresi Gevşekliğinin Araç Atama Problemlerinde Sürdürülebilirlik Performansı Üzerinde Etkileri

Yukarıda başlığı verilen 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 veya ruh sağlığına müdahale içermemektedir.
4. Anket, ölçek (test), mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme gibi teknikler kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülen araştırma niteliğinde değildir.
5. Diğer kişi ve kurumlardan temin edilen veri kullanımını (kitap, belge vs.) gerektirmektedir. Ancak bu kullanım, diğer kişi ve kurumların izin verdiği ölçüde Kişisel Bilgilerin Korunması Kanuna riayet edilerek gerçekleştirilecektir.

Hacettepe Üniversitesi Etik Kurullarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kuruldan 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.

Aslıhan AYDIN ÇELİK

Öğrenci Bilgileri	Ad-Soyad	Aslıhan AYDIN ÇELİK
	Öğrenci No	N21227452
	Enstitü Anabilim Dalı	İşletme
	Programı	Üretim ve İşlemler Yönetimi Programı

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.
Doç. Dr. Mustafa ÇİMEN

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-YL-09
		Yayın Tarihi Date of Pub.	22.11.2023
	FRM-YL-09 Yüksek Lisans Tezi Etik Kurul Muafiyeti Formu <i>Ethics Board Form for Master's Thesis</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev. Date	25.01.2024

HACETTEPE UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION	
Date: 11/06/2024	
Thesis Title (In English): The Effects of Time Window Slackness on the Sustainability Performance in Vehicle Allocation Problems	
My thesis work with the title given above: - Does not perform experimentation on people or animals. - Does not necessitate the use of biological material (blood, urine, biological fluids and samples, etc.). - Does not involve any interference of the body's integrity. - Is not a research conducted with qualitative or quantitative approaches that require data collection from the participants by using techniques such as survey, scale (test), interview, focus group work, observation, experiment, interview. - Requires the use of data (books, documents, etc.) obtained from other people and institutions. However, this use will be carried out in accordance with the Personal Information Protection Law to the extent permitted by other persons and institutions.	
I hereby declare that I reviewed the Directives of Ethics Boards of Hacettepe University and in regard to these directives it is not necessary to obtain permission from any Ethics Board in order to carry out my thesis study; I accept all legal responsibilities that may arise in any infringement of the directives and that the information I have given above is correct.	
I respectfully submit this for approval.	
Aslıhan AYDIN ÇELİK	

Student Information	Name-Surname	Aslıhan AYDIN ÇELİK
	Student Number	N21227452
	Department	Business Administration
	Programme	Production and Operations Management

SUPERVISOR'S APPROVAL

APPROVED
Assoc. Prof. Mustafa ÇİMEN