

SÜRDÜRÜLEBİLİR YÜK TAŞIMACILIĞI İÇİN BİR KARAR DESTEK MODELİ
ÖNERİSİ

Hande Cansın KAZANÇ

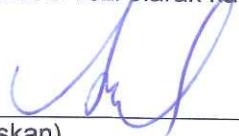
Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı
Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı


Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2019

KABUL VE ONAY

Hande Cansın KAZANÇ tarafından hazırlanan "Sürdürülebilir Yük Taşımacılığı İçin Bir Karar Destek Modeli Önerisi" başlıklı bu çalışma, 11 Haziran 2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Ayşegül Taş (Başkan)


Doç. Dr. Mehmet SOYSAL (Danışman)


Doç. Dr. Mine ÖMÜRGÖNÜLŞEN (Üye)


Doç. Dr. Kazım Barış ATICI (Üye)


Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİMEN (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

[Unvanı, Adı ve Soyadı]
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⁾

03.07.2019

H. Cansin KAZANÇ

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 ay 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. Mehmet SOYSAL** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.



Hande Cansın KAZANÇ

Seval'e, Osman'a ve Serkuş'a

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince, çalışmamın hazırlanmasında ve oluşmasında benden akademik bilgi ve tecrübelerini hiçbir zaman esirgemeyen, sabrıyla bıkmadan tüm soru ve sorunlarımda yanımda olan ve bu süreci başarıyla tamamlamam da benim kadar emeği olan değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Mehmet Soysal'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Fikirleri ile çalışmamın şekillenmesine büyük katkı sunan ve bana her zaman yardımcı olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Çimen'e teşekkür ederim.

Yapmış oldukları katkılardan dolayı değerli hocalarım ve jüri üyelerim Doç. Dr. Ayşegül Taş'a, Doç. Dr. Mine Ömürgönülşen'e ve Doç. Dr. Kazım Barış Atıcı'ya teşekkür ederim.

Çalışanı olduğum Çankaya Üniversitesi İşletme Bölümü'ndeki değerli hocalarıma ve Çankaya Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi'ndeki araştırma görevlisi arkadaşlarıma desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Zorlu geçen çalışma sürecimde bana her zaman destek olarak işimi kolaylaştıran Çankaya Üniversitesi İşletme Bölümü sekreteri Fatoş Şentürk'e teşekkür ederim.

Hacettepe Üniversitesi'nin bana kattığı en güzel şeylerden biri olan sevgili arkadaşım ve değerli meslektaşım Arş. Gör. Seda Büşra Saraç'a beni bir an olsun yalnız bırakmadığı için çok teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan, her zaman arkamda olan ve şu an olduğum her şeyi borçlu olduğum, beni her zaman koşulsuz destekleyen değerli aileme, canım annem Seval Uzgören'e ve canım babam Osman Uzgören'e teşekkür ederim.

Bu sürecin en başından en sonuna kadar kahrımı çeken, benden bir an olsun güler yüzünü esirgemeyen, bana her zaman inanan, beni koşulsuz seven ve her an destekleyen hayattaki en büyük şansım canım eşim Serkan Kazanç'a teşekkür ederim.

ÖZET

KAZANÇ, Hande Cansın. *Sürdürülebilir yük taşımacılığı için bir karar destek modeli önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2019.

Sürekli artış gösteren sera gazı salınımı, doğal kaynakların tükenmesi, küresel ısınma gibi çevresel sorunlar ve artan rekabet sonucunda işletmelerin faaliyetlerini planlarken sürdürülebilirlik konusunu dikkate almaları bir zorunluluk haline gelmektedir. Artan taşımacılık faaliyetleri ile beraber işletmeler açısından yük taşımacılığı planlarının etkin ve verimli bir şekilde oluşturulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, araştırmacılar sürdürülebilir yük taşımacılığı için karar vericilerin kullanabileceği çeşitli karar destek modelleri geliştirilmeye çalışmaktadırlar. Bu çalışmada, sürdürülebilir yük taşımacılığı alanında karşılaşılan araç tahsis problemi için çift amaçlı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Tez çalışması kapsamında oluşturulan matematiksel model kullanılarak üzerinde durulan problem için kar maksimizasyonu ve emisyon minimizasyonu eş anlı olarak yapılabilmektedir. Bununla beraber, modelin filo karmasında farklı araçları dikkate alması ve talep reddine ilişkin ceza maliyeti içermesi de gerçek hayatta oluşabilecek durumlara uygun varsayımlar olarak değerlendirilmekte ve karar vericiler için önem arz etmektedir. Bilinebildiği kadarıyla, söz konusu faktörleri bir arada dikkate alan bir model literatürde bulunmamaktadır. Önerilen modelin uygulanabilirliği ve kullanımı sonucu elde edilebilecek potansiyel faydaları örnek bir olay üzerinde nümerik analizler yapılarak gösterilmektedir.

Nümerik analizlerde, gerçek hayatta karar vericilerin karşılıklarına çıkabilecek durumlar temel alınmıştır. Bu amaç doğrultusunda; her analizde gelir ve maliyet durumları gösterilmiş, bu seviyelerde oluşan toplam kar ve emisyon miktarları ortaya konulmuştur. Çalışma bu yönü ile karar vericiler açısından, analizleri daha anlaşılır ve uygulanabilir kılmakla birlikte; araç tahsis problemlerinde sürdürülebilirlik kavramının öneminin anlaşılması açısından da örnek teşkil etmektedir. Yapılan analizler sonucunda örnek olay olarak adlandırılan ve karşılaştırmalar için temel alınan problem çözümünde, amaç karı maksimize etmek olduğunda toplam kar, emisyon minimizasyonu durumdan yaklaşık olarak 10 kat daha fazla bulunmuştur. Emisyon minimizasyonu durumunda ise, kar maksimizasyonu ile karşılaştırıldığında toplam emisyon yaklaşık 7 kat daha az bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler

Sürdürülebilir lojistik yönetimi, karayolu yük taşımacılığı, araç tahsis problemleri, çift amaçlı doğrusal programlama

ABSTRACT

KAZANÇ, Hande Cansın. *A decision support model proposal for sustainable freight transportation*, Master's Thesis, Ankara, 2019.

Environmental externalities such as constantly increasing greenhouse gas emissions, depletion of natural resources, global warming, and increasing competition forces companies to take sustainability into account while planning their operations. The need for making efficient and productive freight transportation plans becomes more obvious for firms with the growing transportation activities. Therefore, researchers work on developing decision support models that could be used by decision makers for sustainable freight transportation. In this study, a bi-objective linear programming model is proposed for vehicle allocation problem confronted in the field of sustainable freight transportation. Profit maximization and emission minimization could be done simultaneously for the addressed problem by means of the proposed mathematical model. Therewithal, for the model, consideration of various vehicles among the fleet mix and involving a penalty cost related to demand refusal are regarded as suitable assumptions for cases that could arise in real life, and such features of the model are crucial for decision makers. As far as known; there is no such model available in the literature that considers the aforementioned factors simultaneously. The applicability of the proposed model and the potential benefits that could be obtained from its usage are shown by numerical analyses conducted on a case study.

In the numerical analyses, the situations that could be confronted by decision makers in practice are respected. In line with this objective, the revenue and cost information along with the corresponding total profit and total emission quantities are demonstrated in each of the analysis. The study facilitates understanding and applicability of analyses for decision makers by plain presentation, and forms an example in terms of contributing to the understanding of the importance of the sustainability concept in vehicle allocation problems. Numerical analyses on the case study show that total profit observed under profit maximization is ten times higher than the one obtained under emission minimization. Moreover, the total emissions observed under emission minimization is seven times lower than the one obtained under profit maximization.

Key Words

Sustainable logistics management, road freight transportation, vehicle allocation problems, bi-objective linear programming

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI.....	ii
ETİK BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
İÇİNDEKİLER	x
TABLolar DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
GİRİŞ	1
1.BÖLÜM.....	3
SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ.....	3
1.1. TEDARİK ZİNCİRİ	3
1.2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ.....	5
1.3. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	8
1.4. SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ.....	9
2.BÖLÜM.....	12
SÜRDÜRÜLEBİLİR YÜK TAŞIMACILIĞI	12
2.1. YÜK TAŞIMACILIĞI.....	12
2.2. KARAYOLU YÜK TAŞIMACILIĞI	15
2.3. KARAYOLU YÜK TAŞIMACILIĞINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK.....	17
2.4. YÜK TAŞIMACILIĞININ TEDARİK ZİNCİRİNDEKİ ÖNEMİ	19
2.5. ARAÇ TAHSİS PROBLEMLERİ.....	19

2.5.1. İlgili Literatür	20
3.BÖLÜM.....	29
SÜRDÜRÜLEBİLİR ARAÇ TAHSİS PROBLEMLERİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ.....	29
3.1. PROBLEM TANIMI ve MODEL ÖNERİSİ	29
4.BÖLÜM.....	37
NÜMERİK ANALİZLER	37
4.1. KÜÇÜK BİR ÖRNEK ÜZERİNDE MODELİN DOĞRULANMASI.....	38
4.1.1. Küçük Örnekte Kullanılan Veri Setinin Tanıtılması.....	38
4.1.2. Sonuçlar.....	41
4.2.ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ.....	44
4.2.1. Örnek Olayın Veri Setinin Tanıtılması	44
4.2.2. Örnek Olayın Çözümü ve Analizi.....	49
4.3. ÖRNEK OLAY ÜZERİNDE SENARYO ANALİZLERİ.....	53
4.3.1. Toplam Karın Pareto Analizi	53
4.3.2. Toplam Emisyonun Pareto Analizi	55
4.3.3. Farklı Talep Karşılama Düzeylerinde Amaç Fonksiyonlarının Analizi	57
4.3.4. Farklı Gelir Düzeylerinde Amaç Fonksiyonlarının Analizi.....	59
4.3.5. Ceza Maliyeti Varsayımı Altında Amaç Fonksiyonlarının Analizi.....	60
4.3.6. Araç Sayısının Artışı Varsayımı Altında Amaç Fonksiyonlarının Analizi...	61
4.3.7. Modele Emisyon Vergisi Eklenmesi Varsayımı Altında Amaç Fonksiyonlarının Analizi.....	63
4.3.8. Dönemsel Emisyon Analizi.....	65
SONUÇ.....	69
KAYNAKLAR.....	72
EK 1: NOKTALARDAKİ TOPLAM TALEP MİKTARLARI	84
EK 2: BAŞLANGIÇ NOKTALARINDAKİ ARAÇ DAĞILIM DURUMU.....	85

EK 3: TOPLAM KARIN PARETO ANALİZİ TEMEL PERFORMANS KRİTERLERİ TABLOSU	86
EK 4: TOPLAM EMİSYONUN PARETO ANALİZİ TEMEL PERFORMANS KRİTERLERİ TABLOSU	92
EK 5: FARKLI TALEP KARŞILAMA DÜZEYLERİNDEKİ TEMEL PERFORMANS KRİTERLERİ TABLOSU	95
EK 6: FARKLI GELİR DÜZEYLERİNDEKİ TEMEL PERFORMANS KRİTERLERİ TABLOSU	96
EK 7: TEZ KAPSAMININDA ÖNERİLEN MODELİN KODU	97
EK 8: ORJİNALLİK RAPORU.....	100
EK 9: ETİK KURUL MUAFİYET FORMU.....	102

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1	Literatürdeki Nitel ve Nicel Çalışmalar
Tablo 2	Literatürdeki Nicel Çalışmaların İnceleme Tablosu
Tablo 3	Matematiksel Modelde Kullanılan Notasyon
Tablo 4	Küçük Örnek İçin Noktalar Arası Mesafe
Tablo 5	Noktalar Arası Talepler ve Bu Noktalardaki Araç Uygunlukları
Tablo 6	Yakıt Miktarları
Tablo 7	Gelir Miktarları
Tablo 8	Küçük Örnek İçin Temel Performans Kriterleri Tablosu
Tablo 9	Noktalar Arası Mesafe
Tablo 10	Yakıt Miktarları
Tablo 11	Örnek Olay için Performans Kriterleri Açısından Değerlendirme
Tablo 12	Araç Tiplerine Göre Yüklü Hareket Sayıları
Tablo 13	Farklı Talep Karşılama Düzeylerinde Toplam Kar ve Emisyon
Tablo 14	Farklı Gelir Düzeylerinde Toplam Kar ve Emisyon
Tablo 15	Ceza Maliyeti Varsayımı Altında Temel Performans Kriterleri
Tablo 16	Araç Sayısının Artışı Varsayımı Altında Temel Performans Kriterleri
Tablo 17	Emisyon Vergisi Varsayımı Altında Temel Performans Kriterleri
Tablo 18	Dönemsel Emisyonun Temel Performans Kriterleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 1 Tedarik Zincirinin Yapısı (Teigen, 1997)
- Şekil 2 Tedarik Zincirinde Kararlar (Başlıgil & Karahan, 2003)
- Şekil 3 Karın Maksimize Edildiği Durumda Elde Edilen Çözüm
- Şekil 4 Emisyonu Minimize Edildiği Durumda Elde Edilen Çözüm
- Şekil 5 Veri Setinde Kullanılan Noktaların Harita Üzerinde Gösterimi
- Şekil 6 Toplam Kar Durumuna Göre Toplam Emisyon Değişim Grafiği
- Şekil 7 Toplam Emisyon Durumuna Göre Toplam Kar Değişim Grafiği

GİRİŞ

Hızla büyüyen küresel pazarlar ve gelişen uluslararası ticaret, lojistik yönetimi faaliyetlerini işletmeler açısından önemli bir noktaya getirmektedir. İşletmeler rekabet ortamında varlıklarını devam ettirebilmek ve kar elde edebilmek için ürettikleri mal ve/veya hizmetleri en verimli şekilde ilgili pazarlara dağıtmayı hedeflemektedir. Bununla birlikte, her geçen gün artış gösteren sera gazı salınımı, doğal kaynakların tükenmesi, küresel ısınma gibi çevresel sorunlar tüketicileri çevre konusunda daha bilinçli hale getirmiş durumdadır. Bu durum işletmelerin faaliyetlerini planlarken sürdürülebilirlik konusunu dikkate almalarını bir zorunluluk haline getirmiştir.

“Bir şeyin yarına kalabilme ve varlığını devam ettirebilme yeteneği” olarak tanımlanan sürdürülebilirlik (Brundtland, 1987) gelecek nesillere kaynakların aktarılabilmesi için yapılan faaliyetlerin tamamı olarak değerlendirilmektedir. Sürdürülebilirlik konusunun önem kazanması ile birlikte, yeni bir konsept olan sürdürülebilir lojistik yönetimi kavramı ortaya çıkmıştır (Soysal ve Bloemhof, 2018). Sürdürülebilir lojistik yönetimi lojistik faaliyetlerine ilişkin sürdürülebilirliğin üç ayağı olarak nitelendirilen ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları dengelemeyi amaçlamaktadır (Soysal, 2015).

Taşımacılık sektörü, gelişen ve gelişmekte olan ülkeler için artan taşımacılık taleplerinden dolayı önemli ekonomik faaliyetlerden biri olmaktadır. Bu durum, taşımacılık faaliyetleri için gereksinim duyulan enerji miktarının ve dolayısıyla sera gazı salınımlarının artmasına sebep olmaktadır. Taşımacılık faaliyetlerinin büyük bir çoğunluğunun karayolu üzerinden yapıldığı bilinmektedir. Bu nedenle oluşan çevresel sorunlara (enerji miktarının artışı, sera gazı salınımı, hava kirliliği, vb.) karayolu yük taşımacılığının ciddi bir etkisi olduğu söylenebilir. Dolayısıyla işletmeler açısından bakıldığında, yük taşımacılığı planlarının etkin ve verimli bir şekilde oluşturulması gerekliliği ortadadır. Sürdürülebilir lojistik yönetimi kapsamında taşıma planlarının en iyi şekilde yapılması adına araştırmacılar çalışmalarında çeşitli modeller ve politikalar geliştirmektedirler. Bu çalışmalarda taşıma planları yapılırken karlılığın artırılması ve tedarik zinciri sürdürülebilirliğine katkı sağlanması hedeflenmektedir .

Bu tez çalışmasında lojistik sektöründe faaliyet göstermekte olan firmalara bir karar destek modelinin önerilmesi amaçlanmaktadır. Bu model yardımıyla çok dönemli yük taşımacılığı problemi konusunda firmaların karar verme süreçlerine katkı yapılması planlanmaktadır. Bu kapsamda belirli varsayımlar altında sürdürülebilir yük taşımacılığı alanında karşılaşılan bir araç tahsis problemi için çift amaçlı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Önerilen matematiksel model kullanılarak kar maksimizasyonu ve emisyon minimizasyonunun eş anlı olarak sağlanması hedeflenmektedir. Literatürde, ilgili problem için kar maksimizasyonu ve emisyon minimizasyonunu birlikte sağlayan bir çalışma bilinebildiği kadarıyla bulunmamaktadır. Ayrıca, çalışmanın mevcut taleplerin bazılarının ret edilebilmesine imkan tanınması, karşılanamayan talepler için ceza maliyeti öngörmesi ve talep karşılanırken kullanılan araç tiplerindeki farklılıkları dikkate almasının önerilen modelin literatüre katkısını artıracığı düşünülmektedir. Tez kapsamında önerilen modelin uygulanabilirliği ve kullanımı sonucu elde edilebilecek potansiyel faydaları örnek bir olay üzerinde nümerik analizler yapılarak gösterilmektedir.

Bu tez çalışması, giriş ve sonuç bölümleri dahil olmak üzere altı bölümden oluşmaktadır. Giriş olarak adlandırılan bu bölümden sonra birinci bölümde tedarik zinciri yönetiminin temel kavramlarının tanımı yapılacak ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi ile ilgili genel bilgiler verilecektir.

İkinci bölümde, yük taşımacılığının tanımı yapılacak, karayolu yük taşımacılığı ayrıntılı olarak açıklanacak ve üzerinde durulan araç tahsis problemleri ile ilgili literatür tartışılacaktır.

Üçüncü bölümde, tez çalışması kapsamında incelenen araç tahsis probleminin tanımı yapılacak ve söz konusu problem için önerilen matematiksel model sunulacaktır.

Dördüncü bölümde, nümerik analizlerin sonuçları paylaşılacaktır.

Sonuç bölümünde ise, tez çalışması ile ilgili genel değerlendirmeler yapılacaktır.

1.BÖLÜM

SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Bu bölümde tedarik zinciri, tedarik zinciri yönetimi, sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi hakkında genel bilgiler verilecektir.

1.1. TEDARİK ZİNCİRİ

Tedarik zinciri; Tedarikçileri, üreticileri, dağıtıcıları, perakendecileri ve lojistik hizmet sağlayıcılarını kapsayan bir küme olarak tanımlanabilir. Bu kümeyi oluşturan elemanlar arasında malzeme, ürün ve bilgi akışı bulunmaktadır (Kopczak, 1997). Tedarik zinciri; ürünün hammadde tedarikinden başlayarak, belirli üretim süreçlerinden geçmesi, ürüne dönüştürülmesi ve nihai ürünün pazara ulaştırılmasına kadar olan faaliyetlerin tamamı olarak tanımlanabilmektedir (Küçük, 2011). Tedarik zinciri; hammaddenin yeryüzüne çıkarılmasıyla il başlar ve daha sonrasında ürün tekrar kullanıldığında veya atıldığında sona erer şeklinde de tanımlanabilir (Koca,2001). Tedarik zincirinde amaçlar özetle; tedarik zincirinin tamamında üretilen ürünlerin değerlerinin artırılması ve bu değer artışı sağlanırken üretim ve dağıtım maliyetlerinin azaltılması, rekabet avantajı sağlayacak şekilde oluşturulan satın alma planları ve stratejileri, üretim sürecinin ve üretim sürecinin önce ve sonrasında oluşan lojistik süreçlerin düzenlenmesi, gelen talepleri ve talepler için oluşan tedarikleri dengeleyecek planlamaların yapılması ve koordinasyon sağlanması, stokla ilgili maliyetlerin düşürülmesi, müşterilerin memnuniyet seviyelerinin artırılması ve tüm tedarik zinciri boyunca oluşan faaliyetlerin sürekli olarak iyileştirilmesi olarak sıralanabilmektedir.

Genel anlamda müşterilerin isteklerinin, üreticilerin amaçları doğrultusunda karşılanması olarak ifade edilebilen tedarik zincirinde, üretici firmanın ve müşterilerin yanı sıra başka aktörler de bulunmaktadır. Tedarik zincirindeki aktörlerin literatürdeki sınıflandırması genellikle şu şekildedir:

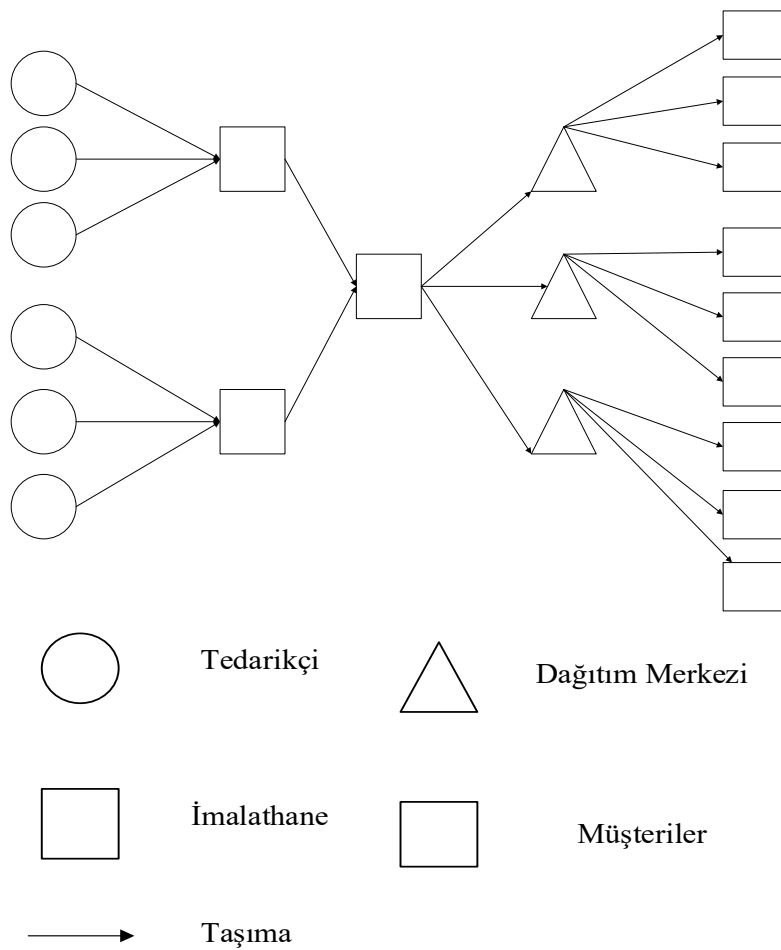
- Tedarikçiler
- Üreticiler
- Perakendeciler

- Dağıtıcılar
- Müşteriler
- Hizmet Sağlayıcılar.

Tedarikçiler ürünler için gerekli olan girdilerin temininden sorumludurlar. Üreticiler, malın imalatından sorumlu olan birimler olarak tanımlanmaktadır. Üreticiler ham madde imalatının yanı sıra direkt olarak nihai ürünün imalatını yapan firmalar da olabilmektedir. Perakendeciler ise, üretici firma tarafından üretilen ürünü satan, küçük miktarlarda depolama yapan birimler olarak nitelendirilmektedir. Dağıtıcılar; üretici firma tarafından üretilen ürünü depolayan veya depolama yapmadan direkt olarak müşteriye akışlarını sağlayan firmalardır. Zincirin son elemanı olan müşteriler ise tedarik zinciri aşamalarını tamamlayan ürünleri satın alan veya kullanan birimlerdir.

Tedarik zincirinde bulunan aktörlerin temel amacı ortak faydayı gözetmektir. Zincirdeki tüm aktörler birbirlerine bağlı olarak hareket ettikleri için oluşacak verimsizlikler sistemsel bütünlüğün sağlanabilmesine engel teşkil eder. Bu nedenle, aktörler bir arada ve uyum içinde çalışmalıdırlar. Genel bir tedarik zincirinin yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir.

Şekil 1. Tedarik Zincirinin Yapısı (Teigen, 1997)



1.2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Tedarik zinciri yönetimi, ürünün hammadde tedarikinden başlayan ve müşteriye ulaşmasına kadar olan sürecin yönetimi olarak tanımlanabilmektedir. Tedarik zinciri yönetimi; tedarik zincirinin aşamalarında rekabet avantajı sağlamak ve bu avantajı sağlarken sürece değer katan bir yönetim felsefesi benimsemek olarak da değerlendirilebilir (Tan vd.,1998).

Handfried ve Nicholas (1999) tedarik zinciri yönetimini, işletmelerin rekabetçi avantaj elde edebilmeleri için tedarik zinciri aşamasındaki faaliyetlerini bütünleştirmesi olarak tanımlamışlardır. Lummus ve Vokurka (1999) tedarik zinciri yönetimini, ürünün hammadde halinden başlayarak müşteriye ulaştırılabilecek son ürün haline gelmesi

aşamasına kadar gerçekleştirilen faaliyetlerin tamamı olarak tanımlamışlardır. Tedarik zinciri yönetimi; ürünün hammadde halinden başlayarak nihai müşteriye ulaştırılmasına kadar hammaddenin kaynağını bulma, üretim, montaj, depolama, envanter, siparişlerin izlenmesi, dağıtım gibi her aşamada birtakım faaliyetlerin kontrol edilmesini sağlayan geniş bir yapı olarak da tanımlanabilir. Bu bilgilerden yola çıkarak tedarik zinciri yönetiminin işletmenin bütün fonksiyonları için bir köprü görevi gördüğünü söylemek mümkündür.

Yapılan bir çalışmada, tedarik zinciri yönetiminin amaçları şu şekilde özetlenmektedir (Özdemir,2004):

- Müşteri tatminini artırmak
- Çevrim zamanını azaltmak
- Stok ve stokla ilgili maliyetlerin azaltılmasını sağlamak
- Ürün hatalarını azaltmak
- Faaliyet maliyetini azaltmak

Bu amaçlar göz önüne alındığında tedarik zinciri aktörlerinin arasında doğru bir ilişki ve bilgi akışı gerekliliği açıkça görülebilmektedir. Literatüre bakıldığında da (Li vd., 2006; Bedük, 2009; Ou vd., 2010 vb) tedarik zinciri yönetimini uygulayan şirketlerin maliyetlerinin önemli ölçüde azaldığını ve müşterilerin memnuniyet düzeylerinin yükseldiğini gözlemlemek mümkündür.

Tedarik zinciri yönetiminin süreçleri literatürdeki bazı kaynaklara göre değişiklik göstermesine rağmen, genel kabul gören yaklaşım Global Tedarik Zinciri Forumu (<https://fisher.osu.edu/centers-partnerships/gscf/research-publications>, 2019) tarafından oluşturulan süreç yaklaşımıdır (Croxtton vd., 2001, s.14). Bu süreçler; müşteri ilişkileri yönetimi, müşteri hizmet yönetimi, talep yönetimi, sipariş izleme, üretim akış yönetimi, satın alma, ürün geliştirme, iade yönetimi olarak tanımlanabilmektedir. İlgili süreçler birbirine bağlı olarak ilerlemektedir. Bir sürece değer katmak tedarik zincirinde yer alan tüm elemanlara değer katmak anlamı taşımaktadır.

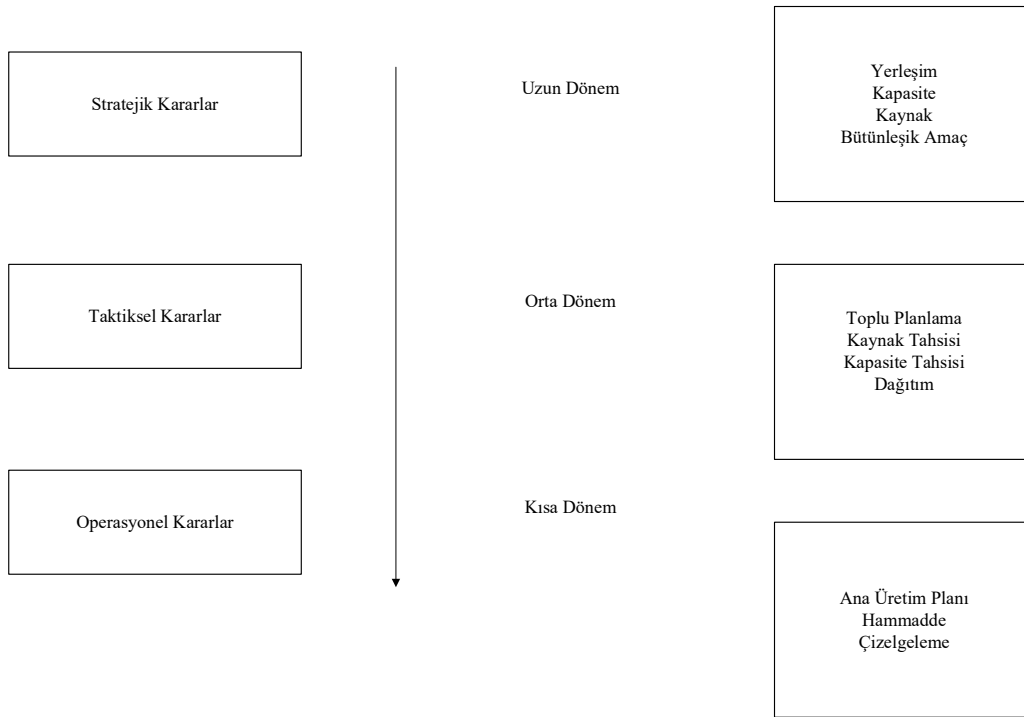
Tedarik zinciri yönetiminde alınan kararlar üç farklı seviyede açıklanabilmektedir. Bu kararlar; stratejik, taktiksel ve operasyonel kararlar olup Şekil 2’de gösterilmektedir.

Stratejik seviye kararlar, tedarik zinciri yönetimdeki uzun dönemli kararlardır. Stratejik seviye kararlarda işletmeler, üretim tesisinin yerleşim yerinin belirlenmesi, tesisinin kapasitesinin belirlenmesi, işletmeye en uygun kaynakların tespit edilmesi gibi önemli fonksiyonlara karar vermeye çalışmaktadırlar.

Taktiksel seviye kararlar, tedarik zinciri yönetimdeki orta dönemli kararlardır. Taktiksel seviye kararlarda işletmeler, stratejik kararlar sonucu oluşan plana sadık kalarak tedarik zinciri için gerekli olan kaynak tahsisi, kapasite tahsisi ve dağıtım gibi faaliyetleri planlamaktadırlar.

Operasyonel seviye kararlar ise, tedarik zinciri yönetimindeki kısa dönemli kararlardır. Operasyonel seviye kararlarda işletmeler, tedarik zincirinde genellikle günlük olarak nitelendirilen kararları vermektedirler. Tedarik zinciri için gerekli olan çizelgelerin oluşturulması ve/veya üretim tesisindeki günlük üretim planının yapılması gibi kararlar operasyonel seviye kararlar olarak tanımlanabilmektedir.

Şekil 2. Tedarik Zincirinde Kararlar (Başlıgil ve Karahan, 2003)



1.3. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sürdürülebilirliğin tanımı açısından yapılan çalışmalarda farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Sürdürülebilirlik, doğal veya beşeri kaynakların tümünün belirli sınırlar içinde kullanılmasını hedefleyen süreçleri ifade etmektedir (Tıraş, 2002). Doğal kaynakların etkin ve verimli kullanımının ötesinde çevreye duyarlı olarak hareket edebilme prensibini, üretimin her aşamasına entegre etme ve bunu tedarik zincirine aktararak devam ettirmek sürdürülebilirlik olarak tanımlanabilmektedir (Çevik ve Gülcan, 2011). Öte yandan; ‘bir şeyin yarına kalabilme ve varlığını devam ettirebilme yeteneği’ olarak da ifade edilebilen sürdürülebilirlik kavramı, son yıllarda her açıdan önem kazanmaya başlayan bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Uluslararası anlamda sürdürülebilirlik kavramına ilk olarak 1987 yılında Birleşmiş Milletler Çevre ve Gelişme Komisyonu tarafından hazırlanan Brundtland Raporu olarak da bilinen, Ortak Geleceğimiz Raporu’nda rastlanmaktadır. Kavram ilk kez bu raporda kullanılmış olmasına rağmen, öncesinde 1972 yılı Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi

konferansı içinde de ele alınmıştır. Raporda sürdürülebilirliğin yanına kalkınma kavramı da eklenerek sürdürülebilir kalkınma kavramı oluşturulmuş ve bu kavram “Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma” olarak tanımlanmıştır. Bu tanım uluslararası anlamda hala benimsenmektedir.

1.4. SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Sürdürülebilirlik tanımlarından yola çıkılarak, sürdürülebilirliğin tedarik zincirinde önemli bir yere sahip olduğu anlaşılabilmektedir. Tedarik zincirinde sürdürülebilirlik kavramı, tedarikçilerden başlayarak tedarik zincirinin son aşaması olan müşterilere kadar oluşan faaliyetlerin tamamını kapsayan geniş bir kavramdır. Tedarik zincirinde yapılan tüm faaliyetlerde sürdürülebilirliğin uygulanabilmesi organizasyonun gelecekteki devamlılığı için pozitif bir etki yapmaktadır ve organizasyonların rekabet avantajı elde etmesine imkan tanımaktadır.

Sürdürülebilirlik, 2005 yılında Birleşmiş Milletler Dünya Zirvesi’nde sosyal boyut, ekonomik boyut ve çevresel boyut şeklinde ele alınmıştır ve bu boyutları birbirinden bağımsız değerlendirmek mümkün değildir. Bu aşamada, sürdürülebilirliğin boyutları açısından hangisinin daha önemli olduğunu belirlemek gerekmektedir. Bunun belirlenebilmesi açısından Stuart L. Hart’ın Çağdaş Sürdürülebilirlik Yaklaşımı’ndan (Hart,1999) yararlanılabilir. Hart’a göre, çevre toplumu, toplum da ekonomiyi kapsamaktadır ve bu üç boyutta birbirini etkilemektedir. Yani öncelikli olarak çevresel sürdürülebilirlik sağlanmalıdır, çevresel sürdürülebilirlik sağlanmadan ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliği gerçekleştirmek mümkün değildir (Özmehmet, 2008).

Ekonomik açıdan sürdürülebilirlik verimlilik, istikrar ve büyüme kapsamında sürdürülebilirliğin ele alınması olarak tanımlanabilmektedir. Sosyal açıdan sürdürülebilirlik ise, sürdürülebilirliğin topluluklar, toplumlar ve kişiler üzerindeki etkisini kapsamakta olup, sürdürülebilirliğin insanların fiziksel ve psikolojik yapısı üzerindeki etkisini incelemektedir. Sürdürülebilirliğin sosyal boyutunda bireylerin toplum için ortak olan doğal kaynaklardan eşit şekilde yararlanması durumu da ön plana çıkmaktadır, çünkü bu durum bireylerin yaşam standartlarını temelden etkilemektedir. Doğal kaynaklarda ortaya çıkan sorunlar ekolojik sistemi bozacağından çevrenin

sürdürülebilirliğini etkiler bu da çevresel sürdürülebilirlik sağlanmadan ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğin sağlanamayacağını göstermektedir (Tıraş, 2002). Çevresel sürdürülebilirlik kavramı, tedarik zincirinin doğal çevreyle olan ilişkileri kapsamaktadır. Hart'ın yaklaşımından yola çıkılarak sürdürülebilirlikte en geniş olarak ele alınan boyutun çevresel sürdürülebilirlik boyutu olduğu görülmektedir. Enerji kullanımı, geri dönüşüm, doğal çevrenin korunması gibi alanlara çevresel sürdürülebilirlik kapsamında odaklanılmaktadır. Doğal çevrenin korunması, sadece üretim yapan firmalar için değil tedarik zincirinin her adımında bulunan aktörler için de önem taşımaktadır. Bunlara ek olarak, çevresel sürdürülebilirlik noktasında yenilebilir kaynakların (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji vb.) kullanımı konusu da devreye girmektedir. Tedarik zincirinde bulunan aktörlerin olabildiğince yenilenebilir kaynakların kullanımı artırması, çevreye zarar veren ve yenilenmesi mümkün olmayan kaynakların (benzin, kömür vb.) kullanımının azaltılması beklenmektedir.

Lojistik faaliyetleri tedarik zincirlerinde öne çıkan faaliyetler olarak nitelendirilmektedir. Lojistik, ekonomik büyümenin sağlanabilmesi ve uluslararası alanda rekabet gücü elde edebilmek için büyük önem taşımaktadır. Lojistik yönetiminin, organizasyonlar açısından başarı sağlaması için belli özellikler taşıması gerekmektedir. Bu özellikler doğru ürünün, doğru fiyatta, doğru depoda, doğru miktarda, doğru müşteriye, doğru zamanda sağlanması şeklinde özetlenebilmektedir (Soysal ve Bloemhof, 2018).

Lojistik yönetiminin sahip olması gereken özellikler dikkate alındığında bu özelliklerinin yanı sıra sürdürülebilir olması kriterinin eklenmesi ile beraber sürdürülebilir lojistik kavramı ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilir lojistik kavramının ortaya çıkışında etkili olan ve lojistik sektörünün geleceğini belirleyen belirli nedenler vardır. Bu nedenler, yaşlanma ve artan nüfus, globalleşme, teknolojik gelişmeler, e-ticarette meydana gelen artışlar, fosil yakıtların hızla tükenmesi, dış kaynak kullanımı, çevresel ve sosyal değişiklikler ve kentleşme şeklinde sıralanabilmektedir. Son zamanlarda yaşanan gelişmelerin ışığında lojistik sektörünün ve buna bağlı olarak da tedarik zincirinin sürdürülebilirliği önem kazanmaktadır. Sürdürülebilir lojistiğin ve buna bağlı olarak sürdürülebilir tedarik zincirinin gerekliliği ve ana motivasyonları şu şekildedir (Soysal ve Bloemhof, 2018):

- Devletin getirdiği zorunluluklar ve yasama değişiklikleri: Yasal kısıtlamaların artırılması ve organizasyonların daha iyi denetlenmesi olarak özetlenebilmektedir. Bu kısıtlamalara çevreyi koruma yasaları ve emisyonların azaltılması için oluşturulan zorunluluklar örnek gösterilebilmektedir. Ülkemizde bu düzenlemeler 2875 sayılı Çevre Kanunu ile yapılmıştır. Bu kanunun amacı, “bütün canlıların ortak varlığı olan çevrenin sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda korunmasını sağlamaktır.” olarak belirlenmiştir.
- Sosyal tutumlar: Paydaşların son dönemlerde artan çevre duyarlılığı sonucunda organizasyonların bu duyarlılıktan etkilenmeleridir. Sürdürülebilirlik anlamında artan farkındalık sonucunda tüketicilerin satın alma tercihlerinin değişmesi ve organizasyonların da sürdürülebilirlik alanına önem vermeleri olarak açıklanabilmektedir.
- Kurumsal bağlılık: Organizasyonların kendileri açılarından sürdürülebilirlik ilkelerini belirleyerek ve benimseyerek buna tam anlamıyla bağlılık göstermeleri olarak tanımlanmaktadır.
- Marka değeri: Müşteri algısını ve davranışlarını etkilemek ve değiştirilebilmek için sosyal sorumluluk sahibi ve sürdürülebilirliğe katkı sağlayan markalar yaratmak isteği olarak tanımlanabilmektedir.
- Rekabet avantajı: Günümüzde piyasalarda yaşanan yoğun rekabet durumunda organizasyonların temel amacı rekabet avantajı sağlamaktır. Maliyetleri düşürmek artık imkansız olduğundan organizasyonlar farklılaşarak piyasada rekabet avantajı elde etmeye çalışmaktadırlar. Bu aşamada organizasyonların sürdürülebilirliğe katkı sağlayan yöntemler uygulaması, çevreye ve topluma destek olmaları rekabet avantajı elde etmelerini sağlamaktadır.

2.BÖLÜM

SÜRDÜRÜLEBİLİR YÜK TAŞIMACILIĞI

Bu bölümde ilk olarak yük taşımacılığının tanımı yapılmaktadır ve daha sonra yük taşımacılığının çeşitleri incelenmektedir. Daha sonra tez çalışmasında kullanılan taşıma tipi olan karayolu yük taşımacılığı açıklanmakta ve sürdürülebilirlik konusunu incelenmektedir. Bölümün devamında araç tahsis problemleri hakkında bilgi verilmektedir ve ilgili literatüre yer verilmektedir.

2.1. YÜK TAŞIMACILIĞI

Yük taşımacılığının tanımı yapılmadan önce ilk olarak yük taşımacılığının organizasyonlardaki rolü üzerinde durulması gerekmektedir. Ürünlerin üretiminin yapılabilmesi ve üretilen bu ürünlerin pazarlara ulaştırılabilmesi için hammaddelerin, yarı mamullerin ve/veya nihai ürünlerin taşınması gerekmektedir. Hammaddeler, yarı mamuller üretim yapılabilmesi için fabrikalar arası taşınır ve/veya belli bölgelerde depolama yapılabilmesi için taşınır. Nihai ürünler perakendeciler, dağıtıcılar yoluyla pazarlardaki müşterilere ulaştırılması amacıyla taşınır. Tüm bu tedarik zincirinde, yük taşımacılığı zincir boyunca kesintisiz bir şekilde akışın sağlanması görevini üstlenmektedir.

Taşımacılık faaliyetleri tüketim alanlarına ihtiyaçların giderilmesi amacıyla üretilen ürünlerin ulaştırılması hizmeti şeklinde tanımlanmaktadır. Temel amaç ürünün üretim ve tüketim noktaları arasında sadece yer değiştirmesi değil, bu yer değiştirme sırasında ürünün en hızlı, en doğru, en güvenli şekilde ve tüm bunların en ekonomik şekilde gerçekleşmesinin sağlanmasıdır (Çancı ve Erdal, 2003).

Günümüzde üretilen ürünlerin maliyetleri arasında işletmeler açısından büyük farklılıklar yoktur. Bu da ürünleri üreten işletmelerin rekabet avantajı elde edebilmeleri için üretim maliyetinden çok tedarik zincirindeki başka alanlarda maliyeti düşürmeleri gerektiği gerçeğini gözler önüne sermiştir. Lojistik faaliyetler, işletmeler açısından rekabet avantajı kazanmak için kullanılacak araçlardan biri olarak görülmektedir. Rekabetin yoğun olarak yaşandığı pazar şartlarında işletmeler, pazar paylarını ve karlarını artırmak adına

düşük maliyetli hammadde ve yarı mamul temini sağlamalı ve ürettikleri ürünleri pazara zamanında ulaştırmalıdır. Diğer bir deyişle, lojistik faaliyetleri yapılırken ortaya konulan kalite, ulusal ve uluslararası pazarlarda rekabet edebilmek adına önemli bir unsur olarak ön plana çıkmaktadır (Erkayman, 2007).

Literatüre bakıldığında, işletmelerde 1960'lı yılların başlarına kadar lojistik faaliyetlerin yalnızca operasyonel seviyede bir fonksiyon olarak düşünüldüğü görülmektedir. Fakat 1960'dan sonra, işletmeler lojistik faaliyetlerin öneminin farkına varmaya başlamışlardır. Lojistik faaliyetlerin öneminin geç anlaşılmasının başlıca sebebi olarak, işletmelerin artık üretim maliyetlerini azaltamayacaklarını ve rekabet avantajı sağlamak için başka alanlara yönelmeleri gerekliliğini görmeleri olarak açıklanmaktadır. Ayrıca, lojistik gibi karmaşık bir alandaki problemlerin çözümü için bahsedilen yıllarda kullanılan bilgisayar programlarının yetersizliği de etkili olmuştur. Çünkü, genellikle lojistik faaliyetlerdeki problemler, sayısal analizlerle ve bilgisayar destekli teknolojiler yardımıyla çözümlenebilmektedir.

Günümüzde küreselleşme ve yük taşımacılığında gerçekleşen teknolojik gelişmeler (gelişmiş araçlar, veri paylaşımını kolaylaştıran entegrasyon sistemleri, vb.) sonrasında ürünlerin üretildiği ve tüketildiği yerler arasındaki mesafe giderek artmış durumdadır. Söz konusu gelişmeler lojistik sistemlerinin iyi bir biçimde yönetilmesinin önemini beraberinde getirmektedir.

Yük taşımacılığı, lojistik ağlarının ve tedarik zincirinin teknolojiyle birlikte değişen yapısına uyum sağlamaktadır. Uluslararası yük taşımacılığı faaliyetlerinin artış göstermiş ve bu taşımacılık faaliyetlerinin yönetiminde bilgisayar tabanlı karar destek araçlarından ve/veya modellerinden faydalanılmaya başlanmıştır. Bilgisayar tabanlı karar destek araçlarının kullanılması, işletmeler açısından birçok fayda sağlamaktadır. Bilgisayar tabanlı sistemler temel olarak çalışanların karar vermelerine yardımcı olmak amacıyla tasarlanmışlardır.

Bilgisayar tabanlı karar destek araçlarının kullanımı, lojistik sistemlerinin performansını değerlendirmede kullanılan temel performans kriterlerinde (Key Performance Indicators) iyileştirmelere imkan sağlamıştır. Örneğin, toplam kat edilen mesafenin, seyahat süresinin, yakıt tüketiminin ve dolaylı olarak yakıt tüketimi sonucunda çevreye salınan

zararlı gazların azaltılmasının mümkün olduğu çalışmalar ilgili literatürde (Wu vd., 2010 ve Tan vd., 2011) görülmektedir.

Yük taşımacılığı sistemleri (ulaştırma türleri) temel olarak beş taşıma tipinden oluşmaktadırlar. Bu taşıma tipleri:

- Karayolu yük taşımacılığı
- Demiryolu yük taşımacılığı
- Havayolu yük taşımacılığı
- Denizyolu yük taşımacılığı
- Boru hattı yük taşımacılığı olarak sıralanmaktadırlar.

Yük taşımacılığı yapan ve/veya yapacak olan işletmeler için ulaştırma türünün doğru seçilmesi önemli bir adım olarak bilinmektedir. İşletmeler, ulaştırma türü seçimi yaparken birbiriyle bağlantılı olan çeşitli faktörleri göz önünde bulundurmaktadırlar. Bunlar; maliyet, kalite, hız, güvenlik, konfor, verimlilik ve esneklik, çevrenin korunması, ilk tesis bakım onarım kolaylığı, kullanılan enerji miktarının minimum olması gibi faktörlerdir (Tokol,1998). Bu tez çalışmasında incelenen problemde kullanılan taşıma tipi karayolu yük taşımacılığı olarak belirlenmiştir.

İşletmeler için ulaştırma türü seçiminde kullanılacak olan faktörlerin önem dereceleri farklılıklar göstermektedir. İşletmeler, taşıyacakları yükün tipine göre, tedarik ağında bulunan yükün taşınacağı fabrika, depo, alıcıların konumlarına göre veya ürünün taşınacağı işletmenin belirlediği taşıma tipine göre faktörleri önem sırasına dizerek ulaşım türünü belirleyebilmektedirler.

Yük taşımacılığı mesafeler açısından bakıldığında ikiye ayrılmaktadır. Bunlar uzun mesafe yük taşımacılığı ve kısa mesafe yük taşımacılığı olarak tanımlanmaktadır. Uzun mesafe yük taşımacılığı genellikle terminaller ve/veya depolar ya da fabrikalar arasındaki mesafeler nispeten uzun mesafeler olduğunda kullanılan yük taşımacılığı çeşidi olarak tanımlanabilmektedir. Uzun mesafe yük taşımacılığında yükler kamyonlarla, trenlerle, gemilerle veya bu üç çeşit taşıma yolunun farklı kombinasyonlarıyla taşınabilmektedirler. Uzun mesafe yük taşımacılığında uygulanan problem tiplerinden bazıları yük atama problemleri (Lin ve Chang, 2018), servis ağı planlama problemleri (Zhao vd., 2018), araç

tahsis problemleri (Buuren vd., 2018) ve yük terminallerinin planlanması problemleri (Mosca vd., 2018) şeklindedir.

Kısa mesafe yük taşımacılığında ise, taşınacak ürünler genellikle kısa mesafelerde kamyonlar yardımıyla ve dağıtım/toplama merkezlerinin arasında taşınmaktadır. Kısa mesafe yük taşımacılığında uygulanan problem tiplerinden bazıları araç rotalama problemleri (Soysal ve Çimen, 2017), gezgin satıcı problemleri (Crowder ve Padberg, 1980), nokta rotalama ve çizelgeleme problemleri (Solomon, 1987) ve yay rotalama problemleri (Armas vd., 2019) şeklindedir.

2.2. KARAYOLU YÜK TAŞIMACILIĞI

Karayolu yük taşımacılığı, ulaşım türleri içinde diğer sektörleri ve yapılan ticari faaliyetleri en çok etkileyen ulaşım türü olarak bilinmektedir. Karayolu yük taşımacılığı sonucunda oluşan bu etki olumlu ve olumsuz yönde olabilmektedir. II.Dünya Savaşı'ndan sonra karayolları ile yapılan taşımacılık hızla gelişim göstermiş ve en çok kullanılan ulaşım türü olmuştur. Bu gelişimin kaçınılmaz bir sonucu olarak da lojistik sektörünün en önemli aşaması haline gelmeyi başarmıştır (Dişkaya, 2018).

Karayolu yük taşımacılığı, belirlenen ücretler karşılığında ve gelen talepler sonucunda yükün bir yerden bir yere karayolu ile taşınmasını sağlayan taşımacı ve gönderici arasında bir sözleşme yapılmasını gerektiren taşıma şekli olarak tanımlanabilmektedir (Çancı ve Erdal, 2003). Diğer bir tanımla, karayolu yük taşımacılığı, tedarik zincirinde oluşan talepler için taşıma faaliyetlerinin karayollarında genellikle tır veya kamyonlar vasıtasıyla gerçekleştirilmesidir.

Karayolu yük taşımacılığı çeşitli avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Karayolu taşımacılığının diğer taşımacılık tiplerine kıyasla en avantajlı özelliği hizmetin daha çok noktaya aktarmasız olarak ulaştırılabilmesidir. Bunun başlıca sebebi, karayolu ağlarının diğer taşıma tipi ağlarına göre birçok ülkede daha gelişmiş ve yaygın olmasıdır. Buna ek olarak karayolu yük taşımacılığında yük nihai müşterinin işletmesinin bulunduğu alana kadar ulaştırılabilir. Örneğin, demiryolu veya havayolu taşımacılığında yük belli bir noktaya geldikten sonra nihai müşteriye ulaştırılmak için yeniden taşınması gerekebilmektedir. Yeniden taşınma işlemi de hem yükün teslim süresini uzatır hem de

yükün daha çok yıpranmasına neden olur. Taşımacılıkta temel olarak yükün; taşıma esnasında zarar görmemesi ve planlanan zaman diliminde, doğru yere ulaştırılması hedeflenmektedir. Taşıma sürelerine sadık kalınması ve yükün zararsız şekilde ulaştırılması önem arz ettiğinden, karayolu yük taşımacılığı sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yönü ile karayolu taşımacılığı, diğer alternatiflere kıyasla daha ön planda yer almaktadır. Taşıma süreleri ve yükün zarar görmemesi avantajlarına ek olarak, karayolu yük taşımacılığında sevkiyatı gerçekleştirebilmek için büyük miktarlarda yükün birikmesini beklemek gerekli değildir. Karayollarında genellikle kamyonla yük taşıması yapıldığı için demiryolu veya denizyolu taşımacılığına göre yük daha hızlı ve daha küçük miktarlarda yüklenir ve taşıma işlemine başlanır. Demiryolu veya denizyolu taşımacılığında yükün taşınacağı trenin veya yük gemisinin tamamının dolmasını beklemek zorunludur. Bu durumda demiryolu ve denizyolu taşımacılığı yapan firmalar için zaman kaybı anlamına gelmektedir. Karayolu yük taşımacılığı, diğer taşıma tiplerine göre daha az yatırım maliyeti gerektirir. Karayolu yük taşımacılığının ayrıca göndericilere sağladığı ek avantajlar da vardır (Çancı ve Erdal, 2003):

- Kısa sürede taşınması gereken yükler için hızlı teslimat yapmaya yönelik proje tabanlı çözümler üretilebilir.
- Karayolu ağlarının yaygın ve gelişmiş olmasından kaynaklı olarak hızlı ve güvenli şekilde taşıma hizmeti alma imkanı ortaya çıkarılabilir.
- Karayolu taşımacılık hizmetleri ile ilişkili diğer lojistik faaliyet süreçlerini zenginleştirerek çeşitlilik oluşturulması sağlanabilir.
- Maliyetler daha tahmin edilebilir olduğundan tasarruf sağlanabilir.

Karayolu yük taşımacılığında kullanılan ulaştırma mevzuatına göre taşınan yükün ağır ve yüksek hacimli olması durumunda karayolu ile taşınması mümkün olmayabilir. Bu aşamada taşımacılık yapılan ülkelerin genel kuralları devreye girmektedir. Araçların güvenle taşıyabileceği azami yükler ve karayolunun yapısına zarar vermeden taşımacılık yapmalarını sağlayan yükler tespit edilmektedir. Araçlar maksimum olarak tespit edilen yük miktarına kadar taşımacılık yapabilmektedirler. Taşınacak olan yüklerin belirlenen miktarlardan daha ağır ve yüksek hacimli olması durumunda, yüklerin taşınmasının demiryolu ve/veya denizyolu ile yapılması daha uygun olmaktadır. Buna ek olarak, karayolu taşımacılığı petrole bağımlı olan bir ulaşım sistemidir. Petrol yoluyla çalışan bir

ulaşım sistemi olduğu için, taşımacılık esnasında gaz emisyonlarına ve gürültü kirliliğine neden olmasından dolayı çevreye olumsuz yönde etkileri olmaktadır. Ayrıca karayolu ulaşımı, ulaşım sistemleri arasında en yüksek kaza oranına sahip olan sistem olarak da görölmektedir (Çancı ve Erdal, 2003).

Karayolu yük taşımacılığının avantajları ve dezavantajları karar vericiler tarafından değerlendirilerek hem yükün ağırlılığına ve niteliğine uygun hem de karar vericinin önem verdiği şartları sağlayan taşıma türü seğilmelidir.

2.3. KARAYOLU YÜK TAşIMACILIĞINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Lojistik sektörü, hem gelişmiş ölkelerde hem de gelişmekte olan ölkelerde hızla büyüyen bir sektör olmaktadır. Bunun sebebi, üretimin dağınık alanlarda yapılması, pazarların geniş bir çevrede bulunması ve değişen şartlarla beraber rekabetin firmalar arasında artması olarak gösterilebilmektedir.

Lojistik sektöründe ortaya çıkan bu hızlı ve dönem dönem kontrolsüz olan büyüme durumu beraberinde çevresel sorunları getirmiştir. Ortaya çıkan çevresel sorunlarda (sera gazı emisyonu, hava kirliliği, gürültü kirliliği, enerji kullanımı vb.) lojistik sektöründe sürdürülebilirliğin önemini göstermiş ve bu noktada çalışmalar yapılmaya başlamıştır. Lojistikte sürdürülebilirlik genellikle literatürde ‘yeşil lojistik’ olarak ele alınmaktadır. Yeşil lojistik, ürünlerin ve hizmetlerin çevreye uygun bir şekilde üretiminin yapılması, satın alınması, dağıtım faaliyetlerinin yapılması, üretilen ürünlerin geri dönüşümünün sağlanması ve yeniden üretime kazandırılması gibi faaliyetlerin bütünü olarak tanımlanmaktadır (Soysal, 2015).

Uluslararası Enerji Ajansının 2017 verileri incelendiğinde, ulaşım sektörünün yakıt yanması sonucu oluşan karbon salınımlarında enerji üretiminden sonra ikinci sırada gelen sektör olduğu görölmektedir (IEA,2017). Buna ek olarak OECD verilerine göre, ortaya çıkan karbon emisyonlarının %70’inin karayolu ulaşımı kaynaklı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca lojistik sektöründeki faaliyetlere bakıldığında da karayolu yük taşımacılığı %57 ile en çok karbon emisyonuna sahip faaliyet olarak görölmektedir (Sönmez ve Tanıdır, 2011). Karayolu yük taşımacılığında sürdürülebilirlik, taşımacılık

faaliyeti sırasında oluşan ve doğaya salınan karbon gazını en aza indirilmesinin amaçlanması olarak açıklanabilmektedir. Karayolu yük taşımacılığında görülen hızlı artış tüketilen enerji miktarını ve sera gazı salınımı her geçen gün artırmaktadır. Sera gazları, atmosferde bulunan ve içerisinde farklı gazları barındıran doğal yaşamın devam edebilmesi için olması gereken ısı miktarının korunmasını sağlayan gazlar olarak tanımlanmaktadır. Büyük bölümünü karbondioksit gazının oluşturmasından dolayı literatürde karbon salınımı olarak da bilinen sera gazı salınımı, atmosferde bir sera etkisi yaratarak yaşanabilir sıcaklığı sağlamaktadır. Fakat çeşitli sebeplerden dolayı ortaya çıkan aşırı karbon salınımları sonucu yaşanılabilir sıcaklık derecesi korunamayacağı ve küresel ısınma olarak bilinen sorunun doğal yaşama büyük zararlar vereceği beklenmektedir (Dişkaya, 2018). Tüm bu bilgilerin ışığında karayolu yük taşımacılığı alanında karbon salınımının azaltılmasına katkı sağlayacak olan çalışmaların ne denli önemli olduğu anlaşılabilir.

Yük taşımacılığı yapan firmalar, uluslararası anlaşmalar (Kyoto Protokolü gibi) ve ulaştırma maliyetlerinin sürekli artışından kaynaklı olarak yakıt tasarrufu yapmak zorundadırlar. Firmalar, karbon emisyonlarını ve yakıt tüketimlerini, maliyetlerini düşürmek ve sektörde daha çevreci bir konuma sahip işletme imajı çizmek için azaltmayı amaçlamaktadırlar (Dişkaya,2018). Ek olarak karbon emisyonunu ve yakıt tüketim miktarını etkileyen bazı faktörlerde bulunmaktadır. Bu faktörler; aracın yükü, aracın hızı, zamana bağlı hız, yolun eğimi, seyahat uzunluğu ve araç filosu olarak sıralanabilmektedir (Demir vd., 2011, Koç vd.,2014).

Yük taşımacılığında ortaya çıkan karbon salınımı sorununa çözüm olarak sunulan iki adet alternatif yaptırım yöntemi vardır. Bu yöntemler karbon ticareti ve karbon vergisidir (Çevik ve Gülcan, 2011). Karbon ticareti, 1997 yılında Japonya’da yapılan Kyoto Protokolü ile kabul edilen ilkelerden biridir. Karbon ticaretindeki amaç protokolü kabul eden ülkeler arasında doğaya daha az salınım yapan ülkenin salınım haklarının, daha çok salınım yapan ülke tarafından alınmasıdır. Bu protokoldeki amaç kolektif olarak oluşan karbon emisyonunu azaltmaktır. Karbon vergisi ise, doğaya hakkı olandan daha fazla karbon salınımı yapan işletmelerin saldıkları karbon oranınca vergilendirildiği bir sistemdir. Firmalar saldıkları fazla karbonun parasını ödeyerek bir maliyete katlanmak zorundadırlar.

2.4. YÜK TAŞIMACILIĞININ TEDARİK ZİNCİRİNDEKİ ÖNEMİ

Tedarik zincirinde gerçekleştirilen faaliyetlerin tamamında amaç tedarik zinciri sürecine değer katmaktır. Zincirin bir parçası olan lojistik ayağında da üretilen ürünlere ‘zaman’ ve ‘yer’ değeri katılır. Katılan bu değeri sağlayan en önemli unsur lojistiğin taşıma faaliyetleridir. Taşıma değer katma sürecinde ürünlere hem yer hem de zaman değeri katmaktadır (Koca,2001).

Yük taşımacılığı faaliyetleri tedarik zincirinde kritik bir role sahiptir. Bunun sebebi, yük taşımacılığında yapılan faaliyetlerin tedarik zincirinin her aşamasında bağlayıcı bir görev üstlenmesi durumudur. Bağlayıcı görev durumunu kısaca özetlemek gerekirse, tedarik zincirleri genel olarak tedarikçi adımıyla başlar ve ilk adım olan tedarikçiler hammadde ve/veya yarı mamulü üretici olan firmaya ulaştırmakla görevlidirler. Bu noktada ulaşımın sağlanabilmesi için taşımacılık faaliyetleri devreye girer ve tedarik zincirinin son aşaması olan ürünün müşteriye ulaşması aşamasına kadar her adımda devam eder. Taşıma faaliyetleri gerçekleştirilirken akışta her iki yönlü olarak bilgi ve ürün akışı sağlandığını da unutmamak gereklidir. Yapısı kısaca tekrar açıklanan tedarik zincirinde, yük taşıma faaliyetinin köprü görevi görerek zincirdeki en kritik rollerden birini oluşturduğu görülebilmektedir.

2.5. ARAÇ TAHSİS PROBLEMLERİ

Araç tahsis problemleri, uzak mesafelerden karayolu ile yük taşınması gerekliliğinin oluşmasından sonra ortaya çıkmaktadır ve tedarik zinciri yönetiminde yer alan karar seviyelerinden orta dönem uzunlukta ve taktiksel karar niteliğinde olduğu söylenebilir (bknz. Şekil 2). İlk olarak araç tahsisi ile ilgili yapılan çalışmaların demiryolu yük taşımacılığı alanında ortaya çıktığı görülmektedir (Misra, 1972). Daha sonra bu çalışmalar temel alınarak karayolu yük taşımacılığı için araç tahsis problemlerinin çalışılmaya başlandığı gözlemlenmektedir.

Ghiani, Laporte ve Musmanno (2004) tarafından yapılan tanıma göre araç tahsis problemleri, uzak mesafelere yük taşımacılığı yaparak gelir elde eden taşıyıcıların oluşturduğu sistemler bütünü olarak nitelendirilmektedir. Araç tahsis problemlerinin yapısına daha geniş kapsamlı olarak bakıldığında ise lojistik ve tedarik zinciri ile ilişkili

olduğu söylenebilmektedir. Fakat literatüre bakıldığında araç tahsis problemlerinde genellikle taşıma işleri kısmının işlendiği görülmektedir. Bu sebeple problemlerde amaçlanan optimizasyonun hedefi taşıma işlemleridir denilebilmektedir.

Araç tahsis problemlerinin çalışma yapısına bakıldığında araçların noktalar arası gelen talepleri karşılamak için hareket ettiği ve bu hareket sonucunda da yüklerin teslimini gerçekleştirerek talebi karşıladığı görülmektedir. Yükün teslim ve boşaltım işleminden sonra araçların ya yeni bir yük almak için yola devam ettiği ya da başka bir talebi karşılamak üzere yeniden konumlandığı söylenebilmektedir. Başka bir talebi karşılamak üzere hareket etmeyerek boş kalan araçlar için de yeniden konumlanma durumu mevcuttur. Bu nedenle araç tahsis problemlerinin yapısı değerlendirilirken, hem yüklü araçların ve hareketlerinin hem de yüksüz araçların ve hareketlerinin planlandığını söylemek mümkündür.

2.5.1. İlgili Literatür

Bu tez çalışmasında oluşturulan problem ile ilgili literatür taraması için “Web of Science” veri tabanı kullanılmaktadır. Web of Science veri tabanında, “*vehicle allocation*” anahtar sözcüğü kullanılarak tarama yapılmakta ve tarama “*konu (topic)*” esaslı olarak uygulanmaktadır. Tarama sonucunda kullanılan anahtar sözcükle bağlantılı olarak 110 adet makaleye ulaşılmaktadır. Bu makaleler tez çalışmasının konusu temel alınarak incelenmekte ve değerlendirilmektedir. Tez çalışmasının konusuna benzer 72 adet makale bulunmakta ve bu makalelerin incelemesi yapılmaktadır.

Taranan makaleler nicel çalışmalar ve nitel çalışmalar olarak iki ayrı bölümde ele alınmaktadır. İlgili literatürde 40 adet makale nicel çalışma ve 32 adet makale nitel çalışma olarak kategorize edilmektedir. Bu çalışmalar Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Literatürdeki Nitel ve Nicel Çalışmalar

Çalışma Türü	Çalışmalar
NİTEL ÇALIŞMALAR	Powell (1987), Spieckermann ve Voß (1995), Frantzeskakis ve Powell (1996), Powell (1996), Basnet (1997), Cordeau vd. (1998), Hall (1999), Powell vd. (2004), Sun ve Hickman (2004), Miller vd. (2005), Lam vd. (2007), Papier ve Thonemann (2008), Kaas ve Jacobsen (2008), Roorda vd. (2009), Erera vd. (2009), Beltran vd. (2009), Archetti ve Savelsbergh (2009), Wen ve Li (2011), Mueller ve Sgouridis (2011), Wadud (2011), Daniels ve Mulley (2012), Huang vd. (2012), Fan (2013), Lin vd. (2013), Kelly vd. (2014), Atasoy vd. (2015), Li ve Tian (2015), Jiang vd. (2015), Lim (2016), Mendes vd. (2017), Baloyi vd. (2017), Beige vd. (2018)
NİCEL ÇALIŞMALAR	Powell (1986), Hughes ve Powell (1988), Frantzeskakis ve Powell (1990), Beaujon ve Turnquist (1991), Birge ve Ho (1993), Powell ve Frantzeskakis (1994), Yan vd. (1995), Powell vd. (2000), Bojović (2002), Hall ve Zhong (2002), List vd. (2003), Sung ve Song (2003), List vd. (2006), Simonetto ve Borenstein (2007), Lee vd. (2008), Fan vd. (2008), Wu vd. (2009), Sayarshad ve Ghoseiri (2009), Sayarshad vd. (2010), Wu vd. (2010), Javadian vd. (2011), Tan vd. (2011), Ibrı vd. (2012), Milenković ve Bojović (2013), Shi vd. (2014), Zolfagharinia ve Haughton (2014), Upadhyay ve Bolia (2014), Upadhyay ve Bolia (2014), Hanczar ve Peternek (2015), Andrade ve Cunha (2015), Atasoy vd. (2015), Milenković vd. (2015), Tari ve Hashemi (2016), Zolfagharinia ve Haughton (2016), Liu vd. (2016), Sánchez-Martínez vd. (2016), Vasco ve Morabito (2016), Mesa-Arango ve Ukkusuri (2017), Kaewpuang vd. (2017), Buuren vd. (2018)

Bu tez çalışmasında ilgili problem için sayısal bir model önerilmektedir. Dolayısıyla, sayısal model içeren nicel çalışmalar detaylı olarak incelenmektedir.

Tablo 2’de nicel çalışmalar, çalışmada incelenen problem tipi, kullanılan model tipi, modelin amaç fonksiyonu, modelde farklı araç tiplerinin dikkate alınıp alınmaması, oluşacak olan taleplerin ret durumu veya oluşacak olan talepler karşılanmadığında katlanılan ceza maliyeti ve doğaya salınan emisyon miktarının dikkate alınıp alınmadığı yani sürdürülebilirliğe katkı sağlayıp sağlamadığı konularına göre incelenerek değerlendirilmiştir.

Nicel çalışmalardaki modeller için talep ret durumu incelenirken, modelin oluşan taleplerin içinden bazılarının ret edilmesine izin verip vermediğine bakılmaktadır. Ceza maliyeti durumunda ise, modelde karşılanmayan talepler sonucunda ceza maliyeti oluşup oluşmadığı incelenmektedir. Araç tipi durumu incelenirken modelde talepleri karşılamak için hareket eden araçlar için farklı araç tiplerinin dikkate alınıp alınmadığına bakılmaktadır. Sürdürülebilirlik durumu incelenirken ise, modelde araçlar talepleri karşılamak için hareket ederken modelin bu hareketler için herhangi bir emisyon salınımı durumunu gözetip gözetmediğine bakılmaktadır. Yani modelde araç hareketlerinde doğaya salınan emisyonun önemi olup olmadığı incelenmektedir.

Tablo 2. Literatürdeki Nicel Çalışmaların İnceleme Tablosu

#	Yazar	Problem tipi	Model tipi	Amaç fonksiyonu	Araç tipi	Talep ret veya ceza maliyeti	Sürdürülebilirlik
1	Powell, 1986	Araç tahsis problemi	Doğrusal programlama	Kar maksimizasyonu	-	-	-
2	Hughes ve Powell, 1988	Araç tahsis problemi	Doğrusal programlama	Kar maksimizasyonu	-	-	-
3	Frantzeskakis ve Powell, 1990	Araç tahsis problemi	Stokastik programlama	Kar maksimizasyonu	-	-	-
4	Beaujon ve Turnquist, 1991	Filo büyüklüğü ve araç tahsis problemi	Doğrusal programlama	Gelir maksimizasyonu	-	√	-
5	Birge ve Ho, 1993	Şebeke problemi	Doğrusal programlama	Maliyet minimizasyonu	-	-	-
6	Powell ve Frantzeskakis, 1994	Şebeke problemi	Stokastik programlama	Maliyet minimizasyonu	-	-	-
7	Yan vd., 1995	Şebeke problemi	Doğrusal programlama	Şebeke ağındaki platform sayısının minimizasyonu	-	-	-
8	Powell vd., 2000	Araç tahsis ve rotalama problemi	Doğrusal programlama	Kar maksimizasyonu	-	-	-
9	Bojović, 2002	Araç atama problemi	Doğrusal programlama	Gelir maksimizasyonu	-	-	-
10	Hall ve Zhong, 2002	Envanter kontrol	Doğrusal programlama	Yok	-	-	-
11	List vd., 2003	Filo büyüklüğü problemi	Dinamik doğrusal programlama	Maliyet minimizasyonu	√	√	-
12	Sung ve Song, 2003	Araç tahsis problemi	Doğrusal programlama	Maliyet minimizasyonu	√	-	-
13	List vd., 2006	Filo planlaması (lojistik planlama)	Gürbüz model (Robust optimization)	Maliyet minimizasyonu	-	√	-
14	Simonetto ve Borenstein, 2007	Araç tahsis ve rotalama problemi	Doğrusal programlama	Maliyet minimizasyonu	√	-	-

#	Yazar	Problem tipi	Model tipi	Amaç fonksiyonu	Araç tipi	Talep ret veya ceza maliyeti	Sürdürülebilirlik
15	Lee vd., 2008	Araç rotalama problemi	Doğrusal programlama	Gelir maksimizasyonu	√	–	–
16	Fan vd., 2008	Dinamik araç tahsis problemi	Stokastik programlama	Kar maksimizasyonu	–	–	–
17	Wu vd., 2009	Araç tahsis problemi	Doğrusal programlama	Araç tahsisinin planlanması	√	–	–
18	Sayarshad ve Ghoseiri, 2009	Araç tahsis problemi	Doğrusal programlama	Gelir maksimizasyonu	–	√	–
19	Sayarshad vd., 2010	Filo büyüklüğü ve araç tahsis problemi	Karışık tam sayılı doğrusal programlama (MILP)	Maliyet minimizasyonu, kar maksimizasyonu, filo büyüklüğünün minimizasyonu	√	√	–
20	Wu vd., 2010	Araç tahsis ve rotalama problemi	Çok amaçlı tam sayılı doğrusal programlama (IMILP)	Mobil emisyonu, tahliye süresini ve operasyonel maliyetin minimizasyonu	√	–	√
21	Javadian vd., 2011	Dağıtım problemi	Analitik model (Simülasyon)	Maliyet minimizasyonu	√	√	–
22	Tan vd., 2011	Araç tahsis problemi	Bulanık doğrusal programlama	Tahliye süresi minimizasyonu	√	–	√
23	Ibri vd., 2012	Araç tahsis problemi	Doğrusal programlama	Maliyet minimizasyonu	–	√	–
24	Milenković ve Bojović, 2013	Filo büyüklüğü planlama ve araç tahsis problemi	Bulanık doğrusal programlama	Maliyet minimizasyonu	–	√	–
25	Shi vd., 2014	Dinamik filo atama problemi	Stokastik programlama	Maliyet minimizasyonu	–	–	–

#	Yazar	Problem tipi	Model tipi	Amaç fonksiyonu	Araç tipi	Talep ret veya ceza maliyeti	Sürdürülebilirlik
26	Zolfagharinia ve Haughton, 2014	Dağıtım ve toplama problemi	Karışık tam sayılı programlama (MIP)	Kar Maksimizasyonu	-	√	-
27	Upadhyay ve Bolia, 2014	Çizelgeleme problemi	Tam sayılı programlama (IP)	Kar maksimizasyonu ve maliyet minimizasyonu	-	√	-
28	Upadhyay ve Bolia, 2014	Araç tahsis problemi	Karışık tam sayılı doğrusal programlama (MILP)	Kar maksimizasyonu	-	√	-
29	Hanczar ve Peternek, 2015	Araç akışı planlama problemi	Karışık tam sayılı programlama (MIP)	Siparişlerin maksimizasyonu ve boş trenlerin sayısının ve eksik vagonların minimize edilmesi	-	-	-
30	Andrade ve Cunha, 2015	Araç tahsis problemi	Analitik model	Kapsama alanının maksimize etmek ve araç tahsis edilirken harcanan toplam süreyi azaltmak	√	-	-
31	Atasoy vd., 2015	Araç tahsis problemi	Doğrusal programlama	Kar maksimizasyonu	-	-	-
32	Milenković vd., 2015	Araç tahsis problemi	Analitik model	Ağ planlaması	√	-	-
33	Tari ve Hashemi, 2016	Taşıma problemi	Karışık tam sayılı programlama (MIP)	Maliyet minimizasyonu	√	-	-
34	Zolfagharinia ve Haughton, 2016	Dinamik dağıtım ve toplama problemi	Karışık tam sayılı programlama	Kar maksimizasyonu	-	-	-
35	Liu vd., 2016	Araç tahsis problemi	Analitik model	Talep maksimizasyonu	√	-	-

#	Yazar	Problem tipi	Model tipi	Amaç fonksiyonu	Araç tipi	Talep ret veya ceza maliyeti	Sürdürülebilirlik
36	Sánchez-Martínez vd., 2016	Araç tahsis problemi	Doğrusal programlama	Performans maksimizasyonu (filo)	–	–	–
37	Vasco ve Morabito, 2016	Araç tahsis problemi	Doğrusal programlama	Kar maksimizasyonu	√	–	–
38	Mesa-Arango ve Ukkusuri, 2017	Araç tahsis problemi	Stokastik programlama	Kar maksimizasyonu	–	–	–
39	Kaewpuang vd., 2017	Araç tahsis problemi	Tam sayılı doğrusal programlama ve stokastik programlama	Maliyet minimizasyonu	–	–	–
40	Buuren vd., 2018	Araç tahsis problemi	Analitik model	Maliyet minimizasyonu	–	–	–
	Bu tez çalışması	Araç tahsis problemi	Çift amaçlı karışık doğrusal programlama	Kar maksimizasyonu ve emisyon minimizasyonu	√	√	√

Tablo 2’ye bakıldığında “*vehicle allocation*” anahtar sözcüğünü içeren nicel çalışmaların problem tipi açısından farklılık gösterdiği görülmektedir. Bazı çalışmalarda direkt olarak araç tahsisi probleminin incelendiği, bazılarında ise taşıma problemi, araç akışı planlama problemi, filo büyüklüğü problemi, araç rotalama problemi gibi farklı problem tiplerinin ele alındığı görülmektedir.

Çalışmalarda kullanılan model tiplerinin de aynı olmadığı görülmektedir. Çalışmaların büyük bir kısmında kullanılan model tipi doğrusal programlama olsa da bazı çalışmalarda stokastik programlama, analitik programlama, karışık tam sayılı programlama gibi modellerin kullanıldığı görülmektedir.

Çalışmaların amaç fonksiyonlarına bakıldığında, amaç fonksiyonları açısından da çalışmaların farklılıklar içerdiği görülmektedir. Bu farklılıklar incelendiğinde, bazı

çalışmalarda amaç fonksiyonu kar maksimizasyonu olurken bazı çalışmalarda amaç fonksiyonu maliyet minimizasyonu veya gelir maksimizasyonu olmaktadır. Ek olarak, çalışmaların bazılarının bir adet amaç fonksiyonuna sahip olduğu bazılarının ise çok amaçlı olduğu görülmektedir. Çok amaçlı çalışmalara örnek olarak, List vd. (2003) ve Sayarshad vd. (2010) alışması gösterilebilmektedir. List vd.'nin modelinde maliyet minimizasyonu ve ceza maliyetinin minimizasyonu amaç fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. Sayarshad vd.'nin modelinde ise c adet amaç fonksiyonu olduğu görülmektedir. Bu amaç fonksiyonlarında maliyet minimizasyonu, kar maksimizasyonu ve filo byklğunun minimizasyonu hedeflenmektedir.

Literatür taramasının sonuçlarına göre, 14 adet çalışmada farklı araç tiplerinin dikkate alındığı görülmektedir. Sayarshad vd. (2010), Javadian vd. (2011) ve Vasco ve Morabito (2016) alışmalarında araç tipleri işletmelerin sahip olduğu araçlar ve işletmenin dışarıdan kiraladığı araçlar olarak iki tipe ayrılmaktadır. List vd. (2003), Lee vd. (2008) vb. olan 11 çalışmada ise, araçların çeşitli özelliklerinin farklı olmasından dolayı araç tipinin dikkate alındığı görülmektedir.

alışmalar aynı anda hem gelen taleplerin ret durumuna göre hem de talep karşılanmadığında oluşan ceza maliyeti durumuna göre incelenmişlerdir. Çalışmalarda yer alan modellerde, oluşan taleplerden bazılarının ret edilebilmesi durumu yer almamaktadır. Beaujon ve Turnquist (1991), Zolfagharinia ve Haughton (2014) vb. 10 adet çalışmada ise, talep karşılanamadığı durumda ortaya çıkan ceza maliyetinin olduğu görülmektedir.

Nicel alışmalar içinde sadece iki adet çalışmada hareket eden araçlar için doğaya salınan emisyon miktarına ve buna bağlı olarak sürdürülebilirlik konusuna değinildiği görülmektedir. Wu vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, değişen ve her geçen gün daha karmaşık bir hal alan kentsel alanlardan tahliyelerin optimizasyonu konusu ele alınmaktadır. Çalışmada oluşturulan model, tahliye durumunda araç tahsisi ve araçların rotalarının optimize edilmesi konusunu içermektedir. Oluşturulan modelde tahliye rotaları ve araç tahsisi için maliyet ve çevresel etkenler göz önünde bulundurulurken c ayrı amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Bu amaç fonksiyonları, çevresel kaygı göz önüne alınarak mobil emisyonların minimize edilmesi, toplam tahliye süresinin minimize

edilmesi ve maliyetlerin minimize edilmesi olarak tanımlanabilmektedir. Modelde dikkate alınan herhangi bir araç tipi, oluşan taleplerin ret edilmesi durumu ve talepler karşılanmadığında ortaya çıkan bir ceza maliyeti durumu mevcut değildir.

Tan vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada ise, oluşturulan modelde amaç fonksiyonu tahliye süresinin minimizasyonunun sağlanması olarak tanımlanmıştır. Ek olarak, oluşturulan modelde toplam emisyon miktarı kısıt seti olarak ele alınmış ve tahliye süresi minimize edilirken toplam emisyon miktarının da belli bir seviyede tutulması amaçlanmıştır. Bu sebeple bu çalışmada doğaya salınan emisyon miktarı yani sürdürülebilirlik durumuna değinilmiş olsa da sürdürülebilirlik durumu amaç fonksiyonunda kullanılmamaktadır. Modelde farklı araç tipleri dikkate alınmaktadır, oluşan taleplerin ret edilmesi durumu ve talepler karşılanmadığında ortaya çıkan bir ceza maliyeti durumu ise mevcut değildir. Tan vd. tarafından yapılan çalışmanın, Wu vd. tarafından yapılan çalışmadan temel farkı emisyon miktarının minimizasyonunun amaç fonksiyonunda değil modelde kullanılan kısıtlar içerisinde yer almasıdır.

Literatürde yer alan çalışmalara bakıldığında, araç tahsis problemi için hem kar maksimizasyonunu hem de doğaya salınan emisyon miktarının minimizasyonunu eş anlı olarak dikkate alan bir çift amaçlı doğrusal programlama modelinin bulunmadığı görülmektedir. Araç tahsis problemlerinde karar vericiler açısından hem karlılık durumunun gözetilebilmesi hem de doğaya salınan emisyonların azaltılabilmesi önem taşımaktadır. Bu nedenle, yapılan tez çalışmasında her ikisinin dikkate alındığı düşünüldüğünde çalışmanın karar vericilere katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ek olarak yapılan çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılan bir yönünün olması da çalışmanın ilgili literatüre katkısını ortaya koymaktadır.

3.BÖLÜM

SÜRDÜRÜLEBİLİR ARAÇ TAHSİS PROBLEMLERİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

Bu bölümde, bir önceki bölümde detaylı olarak anlatılan araç tahsis problemi ile ilgili önerilen matematiksel model açıklanmaktadır ve problem tanımı yapılmaktadır.

3.1. PROBLEM TANIMI ve MODEL ÖNERİSİ

İncelenecek olan araç tahsis probleminde, N adet nokta ve A adet araç tipi bulunmaktadır. Bu çalışmada, noktalar aralarında taşımacılık yapılan şehirler olarak ele alınacaktır. Şehirler arasında oluşması beklenen taşımacılık taleplerine göre kullanılacak araç tipi belirlenerek taşımacılık yapılması ve taşımacılık yapılması sonucu karşılanan her talep için gelir elde edilmesi planlanmaktadır. Kullanılacak araç tipi oluşacak taşımacılık talepleri tarafından belirlenmektedir. Problem çerçevesinde, T dönemli sonlu planlama ufkuна sahip bir araç tahsis probleminde en iyi (optimal) tahsis kararları verilmeye çalışılmaktadır. İlgili kararlar tüm planlama ufku için başlangıç anında verilmektedir.

Talepler, nokta çiftleri için T dönem boyunca oluşmaktadır. Oluşan talepler araç talepleridir. Örneğin, başlangıç döneminde i noktasından j noktasına oluşan 2 adet talep olması, bu dönemde i noktasından j noktasına hareket edecek 2 adet araca ihtiyaç olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca, oluşan talepler bölünerek karşılanabilmektedir. Örneğin, herhangi bir dönemde i noktasından j noktasına 3 adet talep varsa, bu taleplerin 1 veya 2 adetinin karşılanması mümkün olmaktadır. Problemden kullanılacak araç tiplerinin belli yük taşıma kapasiteleri mevcuttur. Oluşan taleplerin durumuna göre yük taşıma kapasitesi uygun olan araçların kullanılması planlanmaktadır.

Her araç hareketinde yakıt maliyeti ve sabit maliyet ortaya çıkmaktadır. Yakıt maliyeti, mesafelere, araç tipine ve doluluk oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Taşıma faaliyetleri sonucu harcanan toplam yakıtı tahmin etmek aynı zamanda doğaya salınan emisyonların tahmin edilmesine imkan tanımaktadır. Araçların hareket edip etmemesine

bağlı olarak ortaya çıkan mesafelere ve doluluk oranına bağlı olarak değişkenlik göstermeyen maliyetler ise sabit maliyet olarak tanımlanmıştır. Sabit maliyetler de araç tiplerine göre değişiklik göstermektedir.

Problemde yer alan ceza maliyetleri, iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Bunlardan ilki, karşılanamayan talep sonucunda oluşan ceza maliyetidir. İkincisi ise, yüksüz durumdaki araçların hareket etmesi sonucu ortaya çıkacak olan ceza maliyetidir. Bu ceza maliyetleri araç tipine göre değişiklik göstermemektedirler. Problem için gerekli parametreden biri olan teslimat süresi ise, taşımacılık faaliyeti sırasında noktalar arasındaki mesafeye bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Oluşan talepler için belirlenen bir talebi karşılama düzeyi bulunmaktadır. Talebi karşılama düzeyi, problemde bulunan noktaların her biri için planlama ufku boyunca toplam oluşan taleplerin ne kadarlık kısmının zorunlu olarak karşılanması gerektiğini gösteren değerdir. Talep karşılama düzeyinin problemde kullanılmasındaki amaç, noktalardaki karşılanabilen talepler arasında büyük bir farklılık oluşmasını engellemek ve karşılanabilen talep sayılarını noktalar için adil bir oranda (seviyede) tutmaktır. Noktalara adil hizmet sunumunun müşteri memnuniyeti ve bağlılığı açısından olumlu katkısı olacağı düşünülmektedir.

Taşıma faaliyetleri sonucu doğaya salınan karbon emisyonlarını dikkate alan araç tahsis probleminin çözümü için önerilen çift amaçlı doğrusal programlama modelinde kullanılacak olan notasyon (küme, parametre, değişken tanımlamaları) Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3. Matematiksel Modelde Kullanılan Notasyon

Sembol	Açıklama	Birim
N	Yüklerin Alınması ve Teslim Edilmesi Gereken Noktalar $\{1,2, \dots, N \}$	Adet
A	Araç tipleri kümesi $\{1,2, \dots, A \}$	Adet
T	Zaman Periyotları $\{1,2, \dots, T \}$	Adet
i	Başlangıç Noktası	
j	Variş Noktası	
r_{ij}	i 'den j'ye hareket eden her bir araçtan elde edilen gelir	TL
$ydolu_a$	a tipindeki yüklü aracın km başı yakıt miktarı	litre/km
$ybos_a$	a tipindeki yüksüz aracın km başı yakıt miktarı	litre/km
$ymaliyet$	aracın km başı yakıt maliyeti (sabit sayı)	TL
$mesafe_{ij}$	i 'den j'ye olan uzaklık	km
$sabit_{ija}$	i 'den j'ye hareket eden a tipindeki araçların kullanımının sabit maliyeti	TL
c_{ij}	i 'den j'ye hareket eden yüksüz araçlar için uygulanan ceza maliyeti	TL
s_{ijt}	t zamanda i 'den j'ye karşılanamayan talebin ceza maliyeti	TL
$edolu_a$	a tipindeki yüklü aracın km başı emisyon miktarı	gr
$ebos_a$	a tipindeki yüksüz aracın km başı emisyon miktarı	gr
τ_{ki}	i 'den j'ye teslimat süresi (lead time)	gün
m_{ita}	t zamanda i noktasından sisteme giren a tipindeki araç sayısı	Adet
d_{ijt}	t zamanda i 'den j'ye oluşan talep miktarı	Adet
l_{ijta}	t zamanda i 'den j'ye a tipi araç uygunsa, 1 uygun değilse 0 değerini almakta (0-1 değişkeni)	
α	her bir noktada adil dağılım yapılması için gerekli olan parametre (0 ile 1 arasında bir değer)	

Sembol	Açıklama	Birim
M	yeterli büyüklükte olan bir pozitif sayı	
X_{ijta}	t zamanda i 'den j'ye hareket eden a tipindeki yüklü araçların sayısı	Adet
Y_{ijta}	t zamanda i 'den j'ye hareket eden a tipindeki yüksüz araçların sayısı	Adet

Tez kapsamında önerilen çift amaçlı doğrusal programlama modeli oluşturulurken Ghiani, Laporte ve Musmanno (2004) tarafından yapılan çalışmadan faydalanılmıştır. Ghiani, Laporte ve Musmanno'nun çalışmasından farklı olarak bu tez çalışmasında önerilen matematiksel model iki ayrı amaç fonksiyonu içermektedir. Yararlanılan çalışmada amaç fonksiyonu sadece kar maksimizasyonu iken, tez çalışmasında amaç fonksiyonları karın maksimize edilmesi ve emisyonun minimize edilmesi şeklindedir. Ek olarak bu tez kapsamında önerilen modelde farklı olarak kar maksimizasyonunu ifade eden amaç fonksiyonunda karşılanamayan talepler için ceza durumu mevcuttur ve farklı araç tipleri dikkate alınmaktadır. Yararlanılan çalışmada var olan araçların tamamının taşıma için uygun olduğu varsayılmaktadır; fakat önerilen modelde taşıma için araçların uygunluk durumları dikkate alınmaktadır. Araç tahsis problemi için önerilen, bahsi geçen konular açısından literatürde mevcut modelden farklılaşan, çift amaçlı doğrusal programlama modeli aşağıda verilmiştir:

Maksimize (En Büyükle)(Kar)

$$\sum_{t \in T} \sum_{a \in A} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} (r_{ij} * X_{ijta}) -$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{a \in A} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} (y_{dolu_a} * mesafe_{ij} * y_{maliyet} * X_{ijta}) - (y_{boş_a} * mesafe_{ij} * y_{maliyet} * X_{ijta}) -$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{a \in A} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} \text{sabit}_{ija} * (X_{ijta} + Y_{ijta}) -$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{a \in A} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} (c_{ij} * Y_{ijta}) * (s_{ijt} * (d_{ijt} - \sum_{a \in N} X_{ijta}))$$

(1)

(1) numaralı amaç fonksiyonu sırasıyla gelir, dolu araçlar için yakıt maliyeti, boş araçlar için yakıt maliyeti, sabit maliyetler, yüksüz araçların hareket etmesi durumunda uygulanan ceza maliyeti, ürünler taşınırken karşılanamayan talep için uygulanan ceza maliyetinden oluşmaktadır.

Minimize (En Küçük) (Emisyon)

$$\sum_{t \in T} \sum_{a \in A} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} (edolu_a * mesafe_{ij} * X_{ijta}) + (eboş_a * mesafe_{ij} * Y_{ijta})$$

(2)

(2) numaralı amaç fonksiyonu ise kullanılan araçların doğaya saldıkları toplam emisyon miktarını ifade etmektedir.

Kısıt seti altında (Subject to)

$$\sum_{j \in N} (X_{ijta} + Y_{ijta}) - \sum_{k \in N: k \neq i, t > \tau_{ki}} (X_{k,i,(t-\tau_{ki}),a} + Y_{k,i,(t-\tau_{ki}),a}) - Y_{i,i,t-1,a} = m_{ita}$$

$$i \in V, t \in \{1, \dots, T\}, a \in A$$

(3)

(3) numaralı kısıt seti, her bir nokta, dönem ve araç tipi için araç akışlarını dolu ve boş araçları da dikkate alarak dengeleyen kısıttır.

$$\sum_{a \in N} X_{ijta} \leq d_{ijt} \quad i \in N, j \in N, t \in T \quad (4)$$

(4) numaralı kısıt seti, bir aracın t zamanında dolu hareket etmesi için aynı zaman periyodunda ilgili noktalar arası talebin olması gerektiğini ve en fazla talep kadar aracın gönderilebileceğini belirtmektedir.

$$X_{ijta} \leq M * l_{ijta} \quad i \in N, j \in N, t \in T, a \in A \quad (5)$$

(5) numaralı kısıt seti, t zamanında i'den j'ye hareket edecek a tipindeki dolu araçların uygun olup olmadığını belirtmektedir.

$$\sum_{j \in N} \sum_{t \in T} (d_{ijt} - \sum_{a \in A} X_{ijta}) \leq \alpha * \sum_{j \in N} \sum_{t \in T} d_{ijt} \quad i \in N \quad (6)$$

(6) numaralı kısıt seti, karşılanamayan talebin noktaların her biri için belirli bir seviyede tutulmasını ve gelen taleplerin adil şekilde karşılanmasının sağlanması için kullanılan kısıttır. Kısıtta yer alan α parametresi 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır.

$$X_{ijta} \in Z^+ \cup \{0\} \quad i \in N, j \in N, t \in T, a \in A \quad (7)$$

$$Y_{ijta} \in Z^+ \cup \{0\} \quad i \in N, j \in N, t \in T, a \in A \quad (8)$$

(7) ve (8) numaralı kısıtlar ise, modelde kullanılan karar değişkenlerinin üzerindeki değersel kısıtlardır.

Aşağıdaki çift amaçlı doğrusal programlama modeli, ekonomik faktörleri ve çevresel sorunları göz önünde bulundurarak araç tahsis problemine çözüm getirebilmek amacıyla geliştirilmiştir. İlgili model iki adet amaç fonksiyonuna **(1)**, **(2)** ve altı adet kısıt setine **(3)**, ..., **(8)** sahiptir.

Maksimize (En Büyükle)(Kar)

$$\sum_{t \in T} \sum_{a \in A} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} (r_{ij} * X_{ijta}) -$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{a \in A} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} (ydolu_a * mesafe_{ij} * ymaliyet * X_{ijta}) - (yboş_a * mesafe_{ij} * ymaliyet * X_{ijta}) -$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{a \in A} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} sabit_{ija} * (X_{ijta} + Y_{ijta}) -$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{a \in A} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} (c_{ij} * Y_{ijta}) * (s_{ijt} * (d_{ijt} - \sum_{a \in N} X_{ijta}))$$

(1)

Minimize (En Küçükle) (Emisyon)

$$\sum_{t \in T} \sum_{a \in A} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq i} (edolu_a * mesafe_{ij} * X_{ijta}) + (eboş_a * mesafe_{ij} * Y_{ijta})$$

(2)

Kısıt seti altında (Subject to)

$$\sum_{j \in N} (X_{ijta} + Y_{ijta}) - \sum_{k \in N: k \neq i, t > \tau_{ki}} (X_{k,i,(t-\tau_{ki}),a} + Y_{k,i,(t-\tau_{ki}),a}) - Y_{i,i,t-1,a} = m_{ita}$$

$$i \in V, t \in \{1, \dots, T\}, a \in A \quad (3)$$

$$\sum_{a \in A} X_{ijta} \leq d_{ijt} \quad i \in N, j \in N, t \in T \quad (4)$$

$$X_{ijta} \leq M * l_{ijta} \quad i \in N, j \in N, t \in T, a \in A \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{t \in T} (d_{ijt} - \sum_{a \in A} X_{ijta}) \leq \alpha * \sum_{j \in N} \sum_{t \in T} d_{ijt} \quad i \in N \quad (6)$$

$$X_{ijta} \in Z^+ \cup \{0\} \quad i \in N, j \in N, t \in T, a \in A \quad (7)$$

$$Y_{ijta} \in Z^+ \cup \{0\} \quad i \in N, j \in N, t \in T, a \in A \quad (8)$$

4.BÖLÜM

NÜMERİK ANALİZLER

Bu bölümde yapılmış olan nümerik analizlerin planlanması ve sonuçları hakkında bilgi verilmektedir. Nümerik analizlerin amacı, tez kapsamında önerilen model kullanılarak, tanımlanan temel performans kriterleri üzerinden model ile ilgili değerlendirmeler yapmaktır. Bu bölümde, ilk olarak küçük bir veri seti üzerinde modelin doğrulaması yapılacak, ardından oluşturulan örnek bir olay üzerinde temel performans kriterleri dikkate alınarak değerlendirmeler yapılacak, son olarak ise aynı örnek olay üzerinde farklı senaryolar incelenecektir. Nümerik analizler kapsamında, problem için geliştirilen matematiksel modelin çözümünde IBM OPL ILOG CPLEX 12.8 (CPLEX) yazılımı kullanılmıştır. Modelin optimal çözümü MacBook Pro i5 2.4 GHz işlemcili 4 GB belleğe sahip bilgisayar kullanılarak elde edilmiştir.

Önerilen çift amaçlı doğrusal programlama modelinin çözümünde literatürde e-kısıt (e-constrained) adı verilen yaklaşımdan faydalanılmaktadır (Andersson,2000). E-kısıt yaklaşımı, modelde birden fazla amaç fonksiyonu bulunması durumunda, söz konusu amaç fonksiyonlarından birinin amaç fonksiyonu olarak kullanılması, diğerlerinin ise kısıt olarak tekrar formüle edilmesi yoluyla modelin çözümlenmesi temeline dayanmaktadır. Kısıt olarak kullanılan amaç fonksiyonunun alabileceği değerler epsilon (ϵ) parametresi ile sınırlandırılmaktadır.

Önerilen çift amaçlı doğrusal programlama modeli için kar maksimizasyonu ve emisyon minimizasyonu yapıldığı durumlarda model aşağıdaki şekillerde formüle edilmektedir.

Kar maksimizasyonu durumu:

En büyük Amaç fonksiyonu (1)

Kısıt seti altında

Kısıtlar (3) – (8)

Amaç fonksiyonu (2) $\leq \epsilon_1$ (Ek kısıt)

Emisyon minimizasyonu durumu:*En küçük* Amaç fonksiyonu (2)

Kısıt seti altında

Kısıtlar (3) – (8)

Amaç fonksiyonu (1) $\geq \epsilon_2$ (Ek kısıt)

Ek kısıtlarda yer alan epsilon (ϵ) parametresi değiştirilerek amaç fonksiyonları arasındaki ilişki ortaya koyulmaya çalışılmaktadır.

4.1. KÜÇÜK BİR ÖRNEK ÜZERİNDE MODELİN DOĞRULANMASI

Bu bölümde, tez kapsamında önerilen matematiksel modelin doğrulanması için küçük bir veri seti oluşturularak bu veri seti üzerinde değerlendirmeler yapılmaktadır.

4.1.1. Küçük Örnekte Kullanılan Veri Setinin Tanıtılması

Küçük örnekteki problemin veri seti oluşturulurken yapılan varsayımlar ve parametrelere ilişkin değerler şu şekilde özetlenebilir. Modelde dört adet nokta ($N = \{A,B,C,D\}$), iki adet araç tipi ($A = \{q,w\}$) ve dört günlük zaman periyodu ($T = \{1,2,3,4\}$) olduğu varsayılmaktadır. Tüm noktalar arası (şehirlerarası) taşımacılık yapılabilmektedir ve hangi araç tipinin kullanılacağı uygunluk parametresi tarafından belirlenmektedir.

Noktalar arası mesafe Tablo 4’de yer almaktadır. Tedarik süreleri noktalar arası mesafenin uzunluğuna göre değişiklik göstermektedir. Noktalar arası mesafe 0-499 kilometre arasında yer aldığı tedarik süresi 1 gün, 500-999 kilometre arasında yer aldığı tedarik süresi 2 gün olacaktır.

Tablo 4. Küçük Örnek İçin Noktalar Arası Mesafe (km)

		Noktalar			
		A	B	C	D
Noktalar	A	0	300	400	500
	B	300	0	500	400
	C	400	500	0	300
	D	500	400	300	0

Kullanılan veri setindeki talep (d_{ijt}), ceza maliyetleri (s_{ijt} ve c_{ij}), araç uygunlukları (l_{ijta}) ve başlangıç noktalarında bulunan araç sayıları (m_{ita}) verileri rassal olarak MS Excel programında üretilmiştir.

Noktalar arası talepler ve bu noktalardaki araçların uygunluk verileri Tablo 5’te yer almaktadır.

Tablo 5. Noktalar Arası Talepler (adet) ve Araç Uygunlukları

Zamanlar	1				2				3				4			
Noktalar	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
A	1 (q)												1 (q)			
B									2 (w)				1 (q)			
C					2 (q,w)								2 (q,w)			
D	2 (w)												2 (w)			

Noktalar arasında ilgili talep karşılanmadığında oluşan ceza maliyeti 2. günde B'den D'ye 100 TL ve 4. günde B'den C'ye 100 TL olduğu varsayılmıştır. Araçların noktalar arasında yüksüz hareket etmesi sonucunda oluşan ceza maliyeti A'dan B'ye 100 TL ve B'den A'ya 100 TL olarak varsayılmıştır.

Başlangıç gününde (T = 1 durumunda) 1. araç tipinden (q) B noktasında 1 adet; 2. araç tipinden (w) B ve D noktalarında 1'er adet olmak üzere toplamda 3 adet araç bulunduğu varsayılmıştır.

Araçların kilometre başına harcadıkları yakıt miktarı verisinin oluşturulması için piyasada bulunan araçların yakıt verileri incelenmiş ve taşıdıkları yüke göre harcadıkları yakıt miktarı belirlenmiştir. Kilometre başı yakıt miktarı verisine bağlı olarak da ilgili yakıt maliyeti, sabit maliyet ve gelir verisi hesaplanmıştır.

Yakıt miktarları araç tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedirler. Yakıt miktarları Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. Yakıt Miktarları (lt/km)

Araç Tipi	Yakıt Miktarı (Yüksüz Araç, lt)	Yakıt Miktarı (Yüklü Araç, lt)
q	0,26	0,312
w	0,2	0,24

Yakıt maliyeti verisi oluşturulurken; yakıt miktarı ile dizel yakıtın litre fiyatı dikkate alınmıştır. Dizel yakıtın litre fiyatı sabit kabul edilip 6,08 TL/litre olarak alınmıştır. Emisyon miktarı verisi oluşturulurken, toplam emisyon miktarı hesaplama formülünden ($Toplam CO_2 = Yakıt\ miktarı * Yakıt\ dönüşüm\ faktörü$) yararlanılmıştır. Yakıt dönüşüm faktörü sabit bir değere sahiptir ve bu değer 2,63 olarak kabul edilmektedir (Masmoudi vd., 2018).

Sabit maliyet değerleri her nokta çifti için yüklü aracın bu iki nokta arasında tek seyahatte harcaması beklenen yakıt maliyetine eşit olacak şekilde belirlenmiştir. Adil dağılım sağlanması için gerekli olan α parametresinin değeri 0.9 olarak alınmıştır. Bu her bir nokta için planlama ufku boyunca var olan toplam taleplerinin en az %10'unun karşılanması gerektiği anlamına gelmektedir. Noktalar arası taşıma yapılması sonucu elde edilen gelir, yakıt maliyetinin dört katı olarak varsayılmıştır. Hesaplanan gelir miktarları Tablo 7'de yer almaktadır.

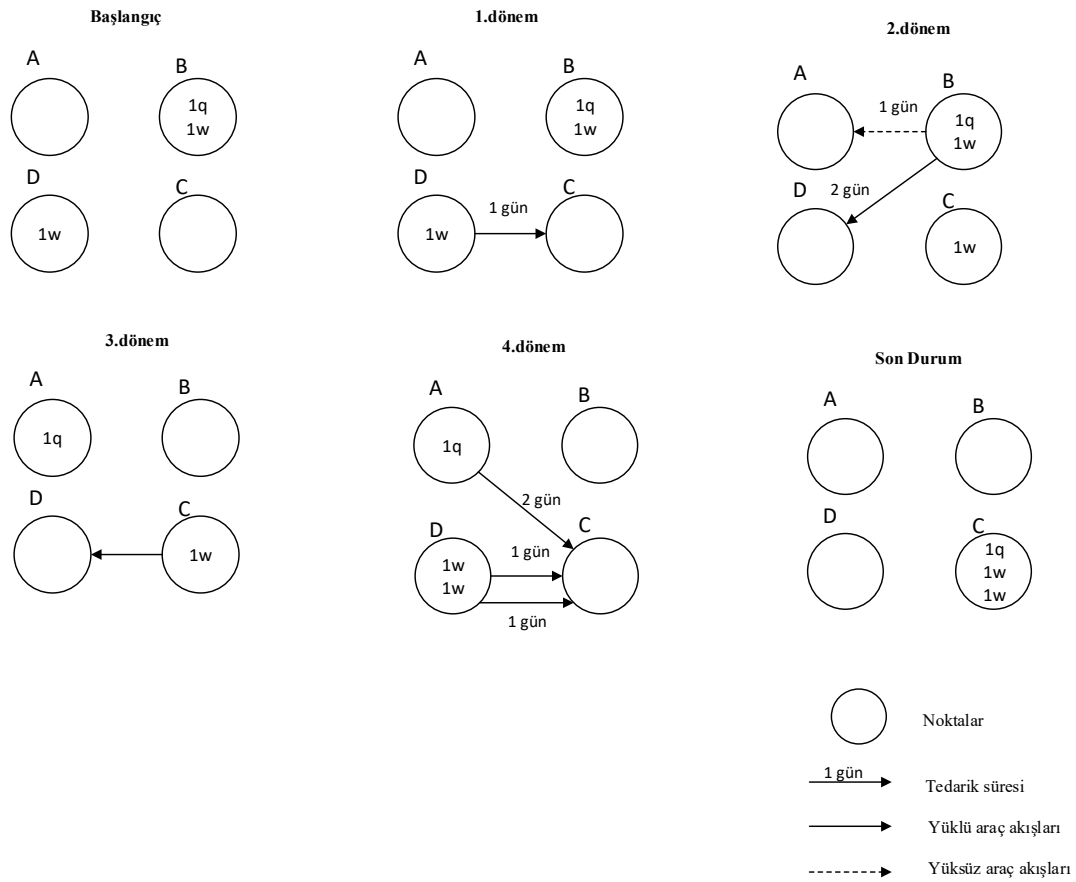
Tablo 7. Noktalar Arasında Talebin Karşılanması Sonucu Elde Edilecek Gelir Miktarları (TL)

		Noktalar			
		A	B	C	D
Noktalar	A	0	2014	2684	3356
	B	2014	0	3356	2684
	C	2684	3356	0	2013,7
	D	3356	2684	2013,7	0

4.1.2. Sonuçlar

Yukarıda tanımlanan veri seti kullanılarak karın maksimize edildiği ve emisyonun minimize edildiği durumlar için önerilen matematiksel model vasıtasıyla ilgili çözümler (taşıma planları) elde edilmiştir. Optimal çözümlerin elde edilmesi yaklaşık olarak ortalama üç dakika sürmektedir. Kar maksimize edilirken emisyon kısıtı için kullanılan epsilon değeri (ϵ_1) 1.000.000 gram iken, emisyon minimize edilirken toplam kar için kullanılan epsilon değeri (ϵ_2) 0 TL olarak belirlenmiştir. Karın maksimize edildiği durumda elde edilen çözümdeki noktalar arası akışlar Şekil 3'te gösterilmiştir.

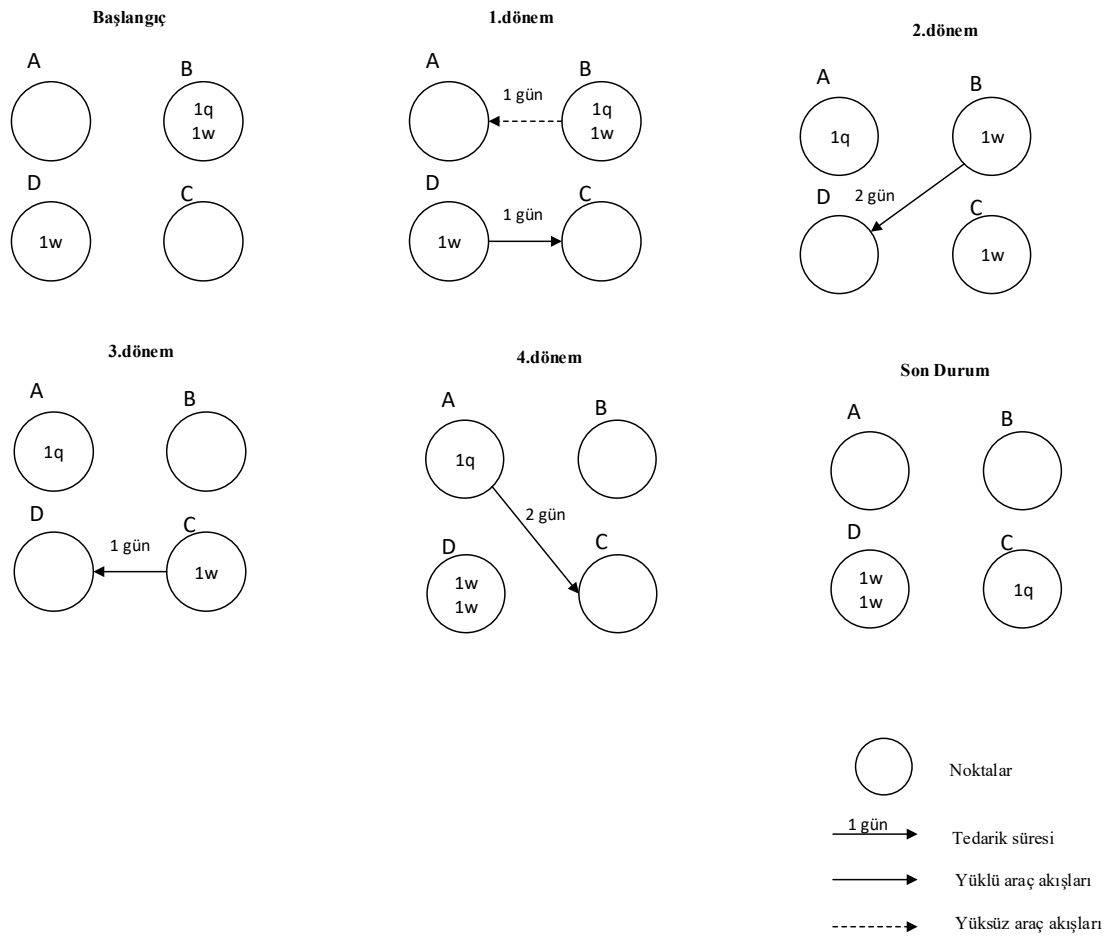
Şekil 3. Karın Maksimize Edildiği Durumda Elde Edilen Çözüm



Çözüm sonucunda, problemde yer alan 14 adet talepten (bknz. Tablo 5) 6 tanesinin karşılandığı görülmektedir. İkinci günde (T = 2 döneminde) B noktasından A noktasına 1 adet boş (yüksüz) akışın olduğu gözlemlenmektedir. İlgili (q) tipindeki aracın dördüncü günde A noktasından C noktasına olan talebin karşılanmasında kullanıldığı görülmektedir. Planlama ufku boyunca taşıma faaliyetleri sonucunda 5.593 TL kar edilmektedir ve bu işlemlerin sonucunda doğaya 1.688 gram emisyon salınımı gerçekleştirildiği hesaplanmaktadır.

Emisyon miktarının minimize edildiği durumda elde edilen çözümdeki için noktalar arası akışlar Şekil 4'de gösterilmiştir.

Şekil 4. Emisyonu Minimize Edildiği Durumda Elde Edilen Çözüm



Çözüm sonucunda, problemde yer alan 14 adet talepten 4 tanesinin karşılandığı görülmektedir. Başlangıç gününde ($T = 1$ döneminde) B noktasından A noktasına 1 adet boş (yüksüz) akış olduğu görülmektedir. İlgili (q) tipindeki aracın dördüncü günde A noktasından C noktasına olan talebin karşılanmasında kullanıldığı görülmektedir. Planlama ufku boyunca taşıma faaliyetleri sonucunda 2.917 TL kar edilmektedir ve bu işlemlerin sonucunda doğaya 1.309 gram emisyon salınımı gerçekleştiği hesaplanmaktadır.

Her iki durum (kar maksimizasyonu ve emisyon minimizasyonu) için elde edilen çözümlerin tanımlanan temel performans kriterleri açısından değerlendirmeleri Tablo 8’de sunulmaktadır.

Tablo 8. Küçük Örnek İçin Temel Performans Kriterleri Tablosu

Temel Performans Kriterleri	Kar	Emisyon
	Maksimizasyonu	Minimizasyonu
Gelir (TL)	13.425	9.397
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	3.429	2.553
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	474	474
Toplam sabit maliyet (TL)	3.429	2.553
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	100	100
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	400	800
Toplam maliyet (TL)	7.832	6.480
Toplam kar (TL) (Gelir – toplam maliyet)	5.593	2.917
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	1.483	1.104
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	205	205
Toplam emisyon (gr)	1.688	1.309
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	6	4
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	1	1
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	5	7
Kat edilen toplam mesafe (km)	2.500	1.900
Talebi karşılama düzeyi	≥%10	≥%10

Elde edilen sonuçlara göre, emisyon minimizasyonu durumunda kar maksimizasyonuna göre toplam karın %47 oranında daha düşük olduğu, buna paralel olarak ise toplam emisyon miktarının da %22 oranında daha az olduğu gözlemlenmektedir.

4.2.ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ

Bu bölümde hipotetik (varsayımsal) olarak ele alınan daha büyük bir örnek olay için oluşturulan veri seti tanıtılacak ve bu veri seti kullanılarak örnek olay için elde edilen çözümler temel performans kriterleri kapsamında değerlendirilecektir.

4.2.1. Örnek Olayın Veri Setinin Tanıtılması

Örnek olayın veri seti oluşturulurken yapılan varsayımlar ve parametrelere ilişkin değerler şu şekilde özetlenebilir. Problemden 30 adet nokta (N), 7 adet araç tipi (A) ve 15

günlük zaman periyodu (T) olduğu varsayılmıştır. Tüm noktalar arası (şehirlerarası) taşımacılık yapılabilen ve hangi araç tipinin kullanılacağı uygunluk parametresi tarafından belirlenmektedir.

Veri setinde kullanılan noktaların harita üzerinde gösterimi Şekil 5’de yer almaktadır. Noktalar arası mesafe ise Tablo 9’da gösterilmektedir.

Şekil 5. Veri Setinde Kullanılan Noktaların Harita Üzerinde Gösterimi



Tablo 9. Noktalar Arası Mesafe (km)

İL ADI	ADANA	AFYONKARAHİSAR	ANKARA	ANTALYA	BALIKESİR	BOLU	BURSA	ÇANAKKALE	EDİRNE	ERZURUM	ESKİŞEHİR	HATAY	MERSİN	İSTANBUL	İZMİR	KAYSERİ	KIRKLARELİ	KOCAELİ	KONYA	MUŞ	SAKARYA	SAMSUN	SİNOP	TEKİRDAĞ	TRABZON	ZONGULDAK	AKSARAY	KIRIKKALE	BATMAN	İĞDIR
ADANA		572	489	540	900	687	839	1098	1174	810	687	191	69	944	898	332	1155	834	355	743	797	721	844	1075	843	764	264	474	621	1069
AFYONKARAHİSAR	572		256	291	328	420	277	526	683	1138	144	763	565	453	326	521	664	343	223	1204	306	677	676	584	1008	488	365	339	1193	1430
ANKARA	489	256		543	536	191	385	656	682	874	233	680	482	452	578	319	663	342	258	976	305	413	409	583	744	268	225	75	978	1166
ANTALYA	540	291	543		507	683	540	702	910	1248	423	731	471	716	444	618	927	606	322	1283	569	905	946	847	1230	751	462	567	1161	1540
BALIKESİR	900	328	536	507		425	151	198	406	1390	303	1091	893	389	176	841	423	279	551	1520	311	897	842	377	1228	493	693	619	1521	1682
BOLU	687	420	191	683	425		274	545	491	965	291	878	680	261	599	513	472	151	456	1157	114	472	417	392	803	158	423	269	1168	1257
BURSA	839	277	385	540	151	274		271	419	1239	152	1030	832	242	325	690	436	132	490	1369	160	746	691	373	1077	342	595	468	1371	1531
ÇANAKKALE	1098	526	656	702	198	545	271		216	1510	423	1289	1091	318	328	961	233	399	749	1640	431	1017	962	187	1348	613	866	739	1642	1802
EDİRNE	1174	683	682	910	406	491	419	216		1456	554	1365	1167	230	536	1004	62	340	892	1648	377	963	908	140	1294	559	910	760	1659	1748
ERZURUM	810	1138	874	1248	1390	965	1239	1510	1456		1115	791	879	1226	1460	632	1437	1116	934	266	1079	561	716	1357	304	1026	786	799	377	295
ESKİŞEHİR	687	144	233	423	303	291	152	423	554	1115		878	680	324	410	538	535	214	338	1217	177	654	653	455	985	359	443	316	1219	1407
HATAY	191	763	680	731	1091	878	1030	1289	1365	791	878		260	1135	1089	437	1346	1025	546	724	988	801	942	1266	923	955	455	665	602	1050
MERSİN	69	565	482	471	893	680	832	1091	1167	879	680	260		937	891	325	1148	827	348	812	790	743	837	1068	912	757	257	467	690	1138
İSTANBUL	944	453	452	716	389	261	242	318	230	1226	324	1135	937		563	774	211	110	662	1418	147	733	678	131	1064	329	680	530	1429	1518
İZMİR	898	326	578	444	176	599	325	328	536	1460	410	1089	891	563		847	553	453	549	1530	485	999	998	507	1330	667	691	661	1519	1752
KAYSERİ	332	521	319	618	841	513	690	961	1004	632	538	437	325	774	847		985	664	304	683	627	453	547	905	614	590	156	248	685	924
KIRKLARELİ	1155	664	663	927	423	472	436	233	62	1437	535	1346	1148	211	553	985		321	873	1629	358	944	889	121	1275	540	891	741	1640	1729
KOCAELİ	834	343	342	606	279	151	132	399	340	1116	214	1025	827	110	453	664	321		552	1308	37	623	568	241	954	219	570	420	1319	1408
KONYA	355	223	258	322	551	456	490	749	892	934	338	546	348	662	549	304	873	552		987	515	591	632	793	916	533	148	253	976	1226
MUŞ	743	1204	976	1283	1520	1157	1369	1640	1648	266	1217	724	812	1418	1530	683	1629	1308	987		1271	824	973	1549	567	1218	839	901	218	388
SAKARYA	797	306	305	569	311	114	160	431	377	1079	177	988	790	147	485	627	358	37	515	1271		586	531	278	917	182	533	383	1282	1371
SAMSUN	721	677	413	905	897	472	746	1017	963	561	654	801	743	733	999	453	944	623	591	824	586		155	864	331	506	502	338	876	853
SİNOP	844	676	409	946	842	417	691	962	908	716	653	942	837	678	998	547	889	568	632	973	531	155		809	486	399	589	383	1017	1008
TEKİRDAĞ	1075	584	583	847	377	392	373	187	140	1357	455	1266	1068	131	507	905	121	241	793	1549	278	864	809		1195	460	811	661	1560	1649
TRABZON	843	1008	744	1230	1228	803	1077	1348	1294	304	985	923	912	1064	1330	614	1275	954	916	567	917	331	486	1195		837	768	669	681	570
ZONGULDAK	764	488	268	751	493	158	342	613	559	1026	359	955	757	329	667	590	540	219	533	1218	182	506	399	460	837		500	346	1229	1318
AKSARAY	264	365	225	462	693	423	595	866	910	786	443	455	257	680	691	156	891	570	148	839	533	502	589	811	768	500		210	841	1078
KIRIKKALE	474	339	75	567	619	269	468	739	760	799	316	665	467	530	661	248	741	420	253	901	383	338	383	661	669	346	210		903	1091
BATMAN	621	1193	978	1161	1521	1168	1371	1642	1659	377	1219	602	690	1429	1519	685	1640	1319	976	218	1282	876	1017	1560	681	1229	841	903		472
İĞDIR	1069	1430	1166	1540	1682	1257	1531	1802	1748	295	1407	1050	1138	1518	1752	924	1729	1408	1226	388	1371	853	1008	1649	570	1318	1078	1091	472	

Tedarik süreleri (τ_{ki}) noktalar arası mesafenin uzunluğuna göre değişiklik göstermektedir. Noktalar arası mesafe 0-499 kilometre arasında yer aldığı tedarik süresi 1 gün, 500-999 kilometre arasında yer aldığı tedarik süresi 2 gün ve 1000 kilometreden uzun olduğunda ise tedarik süresi 3 gün olarak varsayılmıştır.

Problem için talep (d_{ijt}), ceza maliyetleri (s_{ijt} ve c_{ij}), araç uygunlukları (l_{ijta}), ve başlangıç noktalarında bulunan araç sayıları (m_{ita}) verileri rassal olarak üretilmiştir. Tüm planlama ufku boyunca noktalar arası toplam 6546 adet talep olduğu, karşılanamayan talepler için ve yüksüz araçların hareket etmesi durumunda uygulanan ceza maliyetlerinin olmadığı ve başlangıçta farklı noktalarda toplam 225 adet aracın bulunduğu varsayılmaktadır. Planlama ufku boyunca problemde yeni araç girişi olmamaktadır. Talep ve başlangıçtaki toplam araç durumu verilerinin ayrıntılı gösterimleri sırasıyla Ek 1 ve Ek 2 yer almaktadır.

Araçların kilometre başına harcadıkları yakıt miktarı verisinin oluşturulması için piyasada bulunan araçların yakıt verileri incelenmiş, ve taşıdıkları yüke ve araç tipine göre harcadıkları yakıt miktarları belirlenmiştir. Sonrasında, kilometre başı yakıt miktarı verisine bağlı olarak yakıt maliyeti, sabit maliyet ve gelir verisi hesaplanmıştır.

Her bir araç tipi için ilgili yüklü ve yüksüz yakıt miktarı verileri Tablo 10'da yer almaktadır.

Tablo 10. Yakıt Miktarları (lt/km)

Araç Tipi	Yakıt Miktarı (Yüksüz Araç, lt/km)	Yakıt Miktarı (Yüklü Araç, lt/km)
1 (18 ton)	0,26	0,312
2 (26 ton)	0,286	0,3432
3 (32 ton)	0,3146	0,37752
4 (Frigorifik/12 ton/yeni)	0,2	0,24
5 (Frigorifik/15 ton/yeni)	0,22	0,264
6 (Frigorifik/12 ton/eski)	0,24	0,288
7 (Frigorifik/15 ton/eski)	0,264	0,3168

Yakıt miktarı verisi oluşturulurken, araç tiplerine ve yük durumlarına göre yakıt miktarının değişiklik gösterdiği varsayılmıştır. Problemden yer alan araç tipleri için, araçların standart taşıma işlemi yapan araçlar ve farklı özellikli yükler için özel üretilen araçlar olarak ikiye ayrıldığı görülmektedir (Man,2019). Bu çalışmada 3 adet standart taşıma yapan araç olduğu varsayılmış ve bu araçların taşıma kapasiteleri 18 ton, 26 ton ve 32 ton olarak belirlenmiştir. Geriye kalan 4 araç tipinin ise frigorifik araç olduğu varsayılmış ve bu araçların taşıma kapasitelerinin 12 ton ve 15 ton olduğu varsayılmıştır. Ek olarak, taşıma yaparken kullandığımız frigorifik araçlardan 2 tanesinin eski olduğu varsayılmıştır. Tüm bu varsayımlar sonucunda yakıt miktarı verisi oluşturulmuştur.

Taşıma kapasitesi en küçük olan aracın yakıt tüketiminin en az olduğu varsayılmıştır. Daha sonrasında standart araçlar kendi içinde ve frigorifik araçlar kendi içinde değerlendirilmiştir. Standart araçlar için taşıma kapasitesi en küçük olandan başlanarak sırasıyla aracın yük durumuna bakılarak yakıt miktarı verisi ataması yapılmıştır. Standart araçların yüksüz hareket etmeleri durumunda, taşıma kapasitesi farklı olan her bir aracın kendinden bir önceki araçtan %10 daha fazla yakıt tükettiği varsayılmıştır ve yakıt miktarı

buna göre hesaplanmıştır. Standart araçların yüklü hareket etmeleri durumunda ise, yüksüz hareket ettikleri durumdaki yakıt miktarlarının %20 oranında arttığı varsayılarak veri seti oluşturulmuştur. Frigorifik araçlar için veri seti oluşturulurken de standart araçlar için kullanılan varsayımlar kullanılmış ve veri seti bu varsayımlar altında oluşturulmuştur.

Emisyon miktarı verisi oluşturulurken ise, toplam emisyon miktarı hesaplama formülünden yararlanılmıştır. Araçların doğaya saldıkları karbon miktarı hesaplanırken bir kilometrede harcadıkları yakıt miktarı ile yakıt dönüşüm faktörü çarpılmıştır. Yakıt dönüşüm faktörü sabit bir değere sahiptir ve bu değer 2,63 olarak kabul edilmektedir (Masmoudi vd., 2018).

Yakıt maliyeti verisi oluşturulurken; yakıt miktarı ile dizel yakıtın litre fiyatı çarpılmıştır. Dizel yakıtın litre fiyatı sabit kabul edilip 6,08 TL/litre olarak alınmıştır. Sabit maliyetin, yüklü araçlar için belirlenen yakıt maliyetine eşit olduğu varsayılmıştır. Karşılana talepler sonucunda elde edilen gelirin veri seti oluşturulurken, her araç tipinin yakıt maliyeti ve sabit maliyeti göz önünde bulundurulmuştur. Yakıt maliyeti ve sabit maliyeti yüksek olan araç tipleri için gelir verisinin de daha yüksek olduğu varsayılmıştır. Her araç tipi için elde edilen gelir verisi ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen gelirin, yakıt maliyeti ve sabit maliyetinin toplamalarının 1,5 katı olduğu varsayılmıştır. Oluşan talepleri karşılama düzeyi sabit olarak kabul edilmiş ve %10 olarak varsayılmıştır.

4.2.2. Örnek Olayın Çözümü ve Analizi

Bu bölümde tanımlanan örnek problem için kar maksimizasyonu ve emisyon minimizasyonu altında elde edilen sonuçlar temel performans kriterleri dikkate alınarak incelenmektedir. Örnek olay analizinde ilk olarak amaç fonksiyonu, karın maksimize (en büyükleme) edilmesi, daha sonra ise emisyon miktarının minimize (en küçükleme) edilmesi olarak alınmıştır. Örnek olay analizinde her iki durum için çözümler yapılırken aşağıda verilen modeller kullanılmıştır.

Kar maksimizasyonu durumu için;

En büyükle Amaç fonksiyonu (1)

Kısıt seti altında

Kısıtlar (3) – (8)

Amaç fonksiyonu (2) $\leq \epsilon_3$, ($\epsilon_3 = 1.000.000$)

Emisyon minimizasyonu durumu için;

En küçük Amaç fonksiyonu (2)

Kısıt seti altında

Kısıtlar (3) – (8)

Amaç fonksiyonu (1) $\geq \epsilon_4$, ($\epsilon_4 = 100.000$)

Yukarıda tanıtılan örnek olay için, karın maksimize edildiği ve emisyonun minimize edildiği durumlar altında önerilen matematiksel model vasıtasıyla ilgili çözümler (taşıma planları) elde edilmiştir. Optimal çözümlerin elde edilmesi yaklaşık olarak ortalama beş dakika sürmektedir. Kar maksimize edilirken emisyon kısıtı için kullanılan epsilon değeri (ϵ_3) 1.000.000 gram iken, emisyon minimize edilirken toplam kar için kullanılan epsilon değeri (ϵ_4) 100.000 TL olarak belirlenmiştir. Her iki durum için elde edilen sonuçlar Tablo 11’de gösterilmektedir.

Tablo 11. Örnek Olay için Performans Kriterleri Açısından Değerlendirme

Temel Performans Kriterleri	Kar	Emisyon
	Maksimizasyonu	Minimizasyonu
Gelir (TL)	5.504.537	761.004
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	1.711.879	238.590
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	0	45
Toplam sabit maliyet (TL)	1.711.879	238.590
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	0	0
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0	0
Toplam maliyet (TL)	3.423.758	477.225
Toplam kar (TL)	2.080.779	283.779
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	740.500	103.206
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	0	19
Toplam emisyon (gr)	740.500	103.225
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	1.396	669
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	0	1
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	1.069	2702
Kat edilen toplam mesafe (km)	999.992	147.810
Talebi karşılama düzeyi	≥%10	≥%10

Kar maksimizasyonu durumunda, toplam kar değeri 2.080.779 TL, toplam emisyon değeri ise 740.500 gram olarak bulunmaktadır. Emisyon minimizasyonu durumunda ise, toplam kar değeri 283.779 TL, toplam emisyon değeri 103.225 gram olarak bulunmaktadır.

Her iki durum için yapılan analizler karşılaştırıldığında, beklenildiği gibi amaç karı maksimize etmek olduğunda toplam kar emisyon minimizasyonu durumdan yaklaşık olarak 10 kat daha fazla bulunmuştur. Amaç emisyonu minimize etmek olduğunda ise, kar maksimizasyonu ile karşılaştırıldığında toplam emisyon yaklaşık 7 kat daha az bulunmuştur. İki amaç fonksiyonu için talebin karşılanması sonucu elde edilen gelirler karşılaştırıldığında, emisyon minimizasyonu durumunda gelirin kar maksimizasyonu

durumuna göre çok daha az olduğu görülmektedir. Bunun sebebi karşılanan talebin emisyon minimizasyonunda daha az olmasıdır. Çünkü amaç emisyonu minimize etmek olduğunda, talebi karşılama düzeyi kadar talep karşılanması ve toplam kar kısıtında verilen kar miktarının üstüne çıkılması yeterli olmaktadır.

İki amaç fonksiyonu için tüm planlama ufku boyunca toplamda 6546 adet olan talep miktarının karşılanma durumu karşılaştırıldığında kar maksimizasyonu için talebin 1396 adetinin karşılandığı emisyon minimizasyonunda ise 669 adetinin karşılandığı görülmektedir. Bu noktada karşılanan talep sayılarının hareket eden yüklü araç miktarına eşit olduğu bilinmektedir. Kat edilen mesafe miktarı da karşılanan talep sayısına paralel olarak artmıştır.

Araç tiplerini yakıt tüketimleri ve emisyon salınımlarına göre incelemek gerekirse büyükten küçüğe $3 > 2 > 7 > 1 > 6 > 5 > 4$ şeklinde sıralandıkları görülmektedir. Tablo 12’de araç tiplerinin kar maksimizasyonu ve emisyon minimizasyonu durumlarındaki yüklü hareketleri ve karşılanan talep miktarları gösterilmektedir. Yüklü hareket eden araçların ve karşılanan taleplerin araç tiplerine göre dağılımı incelendiğinde;

Tablo 12. Araç Tiplerine Göre Yüklü Hareket Sayıları

Araç Tipi (Adet)	Kar Maksimizasyonu	Emisyon Minimizasyonu
1 (18 ton)	320	50
2 (26 ton)	14	17
3 (32 ton)	3	9
4 (Frigorifik/12 ton/yeni)	232	267
5 (Frigorifik/15 ton/yeni)	232	194
6 (Frigorifik/12 ton/eski)	206	98
7 (Frigorifik/15 ton/eski)	230	34

Kar maksimizasyonu için yüklü hareket eden araçların araç tiplerinin dağılımına bakıldığında yakıt tüketimi en çok olan 3.araç tipinin talepler karşılanırken en az miktarda kullanıldığı görülmektedir. Bunun nedeni, yakıt tüketimi daha fazla olan araç tipinin hem

yakıt maliyetinin hem de sabit maliyetinin diğer araç tiplerine göre daha yüksek olmasıdır. Amaç karı maksimize etmek olduğunda oluşan taleplerin en düşük maliyetle karşılanması hedeflenmektedir. Emisyon minimizasyonu için ise, yüklü hareket eden araçların araç tiplerinin dağılımına bakıldığında emisyon salınımı en çok olan 3.araç tipinin talepler karşılanırken en az miktarda kullanıldığı görülmektedir. Bunun nedeni ise, emisyon minimize edilmek istendiğinde oluşan taleplerin en az emisyon salınımı oluşturulan araç tipiyle karşılanmak istenmesidir. Filo karmasında bulunan araç tiplerine ve talep karşılanırken kullanılan araç tiplerine bakılarak problemin çözümünde araç tiplerinin yakıt tüketimi ve emisyon salınımı farklılıklarının önemli bir faktör olduğu görülmektedir.

4.3. ÖRNEK OLAY ÜZERİNDE SENARYO ANALİZLERİ

Bu bölümde, farklı senaryo analizleri altında örnek olay için elde edilen çözümlerin temel performans kriterleri açısından incelemesi yapılacaktır. İncelenecek senaryolarda amaç parametre değişikliklerinin performans kriterleri üzerine etkisini gözlemlemektir. Bu analizler, gerçek hayatta oluşması muhtemel olan durumlar dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Örnek olay üzerinde senaryo analizi yapılırken, örnek olayda faydalanılan veri seti kullanılmıştır. Analizlerde veri setinin bazı parametrelerinde değişiklikler yapılmış ve yapılan bu değişiklikler analizlerin içinde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Aksi belirtilmedikçe, ek kısıtlarda yer alan epsilon (ϵ) değerleri için kar maksimizasyonunda 1.000.000; emisyon minimizasyonunda ise 100.000 değerleri kullanılmıştır.

4.3.1. Toplam Karın Pareto Analizi

Toplam karın pareto analizinde, farklı kar seviyelerinde karşılaşılan toplam emisyon durumları incelenmiştir. Toplam karın pareto analizi yapılırken, emisyon minimizasyonu amaç fonksiyonu ve toplam kar miktarı e-kısıt olarak kabul edilmiştir.

En küçükle Amaç fonksiyonu (2)

Kısıt seti altında

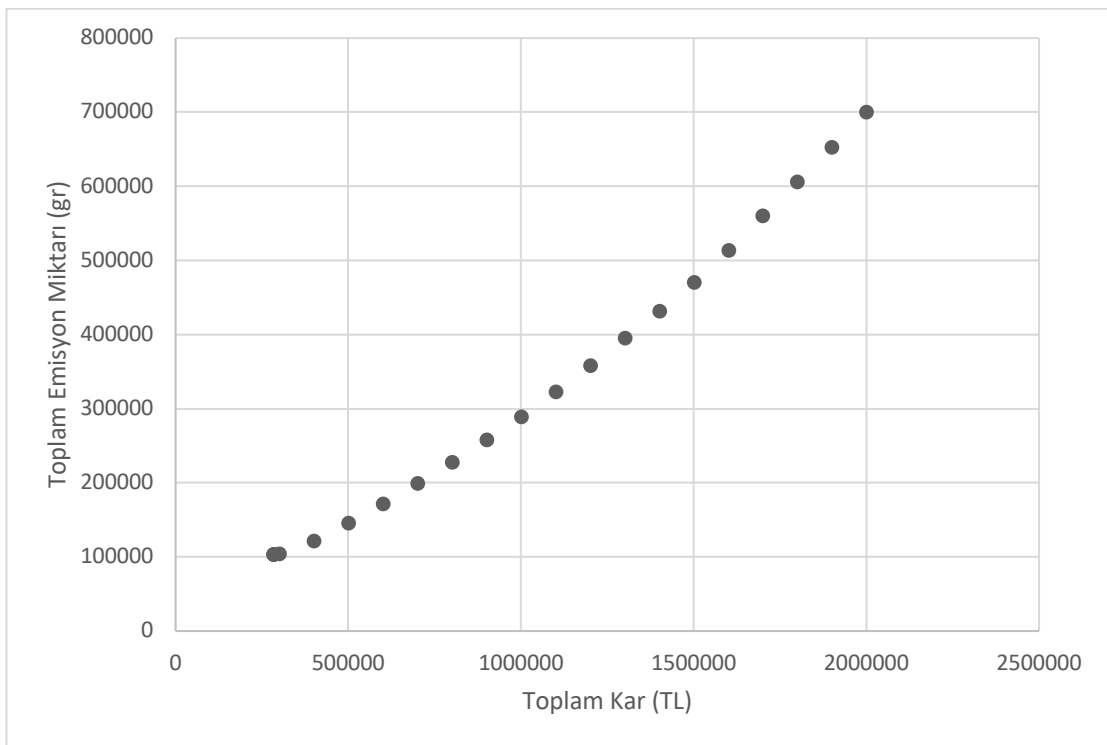
Kısıtlar (3) – (8)

Amaç fonksiyonu (1) $\geq \epsilon_5$.

Toplam karın epsilon (ϵ_5) değerinin 0 TL durumu ile başlanarak, 100.000 TL'lik artışlarla kademeli olarak 2.000.000 TL'ye kadar çıkarılmasıyla ilgili çözümlere ulaşılmıştır.

Emisyon minimizasyonu yapılarak sunulan örneğin, toplam karın farklı epsilon seviyelerinde durumuna göre oluşan emisyon değerlerinin pareto grafiği Şekil 6'da gösterilmektedir.

Şekil 6. Toplam Kar Durumuna Göre Toplam Emisyon Değişim Grafiği



Toplam kar pareto grafiği incelendiğinde, karın artırılması hedeflendiğinde emisyon miktarının da arttığı gözlemlenmektedir. Toplam karın değişim durumuna göre temel performans kriterlerinin değerleri Ek 3’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, yüklü araçların toplam hareket sayılarının, epsilon seviyelerinin değişimine bağlı olarak pozitif bir artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu artışa paralel olarak karşılanan talep miktarının da arttığını gözlemlemek mümkündür. Toplam kar miktarı farklı epsilon seviyelerinde karşılanan talep miktarının artmasına bağlı olarak artış göstermektedir. Yüksüz araç sayıları için herhangi bir artıştan bahsetmek mümkün değildir. Bu değişimlere ek olarak, toplam emisyon miktarının da farklı epsilon seviyelerinde yüklü araç sayıları ve toplam kar miktarındaki artışa bağlı olarak arttığı gözlemlenmektedir.

4.3.2. Toplam Emisyonun Pareto Analizi

Toplam emisyonun pareto analizinde, farklı emisyon seviyelerinde karşılaşılan toplam kar durumları incelenmiştir. Toplam emisyon pareto analizi yapılırken, kar maksimizasyonu amaç fonksiyonu ve toplam emisyon miktarı e-kısıt olarak kabul edilmiştir.

En büyük Amaç fonksiyonu (1)

Kısıt seti altında

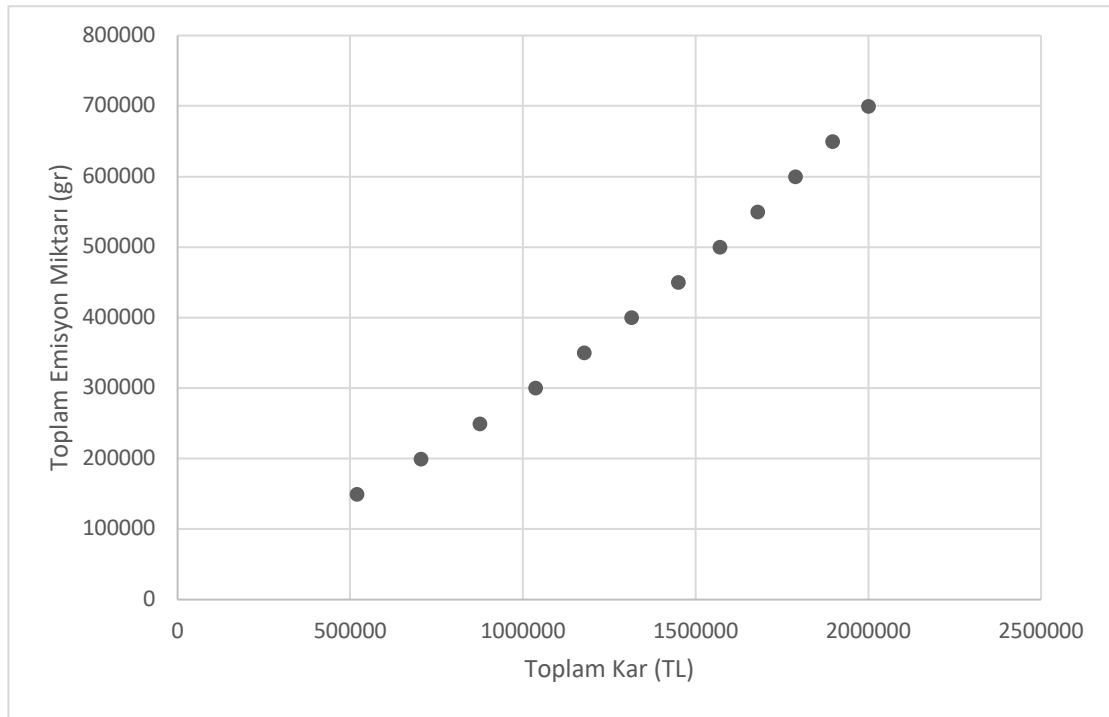
Kısıtlar (3) – (8)

Amaç fonksiyonu (2) $\leq \epsilon_6$.

Toplam emisyon miktarının epsilon (ϵ_6) değerinin 150.000 gram durumu ile başlanarak, 50.000 gramlık artışlarla kademeli olarak 700.000 grama kadar çıkarılmasıyla ilgili çözümlere ulaşılmıştır.

Kar maksimizasyonu yapılarak sunulan örneğin toplam emisyonun farklı epsilon seviyelerinde ki durumuna göre oluşan kar değerlerinin pareto grafiği Şekil 7’de gösterilmektedir.

Şekil 7. Toplam Emisyon Durumuna Göre Toplam Kar Değişim Grafiği



Toplam emisyon pareto grafiği incelendiğinde, emisyon kısıtında yapılan artışın kar artışına imkan tanıdığı gözlenmektedir. Araçların doğaya saldıkları emisyon miktarının ne kadar çok olmasına izin verilirse noktalar arası araç akışları dolayısıyla toplam talebi karşılama ve toplam kar da buna paralel olarak artış göstermektedir. Toplam emisyon değişim durumuna göre temel performans kriterlerinin değerleri Ek 4’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, toplam maliyetin pozitif yönlü arttığı fakat buna rağmen toplam gelirden de artış olduğu için toplam karın maliyet artışından etkilenmediği görülmektedir. Yüklü araçların toplam hareket sayılarının, epsilon seviyelerinin değişimine bağlı olarak pozitif bir artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu artışa paralel olarak karşılanan talep miktarının da arttığını gözlemlemek mümkündür. Yüksüz araç sayıları için herhangi bir artıştan bahsetmek mümkün değildir. Kat edilen toplam mesafe (km) için de pozitif yönlü bir artış gözlemlenmektedir.

4.3.3. Farklı Talep Karşılama Düzeylerinde Amaç Fonksiyonlarının Analizi

Talebi karşılama düzeyi, modelde bulunan noktaların her biri için planlama ufku boyunca oluşacak olan taleplerin ne kadarlık kısmının karşılanması zorunlu olduğunu gösteren değer olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, talebi karşılama düzeyimiz %10 olarak belirlendiğinde, problemde her nokta için oluşan taleplerin %10'luk kısmının karşılanması zorunluluğu bulunmaktadır.

Farklı talep karşılama düzeyleri analizinde amaç, talebin karşılama düzeyi farklılaştığında toplam kar ve toplam emisyon değerlerinde yaşanan değişimlerin gözlemlenmesidir. Karın maksimize edilmesi ve emisyon miktarının minimize edilmesi durumları amaç fonksiyonu olarak alınarak farklı talep karşılama düzeyleri için değerlendirmeler yapılmıştır. Örnek olay analizinde %10 olarak alınan talebi karşılama düzeyi, bu bölümde %20 ve %0 alınarak çözüme ulaşılmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Farklı talep karşılama düzeylerine göre temel performans kriterlerinin değerleri Ek 5'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Talep karşılama düzeylerinin değişimi sonucu oluşan toplam kar ve toplam emisyon değerleri Tablo 13'de gösterilmektedir.

Tablo 13. Farklı Talep Karşılama Düzeylerinde Toplam Kar ve Emisyon

Talep Karşılama Düzeyi	Kar Maksimizasyonu		Emisyon Minimizasyonu	
	Toplam Kar (TL)	Toplam Emisyon (gr)	Toplam Kar (TL)	Toplam Emisyon (gr)
%20	1.983.700	738.519	709.304	291.284
%10	2.080.779	740.500	283.779	103.225
%0	2.119.442	743.072	100.002	23.713

Analiz sonuçlarına göre kar maksimizasyonu durumu için; talebi karşılama düzeyi %20 olarak belirlendiğinde toplam karın ve toplam emisyon miktarının örnek olaydaki duruma göre azaldığı görülmektedir. Talebi karşılama düzeyi %0 olarak belirlendiğinde ise, hem toplam karın hem de emisyon miktarının örnek olaydaki duruma göre artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu bağlamda önemli olan talep karşılama düzeyinin her nokta için ayrı ayrı düşünülmesidir. Modele talep karşılama düzeyinin belli bir seviyede tutulabilmesi adına bir kısıt seti eklendiğinde, geliri düşük olan bazı taleplerinde karşılanmak zorunda olması toplam karı düşürmektedir. Tam tersi bir durum ortaya çıktığında ise, yani herhangi bir talep karşılama düzeyi olmadığında geliri düşük talepler karşılanmak zorunda olmadığı için toplam kar artış göstermektedir. Yüklü araçların toplam hareket sayılarına bakıldığında talebi karşılama düzeyi %20 olduğunda 1026 adet, %10 olduğunda 1396 adet, %0 olduğunda ise 1306 adet olduğu görülmektedir. Toplam yüklü hareket eden araç sayılarımız karşılanan talebi ifade ettiği için karşıladığımız talep miktarlarının değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Bu anlamda %10 talep karşılama ve %0 talep karşılama durumu karşılaştırıldığında %10 talep karşılama düzeyinde daha çok talebin karşılandığı fakat daha az toplam kar elde edildiği görülmektedir. Bunun nedeni gelir düzeyi düşük olmasına rağmen karşılanmak zorunda olan taleplerdir. %0 talep karşılama düzeyinde böyle bir zorunluluk olmadığı için daha az talep karşılanmasına rağmen daha çok toplam kar elde edilebilmektedir.

Emisyon minimizasyonu durumunda ise, toplam kar durumları örnek olayla karşılaştırıldığında %20 talep karşılama düzeyinde toplam karın daha yüksek olduğu %0 talep karşılama düzeyinde ise daha düşük olduğu görülmektedir. Talep karşılama düzeyi %0 olarak alındığında, noktalar için karşılanan talepler belli bir seviyede tutulmak zorunda olmadığından model en az araç hareketiyle emisyon seviyesini belirlemektedir. Yüklü araçların toplam hareket sayılarına bakıldığında talebi karşılama düzeyi %20 olduğunda 1322 adet, %10 olduğunda 669 adet, %0 olduğunda ise 66 adet olduğu görülmektedir. Emisyon minimizasyonu durumunda talebi karşılama düzeyi %0 olarak alındığında araç hareketinin olmasının sebebi; toplam karın belirlenen epsilon değerine göre (ϵ_4) her zaman 100.000 TL'ye eşit veya 100.000 TL'den büyük olması kısıtı ile açıklanabilmektedir. Bu sebeple, talep karşılama düzeyi %0 olduğunda yani taleplerin hiç biri karşılanmak zorunda olmadığına, toplam kar kısıtından dolayı araç hareketi meydana gelmektedir.

4.3.4. Farklı Gelir Düzeylerinde Amaç Fonksiyonlarının Analizi

Bu bölümde, farklı gelir düzeyleri için kar maksimizasyonu ve emisyon minimizasyonu durumları analiz edilmektedir. Farklı gelir düzeylerine veri setinde bulunan gelir (r_{ij}) parametresinde değişiklikler yapılarak ulaşılmaktadır. Gelir seviyeleri örnek olay analizinde kullanılan gelir parametresi üzerinden sırasıyla %25, %50 ve %100 artırılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Gelir düzeylerinin değişim durumuna göre temel performans kriterlerinin değerleri Ek 6'da ayrıntılı olarak verilmiştir. Gelir düzeylerinin değişimi sonucu oluşan toplam kar ve toplam emisyon değerleri Tablo 14'de gösterilmektedir.

Tablo 14. Farklı Gelir Düzeylerinde Toplam Kar ve Emisyon

Gelir Düzeyi Artışı	Kar Maksimizasyonu		Emisyon Minimizasyonu	
	Toplam Kar (TL)	Toplam Emisyon (gr)	Toplam Kar (TL)	Toplam Emisyon (gr)
Örnek Olay	2.080.779	740.500	283.779	103.225
%25	3.457.549	741.409	474.031	103.225
%50	4.834.914	741.949	664.282	103.225
%100	7.590.984	742.778	1.044.784	103.225

Analiz sonuçlarına göre kar maksimizasyonu durumu incelendiğinde, toplam karın pozitif yönlü olarak gelir artışına paralel şekilde artış gösterdiği fakat toplam emisyonda çok küçük değişiklikler olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, noktalar arası akışlarda büyük bir değişikliğin oluşmamasıdır. Emisyon minimizasyonu durumu incelendiğinde ise, yine toplam karın pozitif yönlü olarak gelir artışına paralel şekilde artış gösterdiği fakat toplam emisyon miktarının değişmediği gözlemlenmektedir. Emisyon miktarının değişmemesinin nedeni, noktalar arası akışların değişmemesi olarak açıklanmaktadır.

4.3.5. Ceza Maliyeti Varsayımı Altında Amaç Fonksiyonlarının Analizi

Örnek olay analizinde karşılanamayan talebin ceza maliyetinin (s_{ijt}) bulunmadığı varsayılmıştı. Bu bölümde ise, örnek olay analizinden farklı olarak karşılanamayan talebin ceza maliyeti (s_{ijt}) parametresine rassal olarak değer verilmesi sonucu amaç fonksiyonları analiz edilmiştir.

Karşılanamayan talep için uygulanan ceza maliyeti varsayımı altında elde edilen çözümlerin temel performans kriterlerine göre durumu Tablo 15’de gösterilmektedir.

Tablo 15. Ceza Maliyeti Varsayımı Altında Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Kar	Emisyon
	Maksimizasyonu	Minimizasyonu
Gelir (TL)	5.454.302	1.113.300
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	1.724.186	336.227
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	239	118
Toplam sabit maliyet (TL)	1.724.186	336.227
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	18.333	340.690
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0	0
Toplam maliyet (TL)	3.466.944	1.013.262
Toplam kar (TL)	1.987.358	100.038
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	745.824	145.440
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	103	51
Toplam emisyon (gr)	745.927	145.491
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	1.459	684
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	3	1
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	981	2607
Kat edilen toplam mesafe (km)	999.997	213.051
Talebi karşılama düzeyi	$\geq\%10$	$\geq\%10$

Ceza maliyetinin olmadığı örnek olay sonuçları ile ceza maliyeti var olduğu durumun sonuçları karşılaştırıldığında; kar maksimizasyonu ve emisyon minimizasyonu için;

Toplam kar miktarının beklenildiği gibi ceza maliyeti unsurundan dolayı örnek olay analizindeki toplam kara göre, kar maksimizasyonu durumunda 2.080.779 TL'den 1.987.358 TL'ye düştüğü; emisyon minimizasyonunda ise, 283.779 TL'den 100.038 TL'ye düştüğü gözlemlenmektedir. Yüklü araçların hareket sayısının, kar maksimizasyonu durumunda 1396 adetten 1459 adete çıktığı; emisyon minimizasyonu durumunda ise, 669 adetten 684 adete çıktığı buna bağlı olarak da toplam emisyon miktarının örnek olay analizindeki toplam emisyonu göre arttığı gözlenmektedir. Toplam emisyon miktarının, kar maksimizasyonu durumunda 740.500 gramdan 745.927 grama yükseldiği; emisyon minimizasyonu durumda ise, 103.225 gramdan 145.491 grama yükseldiği görülmektedir. Yüklü araç sayılarında oluşan artıştan yola çıkılarak örnek olay analizindeki duruma göre daha fazla talep karşılandığını gözlemlenmektedir. Karşılana talep miktarının artması durumu toplam kar miktarına artış olarak yansımamıştır. Bu durumun nedeni ise, karşılanamayan taleplerden dolayı ortaya çıkan ceza maliyetinin toplam maliyete eklenerek toplam karı düşürmesidir.

4.3.6. Araç Sayısının Artışı Varsayımı Altında Amaç Fonksiyonlarının Analizi

Bu bölümde, araç sayısı artışı varsayımı altında, hem başlangıç noktalarında bulunan toplam araç sayısı (m_{ita}) artırılmış hem de talep (d_{ijt}) miktarı düşürülerek çözüm yapılmıştır. Başlangıç noktalarında bulunan toplam araç sayısı örnek olayda 225 adet iken 1050 adete çıkarılmıştır. Örnek olayda 6546 adet olan talep miktarı ise, 3815 adete düşürülmüştür.

Yeni varsayımlar altında elde edilen çözümlerin temel performans kriterlerine göre durumu Tablo 16'da gösterilmektedir.

Tablo 16. Araç Sayısının Artışı Varsayımı Altında Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Kar	Emisyon
	Maksimizasyonu	Minimizasyonu
Gelir (TL)	5.477.838	470.189
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	1.503.693	140.464
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	476	0
Toplam sabit maliyet (TL)	1.503.693	140.464
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	0	0
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0	0
Toplam maliyet (TL)	3.007.862	280.928
Toplam kar (TL)	2.469.976	189.261
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	650.446	60.760
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	206	0
Toplam emisyon (gr)	650.652	60.760
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	1.346	397
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	4	0
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	13.268	15.349
Kat edilen toplam mesafe (km)	999.952	91.413
Talebi karşılama düzeyi	≥%10	≥%10

Kar maksimizasyonu için; toplam kar miktarı örnek olay analizinde 2.080.779 TL iken araç sayısı artırılmış durumda toplam karın 2.469.976 TL'ye çıktığı gözlemlenmektedir. Yüklü araçların toplam hareket sayısının örnek olay analizine göre düştüğü gözlemlenmektedir. Örnek olayda 1396 adet olan yüklü araçların hareket sayısı bu analizde 1346 adete düşmüştür. Bu analiz incelenirken, karşılaştırılan iki analiz arasındaki talep miktarlarının eşit olmadığını değerlendirmek gereklidir. Yüzdesele olarak bakıldığında araç sayısı artışı varsayımı altında, gelen taleplerin %35'inin karşılandığını söylemek mümkündür. Örnek olay durumunda ise gelen taleplerin %21'lik kısmının karşılandığı görülmektedir. Toplam yüklü hareket eden araç sayısının düşüşü ve başlangıç noktalarında daha çok araç bulunmasından dolayı hem kar artışı sağlanmış hem de toplam emisyon miktarı düşürülebilmektedir. Örnek olay analizinde 740.500 gram olan toplam emisyon miktarı, araç sayısının artırıldığı durumda 650.652 grama düşmektedir.

Emisyon minimizasyonu için; toplam kar miktarı örnek olay analizinde 283.779 TL iken araç sayısı artırılmış durumda toplam karın 189.261 TL'ye düştüğü gözlemlenmektedir. Yüzdesel olarak bakıldığında, iki analizde de yaklaşık olarak talebin %10'luk kısmının karşılandığı söylenebilmektedir. Örnek olay analizinde 103.225 gram olan toplam emisyon miktarı bu analizde 60.760 grama düştüğü gözlemlenmektedir. Bu noktada, karşılanan talebin ve karlılık seviyesinin aynı olduğu değerlendirildiğinde emisyon miktarının daha da düşürülmesine araç sayısı artışının imkan sağladığı söylenebilmektedir.

4.3.7. Modele Emisyon Vergisi Eklenmesi Varsayımı Altında Amaç Fonksiyonlarının Analizi

Emisyon vergisi durumu analizi yapılırken, doğaya salınan her emisyon gramı için 1 TL emisyon vergisi eklenmiştir. Bu kısıt seti oluşturulurken toplam emisyon miktarı ile emisyon vergisi çarpılmıştır. Emisyon vergisi varsayımı altında elde edilen çözümlerin temel performans kriterlerine göre durumu Tablo 17'de gösterilmektedir.

Tablo 17. Emisyon Vergisi Varsayımı Altında Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Kar	Emisyon
	Maksimizasyonu	Minimizasyonu
Gelir (TL)	5.499.387	761.004
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	1.709.468	238.594
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	0	45
Toplam sabit maliyet (TL)	1.709.468	238.594
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	0	0
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0	0
Emisyon vergisi (TL)	739.457	103.226
Toplam maliyet (TL)	4.158.393	580.459
Toplam kar (TL)	1.340.994	180.545
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	739.457	103.207
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	0	19
Toplam emisyon (gr)	739.457	103.226
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	1.398	669
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	0	1
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	1.079	2.702
Kat edilen toplam mesafe (km)	999.943	147.810
Talebi karşılama düzeyi	≥%10	≥%10

Emisyon vergisi eklenen durum ile örnek olay analizinin sonuçları karşılaştırıldığında;

Kar maksimizasyonu ve emisyon minimizasyonu için; toplam kar miktarının beklenildiği gibi oluşan emisyon sonucu ortaya çıkan emisyon vergisinin maliyeti dolayısıyla örnek olay analizindeki toplam kara göre düştüğü gözlemlenmektedir. Toplam kar, 2.080.779 TL'den 1.340.994 TL'ye düşmüştür. Toplam emisyon miktarının ise, örnek olay analizindeki toplam emisyon miktarına göre büyük bir değişiklik göstermediği gözlemlenmektedir. Yüklü araç sayıları değişiklik göstermediği için toplam emisyon miktarı da 740.500 gramdan 739.457 grama düşmüştür.

4.3.8. Dönemsel Emisyon Analizi

Örnek olay analizinde toplam emisyon miktarının durumuna bakılırken; dönemsel emisyon analizinde emisyon salınımlarının planlama ufkundaki dönemler boyunca oluşan değerlerinin durumları incelenecektir. Dönemsel emisyon analizinde, her dönem için emisyon miktarının 40.000 gram seviyesinde tutulması durumunda oluşacak kar durumu incelenmiştir.

En büyükle Amaç fonksiyonu (1)

Kısıt seti altında

Kısıtlar (3) – (8)

Amaç fonksiyonu (2) $\leq \epsilon_7$ ($\epsilon_7 = 100.000$)

Dönemsel emisyon kısıtı ≤ 40.000 şeklinde yazılarak çözüme ulaşılmıştır.

Dönemsel emisyon seviyesi kısıtı altında elde edilen çözümlerin temel performans kriterlerine göre durumu Tablo 18’de ve her dönem için oluşan emisyon miktarları Tablo 19’da gösterilmektedir.

Tablo 18. Dönemsel Emisyonun Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Kar Maksimizasyonu
Gelir (TL)	4.522.188
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	1.375.920
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	1.350
Toplam sabit maliyet (TL)	1.375.920
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	0
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0
Toplam maliyet (TL)	2.753.190
Toplam kar (TL)	1.768.998
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	595.754
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	0
Toplam emisyon (gr)	595.754
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	1.138
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	2
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	1.488
Kat edilen toplam mesafe (km)	826.531
Talebi karşılama düzeyi	≥%10

Tablo 19. Emisyon Miktarlarının Dönemsel Değerleri

Dönemler	Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)
1	39.936	0
2	39.798	0
3	39.627	0
4	39.754	0
5	39.962	0
6	39.963	0
7	38.305	0
8	39.097	268
9	39.573	0
10	39.640	315
11	39.998	0
12	39.771	0
13	39.878	0
14	39.888	0
15	39.981	0
Toplam Emisyon	595.171	583

Dönemsel emisyon analizinin amacı, dönemsel olarak ortaya çıkan emisyonların belirli bir seviyede tutulmasının sağlanmasıdır. Dönemsel emisyonun her dönem için 40.000 gramda tutulduğu durum ile örnek olay analizi karşılaştırıldığında; toplam karın ve toplam emisyon miktarının düştüğü gözlemlenmektedir. Dönemsel emisyon analizinde toplam kar 1.768.998 TL iken örnek olayda 2.080.779 TL olmaktadır. Toplam emisyon değeri ise dönemsel emisyon analizinde 595.754 gram iken örnek olayda 740.500 gramdır. Yüklü araçların toplam hareket sayılarına ve buna bağlı olarak karşılanan talep miktarına bakıldığında dönemsel emisyon kısıtı eklendiği durumda 1.138 adet talebin karşılandığı buna karşın örnek olayda 1.396 adet talebin karşılandığı görülmektedir. Bu

durumun temel sebebi, her dönem için emisyon belli bir seviyede tutulmak zorunda olduğundan fazladan araç hareketi yapılamamasıdır. Örnek olay analizi ve dönemsel emisyon analizindeki kriterler değerlendirildiğinde, daha az toplam kar elde edilmesi durumuna katlanılarak doğaya daha az emisyonun salınabildiği görülmektedir.

SONUÇ

Son yıllarda tüketimin hızla artış göstermesi, firmaların da bu tüketim ihtiyacını karşılayabilmek için daha fazla ve bilinçsiz üretim yapması, kıt olan kaynakların azalmasına yol açmasının yanı sıra; çevre kirliliği, ekolojik dengenin bozulması, küresel ısınma gibi sorunları da beraberinde getirmiştir. Öte yandan, üretim ve tüketimde meydana gelen orantılı artış; talebi zamanında karşılama gerekliliğini ihtiyaç niteliğine taşımış ve bu sistematik, yük taşımacılığı başlığını giderek daha da önemli kılmıştır. Lojistik yönetimi içerisindeki en temel alan olan yük taşımacılığı, taşıma faaliyetlerinin düşük maliyetle yapılabilmesi, kaliteli olması ve bu esnada çevreye duyarlı şekilde sunulması meydana gelen sorunlara çözüm sunabilmesi açısından oldukça önem arz etmektedir.

Pek çok çeşidi olan ulaştırma faaliyetlerinin; büyük kısmı karayolları üzerinden gerçekleştirilmekte olup, karayolu kullanılarak gerçekleştirilen bu eylemler, karayolu yük taşımacılığı olarak nitelendirilmektedir. Diğer türler ile kıyaslandığında, karayolu taşımacılığının; ciddi seviyede yakıt tüketimine ve karbon emisyonu salınımına yol açtığı bilinmektedir. Çevre kirliliği ve küresel ısınmanın başlıca nedeni olan karbon emisyonu salınımının minimum düzeyde tutulabilmesi, karayolu taşımacılığı faaliyetlerinin etkili bir biçimde planlanmasını gerekli kılmaktadır. Aynı zamanda doğru planlama; çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik açısından oldukça önem teşkil etmektedir. Başka bir deyişle, sistematik ve optimal şekilde oluşturulan taşıma planları; yakıt tüketimlerinin azalmasını sağlayacak ve dolayısıyla karbon emisyonu seviyesini de düşürecektir.

Yukarıda bahsi geçen taşıma planlarının doğru ve ihtiyaca yönelik olarak oluşturulabilmesi, uzun mesafeli yük taşımacılığında araç tahsislerinin optimal şekilde yapılmasını gerekli kılmaktadır. Mevcut çalışmalar incelendiğinde, araç tahsis problemlerinde; karbon emisyonu minimizasyonunun hedeflenmediği görülmektedir. Ancak günümüz şartları değerlendirildiğinde sürdürülebilir bir taşıma planının yapılması ve karbon emisyonlarının en aza indirilmesi zorunluluk haline gelmiştir.

Bu çalışmada, sürdürülebilirliğin çevresel boyutunda bulunan emisyon ögesini kapsayan bir araç tahsis problemi ele alınmış ve söz konusu problem için bir matematiksel model (çift amaçlı doğrusal programlama modeli) önerisinde bulunulmuştur. Sürdürülebilirliğin

çevresel boyutunun ele alınmasında Stuart L. Hart'ın Çağdaş Sürdürülebilirlik Yaklaşımı'ndan (Hart,1999) yararlanılmıştır. Hart'a göre, çevre toplumu, toplum da ekonomiyi kapsamaktadır ve sürdürülebilirliğin üç boyutu da birbirini etkilemektedir. Bu nedenle öncelikli olarak çevresel sürdürülebilirlik sağlanmalı daha sonrasında ise, sürdürülebilirliğin diğer boyutları olan ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik aşamalarına odaklanılmalıdır. Ek olarak çalışmada, modelin gerçek hayatta uygulanabilirliği ve elde edilebilecek faydalar nümerik analizler üzerinde gösterilmiştir.

Tez çalışması doğrultusunda önerilen model, önceden bilinen talep yapısı varsayımı altında, farklı araç tiplerini bulunduran bir filo karmasına sahip karar vericiler için; yük taşıma planı hazırlanma aşamasında eş anlı olarak kar maksimizasyonu ve emisyon minimizasyonuna imkan sağlamaktadır. Ayrıca modelin; emisyonu en aza indirmeye olanak tanınması, sürdürülebilirlik kavramı açısından değer taşımaktadır.

Bilinen literatürde bulunan iki adet nicel çalışmada (Wu vd., 2010 ve Tan vd., 2011) sürdürülebilirlik konusuna değinildiği görülmektedir. Wu vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada kentsel alanlardan tahliyelerin optimizasyonu amaç fonksiyonu olarak belirlenmiş ve mobil emisyonların minimizasyonu yine amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Tan vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada ise, oluşturulan modelde amaç fonksiyonu tahliye süresinin minimizasyonu olarak tanımlanmıştır. Modelde toplam emisyon miktarı kısıt seti olarak ele alınmıştır. Literatüre bakıldığında; eş anlı olarak karlılığı gözetken, emisyon minimizasyonu sağlayan ve aynı zamanda filo karmasında farklı araçlar bulundurarak talep reddine ilişkin ceza maliyeti içeren çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmanın gerçek hayatta oluşabilecek durumlara uygun varsayımlar bulundurması, son zamanlarda artış gösteren çevresel sorunların çözümüne ve sürdürülebilirliğe katkı sağlayabilecek nitelikte olması açısından, karar vericiler için önem arz etmektedir.

Tez kapsamında oluşturulan analizlerde, gerçek hayatta karar vericilerin karşılıklarına çıkabilecek durumlar temel alınmıştır. Bu amaç doğrultusunda; her analizde gelir ve maliyet durumları gösterilmiş, bu seviyelerde oluşan toplam kar ve emisyon miktarları ortaya konulmuştur. Çalışma bu yönü ile karar vericiler açısından, analizleri daha anlaşılır ve uygulanabilir kılmakla birlikte; araç tahsis problemlerinde sürdürülebilirlik kavramının önemini anlaşılması açısından da örnek teşkil etmektedir.

Yapılan analizler sonucunda örnek olay olarak adlandırılan ve karşılaştırmalar için temel alınan problem çözümünde, amaç karı maksimize etmek olduğunda toplam kar, emisyon minimizasyonu durumdan yaklaşık olarak 10 kat daha fazla bulunmuştur. Amaç emisyonu minimize etmek olduğunda ise, kar maksimizasyonu ile karşılaştırıldığında toplam emisyon yaklaşık 7 kat daha az bulunmuştur. Ayrıca, örnek olay incelendiğinde, modelin araç tiplerinin yakıt maliyetlerini ve doğaya salınan karbon miktarlarını dikkate aldığı da görülmektedir. Kar maksimizasyonunda, yakıt maliyeti en yüksek araç tipinin talep karşılanırken en az adette kullanıldığı, emisyon minimizasyonunda ise, karbon salınımı en çok olan araç tipinin talep karşılanırken en az adette kullanıldığı görülmektedir. Talep karşılama düzeylerinin değerlendirildiğinde, talep karşılama düzeyinde oluşan her artışın toplam karı azalttığı gözlemlenmiştir. Toplam zorunlu karşılanması gereken talep miktarı artışından dolayı daha maliyetli taleplerin karşılanmak zorunda olduğu görülmektedir.

İleride çalışılabilecek konular açısından bakıldığında ise; modele belirsiz talep varsayımı, değişken filo karması, trafik yoğunluğu, yol şartları gibi kısıtlar eklenerek özgün modeller ve çözümler geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Agbo, A. A., & Zhang, Y. (2017). Sustainable freight transport optimisation through synchromodal networks. *Cogent Engineering*, 4(1), 1421005.
- Andersson, J. (2000). A survey of multiobjective optimization in engineering design. Technical Report. *Department of Mechanical Engineering Linköping University*, Linköping, Sweden.
- Andrade, L. A. C., & Cunha, C. B. (2015). An ABC heuristic for optimizing moveable ambulance station location and vehicle repositioning for the city of São Paulo. *International Transactions in Operational Research*, 22(3), 473-501.
- Archetti, C., & Savelsbergh, M. (2009). The trip scheduling problem. *Transportation Science*, 43(4), 417-431.
- Atasoy, B., Ikeda, T., & Ben-Akiva, M. E. (2015). Optimizing a flexible mobility on demand system. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2536), 76-85.
- Atasoy, B., Ikeda, T., Song, X., & Ben-Akiva, M. E. (2015). The concept and impact analysis of a flexible mobility on demand system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 56, 373-392.
- Basnet, C. H. U. D. A., Foulds, L. R., & Wilson, J. M. (1997). A decision aid for milk tanker run allocation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(8), 786-792.
- Bedük, M. (2009). *Tedarik zinciri yönetiminin işletme performansı üzerindeki etkisi: Örnek Olay çalışması* (Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü).

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

Bojović, N. J. (2002). A general system theory approach to rail freight car fleet sizing. *European Journal of Operational Research*, 136(1), 136-172.

Başlıgil, H. ve Karahan, A. (2003). Tedarik zinciri sistemleri, yönetimi, modelleri ve performans ölçütleri.

Brundtland, G. H., Khalid, M., Agnelli, S., & Al-Athel, S. (1987). Our common future. *New York*.

Cordeau, J. F., Toth, P., & Vigo, D. (1998). A survey of optimization models for train routing and scheduling. *Transportation science*, 32(4), 380-404.

Croxton, K. L., Garcia-Dastugue, S. J., Lambert, D. M., & Rogers, D. S. (2001). The supply chain management processes. *The International Journal of Logistics Management*, 12(2), 13-36.

Crowder, H., & Padberg, M. W. (1980). Solving large-scale symmetric travelling salesman problems to optimality. *Management Science*, 26(5), 495-509.

Çancı, M., & Erdal, M. (2003). *Uluslararası taşımacılık yönetimi: freight forwarder el kitabı 2*. UTİKAD.

Çevik, O., & Gülcan, B. (2011). Lojistik faaliyetlerin çevresel sürdürülebilirliği ve Marco Polo programı. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 13(20), 35-44.

Daniels, R., & Mulley, C. (2012). Flexible transport services: Overcoming barriers to implementation in low-density urban areas. *Urban Policy and Research*, 30(1), 59-76.

de Armas, J., Keenan, P., Juan, A. A., & McGarraghy, S. (2019). Solving large-scale time capacitated arc routing problems: from real-time heuristics to metaheuristics. *Annals of Operations Research*, 273(1-2), 135-162.

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

Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2011). A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(5), 347-357.

Dişkaya, F. “Yeşil Lojistik Yönetiminde Ulusal Karayolu Yük Taşımacılığı Araç Rotalama Optimizasyonu.” Doktora tezi, Marmara Üniversitesi, 2018.

Erera, A. L., Morales, J. C., & Savelsbergh, M. (2009). Robust optimization for empty repositioning problems. *Operations Research*, 57(2), 468-483.

Erkayman, B. “Lojistikte Taşıma Şekillerinin Belirlenmesi.” Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2007.

Erturgut, R. (2016). *Lojistik ve tedarik zinciri yönetimi*. Ankara: Nobel Yayıncılık.

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

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

Frantzeskakis, L. F., & Powell, W. B. (1996). Restricted recourse strategies for bounding the expected network recourse function. *Annals of Operations Research*, 64(1), 261-287.

Ghiani, G., Laporte, G. ve Musmanno, R. (2013). *Intorduction to logistics systems planning and control*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.

Gültaş, P., & Yücel, M. Yeşil Lojistik: Yeşil Ulaşım Hizmetleri Malatya Büyükşehir Belediyesi Örneği. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 6(2), 70-83.

Hall, R. W. (1999). Stochastic freight flow patterns: implications for fleet optimization. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33(6), 449-465.

Hall, R. W., & Zhong, H. (2002). Decentralized inventory control policies for equipment management in a many-to-many network. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(10), 849-865.

Hanczar, P., & Peternek, P. (2015). The short-term car flow planning model in rail freight company—case study. *Transportation Research Procedia*, 10, 605-614.

Handfield, R. B., & Nichols Jr, E. L. (1999). Introduction to. *Supply Chain Management*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Hart, M. (1999). *The guide to sustainable community indicators* (2. Baskı). North Andover: Hart Environmental Data.

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

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

Javadian, N., Sayarshad, H. R., & Najafi, S. (2011). Using simulated annealing for determination of the capacity of yard stations in a railway industry. *Applied Soft Computing*, 11(2), 1899-1907.

Jiang, X., Chen, X., Zhang, L., & Zhang, R. (2015). Dynamic demand forecasting and ticket assignment for high-speed rail revenue management in China. *Transportation Research Record*, 2475(1), 37-45.

- Kaas, A. H., & Jacobsen, E. M. (2008). Analysing the Metro Cityring in Copenhagen. *Proceedings Computers in Railways, 11*, 45-54.
- Kaewpuang, R., Niyato, D., Tan, P. S., & Wang, P. (2017). Cooperative management in full-truckload and less-than-truckload vehicle system. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 66*(7), 5707-5722.
- Kelly, D., Lupa, M., de Araujo, M. P., & Casper, C. (2014). Asset Management of Vehicles: A Practical Application of the Logic Scoring of Preference Method of Optimizing Programmatic Investment Decisions in a Performance Based System. *Procedia Computer Science, 32*, 681-690.
- Koca, S. "Tedarik Zinciri Yönetimi ve Bir Taşıma Zincirinin İncelenmesi." Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2001.
- Koç, Ç., Bektaş, T., Jabali, O., & Laporte, G. (2014). The fleet size and mix pollution-routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological, 70*, 239-254.
- Kopczak, L. R. (1997). Logistics partnerships and supply chain restructuring: survey results from the US computer industry. *Production and Operations Management, 6*(3), 226-247.
- Küçük, O. (2011). *Lojistik İlkeleri ve Yönetimi*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Lam, S. W., Lee, L. H., & Tang, L. C. (2007). An approximate dynamic programming approach for the empty container allocation problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 15*(4), 265-277.
- Lee, Y. H., Kim, J. 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, S., Ragu-Nathan, B., Ragu-Nathan, T. S., & Rao, S. S. (2006). The impact of supply chain management practices on competitive advantage and organizational performance. *Omega, 34*(2), 107-124.

Li, K., & Tian, H. (2015). Integrated optimization of finished product logistics in iron and steel industry using a multi-objective variable neighborhood search. *ISIJ International*, 55(9), 1932-1941.

Lim, K. K. (2016). Modeling the choice of household vehicle for social-recreational tours. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(2), 913-921.

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

Lin, D. Y., & Chang, Y. T. (2018). Ship routing and freight assignment problem for liner shipping: Application to the Northern Sea Route planning problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 110, 47-70.

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

List, G. F., Wood, B., Turnquist, M. A., Nozick, L. K., Jones, D. A., & Lawton, C. R. (2006). Logistics planning under uncertainty for disposition of radioactive wastes. *Computers & operations research*, 33(3), 701-723.

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

Lummus, R. R., & Vokurka, R. J. (1999). Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, 99(1), 11-17.

“Man”, son erişim 16 Nisan, 2019, <http://www.man.com.tr>.

Masmoudi, M. A., Hosny, M., Demir, E., & Cheikhrouhou, N. (2018). A study on the heterogeneous fleet of alternative fuel vehicles: Reducing CO₂ emissions by means of biodiesel fuel. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63, 137-155.

Mendes, L. M., Bennassar, M. R., & Chow, J. Y. (2017). Comparison of light rail streetcar against shared autonomous vehicle fleet for Brooklyn–Queens connector in New York City. *Transportation Research Record*, 2650(1), 142-151.

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.

Milenković, M. S., Bojović, N. J., Švadlenka, L., & Melichar, V. (2015). A stochastic model predictive control to heterogeneous rail freight car fleet sizing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 82, 162-198.

Milenković, M., & Bojović, N. (2013). A fuzzy random model for rail freight car fleet sizing problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 33, 107-133.

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

Misra, S. C. (1972). Linear programming of empty wagon disposition. *Rail International*, 3(3).

Mosca, M., Mattera, L., & Saccaro, S. (2018, July). Comparison of plant alternatives in a freight-terminal using stochastic discrete event simulation. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1982, No. 1, p. 020012). AIP Publishing.

Mueller, K., & Sgouridis, S. P. (2011). Simulation-based analysis of personal rapid transit systems: service and energy performance assessment of the Masdar City PRT case. *Journal of Advanced Transportation*, 45(4), 252-270.

Ou, C. S., Liu, F. C., Hung, Y. C., & Yen, D. C. (2010). A structural model of supply chain management on firm performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 30(5), 526-545.

Özçağ, M. & Hotunluoğlu, H. (2015). Kalkınma anlayışında yeni bir boyut: Yeşil ekonomi. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(2), 303-324.

Özen, M. & Yaman, H. T. (2013). Türkiye'de Şehirlerarası Yük Trafiği CO2 Emisyonlarının Tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(3), 56-64.

Özdemir, A. İ. (2004). Tedarik zinciri yönetiminin gelişimi, süreçleri ve yararları. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (23).

Özmehmet, D. E. (2008). Dünyada ve Türkiye'de Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımları. *Journal of Yaşar University*, 3(12), 1853-1876.

Papier, F., & Thonemann, U. W. (2008). Queuing models for sizing and structuring rental fleets. *Transportation Science*, 42(3), 302-317.

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

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

Powell, W. B. (1996). A stochastic formulation of the dynamic assignment problem, with an application to truckload motor carriers. *Transportation Science*, 30(3), 195-219.

Powell, W., Ruszczyński, A., & Topaloglu, H. (2004). Learning algorithms for separable approximations of discrete stochastic optimization problems. *Mathematics of Operations Research*, 29(4), 814-836.

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

Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2014). *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain*. Kogan Page Publishers.

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

Sayarshad, H. R., & Ghoseiri, K. (2009). A simulated annealing approach for the multi-periodic rail-car fleet sizing problem. *Computers & Operations Research*, 36(6), 1789-1799.

Sayarshad, H. R., Javadian, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Forghani, N. (2010). Solving multi-objective optimization formulation for fleet planning in a railway industry. *Annals of Operations Research*, 181(1), 185-197.

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.

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

Soysal, M. "Decision Support Modeling for Sustainable Food Logistics Management." Doktora tezi, Wageningen Üniversitesi, 2015.

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

Soysal, M. ve Bloemhof, J.M. (2018). Towards Sustainable Logistics. Cınar, D., Gakis, K., & Pardalos, P. M. (Ed.). *Sustainable Logistics and Transportation: Optimization Models and Algorithms*. Springer.

Sönmez, A. ve Tanıdır, B. (2016). *Müsiad Araştırma Raporları: 2015 Lojistik Sektör Raporu, Lojistik Sektöründe Sürdürülebilirlik Yeşil Lojistik*. İstanbul: Mavi Ofset

Spieckermann, S., & Voß, S. (1995). A case study in empty railcar distribution. *European Journal of Operational Research*, 87(3), 586-598.

Subramanyam, A., Wang, A., & Gounaris, C. E. (2018). A scenario decomposition algorithm for strategic time window assignment vehicle routing problems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 117, 296-317.

Sun, A., & Hickman, M. (2004). Scheduling considerations for a branching transit route. *Journal of advanced transportation*, 38(3), 243-290.

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

Suvacı, B. (2016). Sosyal Bilimler Veri Tabanında Yayimlanan Lojistik ve Tedarik Zinciri Makalelerinin Bibliyometrik Profili. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (25), 263-281.

Tan, K. C., Kannan, V. R., & Handfield, R. B. (1998). Supply chain management: supplier performance and firm performance. *Journal of Supply Chain Management*, 34(3), 2.

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

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

Teigen, R. (1997). Information flow in a supply chain management system. URL: <http://www.eil.utoronto.ca/profiles/rune/dip-thesis.html>.

Tıraş, H. H. (2012). Sürdürülebilir kalkınma ve çevre: Teorik bir inceleme. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(2), 57-73.

“The Ohio State University”, Erişim 30 Nisan, 2019. <https://fisher.osu.edu/centers-partnerships/gscf/research-publications>.

Tokol, T. (2001). *Pazarlama Yönetimi*. İstanbul: Vipaş AŞ Yayınları.

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

Upadhyay, A., & Bolia, N. B. (2014). An optimization based decision support system for integrated planning and scheduling on dedicated freight corridors. *International Journal of Production Research*, 52(24), 7416-7435.

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.

Wadud, Z. (2011). Personal tradable carbon permits for road transport: Why, why not and who wins?. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(10), 1052-1065.

Wen, S. Y., & Li, Y. (2011). Fastest Complete Vehicle Routing Problem Using Learning Multiple Ant Colony Algorithm. In *Advanced Materials Research* (Vol. 217, pp. 1044-1049). Trans Tech Publications.

Wu, C., Huang, G., Yan, X., Cai, Y., Li, Y., & Lv, N. (2009). An inexact optimization model for evacuation planning. *Kybernetes*, 38(10), 1676-1683.

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

Yan, S., Bernstein, D., & Sheffi, Y. (1995). Intermodal pricing using network flow techniques. *Transportation Research Part B: Methodological*, 29(3), 171-180.

Zhao, Y., Xue, Q., Cao, Z., & Zhang, X. (2018). A Two-Stage Chance Constrained Approach with Application to Stochastic Intermodal Service Network Design Problems. *Journal of Advanced Transportation*, 2018.

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

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

EK 1: NOKTALARDAKİ TOPLAM TALEP MİKTARLARI

Nokta	Toplam Talep	Nokta	Toplam Talep	Nokta	Toplam Talep
1	217	11	209	21	218
2	222	12	214	22	194
3	222	13	212	23	219
4	218	14	215	24	231
5	226	15	230	25	221
6	220	16	227	26	237
7	218	17	202	27	242
8	224	18	221	28	213
9	234	19	192	29	220
10	202	20	210	30	216

EK 2: BAŞLANGIÇ NOKTALARINDAKİ ARAÇ DAĞILIM DURUMU

i	t	a	Araç Sayısı	i	t	a	Araç Sayısı	i	t	a	Araç Sayısı	i	t	a	Araç Sayısı
1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	3	2	2	1	4	2
2	1	1	2	2	1	2	2	3	1	3	2	6	1	4	2
4	1	1	2	4	1	2	2	4	1	3	2	8	1	4	2
5	1	1	2	8	1	2	2	5	1	3	2	17	1	4	2
6	1	1	2	10	1	2	2	7	1	3	2	19	1	4	2
7	1	1	2	12	1	2	2	8	1	3	2	21	1	4	2
10	1	1	2	5	1	2	1	12	1	3	2	22	1	4	2
11	1	1	2	6	1	2	1	14	1	3	2	4	1	4	1
12	1	1	2	7	1	2	1	15	1	3	2	5	1	4	1
13	1	1	2	9	1	2	1	19	1	3	2	7	1	4	1
14	1	1	2	16	1	2	1	20	1	3	2	9	1	4	1
20	1	1	2	17	1	2	1	21	1	3	2	10	1	4	1
21	1	1	2	20	1	2	1	25	1	3	2	23	1	4	1
25	1	1	2	21	1	2	1	27	1	3	2	24	1	4	1
26	1	1	2	23	1	2	1	30	1	3	2	25	1	4	1
28	1	1	2	28	1	2	1	1	1	3	1	27	1	4	1
29	1	1	2	30	1	2	1	11	1	3	1	28	1	4	1
9	1	1	1					17	1	3	1	29	1	4	1
15	1	1	1					18	1	3	1	30	1	4	1
17	1	1	1					22	1	3	1				
19	1	1	1					26	1	3	1				
22	1	1	1					28	1	3	1				
23	1	1	1					29	1	3	1				

i	t	a	Araç Sayısı	i	t	a	Araç Sayısı	i	t	a	Araç Sayısı
1	1	5	2	2	1	6	2	1	1	7	2
2	1	5	2	6	1	6	2	2	1	7	2
6	1	5	2	9	1	6	2	5	1	7	2
9	1	5	2	12	1	6	2	7	1	7	2
10	1	5	2	16	1	6	2	12	1	7	2
13	1	5	2	20	1	6	2	13	1	7	2
15	1	5	2	24	1	6	2	14	1	7	2
17	1	5	2	25	1	6	2	15	1	7	2
21	1	5	2	26	1	6	2	20	1	7	2
23	1	5	2	27	1	6	2	21	1	7	2
24	1	5	2	28	1	6	2	30	1	7	2
26	1	5	2	1	1	6	1	3	1	7	1
27	1	5	2	3	1	6	1	4	1	7	1
29	1	5	2	4	1	6	1	8	1	7	1
3	1	5	1	5	1	6	1	9	1	7	1
4	1	5	1	8	1	6	1	11	1	7	1
7	1	5	1	11	1	6	1	24	1	7	1
11	1	5	1	14	1	6	1	28	1	7	1
25	1	5	1	15	1	6	1	29	1	7	1
				17	1	6	1				
				21	1	6	1				
				22	1	6	1				
				23	1	6	1				
				30	1	6	1				

EK 3: TOPLAM KARIN PARETO ANALİZİ TEMEL PERFORMANS KRİTERLERİ TABLOSU

Temel Performans Kriterleri	Toplam Kar ≥ 0	Toplam Kar ≥ 100.000	Toplam Kar ≥ 200.000	Toplam Kar ≥ 300.000	Toplam Kar ≥ 400.000
Gelir (TL)	761.005	761.004	761.004	780.551	961.678
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	238.590	238.590	238.590	240.204	280.838
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	45	45	45	94	0
Toplam sabit maliyet (TL)	238.590	238.590	238.590	240.204	280.838
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Toplam maliyet (TL)	477.225	477.225	477.225	480.502	561.676
Toplam kar (TL)	283.780	283.779	283.779	300.049	400.002
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	103.206	103.206	103.206	103.904	121.481
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	19	19	19	40	0
Toplam emisyon (gr)	103.225	103.225	103.225	103.944	121.481
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	669	669	669	669	669
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	1	1	1	2	0
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	2.702	2.702	2.702	2.700	2.664
Kat edilen toplam mesafe (km)	147.810	147.810	147.810	151.500	184.532
Talebi karşılama düzeyi	$\geq\%10$	$\geq\%10$	$\geq\%10$	$\geq\%10$	$\geq\%10$

Temel Performans Kriterleri	Toplam Kar ≥ 500.000	Toplam Kar ≥ 600.000	Toplam Kar ≥ 700.000	Toplam Kar ≥ 800.000	Toplam Kar ≥ 900.000
Gelir (TL)	1.172.150	1.391.507	1.619.255	1.853.762	2.090.901
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	336.071	395.747	459.626	526.877	595.449
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Toplam sabit maliyet (TL)	336.071	395.747	459.626	526.877	595.449
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Toplam maliyet (TL)	672.142	791.494	919.252	1.053.754	1.190.898
Toplam kar (TL)	500.008	600.013	700.003	800.008	900.003
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	145.373	171.186	198.818	227.909	257.570
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	0	0	0	0	0
Toplam emisyon (gr)	145.373	171.186	198.818	227.909	257.570
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	669	672	682	698	704
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	0	0	0	0	0
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	2.648	2.602	2.531	2.483	2.427
Kat edilen toplam mesafe (km)	222.133	261.611	302.576	344.624	387.177
Talebi karşılama düzeyi	≥%10	≥%10	≥%10	≥%10	≥%10

Temel Performans Kriterleri	Toplam Kar ≥ 1.000.000	Toplam Kar ≥ 1.100.000	Toplam Kar ≥ 1.200.000	Toplam Kar ≥ 1.300.000	Toplam Kar ≥ 1.400.000
Gelir (TL)	2.334.007	2.589.515	2.857.049	3.125.490	3.395.692
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	666.999	744.739	828.502	912.742	997.843
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Toplam sabit maliyet (TL)	666.999	744.739	828.502	912.742	997.843
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Toplam maliyet (TL)	1.333.998	1.489.478	1.657.004	1.825.484	1.995.686
Toplam kar (TL)	1.000.009	1.100.037	1.200.045	1.300.006	1.400.006
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	288.521	322.149	358.381	394.821	431.633
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	0	0	0	0	0
Toplam emisyon (gr)	288.521	322.149	358.381	394.821	431.633
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	729	782	826	883	930
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	0	0	0	0	0
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	2.358	2.253	2.147	2.056	1.960
Kat edilen toplam mesafe (km)	430.951	476.681	524.764	572.956	621.793
Talebi karşılama düzeyi	≥%10	≥%10	≥%10	≥%10	≥%10

Temel Performans Kriterleri	Toplam Kar \geq 1.500.000	Toplam Kar \geq 1.600.000	Toplam Kar \geq 1.700.000	Toplam Kar \geq 1.800.000	Toplam Kar \geq 1.900.000
Gelir (TL)	3.675.352	3.975.636	4.287.965	4.600.449	4.915.514
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	1.087.669	1.187.809	1.293.980	1.400.224	1.507.754
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Toplam sabit maliyet (TL)	1.087.669	1.187.809	1.293.980	1.400.224	1.507.754
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Toplam maliyet (TL)	2.175.338	2.375.618	2.587.960	2.800.448	3.015.508
Toplam kar (TL)	1.500.014	1.600.018	1.700.005	1.800.001	1.900.006
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	470.488	513.805	559.731	605.689	652.203
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	0	0	0	0	0
Toplam emisyon (gr)	470.488	513.805	559.731	605.689	652.203
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	974	1.045	1.105	1.174	1.241
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	0	0	0	0	0
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	1.866	1.735	1.598	1.484	1.343
Kat edilen toplam mesafe (km)	672.983	728.173	784.144	840.140	896.828
Talebi karşılama düzeyi	\geq %10	\geq %10	\geq %10	\geq %10	\geq %10

Temel Performans Kriterleri	Toplam Kar \geq 2.000.000
Gelir (TL)	5.237.280
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	1.618.626
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	0
Toplam sabit maliyet (TL)	1.618.626
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	0
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0
Toplam maliyet (TL)	3.237.252
Toplam kar (TL)	2.000.028
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	700.162
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	0
Toplam emisyon (gr)	700.162
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	1.311
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	0
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	1.203
Kat edilen toplam mesafe (km)	954.894
Talebi karşılama düzeyi	\geq %10

EK 4: TOPLAM EMİSYONUN PARETO ANALİZİ TEMEL PERFORMANS KRİTERLERİ TABLOSU

Temel Performans Kriterleri	Toplam Emisyon ≤ 150.000	Toplam Emisyon ≤ 200.000	Toplam Emisyon ≤ 250.000	Toplam Emisyon ≤ 300.000	Toplam Emisyon ≤ 350.000
Gelir (TL)	1.211.983	1.628.807	2.030.583	2.422.251	2.795.204
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	346.760	462.344	577.946	693.527	809.095
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Toplam sabit maliyet (TL)	346.760	462.344	577.946	693.527	809.095
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Toplam maliyet (TL)	693.520	924.688	1.155.892	1.387.054	1.618.190
Toplam kar (TL)	518.463	704.119	874.691	1.035.197	1.177.014
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	149.996	199.994	249.999	299996	349.986
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	0	0	0	0	0
Toplam emisyon (gr)	149.996	199.994	249.999	299.996	349.986
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	669	684	702	738	822
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	0	0	0	0	0
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	2.643	2.529	2.442	2.325	2.170
Kat edilen toplam mesafe (km)	229.342	304.240	376.342	446.680	513.684
Talebi karşılama düzeyi	≥%10	≥%10	≥%10	≥%10	≥%10

Temel Performans Kriterleri	Toplam Emisyon ≤ 400.000	Toplam Emisyon ≤ 450.000	Toplam Emisyon ≤ 500.000	Toplam Emisyon ≤ 550.000	Toplam Emisyon ≤ 600.000
Gelir (TL)	3.163.592	3.528.890	3.881.372	4.221.719	4.561.737
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	924.709	1.040.302	1.155.889	1.271.468	1.387.070
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Toplam sabit maliyet (TL)	924.709	1.040.302	1.155.889	1.271.468	1.387.070
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0
Toplam maliyet (TL)	1.849.418	2.080.604	2.311.778	2.542.936	2.774.140
Toplam kar (TL)	1.314.174	1.448.286	1.569.594	1.678.783	1.787.597
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	399997	449.999	499.998	549.993	599.999
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	0	0	0	0	0
Toplam emisyon (gr)	399.997	449.999	499.998	549.993	599.999
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	886	951	1.027	1.086	1.158
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	0	0	0	0	0
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	2.048	1.321	1.773	1.628	1.498
Kat edilen toplam mesafe (km)	579.949	646.386	710.878	772.276	833.208
Talebi karşılama düzeyi	≥%10	≥%10	≥%10	≥%10	≥%10

Temel Performans Kriterleri	Toplam Emisyon ≤	Toplam Emisyon ≤
	650.000	700.000
Gelir (TL)	4.900.640	5.236.125
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	1.502.659	1.618.193
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	0	0
Toplam sabit maliyet (TL)	1.502.659	1.618.193
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	0	0
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0	0
Toplam maliyet (TL)	3.005.318	3.236.386
Toplam kar (TL)	1.895.322	1.999.739
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	649.999	699.975
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	0	0
Toplam emisyon (gr)	649.999	699.975
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	1.236	1.312
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	0	0
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	1.356	1.206
Kat edilen toplam mesafe (km)	894.253	954.621
Talebi karşılama düzeyi	≥%10	≥%10

**EK 5: FARKLI TALEP KARŞILAMA DÜZEYLERİNDEKİ TEMEL PERFORMANS KRİTERLERİ
TABLOSU**

Temel Performans Kriterleri	Kar	Emisyon	Kar	Emisyon	Kar	Emisyon
	Maksimizasyonu	Minimizasyonu	Maksimizasyonu	Minimizasyonu	Maksimizasyonu	Minimizasyonu
Gelir (TL)	5.398.298	2.053.564	5.504.537	761.004	5.554.810	209.642
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	1.707.299	670.871	1.711.879	238.590	1.717.544	54.820
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	0	2.518	0	45	280	0
Toplam sabit maliyet (TL)	1.707.299	670.871	1.711.879	238.590	1.717.544	54.820
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0	0
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0	0
Toplam maliyet (TL)	3.414.598	1.344.260	3.423.758	477.225	3.435.368	109.640
Toplam kar (TL)	1.983.700	709.304	2.080.779	283.779	2.119.442	100.002
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	738.519	290.195	740.500	103.206	742.951	23.713
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	0	1.089	0	19	121	0
Toplam emisyon (gr)	738.519	291.284	740.500	103.225	743.072	23.713
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	1.026	1.322	1.396	669	1.306	66
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	0	8	0	1	2	0
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	1.549	1.907	1.069	2.702	1.076	3.275
Kat edilen toplam mesafe (km)	1.000.000	401.422	999.992	147.810	999.965	37.569
Talebi karşılama düzeyi	≥%20	≥%20	≥%10	≥%10	≥%0	≥%0

EK 6: FARKLI GELİR DÜZEYLERİNDEKİ TEMEL PERFORMANS KRİTERLERİ TABLOSU

Temel Performans Kriterleri	Kar	Emisyon	Kar	Emisyon	Kar	Emisyon
	Maksimizasyonu	Minimizasyonu	Maksimizasyonu	Minimizasyonu	Maksimizasyonu	Minimizasyonu
Gelir (TL)	6.885.507	951.256	8.265.372	1.141.507	1.1025.274	1.522.009
Yüklü araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	1.713.979	238.590	1.715.229	238.590	1.717.145	238.590
Yüksüz araçların toplam yakıt maliyeti (TL)	0	45	0	45	0	45
Toplam sabit maliyet (TL)	1.713.979	238.590	1.715.229	238.590	1.717.145	238.590
Karşılanamayan talep için toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0	0
Yüksüz araçlar hareket etmesi durumunda uygulanan toplam ceza maliyeti (TL)	0	0	0	0	0	0
Toplam maliyet (TL)	3.427.958	477.225	3.430.458	477.225	3.434.290	477.225
Toplam kar (TL)	3.457.549	474.031	4.834.914	664.282	7.590.984	1.044.784
Yüklü araçların toplam emisyon miktarı (gr)	741.409	103.206	741.949	103.206	742.778	103.206
Yüksüz araçların toplam emisyon miktarı (gr)	0	19	0	19	0	19
Toplam emisyon (gr)	741.409	103.225	741.949	103.225	742.778	103.225
Yüklü araçların toplam hareket sayısı (adet)	1.411	669	1.424	669	1.423	669
Yüksüz araçların toplam hareket sayısı (adet)	0	1	0	1	0	1
Toplam hareket etmeyen araç sayısı (adet)	1.046	2.702	1.037	2.702	1.034	2.702
Kat edilen toplam mesafe (km)	999.971	147.810	999.988	147.810	999.978	147.810
Talebi karşılama düzeyi	≥%10	≥%10	≥%10	≥%10	≥%10	≥%10
Gelir artış oranı	%25	%25	%50	%50	%100	%100

EK 7: TEZ KAPSAMANINDA ÖNERİLEN MODELİN KODU

```

{int} N = {1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,
          16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30};
{int} T = {1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15};
{int} Tu = {0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15};
{int} A = {1,2,3,4,5,6,7};

    tuple Demand {
        int i;
        int j;
        int t;
    }
    {Demand} Demands = ...;

int d[Demands] = ...;

    tuple Setup {
        int i;
        int j;
        int t;
    }
    {Setup} Setups = ...;
float s[Setups] = ...;

    tuple Yol {
        int i;
        int j;
        int t;
        int a;
    }

    {Yol} Yols = ...;
float l[Yols] = ...;

    tuple Enter {
        int i;
        int t;
        int a;
    }

    {Enter} Enters = ...;
int m[Enters] = ...;

float re[N][N] = ...;
float distance[N][N] = ...;
float c[N][N] = ...;
float emissiondolu[A] = ...;
float emissionbos[A] = ...;
int lead[N][N] = ...;
float service = 0.9;
float fueldolu[A] = ...;
float fuelbos[A] = ...;
float yakitmaliyeti = 6.08;
float emisyonvergisi = 1;

dvar int+ X[N][N][T][A];

```



```

dvar int+ Y[N][N][Tu][A];

dexpr float emissionsbos = sum(t in T, i in N, j in N: i!=j, a in A)
(emissionbos[a] * distance[i][j] * Y[i][j][t][a]);

dexpr float emissionsdolu = sum(t in T, i in N, j in N: i!=j, a in A)
(emissiondolu[a] * distance[i][j] * X[i][j][t][a]);

dexpr float donemseltoplambos[t in T] = sum(i in N, j in N: i!=j, a in A)
(emissionbos[a] * distance[i][j] * Y[i][j][t][a]);

dexpr float donemseltoplamdolu[t in T] = sum(i in N, j in N: i!=j, a in A)
(emissiondolu[a] * distance[i][j] * X[i][j][t][a]);

dexpr float revenue = sum(t in T, i in N, j in N: i!=j, a in A) (re[i][j] *
X[i][j][t][a]);

dexpr float fueldolutotal = sum(t in T, i in N, j in N: i!=j, a in A) (fueldolu[a]
* distance[i][j] * yakitmaliyeti * X[i][j][t][a]);

dexpr float fuelbostotal = sum(t in T, i in N, j in N: i!=j, a in A)
(fuelbos[a] * distance [i][j] * yakitmaliyeti * Y[i][j][t][a]);

dexpr float fuelfixed = fueldolutotal;

dexpr float c_bosceza = sum(t in T, i in N, j in N: i!=j, a in A) (c[i][j] *
Y[i][j][t][a]);

dexpr float s_karsilanamayanceza = sum(t in T, i in N, j in N: i!=j, a in A)
(s[<i,j,t>] * (d[<i,j,t>] - sum (a in A) X[i][j][t][a]));

dexpr float emptytravelsayisi = sum(t in T, i in N, j in N: i!=j, a in A)
Y[i][j][t][a];

dexpr float emptytyerindesayan = sum(t in T, i in N, j in N, a in A)
Y[i][j][t][a];

dexpr float totaldolutravel = sum(t in T, i in N, j in N: i!=j, a in A)
X[i][j][t][a];

dexpr float totaldistancetravelled = sum(t in T, i in N, j in N: i!=j, a in A)
(X[i][j][t][a] + Y[i][j][t][a]) * distance[i][j];

minimize
emissionsbos + emissionsdolu;

subject to {
revenue - fueldolutotal - fuelbostotal - fuelfixed - c_bosceza -
s_karsilanamayanceza >= 100000;

forall(t in T){
donemseltoplambos[t] + donemseltoplamdolu[t] <= 50000;
}

emptytravelsayisi + emptytyerindesayan + totaldolutravel <= 1000000;

```

```

totaldistancetravelled <= 1000000;

forall(i in N, a in A){
    Y[i][i][0][a] == 0;
}

forall(i in N, t in T, a in A){
    sum(j in N) (X[i][j][t][a] + Y[i][j][t][a]) - sum(k in N: k!=i && t >
lead[k][i])
    ((X[k][i][t - lead[k][i]][a] + Y[k][i][t - lead[k][i]][a])) - Y[i][i][t-
1][a] == m[<i,t,a>];
}
forall(i in N, j in N, t in T){
sum(a in A) X[i][j][t][a] <= d[<i,j,t>];
}

forall(i in N, j in N, t in T, a in A){
    X[i][j][t][a] <= M * l[<i,j,t,a>];
}

forall(i in N){
    sum(j in N, t in T) (d[<i,j,t>] - sum(a in A) X[i][j][t][a])
    <= service * sum (j in N,t in T) d[<i,j,t>];
}
}

```



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 03/07/2019

Tez Başlığı : Sürdürülebilir yük taşımacılığı için bir karar destek modeli önerisi

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam ...39... sayfalık kısmına ilişkin, 03/07/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2.1 tür.

Uygulanan filtrelemeler:

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

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

H. Cansın
03/07/2019
Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Hande Cansın KAZANÇ
Öğrenci No: N15227395
Anabilim Dalı: İşletme
Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Doç. Dr. Mehmet SOYSAL

(Unvan, Ad Soyad, İmza)



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI ETİK KOMİSYON MUAFİYETİ FORMU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 03/07/2019

Tez Başlığı: Sürdürülebilir Yük Taşımacılığı İçin Bir Karar Destek Modeli Önerisi

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmam:

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

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

Gereğini saygılarımla arz ederim.


03/07/19
Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Hande Cansın Kazanç

Öğrenci No: N15227395

Anabilim Dalı: İşletme

Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler

Statüsü: Yüksek Lisans Doktora Bütünleşik Doktora

DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI



Doç. Dr. Mehmet Soysal

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

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

Telefon: 0-312-2976860

Faks: 0-3122992147

E-posta: sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr