



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

**SÜRDÜRÜLEBİLİR ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN
BİR MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ**

İlker KÖSELİ

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2021

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR MATEMATİKSEL
MODEL ÖNERİSİ

İlker KÖSELİ

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2021

KABUL VE ONAY

İlker Köseli tarafından hazırlanan "Sürdürülebilir Envanter Rotalama Problemi İçin Bir Matematiksel Model Önerisi" başlıklı bu çalışma, 17 Haziran 2021 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Onur KOYUNCU (Başkan)

Doç. Dr. Mehmet SOYSAL (Danışman)

Doç. Dr. Kazım Barış ATICI (Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİMEN (Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

Prof. Dr. Uğur ÖMÜRGÖNÜLŞEN

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

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

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

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

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

17/06/2021

İlker KÖSELİ

¹“*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*”

- (1) *Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.*
- (2) *Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.*
- (3) *Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü 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 zgn olduğunu, **Doç. Dr. Mehmet SOYSAL** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

İlker KöSELi

Herkesten çok sevdiğim Ferhan'ıma

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasına başladığım günden itibaren hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyen, bu çalışmanın hazırlanmasında büyük katkısı olan, akademik bilgisi ve tecrübesi ile yolumu aydınlatıp tecrübelerini aktaran değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Mehmet Soysal'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez öğrencisiymişim gibi çalışma boyunca bana destek olan, her sorumu cevaplayan ve süreçte büyük katkısı olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Çimen'e teşekkür ederim.

Tez çalışmasına yapmış oldukları katkılardan dolayı değerli hocalarım ve jüri üyelerim Doç. Dr. Kazım Barış Atıcı'ya, Dr. Öğr. Üyesi Onur Koyuncu'ya ve Dr. Öğr. Üyesi Çağrı Sel'e teşekkür ederim.

Zorlu geçen tez çalışması süreci ile birlikte devam ettirdiğim iş hayatımda her zaman yanımda olan ve gerektiği zaman boşluğumu dolduran Aselsan'daki iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans hayatında tanıştığım ve çok sevdiğim arkadaşlarım olan Nizameddin Alyaprak'a, Eda Sinangil'e, Ahmet Sina Kaymak'a ve Gizem Çakır'a bu tez çalışmasına yapmış oldukları katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan değerli aileme, annem Aysel Köseli'ye ve babam Oğuz Köseli'ye teşekkür ederim.

Bu süreçte yaşadığım tüm strese rağmen bir an olsun desteğini bırakmayan, olumsuzlukları olumlu duruma dönüştüren, tezimi defalarca okuyup benim kadar bilgi edinen ve beni her zaman seven iyi ki tanımışım dediğim canım sevgilim Ferhan Şen'e teşekkür ederim.

ÖZET

KÖSELİ, İlker. *Sürdürülebilir envanter rotalama problemi için bir matematiksel model önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2021.

Son yıllarda sera gazı salınımı ve küresel ısınma gibi olumsuz çevresel şartların artması sonucunda dünya genelindeki ekolojik farkındalık seviyesi yükselmiştir. Bununla birlikte iş kazası sayısı ve gürültü seviyesinin artması gibi sosyal hakların azalması ile de sosyal sürdürülebilirlik ön plana çıkmıştır. Dolayısıyla işletmelerin operasyonlarını çevresel ve sosyal dışsallıkları dikkate alarak gerçekleştirmeleri kaçınılmaz olmuştur. Küreselleşme ve artan rekabet ortamı ile birlikte maliyetlerini azaltmak isteyen işletmeler lojistik operasyonlarındaki en yüksek maliyet kalemlerinden olan envanter ve taşımacılık faaliyetlerinin verimliliğine yoğunlaşmaktadır. Literatürde hem envanter hem de rotalama kararlarını eş zamanlı ele alan envanter rotalama problemi, araştırmacılar tarafından sıklıkla çalışılmaktadır. Bu çalışmada sürdürülebilir envanter rotalama problemi için karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Geliştirilen matematiksel modelde maliyet minimizasyonu sağlanmaya çalışılırken çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik ile ilişkili konulara da önem verilmektedir. Bu çalışmayı literatürde bulunan benzer çalışmalardan ayıran özellikler; detaylı yakıt tüketiminin hesaplanması, bozulabilir ürünler için soğutmalı araç kullanımını dikkate alması, elde kalan atık ürünlerin toplanarak gıda atık ayrıştırma merkezine bırakılması ve çalışanlara çalışma saatlerini düzenleme hakkı vermesidir. Ayrıca, gerçek hayat problemlerini daha iyi ele alabilmek için müşteri taleplerindeki belirsizlik dikkate alınmıştır. Nümerik analizler sonucunda, geliştirilen matematiksel modelin kullanımı ile çalışanlara çalışma saatlerini düzenleme avantajı sağlaması bakımından sosyal sürdürülebilirliğe, atık ürünlerin toplanması ve yakıt tüketiminin minimize edilmesi ile de çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlandığı gözlenmektedir.

Anahtar Sözcükler

Lojistik yönetimi, sürdürülebilirlik, satıcı güdümlü envanter, envanter rotalama problemi, kapalı döngü tedarik zinciri

ABSTRACT

KÖSELİ, İlker. *A quantitative model proposal for sustainable inventory routing problem*, Master's Thesis, Ankara, 2021

As a result of the increase in negative environmental conditions such as greenhouse gas emissions and global warming, ecological awareness has increased worldwide. Moreover, social sustainability has come to the fore with the decrease in social rights such as the growth in the number of occupational accidents and the noise level. Therefore, it has become inevitable for companies to carry out their operations by taking environmental and social externalities into account. Under globalization and increased competition, companies aiming to reduce their costs focus on the efficiency of inventory and transportation activities, which are among the highest cost items in logistics operations. In the literature, the problem of inventory routing, which addresses inventory and routing decisions simultaneously, has been frequently studied by researchers. In this study, a mixed integer linear programming model is proposed for the sustainable inventory routing problem. While trying to achieve cost minimization in the developed mathematical model, attention is also paid to environmental and social sustainability issues. The following features distinguish this study from the existing attempts, i.e., explicit fuel consumption calculation, the use of refrigerated vehicles for perishable products, waste collection and delivery to the disposal center, employees opportunity to regulate their working hours. Besides, customer demand uncertainty is respected to better address real-life problems. Numerical analyses show that the use of the proposed mathematical model contributes to social sustainability in terms of providing the advantage of organizing working hours for employees, and to environmental sustainability by collecting waste products and minimizing fuel consumption.

Keywords

Logistics management, sustainability, vendor managed inventory, inventory routing problem, closed-loop supply chain

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI.....	ii
ETİK BEYAN	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
BÖLÜMLER	
GİRİŞ.....	1
1 LOJİSTİK YÖNETİMİ	3
1.1 İŞLETME EKONOMİSİNDEKİ YERİ ve ÖNEMİ	5
1.2 SÜRDÜRÜLEBİLİR LOJİSTİK YÖNETİMİ.....	7
2 ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ	10
2.1 SATICI GÜDÜMÜNDEKİ ENVANTER SİSTEMLERİ (VMI)	10
2.2 SÜRDÜRÜLEBİLİR ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ	12
2.3 İLGİLİ LİTERATÜR	18
3 SÜRDÜRÜLEBİLİR ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ.....	28
3.1 PROBLEM TANIMI	28
3.2 YAKIT TÜKETİMİ HESAPLAMASI.....	30
3.3 MATEMATİKSEL MODEL.....	33
4 NUMERİK ANALİZLER.....	40
4.1 ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ.....	41
4.1.1 Örnek Olay Veri Setinin Tanıtılması	41
4.1.2 Örnek Olay Çözümü ve Analizi	46
4.2 ÖRNEK OLAY ÜZERİNDE SENARYO ANALİZLERİ	51

4.2.1 Maksimum Rota Uzunluğu Maliyetinin Yok Sayıldığı Varsayımı Analizi	52
4.2.2 Atık Toplaması Yapılmadığı Durum Varsayımı Analizi	56
4.2.3 Atık Ürün Maliyetinin Değişiminin Analizi	60
4.2.4 Müşteri Taleplerinin Deterministik Olması Varsayımının Analizi	65
4.2.5 Müşterilerdeki Ortalama Talep Değerlerinin Değişiminin Analizi	70
SONUÇ	77
KAYNAKÇA	80
EKLER	89
EK 1: TEZ KAPSAMINDA ÖNERİLEN MODELİN KODU	89
EK 2: ORJİNALLİK RAPORU	99
EK 3: ETİK KURUL MUAFİYET FORMU	100

KISALTMALAR DİZİNİ

IRP	Envanter Rotalama Problemi
VMI	Satıcı GÜdümündeki Envanter Sistemleri
VRP	Araç Rotalama Problemi
LIRP	Tesis Yeri Seçimli Envanter Rotalama Problemi
PIRP	Üretim ve Envanter Rotalama Problemi
VRP-BI	Envanter ve Ters Akışlı Araç Rotalama Problemi
MILP	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama
MOLP	Çok Amaçlı Doğrusal Programlama
PMILP	Olasılıksal Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama
MINLP	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama

TABLolar DİZİNİ

- Tablo 1 Sürdürülebilir Lojistik Yönetimi için Örnek Temel Performans Göstergeleri (Soysal vd., 2012), (Bloemhof & Soysal, 2016)
- Tablo 2 IRP için Kullanılan Sınıflandırma Kriterleri (Andersson vd., 2010)
- Tablo 3 İleri ve Geri Yönde Rotalama Kararlarının Olduğu IRP Çalışmalarının İncelenme Tablosu
- Tablo 4 İleri ve Geri Yönde Rotalama Kararlarının Olduğu IRP Çalışmalarının Literatüre Temel Katkısı
- Tablo 5 Notasyon Tablosu
- Tablo 6 Notasyon Tablosu (devam)
- Tablo 7 Her Müşteri için Belirlenen Ortalama Talep Değerleri (Adet)
- Tablo 8 Noktalar Arası Mesafe (m)
- Tablo 9 Dönem Başında Müşterilerde Bulunan Atık Ürün Miktarı (Adet)
- Tablo 10 Araçların Noktalar Arasındaki Anlık Hız Değeri (m/sn)
- Tablo 11 Modelde Kullanılan Parametre Değerleri
- Tablo 12 Örnek Olay Analizindeki Özet Sonuçlar
- Tablo 13 Dağıtım Sonrası Müşterilerde Beklenen Eksik ve Atık Ürün Miktarları (Adet)
- Tablo 14 Araçtaki Ürün ve Atık Ürün Miktarlarının Takibi (Adet)
- Tablo 15 Analiz Edilen Senaryolar
- Tablo 16 Maksimum Rota Uzunluğu Maliyetinin Yok Sayıldığı Durumda Araç Yükleri (Adet)
- Tablo 17 Maksimum Rota Uzunluğu Maliyetinin Yok Sayıldığı Durumdaki Rota Değişimi
- Tablo 18 Maksimum Rota Uzunluğu Maliyetinin Yok Sayıldığı ve İki Katına Çıktığı Durumlardaki Özet Sonuçlar
- Tablo 19 Atık Toplaması Yapılmadığı Durumdaki Araç Yükleri (Adet)

- Tablo 20 Atık Ürün Toplaması Yapılmadığı Durumdaki Rota Değişimi
- Tablo 21 Atık Ürün Toplaması Yapılmadığı ve Müşteriler Tarafından Gönderildiği Durumlardaki Özet Sonuçlar
- Tablo 22 Atık Ürün Maliyetinin %25 Azaldığı ve %25 Arttığı Durumdaki Araç Yükleri (Adet)
- Tablo 23 Atık Ürün Maliyetinin %25 Azaldığı ve %25 Arttığı Durumdaki Özet Sonuçlar
- Tablo 24 Atık Ürün Maliyetinin Azaldığı ve Arttığı Durumdaki Müşterilerde Beklenen Eksik ve Atık Ürün Miktarları (Adet)
- Tablo 25 Dönem Başında Kesin Olarak Bilinen Müşteri Talepleri (Adet)
- Tablo 26 Müşteri Taleplerinin Deterministik Olduğu Durumda Araç Yük Takibi Tablosu (adet)
- Tablo 27 Müşteri Taleplerinin Deterministik Olduğu Durumda Özet Sonuçlar
- Tablo 28 Ortalama Talep Değerlerinin %50 ve %100 Arttığı Durumda Oluşan Talep Değerleri
- Tablo 29 Ortalama Talep Değerlerinin %50 ve %100 Arttığı Durumdaki Yük Takibi (Adet)
- Tablo 30 Ortalama Talep Değerlerinin %50 ve %100 Arttığı Durumdaki Özet Sonuçlar
- Tablo 31 Ortalama Talep Değerlerinin %50 ve %100 Arttığı Durumdaki Müşterilerde Beklenen Eksik ve Atık Ürün Miktarları (Adet)

ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 1 Birden Çoğa Dağıtım Yapısında Genel Bir IRP Gösterimi (Soysal vd., 2019)
- Şekil 2 Veri Setinde Kullanılan Noktaların Harita Üzerinde Gösterimi
- Şekil 3 Model Sonucu Oluşan Rotaların Harita Üzerinde Gösterimi

GİRİŞ

Son dönemde iletişim teknolojisinde yaşanan gelişmelerle birlikte bilgi, malzeme ve teknolojinin kıtalar arası kolay ve hızlı hareket etmesinin, lojistik yönetimi faaliyetlerini işletmeler için daha önemli hale getirdiği görülmektedir. İşletmeler, küreselleşen rekabet ortamı içerisinde müşteri memnuniyeti seviyesini oldukça etkileyen lojistik faaliyetlerin verimliliğini arttırmayı hedeflemektedir. Bu süreçte işletmelerin, dünya genelinde artan ekolojik hassasiyet ile birlikte çalışmalarında sürdürülebilirlik konusunu dikkate alması gerekmektedir. Sürdürülebilirlik açısından bakıldığında işletmelerin lojistik faaliyetleri çevreyi olumsuz etkilemektedir. Dünyadaki sera gazı emisyonlarının %6'sı taşımacılık, depolama ve paketleme gibi lojistik faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. %6'lık oranın %89'u taşımacılık faaliyetlerinden (%57'si karayolu, %18'i denizyolu, %11'i havayolu, %4'ü demiryolu) kaynaklanırken %11'i tesisler ve depolardan kaynaklanmaktadır (Kaya, 2015). Günümüzde bu bilgilere kolayca ulaşabilen müşteriler ve son kullanıcılar da sürdürülebilirlik kavramına önem vermektedir. Ürün ve hizmetlerin seçilmesinde sürdürülebilirlik konusunun oldukça etkili olması, şirketlerin kar zarar durumunu doğrudan etkilemektedir.

Sürdürülebilir lojistik yönetimindeki en önemli kavramlardan birisi olan envanter yönetimi; hammadde, mamul veya yarı mamullerin tedarik zinciri içerisindeki süreçlerin tamamında aynı merkezden yönetilerek stok verimliliğinin artırılmasıdır. İşletmeler arası artan rekabet; tedarik zinciri içerisindeki aktörlerin birbirleri ile iş birliği içerisinde hareket ederek süreçlerindeki verimliliği arttırmaları ihtiyacını doğurmuştur. İşletmelerdeki sermaye yatırımında pay sahibi olan envanterlerin de etkili olarak yönetilmesi gerekir. Bu gerekliliklerle birlikte satıcı ile müşteriler arasındaki iş birliğini arttırmaya yönelik "Satıcı Güdümündeki Envanter Sistemleri (VMI)" kavramı ortaya çıkmıştır (Soysal vd., 2019). Bu sistem ile satıcı kendi filosunun dağıtım planını ve müşterilerin envanter kararlarını içeren entegre bir problem ile yüzleşmektedir. Bu problem literatürde "Envanter Rotalama Problemi (IRP)" olarak tanımlanmaktadır (Campbell vd., 1998)

Bu tez çalışmasında bozulabilir gıda ürünlerini imal eden tedarikçi konumundaki firmalara bir karar destek modelinin önerilmesi amaçlanmaktadır. Önerilen model yar-

dımıyla dağıtım planlaması ve envanter yönetimi konularında firmaların karar verme süreçlerine katkı yapılması planlanmaktadır. Bu amaçla belirli varsayımlar altında sürdürülebilir lojistik yönetimi alanında karşılaşılan IRP için karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Önerilen matematiksel model kullanılarak hem maliyet minimizasyonunun hem de çevresel ve sosyal sürdürülebilirliğin sağlanması hedeflenmektedir. Literatürde, ilgili problem için (i) detaylı yakıt tüketimi hesaplaması yapılarak yakıt kullanımının azaltılmaya çalışıldığı, (ii) bozulabilir gıda ürünleri için soğutmalı araçların kullanıldığı, (iii) satılmayıp elde kalan atık sınıfındaki ürünlerin toplanarak gıda atık ayrıştırma merkezine bırakıldığı ve (iv) çalışanlara çalışma saatlerini düzenleme hakkı vererek çevresel ve sosyal sürdürülebilirliğe katkıda bulunmayı birlikte sağlayan bir çalışma bilindiği kadarı ile bulunmamaktadır. Ayrıca çalışmada müşteri taleplerinin belirsiz olarak dikkate alınmasının önerilen modelin literatüre katkısını artıracığı düşünülmektedir. Tez kapsamında önerilen matematiksel modelin uygulanabilirliği ve kullanımı sonucu elde edilebilecek potansiyel faydalar örnek bir olay üzerinde numerik analizler yapılarak gösterilmektedir.

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

İkinci bölümde, VMI ve sürdürülebilir IRP hakkında genel bilgiler verilecek ve bu tez çalışmasına benzer çalışmaların incelendiği ilgili literatür kısmı tanıtılacaktır.

Üçüncü bölümde, tez çalışması kapsamında incelenen sürdürülebilir IRP için problem tanımı yapılacak, detaylı yakıt tüketimi hesaplaması hakkında bilgiler sunulacak ve söz konusu problem için önerilen matematiksel model tanıtılacaktır.

Dördüncü bölümde, numerik analizlerde kullanılan veri seti tanıtılacaktır. Ardından bu veri seti ile ortaya çıkan sonuçlar yorumlanacaktır. Son olarak, temel analiz üzerinde farklı senaryo analizleri yapılarak çıkan sonuçların temel performans kriterleri açısından değerlendirilmesi yapılacaktır.

Sonuç bölümünde ise tez çalışması ile ilgili genel değerlendirmeler yapılacaktır.

BÖLÜM 1

LOJİSTİK YÖNETİMİ

Lojistik yönetiminin tanımı yapılmadan önce, lojistik teriminin ne anlama geldiği ve nasıl ortaya çıktığının belirtilmesi faydalı olacaktır. Lojistik kelimesinin kökü latince gelmektedir ve logic (mantık) ile statistics (istatistik) kelimelerinin bir araya gelmesiyle mantıklı hesap işleri anlamını taşımaktadır (Özcan, 2008). Lojistik, Türk Dil Kurumu'na göre aslen askeri kökenli olup günümüzde *“Kişilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere her türlü ürünün, hizmetin ve bilgi akışının çıkış noktasından varış noktasına kadar taşınmasının etkili ve verimli bir biçimde planlanması ve uygulanması”* olarak tanımlanmaktadır (TDK, 2012). Lojistik alanındaki ilk çalışmalar askeri alanda yapılmıştır. İkinci Dünya Savaşı sonrasında işletmelerin lojistik hakkındaki görüşü geleneksel bakış açısından çıkmış ve lojistik faaliyetlerin önemi anlaşılmaya başlamıştır (Cowen, 2010). Günümüzde ise, artan küresel rekabet ile birlikte lojistik sadece bir ulaştırma faaliyeti olarak değil, ciddi yönetilmesi gereken bir süreç olarak görülmektedir.

Lojistik faaliyetler; ürünün üretiminden başlayarak, tüketiciye hatasız bir şekilde ulaştırılmasını sağlayan tüm uygulamaları kapsamaktadır. Bu uygulamalar düşünüldüğünde süreç içerisinde olası herhangi bir problem tüm sistemi etkileyebilir. Bu sebeple, lojistik yönetimi bütün olarak düşünülmesi gereken bir kavramdır. Lojistik faaliyetlerin literatürde bilinen yedi doğrusu; (i) doğru ürünün, (ii) doğru müşteriye, (iii) doğru miktarda, (iv) doğru koşulda, (v) doğru fiyata, (vi) doğru yerde ve (vii) doğru zamanda sunulması olarak tanımlanmıştır (Swamidass, 2000). Bu doğrular birlikte sağlandıkça işletmenin rakiplerine karşı rekabet gücü artmaktadır (Soysal & Bloemhof-Ruwaard, 2017). Lojistik kavramının faaliyet alanı ilk ortaya çıktığı dönemde ulaşım ve depolama kavramları ile sınırlıdır. Fakat ilerleyen yıllarda lojistik

faaliyetlerin önemi anlaşıldıkça farklı alanları kapsayarak genişlemiştir. Bu alanlar; (i) talep tahmini, (ii) satın alma, (iii) üretim ve ihtiyaç planlaması, (iv) depolama, (v) paketleme ve ambalajlama, (vi) hammadde ve malzeme yönetimi, (vii) dağıtım planlama, (viii) taşımacılık, (ix) sipariş izleme, (x) müşteri hizmetleri, (xi) tersine lojistik, (xii) lojistik bilgi sistemi, (xiii) gümrük ve sigorta işlemleri ve (xiv) iade yönetimi olarak belirtilebilir (Lambert vd., 1998).

Lojistik sistemlerin başarılı olarak yönetilebilmesi için süreç içerisinde bazı önemli kararların verilmesi gerekmektedir. Örneğin; yeni bir tesisin açılıp açılmayacağı, açılacak tesisin nerede olması gerektiği, malzemelerin nerede depolanması gerektiği, yeni bir deponun satın alınması veya kiralanması hakkında karar verilmesi ve üretim planının nasıl olacağı gibi soruların cevapları, işletmeler için kritik öneme sahiptir. Bu soruları cevaplandırmak için lojistik kararların verilmesi gerekmektedir (Başkol, 2010). Lojistik kararlar; stratejik, taktiksel ve operasyonel kararlar olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır (Ghiani vd., 2004). Stratejik kararlar; uzun vadede etkileri olan kararlardır. İşletmenin, depoların, üretim alanlarının ve araç filolarının büyüklüğü gibi konular stratejik kararlara örnek olarak verilebilir. Ayrıca bu kararlar işletmenin gelecekteki durumunu da etkileyeceğinden, ileriye dönük tahminler yapılması faydalı olacaktır. Taktiksel kararlar; orta vadede etkileri olan kararlardır. Şirketin dağıtım planlamasının nasıl yapılması gerektiği taktiksel karara örnek olarak gösterilebilir. Operasyonel kararlar ise kısa vadeli kararlardır. Günlük üretim operasyonları ve elleçleme işlemleri operasyonel karara örnek olarak verilebilir.

Lojistik yönetimi; lojistik faaliyetler arasındaki koordinasyonu oluşturan ve tedarik zinciri katılımcıları ile bilgi paylaşımı yapılmasını sağlayan tüm aktivitelerin yönetilmesidir (Martel & Klibi, 2016). Lojistik yönetimi bir firmanın kaynaklarının (hammadde, envanter ve hizmetler) etkili bir şekilde yönetilmesini sağlamanın yanı sıra, firmanın üretim verimliliğini artırarak rekabet avantajı sağlamaktadır. Tüm bunların sonucu olarak lojistik yönetimi, tedarik zincirinin müşteri memnuniyetini sağlayan temel bir işlevidir (Baah & Jin, 2019). Stock vd. (2000), çalışmalarında lojistik yönetiminin tedarik zinciri içerisindeki en önemli yapı taşlarından birisi olduğundan bahsederek lojistik faaliyetlerin önemini vurgulamışlardır.

Bu bölümün devamında lojistik yönetiminin işletme ekonomisindeki yeri ve önemi

ile sürdürülebilir lojistik yönetimi hakkında genel bilgiler verilecektir.

1.1 İŞLETME EKONOMİSİNDEKİ YERİ ve ÖNEMİ

Son yıllarda nüfusun hızla artmasının yanı sıra üretim ve tüketim arasındaki mesafenin artması sebebiyle taşımacılık operasyonlarındaki yük hacmi artmıştır (Soysal & Bloemhof-Ruwaard, 2017). Bu hacim artışı üzerine işletmeler, lojistik işlemler sırasında oluşan maliyetleri azaltabilmek için yeni önlem ve stratejiler geliştirmeye başlamıştır. Lojistik maliyetler; bir ürünün tedarik edilmesinden, müşteriye teslim edildiği ana kadar yapılan tüm harcamaları kapsamaktadır. Bu maliyetler genel olarak şu şekilde gösterilmektedir (Ceran & Alagöz, 2007) :

- Kabul ve tedarik işlemlerine ilişkin maliyetler
- Depolama, yükleme ve boşaltma maliyetleri
- Sevkiyat ve dağıtım maliyetleri
- Bilgi yönetimi maliyetleri

İşletmelerdeki bazı lojistik maliyetler açıkça görünen, belirgin olan ve kontrol edilebilen maliyetlerdir. Bazılarının ise ölçülmesi ve tespit edilmesi zordur. Daha kolay olması bakımından işletmeler belirli maliyetlere odaklanmaktadır (Tokay vd., 2011). Bu lojistik maliyetlere örnek olarak; tedarik, taşımacılık, dağıtım, sipariş, paketleme ve ambalajlama maliyetleri verilmektedir. Açıkça görülemeyen ve tespit edilmesi zor lojistik maliyetlere ise stokta bulundurma maliyeti, fırsat maliyeti, ceza maliyeti, fire maliyeti ve koordinasyon maliyeti örnek olarak verilebilir (Weiyi & Luming, 2009). Lojistik maliyetlerini azaltarak karlılık seviyesini yükseltmek isteyen işletmelerin kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen (belirgin olmayan) maliyetlerin her ikisine birden odaklanması önem taşımaktadır.

Lojistik maliyetler işletmenin gelir gider tablosunda yüksek bir paya sahiptir (Stkapien vd., 2016). İşletmenin maliyet kalemleri içerisinde yüksek bir paya sahip olan lojistik maliyetlerin hesaplanması, yönetilmesi ve azaltılması işletmenin toplam maliyetini azaltarak karlılık seviyesini artıracaktır (J. Lin vd., 2016). Lojistik maliyetler

içerisinde en çok paya sahip olan taşımacılık yani sevkiyat ve dağıtım faaliyetleridir (Minken & Johansen, 2019). Bu sebeple işletmelerin dağıtım süreçlerinin belirlenmesinde bilgisayar tabanlı karar destek modelleri kullanılarak minimum maliyetli dağıtım planlaması yapılması ve buna bağlı olarak taşımacılık operasyonlarındaki toplam mesafenin azaltılması mali olarak iyileştirme sağlayacaktır.

Lojistik yönetiminin işletmeler için önemli olmasını sağlayan bir diğer durum, müşteri memnuniyetidir. İşletmelerin sürdürülebilirlik ve rekabet üstünlüğü sağlamaları için müşterilerinin isteklerini bilmeleri gerekmektedir. İşletmelerin vermiş oldukları hizmet sonucu kazandıkları müşteri memnuniyeti daha önce belirtilen lojistiğin yedi doğrusu ile ölçülmektedir. Daha ayrıntılı bir ifadeyle; (i) sipariş, ürün ve hizmet kalitesinin artırılması, (ii) iade veya değişim işlemlerinde müşteri beklentilerinin söz verildiği üzere karşılanması, (iii) teslimat zamanı hakkında müşterilere doğru bilginin verilmesi, (iv) müşteri geri bildirimlerine dikkat edilmesi ve (v) müşterilerin istediklerinde ulaşabilecekleri müşteri hizmetleri temsilcilerinin kullanılması müşteri memnuniyetini belirleyen faktörlerdir. Modern çağda rekabet üst düzeyde olduğundan belirtilen bu faktörlerden herhangi birisinin eksik olması müşterileri rakip firmalara yönlendirmektedir. Dolayısıyla işletmelerin müşteri memnuniyeti seviyesinin düşmesi müşteri kaybına yol açmaktadır.

Günümüz teknolojisindeki lojistik yönetimi uygulamaları nesnelerin interneti, robot teknolojileri ve artırılmış gerçeklik teknolojileri gibi mega trendlerle yüzleşmek zorundadır (Grefen vd., 2018). Bu durum; tek yanlılıktan ve rutin işlerden kaçınmanın yanı sıra yenilikçiliğin dikkate alınmasını da zorunlu hale getirmektedir. Bu sebeple işletmelerin lojistik operasyonlarını mevcut ve gelecekteki trendlere göre güncellemesi gerekmektedir. Günümüzdeki lojistik operasyonların işleyişini ve gelecekteki trendleri etkileyebilecek durumlar aşağıda belirtilmiştir (Soysal & Bloemhof-Ruwaard, 2017):

- Nüfusun artması ve yaşlanma
- Küresel ticaretin artması
- Bilgi ve iletişim teknolojileri
- E-ticaretin artması

- Fosil yakıtların kıtlığı ve yakıt tasarruflu araçlara geçilmesi zorunluluğu
- Tedarik zinciri aktörleri arasındaki iş birliğinin ve dış kaynak kullanımının artması
- Lojistik operasyonların olumsuz sosyal ve çevresel etkileri
- Yüksek nüfus yoğunluklu şehirlerin sayısının artması

Bu durumlar lojistik faaliyetlerde uygulanacak sürdürülebilirlik çalışmalarına öncü olmaktadır. Devam eden bölümde yukarıda belirtilen trendler ile etkilenen lojistik faaliyetlerde uygulanan sürdürülebilirlik çalışmaları hakkında bilgi verilecektir.

1.2 SÜRDÜRÜLEBİLİR LOJİSTİK YÖNETİMİ

Sürdürülebilirlik; basitçe, bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama durumundan ödün vermeden karşılamaktır (WCED, 1987). Lojistik sektöründe sürdürülebilirlik ise işletmelerin çevresel, sosyal ve ekonomik sorumluluklarına uyararak, tüm paydaşlarıyla birlikte büyüme ve kar hedeflerini sürekli olarak devam ettirmesi olarak tanımlanabilir. Sürdürülebilir lojistik çalışmaları ile, tüm lojistik faaliyetlerin çevresel ve sosyal boyutlar üzerindeki olumsuz etkilerini ölçerek en aza indirmek hedeflenmektedir.

Yakın zamana kadar, yük taşımacılığı faaliyetlerinin planlanmasında lojistik yönetiminin temel amacı karlılığı artırmak ve maliyet minimizasyonunu sağlamak olmuştur (Khan vd., 2018). Son yıllarda dünya çapında ekolojik hassasiyetin artması ile birlikte lojistik sağlayıcılar, gerçekleştirdikleri lojistik operasyonların çevre üzerindeki olası negatif etkilerine karşı daha hassas davranmaya başlamıştır. Söz konusu etkiler; kirlilik, kazalar, gürültü, kaynak tüketimi, kullanılan araziye bozulma ve iklim değişikliği riski olarak açıklanmaktadır (Schreyer vd., 2004). Bu etkileri ortadan kaldırmak veya minimize edebilmek için sürdürülebilir lojistik yönetimi kavramı ortaya çıkmıştır (Soysal vd., 2015). Sürdürülebilir lojistik yönetimi ile bağlantılı olarak daha geniş hedeflerin oluşması ve sorunların dikkate alınmasıyla, yeni çalışma yöntemlerine ve yeni matematiksel karar destek modellerine ihtiyaç duyulmuştur. Literatüre bakıldığında son yıllarda sürdürülebilir lojistik yönetimi konulu çalışmalara

artan ilgi görülmektedir. Bu çalışmalara örnek olarak; Bing vd. (2016), Agyabeng-Mensah vd. (2020) ve Choi ve Ning (2011) gösterilebilir. Bing vd. (2016), tersine lojistik ile katı ürünlerin atık yönetimini incelemiş ve bu konuda çözüm önerisi sunmuşlardır. Agyabeng-Mensah vd. (2020) çalışmalarında yeşil lojistik yönetimi uygulamalarının çevresel, sosyal ve finansal performanslar üzerindeki doğrudan etkisini incelemiştir. Choi ve Ning (2011) ise yeşil lojistik uygulamalarının sürdürülebilir iş performansı üzerinde olumlu etkisini çalışmışlardır.

Sürdürülebilir lojistik yönetiminin çevresel, sosyal ve ekonomik olarak üç farklı boyutu bulunmaktadır. Sürdürülebilirliğin bu boyutlar ile sınıflandırılarak belirlenen temel performans göstergeleri vardır. Tablo 1’de sürdürülebilir lojistik yönetimindeki örnek temel performans göstergeleri sunulmuştur. Bu göstergeler bir işletmenin sürdürülebilirlik performansını ölçmekte faydalı olmaktadır (Bloemhof & Soysal, 2016). Tablo 1’de de belirtildiği gibi sürdürülebilirlik performansını iyileştirmek isteyen işletmeler faaliyetlerinin yalnızca ekonomik sonuçlarını değil, çevresel ve sosyal sonuçlarını da düşünmek zorundadır (Soysal & Bloemhof-Ruwaard, 2017).

Son olarak, işletmeleri sürdürülebilir lojistik çalışmalarına yönlendiren bazı temel nedenler bulunmaktadır. Bu nedenler aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Soysal & Bloemhof-Ruwaard, 2017):

- Yönetimler tarafından belirlenen yasal zorunluluklar
- Artan sosyal sorumluluk farkındalığı
- Sürdürülebilirlik konusunda verilen kurumsal taahhütler
- Sürdürülebilir ürünlerin marka değerini arttırması
- Sürdürülebilirliğin uzun vadede ekonomik avantaj sağlaması

Tablo 1: Sürdürülebilir Lojistik Yönetimi için Örnek Temel Performans Göstergeleri
(Soysal vd., 2012), (Bloemhof & Soysal, 2016)

Boyutlar	Temel Performans Göstergeleri
Ekonomik	Harcanan toplam lojistik maliyeti Toplam lojistik maliyetin varyansı Zamanında yapılan teslimatlar Beklenenden geç yapılan teslimatlar Kaybedilen satışlar Sipariş teslim süresi Kullanılan nakliye taşıyıcıları Üretim artışı İş gücü verimliliği Hatalı elleçleme ile kaybedilen gıda yüzdesi İthal edilen ürünlere karşı yerli ürünlerin oranı
Çevresel	Atık ürün miktarı Ambalaj atığı miktarı Sera gazı salınım miktarı Kullanılan enerji miktarı Yenilenebilir kaynaklardan kullanılan enerji miktarı Kullanılan su miktarı Harcanan yakıt miktarı Üretim için kullanılan alan büyüklüğü Topraktaki bozulma miktarı Biyoçeşitlilik durumu Kullanılmayan ürünlerin geri dönüştürülme miktarı Gıdanın müşteriye ulaşmadan önce kat ettiği mesafe uzunluğu Tehlikeli madde maruziyeti
Sosyal	Üretici ve dağıtıcı arasındaki uzaklık Tedarik zinciri aktörleri arasındaki kar dağılımı Ürün kalitesi Yaşam kalitesi ve iş tatmini Gerçekleşen iş kazası sayısı Trafik gürültüsüne katkı Mevzuata uygunluk Çevresel performansın kamuya açık raporlanması Etik ulaşım Ortalama maaş

BÖLÜM 2

ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ

Bu bölümde VMI, sürdürülebilir IRP ve ilgili literatür hakkında genel bilgiler verilecektir.

2.1 SATICI GÜDÜMÜNDEKİ ENVANTER SİSTEMLERİ (VMI)

İşletmeler, üretim sürecinde kullanmak veya gelecek dönemlerdeki ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olan materyalleri depolamaktadır. Depolanan bu materyaller, envanter olarak tanımlanmaktadır. İşletmeler talepteki varyasyonları dengelemek ve belirsizliği gidermek için depoladıkları bu envanterleri kullanmaktadır (Andersson vd., 2010). Envanter yönetimi; stokların satın alınımının yapılmasından başlanarak, üretim ve kapasite planlamasının yapılması, envanterlerin depolanması, bakımı ve teslimatının yapılması aşamalarının aynı merkezden yönetilmesi olarak tanımlanmaktadır (Beekman-Love & Nieger, 1978). İşletmelerdeki anlık stok seviyesinin görüntülenmesi, sürekli veya periyodik stok kontrolünün yapılması, stok seviyelerinin hangi miktarlarda olması gerektiği, yenileme siparişinin ne zaman verilmesi gerektiği, üretim miktarının belirlenmesi ve güvenlik stoğu miktarının seviyesi gibi kararlar envanter yönetimi çalışmaları kapsamında verilmektedir (Nahmias & Cheng, 2009).

Tedarik zinciri operasyonları, materyallerin tedarikçiden alıcıya teslim edilmesine kadar olan faaliyet sisteminin bütünü ile ilgilenmektedir. Günümüz dünyasındaki rekabet, birçok süreci içerisinde barındıran tedarik zincirinin verimliliğini arttırmayı gerektirmektedir. İşletmeler bu duruma cevap olarak, operasyonlara birbirinden bağımsız bir şekilde odaklanmak yerine, tüm zinciri bütün olarak değerlendirerek planlama yapmaya başlamıştır. Bu durum, tedarik zinciri içerisindeki aktörler arasında iş

birliğini artırmıştır (Andersson vd., 2010). Ekonomik iyileşme sağlayabilme ve operasyonel verimliliği artırabilme potansiyelinden dolayı, tedarik zincirindeki aktörlerin birbirleri ile işbirliği içerisinde olması işletmelere fayda sağlamaktadır (Ben-Daya vd., 2008). Bu iş birliği; tedarikçiler, aracılar, üreticiler, depolar, üçüncü taraf hizmet sağlayıcıları ve nihai müşteriler arasındaki koordinasyonu ve yardımlaşmayı içermektedir (Huynh & Yenradee, 2020).

Satıcının müşterilerdeki envanterleri yönetme sorumluluğunu üstlendiği satıcı ile müşteri arasındaki iş birliği, literatürde VMI olarak tanımlanmaktadır (Onggo vd., 2019). Daha geniş bir tanım ile VMI, satıcı ile müşteriler arasındaki sözleşmeye dayalı bir anlaşmada belirlenen sınırlar dahilinde satıcının uygun envanter seviyelerine karar verdiği, müşteri-satıcı koordinasyonu için oluşturulmuş tedarik zinciri stratejisidir (Darwish & Odah, 2010). Bu stratejide temel prensip kazan kazan ilişkisi olmakla birlikte aynı zamanda iş birliğinin her bir ortağına fayda getirmesini garanti etmesidir (Disney & Towill, 2003).

VMI stratejisi ile oluşturulan iş birliğinde, ortaklar için birçok fayda mevcuttur. Satıcı bu sistem ile müşterilerin envanter seviyelerini izlemekte ve istenen müşteri hizmeti seviyesini korumak için gerektiğinde müşteri envanterlerini yenilemektedir. Bu sayede satıcılar müşterilerden gelen yenileme siparişlerini beklememekte ve müşterilerine yaptıkları teslimatları daha iyi koordine etmektedir. Müşterilerin ise kaynaklarını envanter kontrolüne ayırması gerekmediğinden, farklı süreçlere yoğunlaşmaları mümkündür (Dong & Xu, 2002). Ayrıca VMI stratejisi ile müşteriler sipariş maliyetlerine maruz kalmamakta ve sözleşmede yapılan anlaşmalar gereğince aşırı envanterden korunmaktadır (Danese, 2006). Yapılan iş birliği ile gelen diğer önemli faydalar; azaltılmış envanter maliyetleri, piyasa değişikliklerine daha iyi yanıt, talep belirsizliğinde azalma, üretim planlama ve dağıtımda daha fazla esneklik olarak özetlenebilir (Darwish & Odah, 2010). Ayrıca VMI stratejisinin; tedarik zinciri verimliliğini arttırmak, envanter değişikliğine hızlı yanıt vermek ve kamçı etkisini azaltmak gibi operasyonel avantajları da bulunmaktadır (Wang vd., 2020).

Satıcı ve müşterilerden oluşan iki aşamalı bir VMI sisteminde satıcının vermesi gereken temel kararlar; nasıl bir dağıtım planıyla, ne zaman ve ne kadarlık bir teslimat yapılacağıdır (Soysal vd., 2019). Temel amaç ise nakliye ve envanter maliyetlerini

azaltırken, istenen müşteri hizmet seviyesini korumaktır.

Devam eden bölümde VMI ile şekillenen IRP'den bahsedilecek ve problem sürdürülebilirlik bakışı ile detaylandırılarak anlatılacaktır.

2.2 SÜRDÜRÜLEBİLİR ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ

Lojistik maliyetlerini düşürmek ve müşterilere sunulan hizmet kalitesini arttırmak için en kısa süre veya mesafeyi verecek olan dağıtım planını bulmak günümüzde ilgi çekici bir konu haline gelmiştir (Ballou, 1998). Dağıtım planlamasında temel amaç teslim edilecek noktalara hangi sıra ve güzergah ile teslimatın yapılacağıının belirlenmesidir. Bu problem literatürde araç rotalama problemi (VRP) olarak tanımlanmıştır (Dantzig & Ramser, 1959). Basit bir araç rotalama modeli aşağıdaki varsayımlarla oluşturulmaktadır (C. Lin vd., 2014);

- Dağıtım planında bulunan müşterilerin talepleri tam olarak karşılanmalıdır.
- Dağıtım planındaki her hedef, tek bir araç tarafından yalnızca bir kez ziyaret edilmelidir.
- Rota depodan başlamalı ve tekrar depoda bitmelidir.
- Rotadaki müşterilerin toplam talebi, aracın toplam kapasitesini aşmamalıdır.
- Her araç yalnızca bir rotada çalışmalıdır.

Daha önce bahsedilen VMI stratejisi ile satıcılar veya tedarikçiler, yukarıda belirtilen varsayımlara göre hem kendi filolarına ait araçların dağıtım planlama kararlarını verecek hem de müşterilerdeki envanter yönetiminden sorumlu olacaktır. Bu entegre problem, VRP'nin bir varyantı olmakla birlikte literatürde IRP olarak tanımlanmaktadır (Dror & Ball, 1987).

Endüstriyel faaliyetlerdeki rekabet artışı ve müşteri ihtiyaçlarının çeşitlenmesi sonucunda tedarik zinciri yönetiminde yeni problemler açığa çıkmıştır. Bunlardan bir tanesi de IRP'dir. Günümüz lojistik sistemlerinde amaç sadece dağıtım yapmak değil, aynı zamanda envanter kontrolünü sağlamaktır. Dolayısıyla, envanter yönetimi ve

araç rotalama kararları birbiriyle güçlü bir şekilde ilişkili duruma gelmiştir. Ayrıca tedarikçi bakış açısından, hangi müşteriye ne zaman ve ne kadarlık teslimat yapılacağını bilmek için rotalama maliyetlerine ihtiyaç vardır (Moin & Salhi, 2007). Dolayısıyla envanter yönetimi ile araç rotalama arasındaki ilişkiyi inceleyen araştırmacılar, yönetilmesi gereken bu kararları eş zamanlı olarak değerlendirmeye başlamıştır. Bu lojistik problem her iki terimi de içeren bir IRP olarak ilk kez Bell vd. (1983) tarafından literatüre kazandırılmıştır. VMI'da olduğu gibi IRP'de de tedarikçinin temel amacı; toplam dağıtım ve envanter maliyetini en aza indirirken, her dönemde müşteri taleplerini karşılayacak envanter politikasını belirlemektir. Bu sayede müşterilerin stok dışı kalma durumu engellenerek, müşteri operasyonlarının sağlıklı bir şekilde yürütülmesi sağlanacaktır.

Temel bir IRP'de, tedarikçinin veya satıcının eş zamanlı olarak vermesi gereken temel kararlar aşağıdaki gibidir (Baita vd., 1998):

- Sevkiyatların ne zaman yapılacağı yani araçların ne zaman yüklenmesi gerektiği ve müşterilerin ne zaman ziyaret edilmesi gerektiği,
- Her müşteriye her seferinde ne kadarlık teslimat yapılacağı,
- Her araç tarafından hangi yolun izlenmesi gerektiği veya dağıtım planı içerisinde müşterilerin nasıl kümeleneceği.

Yukarıdaki maddelerden görüldüğü üzere IRP'de tedarikçiler müşterilerin hem sevkiyat zamanına hem de sevkiyat miktarına karar vermektedir. Envanter ve zaman boyutunu aynı anda içeren IRP, orta vadeli taktiksel bir problem olarak kabul edilmektedir.

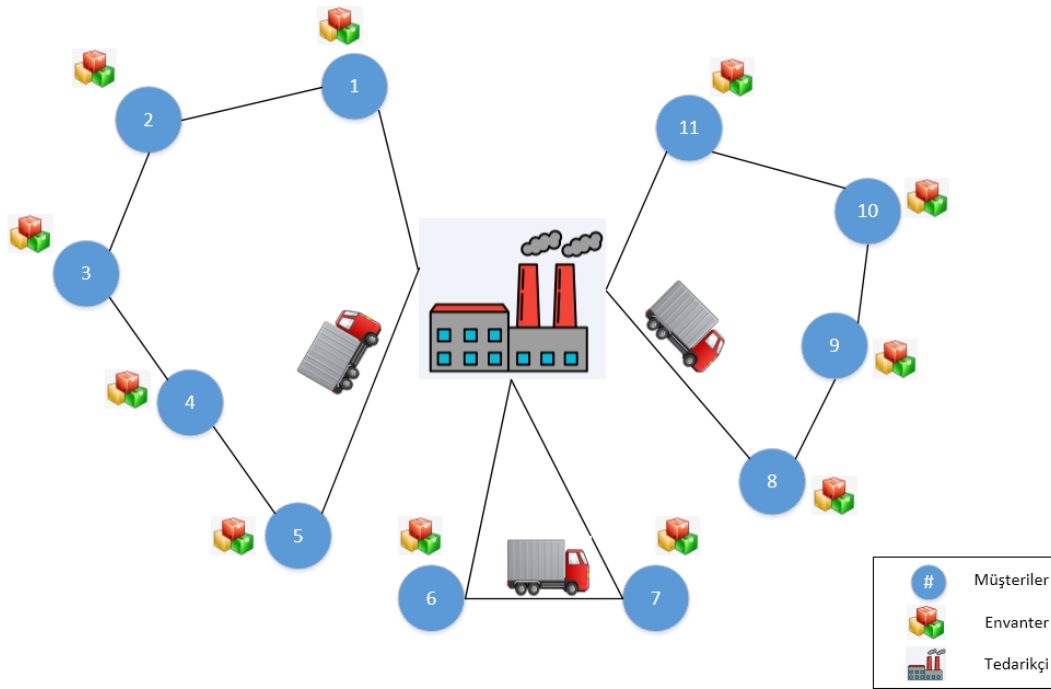
IRP üzerinde yapılan çalışmalarda yapısal olarak farklı durumlar ele alınmıştır (Coelho & Laporte, 2013). Andersson vd. (2010) geçmiş çalışmaları Tablo 2'de sunulan boyutlara göre sınıflandırmıştır. Planlama ufku açısından incelendiğinde üç farklı türde çalışma yapıldığı görülmüştür. Tek dönemli çalışmalarda müşteri başına en fazla bir ziyaret yapılmaktadır. Bir müşteriye birden fazla ziyaretin gerekli olduğu durumlarda ise sonlu planlama ufku kullanılır. Sonsuz planlama ufkunda ise belirli bir zaman sınırı bulunmamaktadır.

Müşteri taleplerinde geçmiş çalışmalarda kullanılan iki farklı tür bulunmaktadır. İlki,

belirsizliğin olduğu ve talebin olasılıksal olarak değerlendirildiği durumlar olan stokastik talep yapılarıdır. Diğeri ise taleplerin net olarak bilindiği yapılar olan deterministik yapılarıdır.

Literatürde IRP'nin, müşteri ve tedarikçi sayısına göre üç farklı dağıtım yapısı vardır. Bunlar; bire bir, birden çoğa ve çoktan çoğadır. IRP literatüründe en çok çalışılan tür, tek tedarikçi ve birden fazla müşterinin olduğu birden çoğa dağıtım yapısıdır (Soysal vd., 2019). Bu yapıda bir tedarikçi birçok müşteriye aynı anda hizmet vermektedir. Şekil 1 'de birden çoğa dağıtım yapısına sahip bir IRP'nin genel gösterimi bulunmaktadır.

Şekil 1: Birden Çoğa Dağıtım Yapısında Genel Bir IRP Gösterimi (Soysal vd., 2019)



Rotalama açısından bakıldığında üç farklı tür vardır. İlkinde, bir araç merkezi depodan teslim edeceği malzemeleri alır ve depoya dönmeden önce tüm malzemeleri tek bir müşteriye dağıtır. Bu durum doğrudan rotalama yapısıdır. Bir aracın birden fazla ziyarette, birden fazla müşteriyi ziyaret edebileceği durumda ise çoklu rotalama yapısı kullanılır. Son olarak denizcilik uygulamalarında olduğu gibi merkezi bir deposu, başlangıç ve sonu olmayan dağıtım yapıları vardır. Bu yapılar da sürekli rotalama olarak adlandırılır.

IRP çalışmalarında ele alınan farklı envanter politikaları bulunmaktadır. Envanter seviyesinin negatife düşmediği yapılar, sabit envanter politikasıdır. Talebi karşılayacak yeterli stok seviyesinin olmadığı durumlarda, daha sonra yapılacak acil bir teslimat ile bu durum dengelenebiliyorsa buna stok aşımı politikası denilmektedir. Talebin karşılanamadığı durumlarda direk satış kaybı yaşanması ise kayıp satış olarak adlandırılmaktadır. Son olarak talebin karşılanamadığı durumlarda, sonraki periyotlara ertelenerek tamamlandığı durumlar da geri dönen sipariş politikalarıdır.

Filo türlerinin iki farklı çeşidi bulunmaktadır, bunlar homojen ve heterojen yapılar-
dır. Homojen bir filoda; tüm araçlar hız, sabit maliyet, değişken maliyet, ekipman ve boyut gibi aynı özelliklere sahiptir. Filo heterojense, araç özelliklerinin bir kısmı veya tamamı farklıdır. Filo büyüklüğünün de üç farklı çeşidi bulunmaktadır. Filo tek araçtan oluşuyorsa tekli, çok araçtan oluşuyor ve kapasite artırılamıyorsa çoklu, çok araçtan oluşuyor ve ekstra dağıtım kapasitesi satın alınabiliyorsa da kısıtlamasız olarak adlandırılmaktadır.

Tablo 2: IRP için Kullanılan Sınıflandırma Kriterleri (Andersson vd., 2010)

Karakteristik	Alternatifler			
Planlama Ufku	Tek Dönemli	Sonlu	Sonsuz	
Talep	Stokastik	Deterministik		
Dağıtım Yapısı	Bire bir	Birden Çoğa	Çoktan Çoğa	
Rotalama	Doğrudan	Çoklu	Sürekli	
Envanter Politikası	Sabit	Stok Aşımı	Kayıp Satış	Geri Dönen
Filo Türü	Homojen	Heterojen		
Filo Büyüklüğü	Tekli	Çoklu	Kısıtlamasız	

Lojistik ve tedarik zinciri faaliyetleri, işletmelerdeki ekonomik büyümeyi ve rekabeti doğrudan etkilemektedir (Mariano vd., 2017). Fakat bu faaliyetler sonucunda ortaya çıkan emisyon ile yenilenemeyen kaynaklara verilen zarar açıkça bilinmektedir (Smokers vd., 2014). Sonuç olarak büyük bir enerji ve emisyon azaltma potansiyeli bulunduğundan, son zamanlarda tedarik zinciri süreçlerinin araştırmacılar tarafından ayrıntılı olarak incelenmesine öncelik verilmektedir (Treitl vd., 2014). Öte yandan paydaşların artan ekonomik, sosyal ve çevresel sorumluluklarıyla birlikte geleneksel

IRP üzerinde ilave çalışmaların yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bunun üzerine sürdürülebilir IRP kavramı doğmuştur (Soysal vd., 2019). Sürdürülebilir IRP’de temel amaç, toplam karı maksimize etmek veya toplam maliyeti minimize etmenin yanı sıra operasyonları sosyal ve çevresel açıdan sürdürülebilir şekilde devam ettirmektir (Soysal & Bloemhof-Ruwaard, 2017). Bu sayede karar vericiler, karar verme aşamasında sosyal sorunlar, çevresel kriterler ve müşteri memnuniyeti seviyesi gibi gerçek dünya problemlerini dikkate almaktadır (Rahimi vd., 2016).

Son yıllarda yapılan sürdürülebilir IRP çalışmaları incelendiğinde, ilginin üç farklı çevresel veya sosyal endişe kapsamında toplandığı görülmektedir (Soysal vd., 2019). Bu durumlar; (i) lojistik operasyonlar sonucu açığa çıkan emisyonlar, (ii) ürünleri kullanılamaz hale getirecek bozulabilirlik ve (iii) atıkların yönetimidir.

Fosil yakıtlar dünyanın enerji talebinin büyük bir bölümünü karşılamaktadır. Ancak fosil yakıtların yanması sonucunda ortaya çıkan sera gazı emisyonları, iklim değişikliğine ve insan yaşamı üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır (Asadi vd., 2018). Ayrıca, mevcut tüketim eğilimlerinin devam etmesi ile dünyanın önümüzdeki 40-60 yıl içinde ciddi petrol ve gaz kıtlığıyla karşı karşıya kalacağı tahmin edilmektedir (Administration, 2007). Küreselleşme ile artan endüstriyel faaliyetler sonucunda, son yirmi yılda sera gazı emisyonlarını artıran en önemli sektörün taşımacılık olduğu belirlenmiştir (Yeh & Chuang, 2011). Bu nedenle IRP çalışmalarında ekonomik hedeflere ilaveten, sosyal ve çevresel hedefler de düşünülmeli ve sera gazı emisyonlarını azaltacak yaklaşımlar denenmelidir. Ayrıca işletmeler; yüksek yakıt kullanımının sebep olduğu hava kirliliği, gürültü, titreşimler ve kazalar gibi lojistik operasyonlarının dış etkilerini detaylı olarak düşünmelidir (Neto vd., 2009). Sonuç olarak, IRP çalışmalarında ayrıntılı yakıt tüketimi hesaplaması yapılarak emisyon değerlerinin minimize edilmesi ve açığa çıkan sera gazı emisyonlarının çevresel etkilerinin belirlenmesi sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir.

Sürdürülebilir IRP ile ilgili bir diğer önemli konu bozulabilirliktir. Geleneksel modellerde ürünlerin sonsuz bir yaşam döngüsüne sahip olduğu varsayılır. Gerçek hayatta birçok ürünün sınırlı bir zamanı vardır, yani belirli bir süre sonra bozulacaktır. Bu nedenle zaman geçtikçe tüketime kısmen veya tamamen uygun olmayan hale gelen bazı malzeme türlerinde bozulabilirliğin etkisi göz ardı edilmemelidir (Shen vd., 2011).

Ayrıca herhangi bir zamanda müşterilere teslim edilen envanter miktarları, müşterinin depolama kapasitesinin yanı sıra envanterlerin raf ömrü ile de sınırlıdır (Le vd., 2013). Bozulabilir ürünlerin mevcut kaliteleri uzun yolculuklar sonucu zarar görürse, müşteriler bu ürünleri satın almaktan vazgeçebilir. Bu nedenle bozulabilir ürünlere olan talepler, envanterin yaşından da etkilenmektedir (Mirzaei & Seifi, 2015). Özellikle gıda ürünlerinde bozulabilirliği önleme adına araçlarda gelişmiş soğutma ekipmanları kullanılmaktadır. Sonuç olarak IRP çalışmalarında ürünlerin bozulabilirlik durumlarını göz önünde bulundurmak ve geliştirilen matematiksel modele entegre etmek problemlerin gerçekliğini arttırmaktadır.

Modern dünyada atık miktarı hızla artmaktadır. İşletmelerden ve endüstriden elde edilen toplam atık ve yeniden kullanılabilir malzeme miktarı yıllık 12 milyon tonu aşmaktadır (Bogh vd., 2014). Bu miktar göz önünde bulundurulduğunda, atıkların ve yeniden kullanılabilir malzemelerin toplanması ve işlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple geleneksel IRP'lere ilaveten, müşterilerin taleplerini karşılamak üzere dağıtıma çıkan araçların ürünleri teslim ederken, kullanılmayan veya bozulmuş materyalleri olarak tekrar tedarikçiye veya başka bir atık dönüşüm merkezine bıraktığı yapılar tasarlanmıştır. İleri malzeme akışı ile ters yönde malzeme akışının aynı anda yapıldığı bu yapılar, literatürde kapalı döngü IRP olarak adlandırılmaktadır (Soysal, 2016). Bu çalışmalarda yeni ürünlerin dağıtım problemine ilaveten kullanılmayan, bozulan veya iade edilecek ürünlerin de ters akış olarak modellere dahil edilmesi gerekmektedir (Yuchi vd., 2021). Ters akış ile hareket eden malzemeler; ürün atıkları, ambalaj atıkları veya paketlenme ekipmanları olabilir. Bu malzemeler geri dönüşümü yapılmak üzere atık toplama merkezlerinde işlem görmektedir. Ters akış sayesinde işletmeler hem envanter maliyetlerini azaltabilmekte hem de yeniden üretim ile enerji maliyetlerinde tasarruf sağlayabilmektedir (Aksen vd., 2012). Çevresel açıdan bakıldığında da atık yönetimi sayesinde yapılan geri dönüşüm işlemleri ile birlikte karbon ayak izi açısından sürdürülebilirlik performansı iyileştirilmektedir (Dekker vd., 2012). Sonuç olarak ileri ve geri akışların olduğu kapalı döngü IRP'lerde hem ekonomik hem de çevresel olarak sürdürülebilirlik sağlanmış olacaktır.

Devam eden bölümde, literatürdeki benzer çalışmalar hakkında bilgi verilecek olup bu tez çalışmasının diğer çalışmalara kıyasla literatüre yapmış olduğu temel katkı farklarından bahsedilecektir.

2.3 İLGİLİ LİTERATÜR

Bu tez çalışmasında oluşturulan problem ile ilgili literatür taraması için "Web of Science" veri tabanında bulunan makaleler ile bu makalelerde kaynak olarak gösterilen makaleler kullanılmaktadır. Web of Science veri tabanında "envanter rotalama (inventory routing)" anahtar sözcüğü kullanılarak tarama yapılmış ve tarama "konu (topic)" esaslı olarak uygulanmıştır. Tarama sonucunda "sürdürülebilirlik (sustainability)", "atık (waste)" ve "kapalı (closed)" anahtar sözcükleri ile sonuçlar daraltılarak bulunan makaleler ve bu makalelerdeki referans çalışmalar, bu tez çalışmasının konusu ve modeli temel alınarak değerlendirilmiştir. Tez çalışmasının konusuna benzer 27 adet makale bulunmuş ve bu makaleler incelenmiştir. Bulunan 27 makalede de bu tez çalışmasında olduğu gibi ileri ve geri rotalama kararlarının bulunmasına dikkat edilmiştir.

Taranan 27 makaleye ilişkin hazırlanan Tablo 3; problem tipi, model tipi, talep belirsizliğinin olup olmaması, detaylı yakıt tüketimi hesaplamasının yapılıp yapılmaması, soğutmalı araç kullanımının olup olmaması, modelde toplanan malzemenin ne olduğu ve çalışma saatlerinde düzenleme yapılıp yapılmaması konularına göre incelenerek değerlendirilmiş ve hazırlanmıştır.

Tablo 3 incelendiğinde, problem tipi olarak 4 farklı çeşidin kullanıldığı görülmektedir. 27 makale arasından 12 tanesinde problem IRP tipinde oluşturulmuştur. 7 makalede tesis yeri seçimi ile IRP'nin eş zamanlı olarak uygulandığı "tesis yeri seçimli envanter rotalama problemi (LIRP)" tipi, 7 tanesinde üretim miktarı kararları ile IRP'nin eş zamanlı olarak uygulandığı "üretim ve envanter rotalama problemi (PIRP) tipi ve 1 tanesinde ise envanter yönetimi ile ters akışlı rotalama kararlarının VRP ile eş zamanlı olarak verildiği "envanter ve ters akışlı araç rotalama problemi (VRP-BI)" tipi problemler kullanılmıştır.

Tablo 3'e bakıldığında modellerde kullanılan çözüm tekniklerinin aynı olmadığı görülmektedir. Çalışmaların büyük kısmında karışık tam sayılı doğrusal programlama (MILP) yaklaşımı, IRP'leri formüle ederken kullanılmıştır. Bunun dışında çok amaçlı doğrusal programlama (MOLP), olasılıksal karışık tam sayılı doğrusal programlama (PMILP), karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama (MINLP) ve doğrusal

olmayan tam sayılı programlama (NIP) yaklaşımlarının kullanıldığı görülmüştür.

İncelenen 27 makaleye bakıldığında, yalnızca 8 adet makalede talebin belirsiz olduğu görülmektedir. Örneğin, B. Liu vd. (2015) çalışmalarında her perakendecinin günlük talep ve iadelerinin stokastik olduğunu ve normal dağılıma uyduğunu varsaymıştır. Soysal (2016) çalışmasında taleplerin rastgele olasılıksal olarak üretildiğini varsaymıştır. Zhalechian vd. (2016) da normal dağılım izleyen talep değerlerini olasılıksal olarak ele almışlardır. Nikolakopoulos ve Ganas (2017) çalışmalarında gelecekteki talebi tahmin etmek için bir zaman serisi ayrıştırma tahmin modeli kullanmışlardır. Zhang vd. (2018) ve Shuang vd. (2019) çalışmalarında talep belirsizliğini içeren iki aşamalı bir stokastik formülasyon sunmuşlardır. Golsefidi ve Jokar (2020) ise talebin olasılık dağılımı hakkında tam bir bilgi olmadığı için modeli esnek bir şekilde çözmüşlerdir. Son olarak Yuchi vd. (2021) çalışmalarında her müşterinin talep ve iadelerinin belirsiz, birbirinden bağımsız ve normal dağılmış olduğunu varsaymıştır. Kalan 19 adet makalede de talep önceden bilinmektedir.

Detaylı yakıt tüketimi hesaplamasının yalnızca 3 adet makalede kullanıldığı görülmektedir. Diğer makalelerde taşıma maliyeti sadece gidilen mesafeye bağlı olarak hesaplanmıştır. Soysal (2016) çalışmasında detaylı yakıt tüketimini hesaba katan bir model önermiştir. Bu modele göre kat edilen mesafe ve taşınan yük, yakıt tüketim miktarlarını etkileyen iki faktördür (Soysal vd., 2021). Fang vd. (2017) çalışmalarında geleneksel yük taşıtlarının detaylı yakıt tüketimini hesaplayarak emisyon ve yakıt tüketimi gibi performans göstergelerini tanımlamışlardır. Son olarak Soysal vd. (2021) ise çalışmalarında elektrikli ve geleneksel araçlar için gerçekçi enerji tahminlerinin ekonomik ve çevresel performans açısından önemli faydalar sağladığını göstermişlerdir.

Tablo 3'e bakıldığında, taranan makaleler arasında bu tez çalışması dışındaki hiçbir çalışmada soğutmalı araç kullanılmadığı görülebilmektedir. Araç içerisinde bozulabilir ürünler taşındığında ve aracın iç sıcaklığının belirli bir derecede sabit tutulması gerektiği durumlarda, araç kasalarında soğutma kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında soğutma için harcanan enerji de hesaplanarak detaylı yakıt tüketimi hesaplamasına dahil edilmektedir.

8 adet makalede (Li vd. (2013), B. Liu vd. (2015), Deng vd. (2016), Zhalechian

vd. (2016), Fang vd. (2017), Guo vd. (2018), Kuvvetli ve Erol (2020) ve Yuchi vd. (2021)) ters akışta araçlar tarafından toplanan materyallerin iade ürünler olduğu görülmüştür. Bunun dışında diğer çalışmalarda; ürün, atık ürün, petrol, nakliye ürünleri, banknot para, endüstriyel gaz, bozulabilir ürün, yıpranmış ürünler, hurda, bozulabilir ilaç, hatalı ürün ve yardım malzemeleri ters akışta toplanmıştır.

Literatürde yer alan kapalı döngüdeki sürdürülebilir IRP'ler incelendiğinde, çalışanların çalışma saatlerinde düzenleme yaparak sosyal açıdan avantaj sağlayabilen bir modele rastlanamamıştır. Bu tez çalışmasında maksimum rota uzunluğunun modelde negatif yönde baskılanmasıyla toplam dağıtım süresi kısaltılmaktadır. Bu sayede çalışanlar için ayrılan çalışma süresi artmakta ve işe daha geç gelme opsiyonları doğmaktadır. Bu durum sosyal açıdan sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır.

Tablo 4'te Tablo 3'te bilgileri verilen 27 adet çalışmanın literatürdeki temel katkıları özetlenmiştir. Tabloda bilgileri verilen çalışmalar ile bu tez çalışması kıyaslandığında literatüre sunulan temel katkı farkı; kapalı döngü IRP'lerde sosyal sürdürülebilirliği ve soğutmalı taşımacılığı ele alan ilk çalışma olmasıdır. Ayrıca bu tez çalışması; detaylı enerji hesaplaması ile yakıt tüketimini en aza indirmeye çalışan, bozulabilir gıda ürünleri için soğutmalı araçları kullanan, atık toplaması yapılarak çevresel sürdürülebilirliğe ve çalışanlara çalışma saatlerini düzenleme hakkı vererek sosyal sürdürülebilirliğe katkı sağlayan ve tüm bunları bir arada ele alan bir çalışma olarak diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Devam eden bölümde sürdürülebilir IRP için geliştirilen matematiksel model hakkında bilgi verilecektir.

Tablo 3: İleri ve Geri Yönde Rotalama Kararlarının Olduğu IRP Çalışmalarının İncelenme Tablosu

Çalışmalar	Problem tipi	Model tipi	Talep Belirsizliği	Detaylı yakıt hesaplaması	Soğutmalı araçlar	Ters akışta toplanan materyal	Çalışma saatlerini düzenleme
1	S.-C. Liu ve Chung (2009)	VRP-BI	MILP	-	-	-	Ürün veya atık
2	Li vd. (2013)	LIRP	MILP	-	-	-	iade ürün
3	Edirisinghe ve James (2014)	IRP	MILP	-	-	-	Petrol
4	B. Liu vd. (2015)	LIRP	MILP	✓	-	-	iade ürün
5	Deng vd. (2016)	LIRP	MILP	-	-	-	kusurlu/iade ürün
6	Soysal (2016)	IRP	PMILP	✓	✓	-	nakliye ürünleri
7	Van Anholt vd. (2016)	IRP	MILP	-	-	-	Banknot Para
8	Yuchi vd. (2016)	LIRP	NIP	-	-	-	Ürün
9	Zhalechian vd. (2016)	LIRP	MOLP	✓	-	-	iade ürün
10	Fang vd. (2017)	PIRP	MILP	-	✓	-	İade ürün
11	Iassinovskaia vd. (2017)	IRP	MILP	-	-	-	Nakliye ürünleri
12	Nikolakopoulos ve Ganas (2017)	IRP	MILP	✓	-	-	Endüstriyel gaz
13	Archetti vd. (2018)	IRP	MILP	-	-	-	Ürün
14	Guo vd. (2018)	LIRP	NIP	-	-	-	İade ürün
15	Chekoubi vd. (2018)	PIRP	MILP	-	-	-	Bozulabilir ürün
16	Zhang vd. (2018)	PIRP	MILP	✓	-	-	Yıpranmış ürünler
17	Guimarães vd. (2019)	PIRP	MILP	-	-	-	Ürün
18	Moosavi ve Nikfarjam (2019)	IRP	MILP	-	-	-	Hurda
19	Shuang vd. (2019)	PIRP	MILP	✓	-	-	Hurda
20	Timajchi vd. (2019)	IRP	MOLP	-	-	-	Bozulabilir ilaç
21	Kuvvetli ve Erol (2020)	PIRP	MILP	-	-	-	İade ürün
22	Golsefidi ve Jokar (2020)	PIRP	MINLP	✓	-	-	Hatalı ürünler
23	Archetti vd. (2020)	IRP	MILP	-	-	-	Ürün
24	Sakiani vd. (2020)	IRP	MILP	-	-	-	Yardım malzemeleri
25	Yuchi vd. (2021)	LIRP	MINLP	✓	-	-	İade ürün
26	Soysal vd. (2021)	IRP	MILP	-	✓	-	Nakliye ürünleri
27	Mahjoob vd. (2021)	IRP	MILP	-	-	-	Ürün
Bu çalışma	IRP	MILP	Talep	✓	✓	Gıda atığı	✓

VRP-BI: Envanter ve ters akışlı araç rotalama problemi, IRP: Envanter rotalama problemi, LIRP: Tesis yeri seçimli IRP, PIRP: Üretim ve IRP
MILP: Karışık tam sayılı doğrusal programlama, MOLP: Çok amaçlı doğrusal programlama, PMILP: Olasılıksal MILP
NIP: Doğrusal olmayan tam sayılı programlama, MINLP: Karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama

Tablo 4: İleri ve Geri Yönde Rotalama Kararlarının Olduğu IRP Çalışmalarının Literatüre Temel Katkısı

Çalışmalar		Temel Katkı
1-	S.-C. Liu ve Chung (2009)	İleri ve geri yönde rotalama kararları, envanter kararlarını da göz önünde bulundurarak belirlenmiştir. Geleneksel VRP'lerin dışında, teslim etme, teslim alma ve envanter kontrol kararları eş zamanlı olarak ele alınmıştır.
2-	Li vd. (2013)	LIRP problem tipinde müşteri iadeleri ve yeşil lojistik geri dönüşüm kavramını göz önünde bulundurarak üretim ve yeniden üretim sistemini dikkate alan ilk çalışmadır.
3-	Edirisinghe ve James (2014)	Geliştirilen konum tabanlı model ile kronolojik bir araç-düğüm ziyaretlerindeki her araç ziyaretine benzersiz bir konum atanmasını sağlamıştır. Bu yaklaşım ile ikili karar değişkenlerinin sayısı kontrol edilirken, birden çok araç kullanarak bir düğüme birden çok ziyareti modellemede önemli ölçüde esneklik sağlamaktadır.
4-	B. Liu vd. (2015)	e-ticaretteki getirileri dikkate alan pratik bir stokastik LIRP modeli geliştirilmiş ve geliştirilen sezgisel yaklaşım ile optimal çözüm, hesaplama süresi, hesaplama verimliliği ve kararlılığı konusunda genetik algoritmadan daha iyi performans elde edilmiştir.
sonraki sayfada devam etmektedir		

Tablo 4 – İleri ve Geri Yönde Rotalama Kararlarının Olduğu IRP Çalışmalarının Literatüre Temel Katkısı (devamı)

Çalışmalar		Temel Katkı
5-	Deng vd. (2016)	Kapalı döngü LIRP modelinde hem kalite kusurlu hem de kusurlu olmayan iadeleri dikkate alan ilk çalışmadır. Sayısal örneklerin sonuçları ile geliştirilen sezgisel yaklaşımın; optimum çözüm, yinelemeler ve hesaplama kararlılığı konusunda karınca kolonisi optimizasyonundan daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir.
6-	Soysal (2016)	İleri ve geri lojistik operasyonlarını, açık yakıt tüketimini, talep belirsizliğini ve çoklu ürünleri hesaba katan literatürdeki ilk kapalı döngü IRP modeli geliştirilmiştir.
7-	Van Anholt vd. (2016)	İleri ve geri yönde rotalama kararlarının verildiği ve çoktan çoğa dağıtım yapısının uygulandığı bir IRP modeli geliştirilmiştir. Ayrıca optimal çözümü zor olan gerçekçi boyuttaki problemle başa çıkabilmek için sezgisel yaklaşım önerilmiştir.
8-	Yuchi vd. (2016)	İleri ve geri yönde rotalama kararlarının, dağıtım merkezlerinin konum kararlarının ve açılan DM'lerin envanter politikalarının kararlarının verildiği bir LIRP modeli geliştirilmiştir. Problemin optimal çözümüne yakın bir sonuç için tabu arama algoritması geliştirilmiştir.
		sonraki sayfada devam etmektedir

Tablo 4 – İleri ve Geri Yönde Rotalama Kararlarının Olduğu IRP Çalışmalarının Literatüre Temel Katkısı (devamı)

Çalışmalar		Temel Katkı
9-	Zhalechian vd. (2016)	Ekonomik, çevresel ve sosyal etkileri dikkate alarak, sürdürülebilir kapalı döngü IRP modeli geliştirilmiştir. Karbondioksit emisyonlarının, yakıt tüketiminin, boşa harcanan enerjinin çevresel etkilerinin ele alındığı ve yaratılan iş fırsatları ile ekonomik kalkınmanın sosyal etkilerine dikkat edildiği bir model geliştirilmiştir.
10-	Fang vd. (2017)	Üretim miktarının belirlenmesi kararları ile ileri ve geri yönde rotalama kararlarının eş zamanlı olarak ele alındığı ve karbon emisyonlarının azaltılarak sürdürülebilirliğe katkı sağlamanın amaçlandığı bir IRP modeli geliştirilmiştir.
11-	Iassinovskaia vd. (2017)	Teslimatların ve iadelerin eş zamanlı olarak ele alındığı IRP modeli geliştirilmiştir. Büyük ölçekli problemlerin üstesinden gelmek için sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir.
12-	Nikolakopoulos ve Ganas (2017)	Talebin belirsiz olduğu dinamik yapıda bir IRP modeli geliştirilmiştir. Gelecekteki talebi tahmin etmek için zaman serisi ayrıştırma tahmin modeli kullanılmaktadır.
13-	Archetti vd. (2018)	Tek ürün ve tek araç ile ileri ve geri yönde rotalama kararlarının olduğu bir IRP modeli geliştirilmiştir. Problemin çözümünde sezgisel yaklaşım uygulanmıştır.
14-	Guo vd. (2018)	İleri ve geri yönde lojistik kararların olduğu bir LIRP çalışmasında aynı anda tesis konumunu, envanter kontrolünü ve araç yönlendirme kararlarını optimize etmek için doğrusal olmayan bir tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir.
		sonraki sayfada devam etmektedir

Tablo 4 – İleri ve Geri Yönde Rotalama Kararlarının Olduğu IRP Çalışmalarının Literatüre Temel Katkısı (devamı)

Çalışmalar		Temel Katkı
15-	Chekoubi vd. (2018)	Kapasiteli dinamik parti boyutlandırmayı yeniden üretim problemiyle, araç rotalama problemini de eşzamanlı teslim alma ve teslim etme ile birlikte ele alan PIRP modeli geliştirilmiştir.
16-	Zhang vd. (2018)	Talebin belirsiz olduğu ve karbon emisyon değerlerinin hesaplanılarak sürdürülebilirliğin ele alındığı ayrıca üretim, envanter ve rotalama kararlarının eş zamanlı olarak verildiği bir matematiksel model geliştirilmiştir.
17-	Guimarães vd. (2019)	İleri ve geri yönde rotalama kararlarının olduğu iki aşamalı bir IRP modeli geliştirilmiştir. Ayrıca tamsayı programlama modelinin kesin çözümü ile birleştirilmiş karma bir sezgisel algoritma önerilmiştir.
18-	Moosavi ve Nikfarjam (2019)	Tedarikçinin dışında üretici ve perakendecinin de envanter tuttuğu varsayımında, çok dönemli, araçların heterojen yapıda olduğu ve ileri ve geri yönlü rotalama kararlarına sahip kapalı döngü IRP modeli geliştirilmiştir.
19-	Shuang vd. (2019)	Heterojen filo yapıları ile farklı karbon emisyon kontrol politikalarını dikkat alan ve satış kayıplarına izin veren PIRP modeli geliştirilmiştir. Önerilen model hem deterministik hem de iki aşamalı stokastik karma tamsayı programlama problemi olarak formüle edilmiştir.
		sonraki sayfada devam etmektedir

Tablo 4 – İleri ve Geri Yönde Rotalama Kararlarının Olduğu IRP Çalışmalarının Literatüre Temel Katkısı (devamı)

Çalışmalar		Temel Katkı
20-	Timajchi vd. (2019)	Geliştirilen IRP modeli aynı anda maliyetleri ve kaza kaybını en aza indirirken, talebi karşılamak için rotaların ve aktarma seçeneğinin en iyi konfigürasyonunu kullanmaya çalışmaktadır. Ayrıca model kapsamında tehlikeli ve bozulabilir ürünlerin taşımacılığı da yapılmıştır.
21-	Kuvvetli ve Erol (2020)	Geliştirilen PIRP modeli; üretim, dağıtım, toplama ve geri dönüşüm miktarları kararlarının eş zamanlı verildiği, kapalı döngü tedarik zinciri entegrasyon problemidir. Problemden sınırlı bir planlama ufğunun her bir zaman dilimi için dağıtım ve toplama yolları birlikte ele alınmıştır.
22-	Golsefidi ve Jokar (2020)	Üretim miktarı, envanter ve rotalama kararlarının birlikte verildiği, ileri ve geri yönde rotalama kararları ile kapalı döngü tedarik zincirinin ele alındığı bir PIRP modeli geliştirilmiştir. Modelde talep belirsiz olup, problemin optimale yakın çözümleri için sezgisel yaklaşımlar ele alınmıştır.
23-	Archetti vd. (2020)	Rota ve envanter maliyetlerinin toplamını en aza indiren, envanter ve kapasite kısıtlamalarının karşılayan toplama ve dağıtım planının eş zamanlı belirlendiği kapalı döngü IRP modeli geliştirilmiştir.
		sonraki sayfada devam etmektedir

Tablo 4 – İleri ve Geri Yönde Rotalama Kararlarının Olduğu IRP Çalışmalarının Literatüre Temel Katkısı (devamı)

Çalışmalar		Temel Katkı
24-	Sakiani vd. (2020)	Bozulabilir yardım ekipmanlarının ileri ve geri yönde rotalama kararlarının verildiği kapalı döngü IRP modeli geliştirilmiştir. Problem çözümünün zorluğu dolayısıyla sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir.
25-	Yuchi vd. (2021)	Dağıtım merkezlerinin ve yeniden üretim merkezlerinin konumlarının belirlendiği, sistemin envanter seviyesinin, dağıtım merkezlerinden müşterilere ve müşterilerden yeniden üretim merkezlerine teslimat rotalarının belirlendiği, taleplerin ve iadelerin belirsiz olduğu LIRP modeli geliştirilmiştir.
26-	Soysal vd. (2021)	Elektrikli ve geleneksel araçları içermesi bakımından heterojen araçlara sahip kapalı döngü IRP için hazırlanan ilk çalışmadır. Büyük boyutlardaki problemlerin çözümü için sezgisel yöntem önerilmiştir.
27-	Mahjoob vd. (2021)	Bu çalışma, heterojen araç filosu ile parçalı teslimat ve ürün toplamasının yapıldığı, çok dönemli yeşil IRP'yi modellemeye yönelik ilk girişimdir.

IRP: Envanter rotalama problemi, LIRP: Tesis yeri seçimli IRP, VRP: Araç Rotalama Problemi

BÖLÜM 3

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

Bu bölümde, ilk olarak problem tanımı yapılacaktır. Ardından modelde kullanılan yakıt tüketimi hesaplaması ile ilgili detaylı bilgi verilecektir. Son olarak sürdürülebilir IRP için önerilen matematiksel model açıklanacaktır.

3.1 PROBLEM TANIMI

Çalışma çerçevesinde ele alınan IRP $G = \{V, A\}$ grafiğinde tanımlanmaktadır. Gösterimde $V = \{S, C1, C2, \dots, Ct, W^{DC}\}$ noktaları, $A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$ ise noktalar arası yolları (yayları) ifade etmektedir. Noktalar kümesinde S tedarikçiyi, W^{DC} gıda atık ayrıştırma merkezini ve $V_2 = \{C1, C2, \dots, Ct\}$ ise müşterileri temsil etmektedir.

Müşterilerin talepleri, d_i , belirsizlik içermektedir. Her bir müşterinin gözlemlenebilecek talepleri, olası talep miktarları kümelerince tanımlanmaktadır, $d_i \in N_i = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_{|N_i|}\}$. Müşteri taleplerinin ortalama değeri $\lambda_i, i \in V \setminus \{S, W^{DC}\}$ olan bir poisson dağılımına sahip olduğu kabul edilmektedir. Satılmayıp elde kalmış her bir ürün ve karşılanmamış talep için ürün atığı cezası (m) ve yok satma ceza maliyeti (p) tanımlanmıştır.

Tedarikçi, homojen ve belirli kapasiteye (b) sahip araçları $k \in K$ kullanarak ürünlerin müşterilere teslimatını gerçekleştirmekten ve önceki dönemde biriken atık ürünlerin müşterilerden toplanarak gıda atık ayrıştırma merkezine götürülmesinden sorumludur. Bir önceki gün satılmayarak elde kalan ürünlerin sayısı bir sonraki gün başında

belli olacağı için, sabah yola çıkan araç, kendi rotası içerisindeki müşterilerden kaçır adetlik atık ürün, $\omega_i, i \in V_2$, toplayacağını bilmektedir.

Tedarikçi işletme, hızlı tüketim ürünleri sınıfına giren bozulabilir gıda ürünlerini imal etmektedir. Basitlik ve anlaşılabilirlik için problemde tek tip ürün kullanılmaktadır. Ürünlerin kullanılabilirlik ömrü maksimum bir gündür. Bu sebeple müşterilerin tedarik ettiği bu ürün, aynı gün içerisinde tüketilmediği takdirde atık sınıfına girer. Probleme çevresel boyut kazandıran gıda atık ayrıştırma merkezi sayesinde satılmayan ürünlerin geri dönüşümde kullanılması mümkün olmaktadır. Bu sayede çevresel olarak toprak ve su kirliliği de azaltılmış olacaktır.

Araçların dağıtım faaliyetleri tedarikçinin bulunduğu lokasyonda başlamakta ve yine burada bitmektedir. Ağ üzerindeki müşteriler arasındaki mesafe $r_{i,j}$ olarak tanımlanmıştır. Bir aracın kat ettiği maksimum rota uzunluğu π ile gösterilmektedir. Bu değer model içerisindeki kısıtlar sayesinde tüm araçlar için ayrı ayrı hesaplanacak ve en uzun rotalı aracın toplam mesafesi π değerini belirleyecektir. Bu sebeple π karar değişkeni olarak tanımlanmıştır. Problem boyunca amaçlardan bir tanesi sosyal sürdürülebilirliği sağlamak olduğundan maksimum rota uzunluğunu azaltmak olacağı için modele bunu yansıtacak maksimum rota uzunluğunun varsayımsal ceza çarpanı (τ) eklenmiştir. Bu sayede minimizasyon yapılan bu problemde, maksimum rota uzunluğu bu değer ile baskılanacak ve azalma eğiliminde olacaktır. En uzun rotanın azalması ile toplam dağıtım süresi kısılacak ve üretim için tedarikçide çalışanlar işe daha geç başlayabilme olanağına sahip olacaktır.

Ürünlerin müşterilere tedariki üretim ve taşıma süresini kapsamaktadır. Ürünlerin üretimi için çalışanların işe başlama zamanı, belirlenecek en uzun rotanın süresine göre değişmektedir. Belirlenen en uzun rota ne kadar kısa olursa, çalışanlar için ayrılan üretim süresi de o rotaya göre artacaktır. Bu durum çalışanlar için işe geç başlayabilme fırsatı yaratacaktır. Örneğin, müşteriler en geç sabah 07:00 itibariyle ürünü teslim almış olmayı beklemektedir. Bu durumda belirlenen rotanın bir saat olduğu varsayılırsa, tedarikçinin müşteri taleplerini karşılamak için en geç 06:00'a kadar üretim yapabilecek imkanı var demektir. Dolayısıyla en uzun rotanın kısılmasıyla doğru orantılı olarak toplam üretim süresi için tedarikçiye ayrılan zaman artacak ve böylece üretim yapan çalışanlar da işe daha geç başlama imkanına sahip olacaktır. Bu

imkan probleme sosyal boyut kazandırmaktadır. İşe daha geç başlama ihtimali olan çalışanlar, bu süreyi kendileri için başka bir aktivitede kullanabilme olanağına sahip olacaktır. Tedarikçi, üretim ve dağıtım işlemleri için belirlenmiş bir süre olan ϵ 'dan daha fazla çalışmamaktadır. Tedarikçinin her bir adet ürünü hazırlamak için harcadığı süre σ ile ifade edilmektedir. Ayrıca her bir aracın rota boyunca ortalama bir hız (ρ) ile gittiği kabul edilmiştir.

Problem çerçevesinde tek dönemli planlama ufku belirlenmiştir. Problemin amacı; yakıt maliyeti, ürün atık maliyeti, yok satmadan kaynaklanan ceza maliyetleri ve maksimum rotadan kaynaklanan ceza maliyetini minimize ederek, müşteri taleplerini optimal olarak karşılamaya imkan tanıyan dağıtım planını elde etmektir. Bu problemde yukarıda bahsedilen çevresel ve sosyal boyutların dışında ekonomik boyut da ön plana çıkmaktadır. Problemin temel amaçlarından biri olan maliyet minimizasyonu, tedarikçiye minimum maliyet ile maksimum kazanç elde etme imkanı verecektir. Bu durum ekonomik olarak tedarikçinin kazançlı olmasını sağlar. Ayrıca dağıtım planı çerçevesinde; ileri ve geri araç rotaları, teslimat miktarları ve maksimum rota uzunluğu belirlenmeye çalışılmaktadır.

Devam eden bölümde detaylı yakıt tüketimi hesaplamasında kullanılacak denklemler ve formülasyonlar hakkında bilgi verilecektir.

3.2 YAKIT TÜKETİMİ HESAPLAMASI

Taşımacılık sektöründe işletmeleri enerji kaynaklarını çeşitlendirmeye ve yakıt kullanımını azaltmaya yöneltebilecek güçlü sebepler bulunmaktadır. Bu sebepler; (i) petrol için artan talep ve nispeten statik arz, (ii) yönetsel olarak verilen kirlenmeyi önlemeye karşı düzenleyici kararlar ve (iii) yüksek yakıt tüketiminin yol açtığı küresel iklim değişiklikleri ve çevre kirliliğidir (Bradley & Frank, 2009).

Yakıt tüketiminde karbondioksit emisyonlarının en yüksek olduğu taşımacılık türü karayolu taşımacılığıdır (Cansız & Ünsalan, 2020). Dolayısıyla karayolu taşımacılığında faaliyet gösteren işletmelerin çevresel kaygıları ele alarak operasyonlarını devam ettirmesi çevresel sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Taşımacılık yapan işletmeler ise çevreselliğin yanı sıra karlılıkları ile uyumlu olduğundan gönüllü olarak

yeşil politikaları benimsemektedir. Yeşil politikaları benimsemenin bir başka nedeni de daha yeşil bir şirket imajının pazarlama potansiyelidir (Jabali vd., 2012).

Bu bilgiler ışığında, tüketilen yakıt miktarının artması hem ekonomik hem de çevresel olarak olumsuz etkiler yaratmaktadır. Ekonomik olarak bakıldığında yakıt miktarı arttıkça, taşımacılık yapan şirketin maliyeti de artar. Çevresel açıdan değerlendirildiğinde; yakıt tüketimi yükseldikçe ortaya çıkan emisyon miktarı artar ve buna bağlı olarak da emisyon salınımının artması çevre kirliliğini artırır. Bu problemde yakıt değerini minimize ederek tedarikçinin hem ekonomik olarak değer kazanması hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Ele alınan problemdeki araçlarda bozulabilir gıda taşındığından, soğutmalı taşımacılığa ait yakıt hesaplaması uygulanmıştır. Dağıtım yapılan ürünler yalnızca belirli sıcaklıklar arasında bozulmadan kalmaktadır. Ürünlerin bozulmasını önleyebilmek için araçlar içerisinde sıcaklığın ideal derecede sabit kalmasını sağlayan sistemler vardır. Bu sistem de ayrı bir yakıt tüketimine sebep olmaktadır. Yakıt ve emisyon miktarı hesaplamasında kullanılan formülasyonlar Stellingwerf vd. (2018) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır.

Kurulan modelde (i, j) yolu üzerindeki araç için hareketsetel güç $P_{i,j}$ aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_{i,j} = \alpha_{i,j}[(F_{i,j} + G_{i,j})w_a + (X_{i,j}w_k)]r_{i,j} + \beta v_{i,j}^2 r_{i,j} X_{i,j} \quad (3.1)$$

Burada $\alpha_{i,j}$ yaya özgü sabit, β ise araca özgü sabittir. Bu sabitlerin nasıl hesaplandığı aşağıdaki formülasyonlarla gösterilmiştir.

$$\alpha_{i,j} = a + g \sin \theta_{i,j} + g C_r \cos \theta_{i,j} \quad (3.2)$$

a değeri aracın ivmesi (m/s^2), g yer çekimi sabiti (m/s^2), $\theta_{i,j}$ (i, j) yolu üzerindeki ortalama eğim (derece), C_r ise yuvarlanma direncidir.

$$\beta = 0.5 C_d D \rho \quad (3.3)$$

Araca özgü sabitin hesaplandığı yukarıdaki formülasyonda C_d sürtünme katsayısını,

D aracın ön alanını (m^2) ve ρ hava yoğunluğunu belirtir (kg/m^3).

Araçta taşınan toplam yük hesabının yapılması için w_k ve w_a parametreleri tanımlanmıştır. w_k içerisinde herhangi bir yük bulunmayan aracın ağırlığını temsil etmektedir. Taşınan ürün ve atık ürünlerin aynı ağırlıkta olduğu varsayılmıştır ve w_a bir adet ürünün ağırlığını temsil etmektedir. $F_{i,j}$ ve $G_{i,j}$ aracın (i, j) yolu üzerinde sırasıyla kaç adetlik ürün ve atık ürün taşıdığını gösterir. $X_{i,j}$ (i, j) yolundan aracın geçip geçmediğini takip edebilmek amaçlı oluşturulan ikili değişkendir. Aracın geçtiği durumlarda bu değişken 1, geçmediği durumlarda ise 0 değerini alacaktır. $r_{i,j}$ müşteriler arasındaki uzaklığı metre cinsinden göstermektedir. $v_{i,j}$ ise, (i, j) yolu üzerindeki araç hızını (m/sn) belirtir.

Çevresel şarttaki taşımacılık için yakıt kullanımı f_a hesaplaması tüm güzergahlar için yukarıda verilen güç gereksinimi formülasyonuna göre toplanarak ve bunları yakıt kullanımına dönüştürerek yapılır. Bulunan güç değeri $3,6 \times 10^6$ 'ye bölünerek Joule değeri kilovat-saate dönüştürülür. μ_m kimyasaldan harekete enerji dönüşüm verimliliğini, P_f ise yakıtın enerji içeriğini (kWh/L) gösterir.

$$f_a = \frac{\sum_{(i,j) \in A} \alpha_{i,j} [(F_{i,j} + G_{i,j})w_a + (X_{i,j}w_k)]r_{i,j} + \sum_{(i,j) \in A} \beta v_{i,j}^2 r_{i,j} X_{i,j}}{3,6 \times 10^6 P_f \mu_m} \quad (3.4)$$

Yukarıdaki formülasyonda f_a değeri yalnızca çevresel ve normal şartlardaki taşımacılık için yakıt kullanımı hesaplamaktadır. Soğutmalı taşımacılıklarda ise araç yükünün soğutulmasında kullanılan yakıt ayrıca hesaplanmaktadır. Soğutmalı taşımacılığın temel amacı; taşınan malzemelerin ideal şartlarda kalmasını sağlamak için ortamın belirli bir sıcaklıkta sabit kalmasını sağlamaya çalışmaktır. Sıcaklık kontrolü için kullanılan enerji, sürüş sırasında araç kapısından giren ısıya ve kapı açıldığında araca giren ısıya bağlıdır. Sürüş sırasında araç kapısından giren ısı (kWh) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$H_w = \frac{\sum_{(i,j) \in A} X_{i,j} r_{i,j} U S \Delta T}{3,6 * 10^6 v_{i,j}} \quad (3.5)$$

U değeri ısı transfer katsayısı, S aracın yüzey alanı ve ΔT de aracın içi ve dışı arasındaki sıcaklık farkıdır. Kapı açıkken içeri giren ısıнын hesaplaması ise aşağıda be-

lirtildiği gibidir.

$$H_s = \sum_{(i,j) \in A} X_{i,j} h_i \quad (3.6)$$

h_i , i düğümündeki duruş esnasında araca giren ısı (kWh) olarak tanımlanmıştır. Yü-
kün soğutulması için kullanılan toplam yakıt şu şekilde hesaplanabilir:

$$f_r = \frac{H_w + H_s}{\mu_e \mu_p P_f} \quad (3.7)$$

Bu formülasyonda μ_e yakıttaki kimyasal enerjinin soğutma sistemini çalıştırmak için elektriğe dönüştürüldüğü verimliliklerdir. μ_p ise belirli miktarda elektrik enerjisi ile ne kadar termal enerjinin uzaklaştırılabileceğini ölçen performans katsayısıdır.

Sonuç olarak harcanan toplam yakıt değeri, çevresel şarttaki taşımacılık ve soğuk zincir taşımacılık için kullanılan yakıt miktarlarının toplanması ile elde edilir ($f_a + f_r$). Bulunan bu değer, birim yakıt maliyeti olan c_f ile çarpımı sonucunda toplam dağıtım maliyeti elde edilir.

Yakıt hesabının yapılmasında kullanılan parametreler Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

3.3 MATEMATİKSEL MODEL

Karar değişkenlerinden $Q_{i,k}$ ve $B_{i,k}$ sırası ile her müşteriye hangi araç tarafından toplam kaç adetlik ürün teslim edildiğini ve her müşteriden hangi araç ile toplam kaç adetlik atık ürünün teslim alındığını sorgulamak amacı ile oluşturulmuştur. Dönem sonunda beklenen atık miktarı ve eksik kalan ürün miktarını hesaplamak üzere W_i ve E_i karar değişkenleri tanımlanmıştır. π ise en uzun rotaya sahip aracın kaç kilometre yol gittiğini göstermek amacı ile tanımlanmış bir karar değişkenidir.

Problemin karma tamsayı doğrusal programlama formülasyonu ve modelin ifade edilmesinde kullanılan küme setleri, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda yer almaktadır.

Tablo 5: Notasyon Tablosu

Kümeler	
V	tüm düğümler kümesi, tedarikçi (S) ve atık ayrıştırma merkezi (W^{DC}) dahil $V = \{S, C1, C2, \dots, Ct, W^{DC}\}$
V_2	müşteri kümesi $V_2 = V \setminus \{S, W^{DC}\}$
V_3	müşteri küme seti birleşim atık merkezi $V_2 \cup \{W^{DC}\}$
V_4	müşteri küme seti birleşim tedarikçi $V_2 \cup \{S\}$
A	düğümler arası yollar (yollar) kümesi $A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$
K	araç kümesi $K = \{0, 1, 2, \dots, K \}$
N_i	i müşterisinin olası talep miktarları kümesi $N = \{n_1, n_2, \dots, n_{ N_i }\}$
Parametreler	
b	araç kapasitesi (adet)
d_i	müşteri talebi (adet) $i \in V_2$
ϕ_{d_i}	müşteri talebinin d_i gelme olasılığı $i \in V_2$
$r_{i,j}$	düğüm i ve düğüm j arasındaki mesafe, $(i, j) \in A$ (metre)
ϵ	tedarikçinin çalışabileceği maksimum süre (saniye)
σ	tedarikçinin her bir ürün adetini hazırlamak için harcadığı ortalama süre (saniye)
ρ	aracın saniyedeki ortalama hızı (m/sn)
m	atık ürün maliyeti (TL/adet)
p	karşılanamayan müşteri talebi için birim ceza maliyeti (TL/adet)
τ	maksimum rota uzunluğunun varsayımsal ceza çarpanı (TL/m)
M	yeterince büyük bir sayı
ω_i	$i \in V_2$ müşterisinden toplanması gereken atık ürün miktarı (adet)
Yakıt Tüketim Parametleri	
$\alpha_{i,j}$	yaya özgülü sabit (m/s^2)
β	araca özgülü sabit (kg/m)
ΔT	aracın içi ve dışarıları arasındaki sıcaklık farkı (K)
μ_e	kimyasaldan soğutmaya enerji dönüşüm verimliliği
μ_m	kimyasaldan harekete enerji dönüşüm verimliliği
μ_p	performans katsayısı
ρ	hava yoğunluğu (kg/m^3)
$\theta_{i,j}$	yolun eğimi

Tablo 6: Notasyon Tablosu (devam)

Yakıt Tüketim	
Parametleri	
a	aracın ivmesi
D	aracın ön alanı (m^2)
C_d	sürtünme katsayısı
c_f	birim yakıt maliyeti (TL/lt)
C_r	yuvarlanma direnci
f_a	çevresel şarttaki taşımacılık için yakıt kullanımı (lt)
f_r	soğuk zincir taşımacılık için yakıt kullanımı (lt)
g	yer çekimi sabiti
h_i	i düğümündeki duruş esnasında araca giren ısı (kWh)
H_s	yolculuk boyunca araca giren ısı (kWh)
H_w	dışarıdan araca giren ısı (kWh)
$P_{i,j}$	ij yayı üzerindeki hareketsetel güç (kWh)
P_f	yakıtın enerji içeriği (kWh/lt)
S_k	k aracının yüzey alanı (m^2)
U	ısı transfer katsayısı ($W/m^2/K$)
$v_{i,j}$	ij yayı üzerindeki hız (m/s)
w_k	k aracının boş ağırlığı (kg)
w_a	dağıtım yapılan birim ürün ağırlığı (kg)
Karar	
Değişkenleri	
$X_{i,j,k}$	ikili değişken, 1 eğer $k \in K$ numaralı araç $i \in V'$ den $j \in V'$ ye gidiyorsa, 0 aksi takdirde
$Q_{i,k}$	$k \in K$ numaralı araç tarafından $i \in V_2$ müşterisine teslim edilen toplam ürün miktarı (adet)
$B_{i,k}$	$k \in K$ numaralı araç tarafından $i \in V_2$ müşterisinden teslim alınan toplam atık ürün miktarı (adet)
$F_{i,j,k}$	$i \in V'$ den $j \in V'$ ye giden $k \in K$ numaralı aracın taşıdığı toplam ürün miktarı (adet)
$G_{i,j,k}$	$i \in V'$ den $j \in V'$ ye giden $k \in K$ numaralı aracın taşıdığı toplam atık ürün miktarı (adet)
W_i	$i \in V_2$ müşterisinde beklenen dönem sonu atık ürün miktarı (adet)
E_i	$i \in V_2$ müşterisindeki beklenen eksik ürün miktarı (adet)
π	maksimum rota uzunluğu (metre)

en küçükle (minimize)

$$c_f \left[\frac{\sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \alpha_{i,j} [(F_{i,j,k} + G_{i,j,k})w_a + (X_{i,j,k}w_k)]r_{i,j} + \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \beta v_{i,j}^2 r_{i,j} X_{i,j,k}}{3,6x10^6 P_f \mu_m} + \frac{\sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} X_{i,j,k} r_{i,j} US \Delta T}{3,6x10^6 v_{i,j}} + \frac{\sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} X_{i,j,k} h_i}{\mu_e \mu_p P_f} \right] \quad (3.8)$$

$$+ \sum_{i \in V_2} W_i m \quad (3.9)$$

$$+ \sum_{i \in V_2} E_i p \quad (3.10)$$

$$+ \pi \tau \quad (3.11)$$

kısıt seti altında (subject to)

$$\sum_{d_i \in N_i, d_i \leq n} \phi_{d_i} \left(\sum_{k \in K} Q_{i,k} - d_i \right) \leq W_i \quad i \in V_2, n \in N_i \quad (3.12)$$

$$\sum_{d_i \in N_i, d_i \geq n} \phi_{d_i} \left(d_i - \sum_{k \in K} Q_{i,k} \right) \leq E_i \quad i \in V_2, n \in N_i \quad (3.13)$$

$$\sum_{i \in V, i \neq j} X_{i,j,k} - \sum_{i \in V, i \neq j} X_{j,i,k} = 0 \quad j \in V_3, k \in K \quad (3.14)$$

$$\sum_{j \in V, i \neq j} X_{i,j,k} \leq 1 \quad i \in V_4, k \in K \quad (3.15)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} X_{i,j,k} r_{i,j} \leq \pi \quad k \in K \quad (3.16)$$

$$\sum_{i \in V_2} \sum_{k \in K} Q_{i,k} \sigma \leq \epsilon - \pi / \rho \quad (3.17)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} F_{j,i,k} - \sum_{(i,j) \in A} F_{i,j,k} = Q_{i,k} \quad i \in V_2, k \in K \quad (3.18)$$

$$\sum_{j \in V_2, i \neq j} F_{j,WDC,k} - \sum_{j \in V_4, i \neq j} F_{WDC,j,k} = 0 \quad k \in K \quad (3.19)$$

$$\sum_{j \in V_2} F_{S,j,k} - \sum_{i \in V_2} Q_{i,k} = 0 \quad k \in K \quad (3.20)$$

$$\sum_{k \in K} B_{i,k} = \omega_i \quad i \in V_2 \quad (3.21)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} G_{i,j,k} - \sum_{(i,j) \in A} G_{j,i,k} = B_{i,k} \quad i \in V_2, k \in K \quad (3.22)$$

$$\sum_{j \in V_2} G_{WDC,j,k} \leq 0 \quad k \in K \quad (3.23)$$

$$\sum_{j \in V_3} G_{j,S,k} \leq 0 \quad k \in K \quad (3.24)$$

$$F_{i,j,k} + G_{i,j,k} \leq b X_{i,j,k} \quad (i,j) \in A, k \in K \quad (3.25)$$

$$X_{i,j,k} \in \{0, 1\} \quad (i,j) \in A, k \in K \quad (3.26)$$

$$F_{i,j,k}, G_{i,j,k} \geq 0, \quad (i,j) \in A, k \in K \quad (3.27)$$

$$Q_{i,k}, B_{i,k} \geq 0 \quad i \in V_2, k \in K \quad (3.28)$$

$$W_i, S_i \geq 0 \quad i \in V_2 \quad (3.29)$$

$$\pi \geq 0. \quad (3.30)$$

Amaç fonksiyonu dört farklı denklemden oluşmaktadır. (3.8), harcanan çevresel şarttaki taşımacılık (f_a) ve soğuk zincir taşımacılık (f_r) için yakıt tüketimi miktarını minimize ederek, km başına harcanan dağıtım maliyetini minimize etmeyi sağlamaktadır. (3.9), tüm müşterilerde atık olarak kalan toplam ürün miktarını, (3.10) ise tüm müşterilerde talebe göre eksik kalan ürün miktarını cezalandırarak minimize etmeyi sağlamaktadır. (3.11) ile maksimum rota uzunluğu minimize edilmektedir. Bu denklem ile maksimum rota uzunluğu model tarafından azaltılmaya çalışılacaktır. Böylelikle tedarikçinin üretim için sahip olduğu süre artacak ve istek dahilinde çalışma zamanı buna göre daha geç başlayabilecektir.

(3.12) ve (3.13)'te verilen kısıtlar envanterle ilgili kısıtlardır. Kısıt kümesi (3.12), her müşterinin talep kümesinin her bir elemanı (n) için, o müşteriye n kadar veya daha az talep gelmesi durumunda beklenen atık miktarını hesaplar. O müşteriye yapılacak dağıtım miktarı bilinmediğinden, bu taleplerin bir kısmı için $\sum_{k \in K} Q_{i,k} - d_i$ negatif olabilir ve beklenen atık miktarı hesabını olduğundan daha küçük gösterebilir. Ancak olası tüm talep seviyeleri için kurgulanan kısıt; o seviyede veya daha az talep gelmesi durumlarının toplamını kapsadığından, $\sum_{k \in K} Q_{i,k}$ 'ya küçük eşit olan en büyük talep seviyesi gerçek beklenen atık miktarını verecektir (Diğer kısıtlar bu değerden küçük olacak ve bağlayıcı olmayacaktır). W_i bu değerden büyük olmak zorunda olduğundan ve amaç fonksiyonunda da aşağı yönlü baskılandığından beklenen atık miktarı hesaplanmış olacaktır. Kısıt kümesi (3.13), benzer bir mantıkla eksik ürün miktarını hesaplamaktadır.

(3.14)–(3.25) arası kısıtlar rotalama kararlarıyla ilgilidir. Kısıt (3.14) her düğümdeki her araç için akışın korunmasını sağlamaktadır. Yani her araç her müşteriye bir kez giriş ve çıkış yapacaktır. Kısıt (3.15) ise her aracın en fazla bir rota yapabilmesini sağlar. Bu kısıt sayesinde her araç bir müşteriden aynı anda yalnızca bir diğer müşteriye gidebilecektir. Kısıt (3.16) ile her bir aracın seyahat boyunca yaptığı toplam rota uzunluğu hesaplanmaktadır. Her araç için eşitsizlik aynı şekilde hesaplanmakta ve beklenen değer olan π eşitsizlikte hesaplanan en büyük değerden daha büyük olmak zorundadır. Bu sayede maksimum rota uzunluğuna sahip olan aracın toplam mesafesi π olarak bulunur.

Kısıt (3.17), tedarikçiden müşterilere taşınan toplam ürün miktarını üretmek için har-

canan sürenin, üretim için ayrılmış süre kapasitesini aşmamasını sağlar. Üretim için ayrılmış olan süre ise; tedarikçinin çalışabileceği maksimum süre olan ϵ 'dan en uzun mesafeli rotaya sahip aracın yolculuğunu tamamlamak için harcadığı süreyi (π/ρ) çıkarılarak hesaplanmaktadır. (3.18), her bir yay üzerindeki akışı modellemeyi ve müşteriler tarafından teslim alınan ürünlerin, araç bazlı takibinin yapılmasını sağlamaktadır. Ayrıca bu kısıt tedarikçiyi içermeyen alt turları ortadan kaldırma avantajı da sunmaktadır. Çünkü her bir araçtaki yük, müşteriler ziyaret edildikçe monoton bir şekilde azalır.

Kısıt (3.19), her aracın gıda atık ayrıştırma merkezine uğradığında, buradan ürün alıp verme işlemi yapılmadığını teyit etme amaçlı oluşturulmuştur. Bu sayede araçlar gıda atık ayrıştırma merkezine sadece atıkları bırakmak için gidecektir. (3.20) numaralı kısıt tedarikçiden alınan toplam ürün miktarı ile müşterilere dağıtılan toplam yük arasındaki bağlantıyı tanımlamaktadır.

(3.21) numaralı kısıt bağlantı amaçlı kurulmuştur. Her araç tarafından bir müşteriden teslim alınan atıkların toplamının, o müşterideki toplam atık miktarına eşit olduğu gösterilmiştir. Kısıt (3.22), kısıt (3.18)'e benzer şekilde her bir yay üzerindeki akışı modellemeyi sağlamaktadır. Tek farkı ürünlerin yerine müşterilerden teslim alınan atıkların araç bazlı takibinin yapılmasına olanak sağlamasıdır.

Kısıt (3.23) ve kısıt (3.24) gıda atık ayrıştırma merkezinin çalışma prensibini tanımlamak için kurulmuştur. Kısıt (3.23) gıda atık ayrıştırma merkezinden çıkan araçta atık ürün kalmamasını, kısıt (3.24) ise tüm müşterilerden başlangıç noktası olan tedarikçiye giderken araçta atık olmamasını sağlamaktadır. Bu iki kısıt sayesinde araçlar rotalarını tamamlamadan taşıdıkları atıkları bırakmak isteyecek ve gıda atık ayrıştırma merkezine ziyaretler yapacaktır.

(3.25) numaralı kısıt araç kapasitesinin aşılmamasını sağlamaktadır.

(3.26)–(3.30) arası kısıtlar ise karar değişkenlerinin tanım kümesini belirlemektedir.

Devam eden bölümde yapılan numerik analizler ve sonuçları hakkında bilgi verilecektir.

BÖLÜM 4

NUMERİK ANALİZLER

Bu bölümde detaylı olarak yapılmış olan numerik analizlerin sonuçları tanıtılacak ve bu sonuçların yorumuna yer verilecektir. Öncelikle, gerçek hayat probleminden esinlenerek oluşturulmuş bir örnek vaka tanıtılacak ve bu örnek üzerinde modelin uygulaması gösterilecektir. Sonrasında da farklı senaryolar üzerinde modelin kullanımından elde edilebilecek faydalar ortaya konacaktır. Numerik analizler kapsamında, problem için geliştirilen matematiksel modelin çözümünde IBM OPL ILOG CPLEX 12.10.1 (CPLEX) yazılımı kullanılmıştır. Modelin optimal çözümü Lenovo i5 2.4 GHz işlemcili 4 GB belleğe sahip bilgisayar kullanılarak elde edilmiştir. Çözüm süresi tüm analizler için ortalama 12 saat sürmüştür.

Karışık tam sayılı doğrusal programlama tekniği kullanılarak oluşturulan matematiksel model ile optimal maliyeti verecek olan sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Yapılan analizler kapsamında tedarikçinin performansını değerlendirmek üzere temel performans kriterleri tanımlanmıştır. Bunlar; (i) toplam dağıtım maliyeti, (ii) toplam atık ürün maliyeti, (iii) toplam ceza maliyeti, (iv) en uzun rota maliyeti, (v) toplam maliyet, (vi) toplam yakıt kullanımı, (vii) toplam dağıtım süresi, (viii) toplam üretim süresi, (ix) toplam çalışma süresi ve (x) çalışanlara tanınan ilave süredir. Ayrıca modelde temel performans kriterlerini etkileyen parametrelerde değişiklikler olduğunda; toplam maliyetin, çevresel sürdürülebilirliğin ve sosyal sürdürülebilirliğin nasıl değişeceğini görmek amacıyla farklı senaryo analizleri de yapılmıştır.

4.1 ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ

Bu bölümde sırasıyla; tez kapsamında önerilen matematiksel modelin doğrulanmasında kullanılan örnek olay tanıtılacak ve bu örnek olay veri seti kullanılarak elde edilen çözümler temel performans kriterleri kapsamında değerlendirilecektir.

4.1.1 Örnek Olay Veri Setinin Tanıtılması

Geliştirilen matematiksel modelde kullanılacak verilerin tanımlanması için Ankara'daki bir tedarikçi firmanın dağıtım ve envanter sistemi temel alınmıştır. Üretim ve dağıtım işlemleri bir günlük zaman dilimi içinde yapılmakta ve problem tek periyottan oluşmaktadır. Ürünlerin dağıtımı için birbiriyle aynı özellikleri taşıyan 2 aracın kullanıldığı varsayılmaktadır. Müşteri olarak da Ankara'da kahve dükkanı olarak faaliyetlerini gerçekleştiren 20 işletme belirlenmiştir. Bu işletmeler tedarikçiden aldıkları bozulabilir gıda ürünlerini aynı gün içerisinde satmaya çalışmaktadır. Aksi takdirde ürün atık sınıfına düşmektedir. Tedarikçi, bir önceki günden kalan atık ürünleri, diğer gün ürün dağıtımı için gönderdiği araçlar ile toplamaktadır. Tüm müşterilerden toplanan atık ürünler, lokasyonu Ankara'da belirlenen bir gıda atık ayrıştırma merkezine gönderilmektedir.

Problem kapsamında kullanılan her iki araç da 2000 adetlik taşıma kapasitesine sahiptir. Ürün ve atık ürünler bu problemde aynı boyut ve ağırlıkta olduğundan araçta taşınacak ürün ve /veya atık ürünlerin toplam miktarı 2000 adeti geçmemektedir.

Problem kapsamında müşteri taleplerinin önceden kesin olarak bilinmediği kabul edilmektedir. Her müşteri için o müşteriye gelmesi muhtemel olan talep aralıkları tanımlanmıştır. Ayrıca her müşterinin ortalama talep değerinin 51 ile 80 adet arasında olduğu bilinmektedir. Müşterilerin ortalama talep değerlerinin gösterildiği bilgiler Tablo 7'de yer almaktadır. Müşteriler için tanımlanan talep değerlerinin gerçekleşme olasılığının poisson dağılımına sahip olduğu varsayılmaktadır.

Tedarikçi, müşteriler ve gıda atık ayrıştırma merkezinin birbirleri arasındaki mesafe bilgileri Google Haritalar üzerinden alınmış olup, gerçek verileri yansıtmaktadır. Tablo 8'de noktalar arası mesafeler metre cinsinden gösterilmektedir. Bu prob-

Tablo 7: Her Müşteri için Belirlenen Ortalama Talep Değerleri (Adet)

Müşteri	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
Ortalama Talep	51	60	54	64	65	69	77	80	71	58	61	62	76	74	68	73	79	72	78	67

lemde tedarikçiden çıkan araçların müşterilere uğramadan direk gıda atık ayrıştırma merkezine gitmesi mümkün olmadığı için bu değer tanımlanmamıştır. Veri setinde kullanılan noktaların harita üzerinde gösterimi ise Şekil 2’de yer almaktadır.

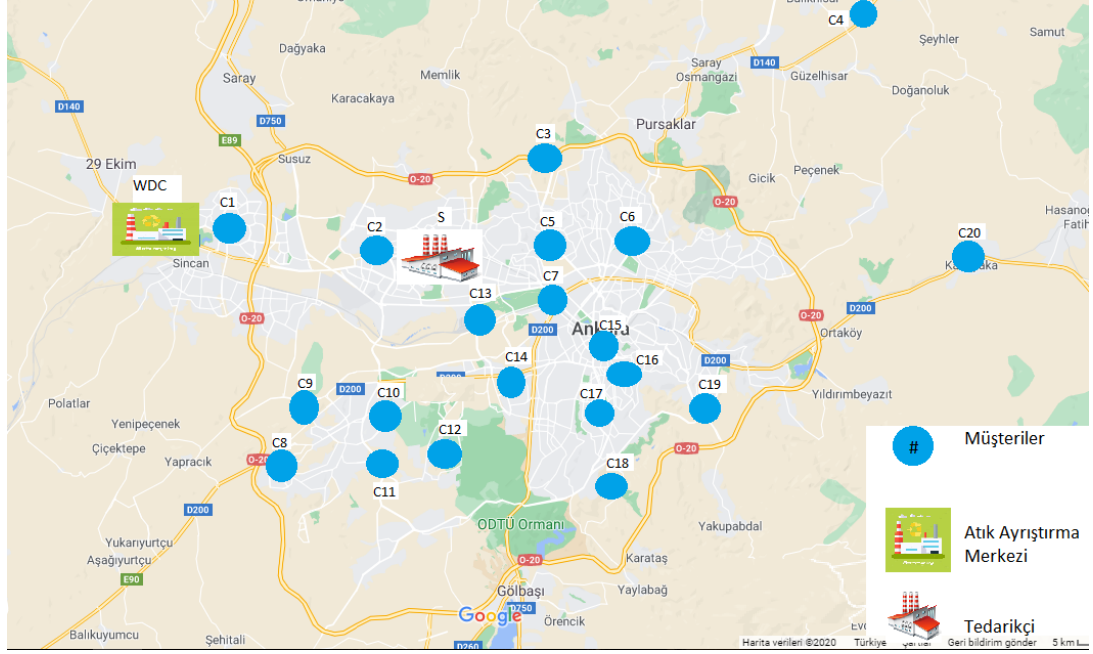
Tablo 8: Noktalar Arası Mesafe (m)

Noktalar	S	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	W ^{DC}
S	0	14.420	3.630	12.589	35.750	10.218	14.898	10.099	18.535	17.388	17.766	16.574	14.800	9.811	11.519	16.706	15.347	15.893	21.384	28.321	15.239	-
C1	13.775	0	11.419	25.321	48.482	24.370	37.040	23.313	23.349	22.730	21.180	23.568	26.865	23.026	23.584	28.771	29.081	29.627	33.449	40.386	28.973	7.407
C2	3.488	11.638	0	17.959	41.120	12.171	16.850	13.221	16.926	15.779	12.576	14.964	14.771	11.763	13.471	18.659	17.300	17.846	23.336	30.273	17.192	15.429
C3	11.496	27.101	19.983	0	26.131	6.712	14.689	10.363	44.660	44.041	25.220	28.486	22.254	14.546	15.681	16.354	15.460	16.006	25.756	40.874	15.352	34.071
C4	35.556	47.489	40.371	24.966	0	29.834	22.342	28.028	65.048	64.429	44.178	46.888	40.086	32.211	33.346	31.771	31.885	32.431	43.422	49.234	31.777	54.459
C5	9.523	22.753	11.923	6.344	29.898	0	8.243	4.469	26.006	24.860	19.620	24.045	15.527	7.653	8.788	10.037	10.150	10.696	18.863	16.276	10.042	26.543
C6	14.657	27.193	18.244	17.220	23.956	7.594	0	5.788	27.801	26.654	21.938	24.648	17.846	9.971	11.106	9.531	9.645	10.191	21.182	21.738	9.537	30.984
C7	10.192	22.728	13.779	9.897	30.556	4.443	8.871	0	22.465	21.318	16.602	19.312	12.510	4.635	5.770	9.033	7.323	7.869	15.846	13.449	7.215	26.519
C8	18.808	19.691	17.537	39.684	62.845	25.956	29.495	23.019	0	2.089	7.795	9.586	14.890	17.174	16.713	21.448	22.650	23.196	26.839	28.775	22.542	23.481
C9	16.916	19.427	15.644	31.020	54.181	24.063	27.602	21.126	2.568	0	7.137	8.754	12.997	15.282	14.821	19.555	20.757	21.303	24.946	26.883	20.649	23.218
C10	13.485	19.748	12.213	26.558	49.719	20.427	23.966	17.490	6.395	5.105	0	3.266	6.356	11.597	11.185	15.919	17.121	17.667	16.232	23.169	17.013	23.539
C11	17.524	23.787	16.252	29.485	52.646	22.528	26.067	19.591	9.707	9.144	5.583	0	4.909	15.531	13.286	18.020	19.222	19.768	12.966	19.903	19.114	27.578
C12	15.813	26.627	16.731	23.226	46.387	16.270	19.808	13.332	17.396	16.249	9.631	7.997	0	8.369	7.027	11.762	12.963	13.510	17.152	19.089	12.855	30.418
C13	12.203	23.018	14.068	19.617	42.777	10.796	14.335	7.858	18.238	17.092	12.376	15.086	8.283	0	1.536	6.288	7.490	8.036	13.267	13.615	7.382	26.808
C14	13.438	24.253	15.304	20.852	35.418	10.195	13.734	7.257	18.005	16.858	12.142	14.852	8.050	2.507	0	5.687	6.888	6.104	11.961	18.898	6.781	28.044
C15	14.367	26.904	17.954	13.342	29.993	8.564	8.338	5.775	23.157	22.010	17.294	20.004	13.202	9.395	6.466	0	2.419	2.965	10.665	7.025	2.348	30.694
C16	17.610	28.425	19.475	14.932	31.583	10.154	9.928	7.365	22.824	21.677	16.961	19.671	12.869	7.297	6.133	2.002	0	2.632	9.231	5.529	2.015	32.215
C17	20.585	31.400	22.450	17.907	34.558	13.129	12.903	10.340	25.799	24.652	19.936	19.466	15.844	10.272	9.108	4.977	3.315	0	7.700	5.580	2.855	35.190
C18	22.289	33.103	24.154	29.702	44.568	19.345	22.884	16.408	22.445	33.449	18.206	13.551	19.359	15.540	12.623	15.007	9.058	9.019	0	8.055	10.735	36.894
C19	28.487	41.023	32.074	38.658	46.103	20.734	19.217	19.618	48.773	48.154	31.700	27.046	26.051	23.801	24.936	15.185	12.581	13.484	15.280	0	15.200	44.814
C20	18.000	28.815	19.866	15.322	31.973	10.544	10.318	7.755	23.214	22.068	17.352	20.061	13.259	7.688	6.523	2.392	2.506	3.052	10.752	8.632	0	32.605
W ^{DC}	18.213	5.830	15.165	32.392	55.553	26.982	44.110	25.925	24.406	23.787	23.792	26.180	29.477	25.638	26.196	31.383	31.692	32.239	36.061	42.998	31.585	0

Tedarikçinin üretim ve dağıtım işlemlerinin toplamı için çalışabileceği süre 15 saat (54.000 saniye) ile sınırlıdır. Tedarikçi işletmede ürünlerin üretiminde görev alan ve birbiriyle aynı özellikte olan 3 farklı çalışan bulunmaktadır. Tedarikçinin çalışabileceği maksimum süreden, toplam dağıtım süresi çıkarıldığında 3 çalışanın üretim için çalışabileceği maksimum süre elde edilmektedir. Dolayısıyla her bir çalışanın çalışabileceği maksimum üretim süresi, maksimum çalışma süresinden toplam dağıtım süresinin çıkarılmasından elde edilen sonucun üçe bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Her bir çalışan, bir ürünü üretmek için harcadığı süre ise 20 saniyedir.

Araçların tedarikçiden başladıkları rotalarında tüm ürün veya atık ürün alıp verme işlemlerini tamamlayarak tekrar tedarikçiye ulaşıncaya kadar geçirdikleri toplam dağıtım süresini bulabilmek için bir saniyedeki ortalama araç hızı 14 m/s (50 km/sa) olarak varsayılmıştır.

Şekil 2: Veri Setinde Kullanılan Noktaların Harita Üzerinde Gösterimi



Müşterilerin talebinden daha fazla ürünü tedarikçiden teslim aldığı durumlarda satılmayan ve gün sonunda atık olan ürünler için belirlenen atık ürün maliyeti 10 TL/adettir. Karşılanamayan her bir müşteri talebi için ceza maliyeti ise 5 TL/adettir.

Matematiksel modelde, amaç fonksiyonundaki maksimum rota uzunluğu maliyeti ile araçların rota uzunluğu azaltılmaya çalışılmaktadır. Kısalan rota uzunlukları ile araçların dağıtım işlemlerini bitirinceye kadar geçen süre azalmış olacaktır. Toplam dağıtım süresini azaltarak, çalışanlara ayrılan toplam üretim süresinin artmasını sağlayan ceza çarpanı 0,0015 TL/metre'dir. Bu parametre ile çalışanlar üretim için kendilerine ayrılan süre arttığı için üretim sürelerinden arta kalan zamanı işe geç başlayarak değerlendirebilecektir.

Tablo 9 her müşteri için bir önceki günden kalan atık ürün miktarını göstermektedir. Araçlar dağıtımına çıktığında, müşterilerden toplanması gereken atık ürün miktarı Tablo 9'da verildiği üzere dönem başında bilinmektedir.

Detaylı yakıt tüketiminin hesaplaması için kullanılan parametrelerin değerleri Tablo 11'de yer almaktadır. Detaylı yakıt tüketimi hesaplaması için kullanılan parametre değerleri Stellingwerf vd. (2018), Bektaş ve Laporte (2011) ve Tassou vd. (2009) ta-

Tablo 9: Dönem Başımda Müşterilerde Bulunan Atık Ürün Miktarı (Adet)

Müşteri	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
Atık Ürün Miktarı	2	3	6	5	8	6	10	1	7	7	3	0	3	5	0	7	3	7	8	8

rafından gerçekleştirilen araştırma çalışmalarından elde edilmiştir. Araçların noktalar arasındaki anlık hızları ise benzer araçların ortalama hızları baz alınarak belirlenmiştir. Bu değerler 40 km/sa ile 60 km/sa arasında rastgele seçilmiş ve elde edilen değerler m/sn'ye dönüştürülmüştür. m/sn olarak bulunan noktalar arasındaki anlık hız değerleri Tablo 10'da yer almaktadır. Araçların boş ağırlığı benzer araçların ağırlıkları incelenerek, 2.500 kg olarak belirlenmiştir. Araçlarda taşınan bir adet ürünün/atık ürünün ağırlığı ise 0,1 kg olarak alınmıştır.

Birim yakıt maliyeti litre başına 6,1 TL olarak belirlenmiş ve bu değer belirlenirken Türkiye'deki motorin fiyatları TPPD (2020) baz alınmıştır.

Tablo 10: Araçların Noktalar Arasındaki Anlık Hız Değeri (m/sn)

Noktalar	S	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	W ^{DC}
S	-	12,22	14,72	11,94	16,39	16,67	15,28	11,11	11,67	14,44	14,72	15,56	15,83	12,50	13,61	13,61	11,39	14,44	12,22	14,72	11,39	-
C1	14,17	-	13,61	16,11	11,39	15,56	11,67	15,83	12,22	13,89	14,72	15,83	11,94	11,39	12,22	15,56	13,06	11,94	16,39	12,50	11,39	14,17
C2	16,67	13,33	-	15,00	11,94	15,00	11,11	11,39	13,89	16,67	15,56	14,72	14,44	15,28	16,39	13,89	11,39	13,33	13,33	11,11	14,44	11,11
C3	16,39	15,28	11,11	-	11,94	11,11	11,94	11,67	15,00	13,61	11,94	16,39	11,94	14,17	15,28	14,17	16,67	13,06	12,22	12,78	13,33	11,11
C4	11,67	13,33	15,00	11,11	-	13,06	14,44	11,67	14,17	11,94	16,39	13,89	16,67	11,67	14,72	13,06	13,33	11,11	14,72	11,94	15,56	12,78
C5	16,11	13,06	16,11	14,44	13,61	-	12,78	11,67	11,67	14,17	16,11	14,17	15,56	13,61	11,94	11,67	13,06	12,78	15,28	11,94	15,28	14,72
C6	12,22	14,44	11,11	13,33	16,67	15,28	-	15,00	13,06	16,39	15,83	13,06	12,22	12,78	13,61	13,06	14,17	13,06	13,61	14,17	11,11	11,67
C7	15,83	13,61	14,72	14,72	13,06	13,33	12,22	-	15,28	15,56	15,00	14,17	15,00	16,11	11,94	13,61	15,56	15,00	14,72	12,22	13,89	11,39
C8	15,28	12,78	11,39	13,89	12,22	15,28	12,50	15,28	-	16,39	15,28	15,56	13,06	14,44	15,56	11,67	11,39	11,94	15,83	13,89	13,33	11,11
C9	13,89	16,67	15,83	11,94	13,33	12,50	13,61	16,67	14,72	-	12,78	16,67	14,44	14,72	15,83	14,17	13,89	11,67	15,56	15,83	11,67	14,44
C10	13,61	13,61	13,06	11,39	16,39	11,67	13,61	15,56	11,11	12,22	-	14,17	15,00	11,94	15,00	11,11	11,39	13,61	11,67	15,83	12,50	11,67
C11	14,72	13,61	11,67	14,44	15,28	11,67	13,06	16,67	14,44	12,78	11,67	-	16,11	13,06	12,22	12,50	16,11	14,72	14,17	11,39	16,11	12,78
C12	14,72	14,17	11,39	11,11	12,22	13,89	11,39	12,78	14,72	16,39	15,56	15,00	-	13,06	15,00	16,39	15,28	15,56	12,78	11,94	13,06	12,22
C13	14,17	15,83	11,11	11,67	14,17	11,94	13,61	13,06	13,89	15,56	12,50	11,11	12,50	-	13,33	13,61	11,11	13,33	14,44	12,22	11,39	16,39
C14	11,11	13,06	13,89	16,67	14,17	15,00	11,11	15,83	16,67	11,39	16,67	11,39	12,22	13,06	-	12,22	15,00	15,00	15,83	11,39	15,28	12,78
C15	12,22	13,06	11,39	11,94	11,94	13,61	16,67	16,11	11,11	13,06	15,00	12,50	11,11	11,94	13,06	-	11,39	13,06	11,11	14,72	11,67	16,11
C16	13,61	15,00	11,67	11,11	12,50	14,72	13,06	13,89	13,89	14,17	15,28	11,11	11,94	14,44	16,39	13,61	-	11,39	13,06	16,11	14,72	16,39
C17	16,11	13,89	15,00	11,94	12,50	14,17	15,00	13,33	13,89	11,11	11,39	13,06	12,78	13,06	16,67	11,11	15,28	-	13,61	11,39	14,44	12,50
C18	16,67	15,28	12,78	15,56	12,50	14,17	16,39	15,28	15,56	14,72	13,89	11,39	15,28	16,67	14,72	11,11	11,11	15,56	-	11,11	13,06	12,22
C19	11,39	16,39	11,39	12,78	16,11	13,61	16,11	16,11	16,11	11,94	12,50	13,61	13,06	14,17	13,89	16,39	14,44	11,67	11,94	-	12,50	14,17
C20	13,61	14,44	11,67	11,39	13,89	15,56	14,17	15,28	16,67	15,83	14,44	13,33	15,28	13,06	15,83	12,22	11,94	12,22	11,39	13,89	-	11,39
W ^{DC}	15,00	13,33	12,22	16,11	16,11	15,83	11,94	15,28	12,78	13,06	11,11	15,83	13,61	15,83	16,67	15,83	11,94	13,33	11,39	13,06	13,33	-

Geliştirilen matematiksel modelde kullanılan tüm parametre değerlerinin özet olarak sunulduğu bilgiler Tablo 11'de yer almaktadır.

Devam eden bölümde bu veriler kullanılarak elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların analizi paylaşılacaktır.

Tablo 11: Modelde Kullanılan Parametre Değerleri

Parametre	Değer	Kaynak
b	2.000 adet	varsayımsal
d_i	-	varsayımsal
ϕ_{d_i}	-	varsayımsal
$r_{i,j}$	Tablo 8	google haritalar
ϵ	54000 saniye	varsayımsal
σ	20 saniye	varsayımsal
ϱ	14 m/sn	varsayımsal
m	10 TL/adet	varsayımsal
p	5 TL/adet	varsayımsal
τ	0,0015 TL/m	varsayımsal
M	1.000.000	varsayımsal
ω_i	Tablo 9	varsayımsal
$\alpha_{i,j}$	0,0981 m/sn^2	(Stellingwerf vd., 2018)
β	3,013 kg/m	(Stellingwerf vd., 2018)
ΔT	18 K	(Stellingwerf vd., 2018)
μ_e	0,3	(Stellingwerf vd., 2018)
μ_m	0,3	(Bektaş & Laporte, 2011)
μ_p	0,67	(Stellingwerf vd., 2018)
c_f	6,1 TL/lt	varsayımsal
h_i	4 (kWh)	(Stellingwerf vd., 2018)
P_f	8,8 kWh/lt	(Bektaş & Laporte, 2011)
S_k	165 m^2	(Stellingwerf vd., 2018)
U	0,7 $W/m^2/K$	(Tassou vd., 2009)
$v_{i,j}$	Tablo 10	varsayımsal
w_k	2.500 kg	varsayımsal
w_a	0,1 kg	varsayımsal

4.1.2 Örnek Olay Çözümü ve Analizi

Bu bölümde, tanımlanan örnek olay için maliyet minimizasyonu altında elde edilen sonuçlar, temel performans kriterleri dikkate alınarak incelenmektedir. Örnek olayda tanıtılan veri seti kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 12’de gösterilmektedir.

Tablo 12: Örnek Olay Analizindeki Özet Sonuçlar

Temel Performans Kriterleri	Değer
Toplam dağıtım maliyeti (TL)	490,67
Toplam atık ürün maliyeti (TL)	342,61
Toplam ceza maliyeti (TL)	546,3
En uzun rota (metre)	122.840
En uzun rota maliyeti (TL)	184,26
Toplam maliyet (TL)	1.563,84
Soğuk zincir taşımacılık için yakıt kullanımı (lt)	60,37
Çevresel taşımacılık için yakıt kullanımı (lt)	20,07
Toplam yakıt kullanımı (lt)	80,44
Toplam dağıtım süresi (sn)	8.774,29
Toplam üretim süresi (sn)	25.680
Toplam çalışma süresi (sn)	34.454,29
Çalışanlara tanınan ilave süre (sn)	19.545,71

Tedarikçinin kullandığı 2 aracın toplamda harcadığı yakıt maliyeti, toplam dağıtım maliyetini vermektedir. Araçların toplam yakıt kullanımı ise çevresel taşımacılık için harcanan yakıt kullanımı ile soğuk zincir taşımacılık için harcanan yakıt kullanımının toplamından oluşmaktadır. Çevresel taşımacılık için yakıt kullanımının 20,07 litre, soğuk zincir taşımacılık için de 60,37 litre olduğu görülmektedir. Bu durumda toplam yakıt tüketiminin % 75 ’lik diliminin, araç içerisindeki ürünleri belirli bir sıcaklıkta tutmaya yarayan soğutmalı taşımacılık için harcadığı görülmektedir. Toplam yakıt kullanımı olan 80,44 litreyi, litre başına 6,1 TL olan birim yakıt maliyeti ile çarpınca toplam yakıt maliyetinin 490,67 TL olduğu görülmektedir. Bu değer aynı zamanda toplam dağıtım maliyetidir.

Amaç fonksiyonunun bir diğer bileşeni olan toplam atık ürün maliyeti, tüm müşterilerde gün sonunda oluşan atıkların toplamının, atık ürün maliyeti ile çarpılması sonucu belirlenmektedir. Bu problemde müşteri talepleri stokastik olarak belirlendiğinden, müşterilerde oluşan atık adetleri de beklenen değerler olarak hesaplanmaktadır. 20 farklı müşteri için toplamda oluşan atık ürün maliyetinin 342,61 TL olduğu görülmektedir.

Toplam ceza maliyeti, tüm müşterilerdeki talep durumuna göre eksik gönderilen ürünler için oluşan maliyettir. Müşteri talepleri stokastik olarak belirlendiğinden, müşterilerde oluşan eksik ürün adetleri de beklenen değerler olarak hesaplanmaktadır. 20 farklı müşteri için toplamda oluşan eksik ürün ceza maliyetinin 546,3 TL olduğu görülmektedir.

Müşteri bazlı beklenen atık ürün (W) ve eksik ürün (E) miktarlarının adet bazında değerleri Tablo 13'de yer almaktadır.

Amaç fonksiyonunun son bileşeni olan en uzun rota maliyetinin, 122.840 metre olarak bulunan maksimum rota uzunluğunun varsayımsal ceza çarpanı olan 0,0015 TL/m ile çarpılması sonucu 184,26 TL olarak bulunduğu görülmektedir.

Tüm bu değerler ile birlikte modeldeki amaç fonksiyonunu ifade eden toplam maliyetin 1.563,84 TL olduğu görülmektedir.

Örnek olayda tanımlanan veriler kapsamında bulunan çözümde her iki araç da aktif olarak kullanılmakta ve belirli bir rota ile ürün/atık ürün alıp verme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Her iki araç için de belirlenen rotanın harita üzerinde gösterimi Şekil 3'te yer almaktadır.

Araçların dağıtım boyunca taşıdıkları ürün (F) ve atık ürün (G) miktarlarının gösterildiği, her müşteriye ne kadarlık ürün teslim edildiği (Q) ve her müşteriden ne kadarlık ürün teslim alındığı (B), araçlardaki noktalar arasındaki toplam yük durumu (F+Q) ve araç rotalarının gösterildiği bilgiler Tablo 14'te yer almaktadır. Örneğin, 1. araç başlangıç noktası olan "S"den ilk olarak C13 numaralı müşteriye gitmektedir. Bu esnada araçta toplam 869 adet ürün taşınırken, atık ürün taşınmamaktadır. Bu araç rotasının devamında C13 numaralı müşteriden C14 numaralı müşteriye geçerken araçta bulunan toplam ürün miktarı 797'ye düşmüştür. Bu araçtaki toplam ürün miktarının

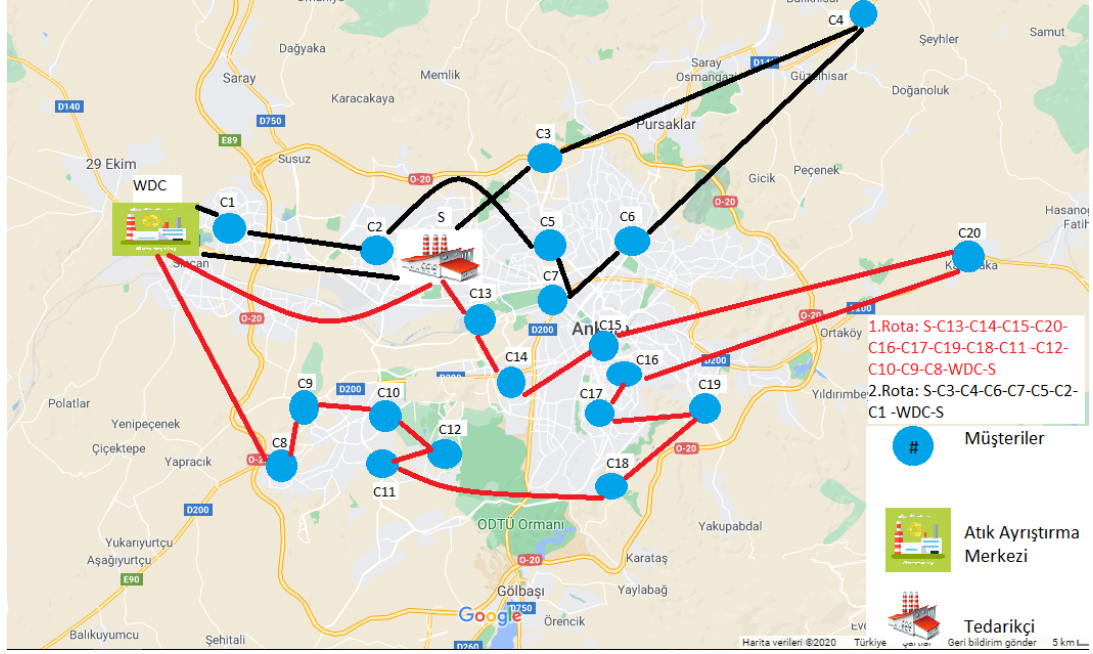
Tablo 13: Dağıtım Sonrası Müşterilerdeki Beklenen Eksik ve Atık Ürün Miktarları (Adet)

Müşteriler	E Değeri	W Değeri
C1	4,57	1,57
C2	4,79	1,79
C3	4,64	1,64
C4	5,55	1,55
C5	5,57	1,57
C6	5,69	1,66
C7	5,83	1,83
C8	5,89	1,89
C9	5,7	1,7
C10	4,74	1,74
C11	4,81	1,81
C12	5,5	1,5
C13	5,8	1,8
C14	5,76	1,76
C15	5,64	1,64
C16	5,74	1,74
C17	5,87	1,87
C18	5,72	1,72
C19	5,85	1,85
C20	5,61	1,61

E: Gün sonunda müşterilerdeki
beklenen eksik ürün miktarı (adet)

W: Gün sonunda müşterilerdeki
beklenen atık ürün miktarı (adet)

Şekil 3: Model Sonucu Oluşan Rotaların Harita Üzerinde Gösterimi



72 adet azalması C13 numaralı müşteriye teslim edilen ürün sayısının 72 olduğunu göstermektedir. Ayrıca yine C13 numaralı müşteriden C14 numaralı müşteriye giden araçta 3 adet atık ürün taşındığı görülmektedir. Bu bilgiden hareketle C13 numaralı müşteriden 3 adet atık ürün teslim alındığı anlaşılmaktadır. Aynı yöntemle Tablo 14 incelendiğinde, tabloda belirtilen F ve G değerleri ile tüm müşterilere kaç adet ürün teslim edildiği ve tüm müşterilerden kaç adet atık ürün teslim alındığı hesaplanmaktadır.

Tablo 14'e bakıldığında; araçlar tedarikçiden çıkarken birinci aracın 869 adet, ikinci aracın ise 415 adet ürün taşıdığı görülmektedir. Buradan tedarikçi tarafından tüm müşterilere dağıtılmak üzere toplam 1.284 adet ürün üretildiği anlaşılmaktadır. Bir ürünün üretimi için 20 saniye harcandığı düşünülürse, Tablo 12'den görülebileceği üzere 1.284 ürün için üç çalışanın toplam üretim süresi 25.680 saniye (7,13 saat) olmaktadır. Bu durumda her çalışan 8.560 saniye (2,38 saat) çalışmaktadır. Araçların tedarikçiden başlayıp tekrar tedarikçiye dönene kadar geçirdiği toplam dağıtım süresi, maksimum rota uzunluğu olan 122.840 metrenin aracın ortalama hızına (14 m/sn) bölünmesi ile elde edilmektedir. Bu süre 8.774,29 saniye (2,44 saat) olarak

Tablo 14: Araçtaki Ürün ve Atık Ürün Miktarlarının Takibi (Adet)

	ROTA	F	G	F+G	Q	B
1. ARAÇ ROTASI	S-C13	869	0	869	72	0
	C13-C14	797	3	800	70	3
	C14-C15	727	8	735	64	5
	C15-C20	663	8	671	63	0
	C20-C16	600	16	616	69	8
	C16-C17	531	23	554	75	7
	C17-C19	456	26	482	74	3
	C19-C18	382	34	416	68	8
	C18-C11	314	41	355	58	7
	C11-C12	256	44	300	58	3
	C12-C10	198	44	242	55	0
	C10-C9	143	51	194	67	7
	C9-C8	76	58	134	76	7
	C8- W^{DC}	0	59	59	0	1
W^{DC} -S	0	0	0	0	0	
2. ARAÇ ROTASI	S-C3	415	0	415	51	0
	C3-C4	364	6	370	60	6
	C4-C6	304	11	315	65	5
	C6-C7	239	17	256	73	6
	C7-C5	166	27	193	61	10
	C5-C2	105	35	140	57	8
	C2-C1	48	38	86	48	3
	C1- W^{DC}	0	40	40	0	2
	W^{DC} -S	0	0	0	0	0

F: Taşınan toplam ürün miktarı

G: Taşınan toplam atık ürün miktarı

Q: Teslim edilen toplam ürün miktarı

B: Teslim edilen toplam atık ürün miktarı

bulunmuştur. Dolayısıyla tedarikçinin dağıtım ve üretim süresinden oluşan toplam çalışma süresi 34.454,3 saniyedir (9,57 saat). Tedarikçinin maksimum çalışma süresinin 54.000 saniye (15 saat) olduğu bu problemde, üretimde görev alan 3 çalışana toplamda 19.545,7 saniye (5,43 saat) ilave süre tanındığı görülmektedir. Başka bir deyişle bu süre üretim faaliyetlerinde görev alan ve aynı özelliklere sahip olan 3 çalışana toplamda verilen çalışma saatlerini düzenleme olanağıdır. Dolayısıyla, rotanın kısılması ile oluşan ek zaman ile her çalışanın 6.515,23 saniye (1,81 saat) işe geç başlama imkanı olacaktır. Bu durum çalışanlara tanınan sosyal avantaj olarak ön plana çıkmaktadır. Müşterilerin en geç sabah 07:00 itibariyle ürünleri teslim almış olmayı bekledikleri bu problemde elde edilen sonuçlara göre her çalışanın 2,44 saat dağıtım süresi ve 2,38 saat üretim süresinin toplamı olan 4,82 saat önce işe gelmesi yeterli olacaktır. Böylece çalışanların saat 02:11'de işe başlamalarının, süreçte aksaklığa sebep olmayacağı görülmektedir.

Devam eden bölümde değişen parametreler ve durumların sonuçlarda nasıl bir etki yapacağını görmek için yapılan farklı senaryo analizleri hakkında bilgi verilecektir.

4.2 ÖRNEK OLAY ÜZERİNDE SENARYO ANALİZLERİ

Bu bölümde, örnek olay için elde edilen çözümlerin temel performans kriterleri açısından incelemesi farklı senaryo analizleri ile yapılacaktır. İncelenecek senaryolar-daki amaç, yapılan değişikliklerin performans kriterleri üzerindeki etkisini gözlemlemektir. Ayrıca yapılan tüm senaryo analizlerini ilerleyen bölümlerde daha kolay takip edebilmek için Tablo 15'te tüm senaryolar isimlendirilmiştir.

Örnek olay üzerinde senaryo analizi yapılırken, örnek olayda tanıtılan veri seti kullanılmıştır. Analizlerde, veri setinin bazı parametrelerinde değişiklikler yapılmış ve yapılan bu değişiklikler analizlerin içinde açıklanmıştır. Değişiklik yapılan parametrelere takip eden alt bölümlerde ayrıntılı olarak yer verilecektir.

Tablo 15: Analiz Edilen Senaryolar

Senaryo	Açıklama
S1	Maksimum rota uzunluğu maliyetinin yok sayılması
S2	Maksimum rota uzunluğu ceza çarpanı iki katına çıkarsa
S3	Atık ürünler toplanmazsa
S4	Atık ürünler müşteriler tarafından gönderilirse
S5	Atık ürün maliyeti %25 azalır
S6	Atık ürün maliyeti %25 artarsa
S7	Taleplerin deterministik olması
S8	Ortalama talepler % 50 artarsa
S9	Ortalama talepler % 100 artarsa

4.2.1 Maksimum Rota Uzunluğu Maliyetinin Yok Sayıldığı Varsayımı Analizi

Geliştirilen matematiksel modelde amaç fonksiyonundaki maksimum rota uzunluğu maliyeti ile araçlar tarafından oluşturulan rota uzunlukları azaltılmaya çalışılmaktadır. Bu bölümde yapılan analizde amaç fonksiyonundaki (3.11). denklem olan maksimum rota uzunluğu maliyeti kaldırılmış ve matematiksel model bu şekilde diğer hiçbir parametre değiştirilmeden tekrar oluşturulmuştur. Rota uzunluğunun negatif yönde baskılanmadığı senaryoyu gösterecek S1 analizinin amacı, elde edilecek sonuçlar ile çalışanlar için ayrılan süre kapsamında problemin sosyal boyutunun nasıl değişeceği ve diğer temel performans kriterlerindeki değişimin nasıl olacağıdır.

Tablo 16 incelendiğinde, elde edilen sonuçlarda dağıtım planlamasının sadece birinci araç ile yapıldığı görülmektedir. Birinci araç tedarikçiden aldığı ürünleri tüm müşterilere belirli bir rota ile dağıtmış ve sonrasında topladığı atık ürünler için atık ürün ayrıştırma merkezine uğramıştır. Son olarak bu araç tedarikçiye dönerek rotasını tamamlamıştır. Tablo 16'ya bakıldığında dikkat edilmesi gereken bir diğer durum, S1 analizinde örnek olay analizine kıyasla müşterilere dağıtılan toplam ürün sayısının değişmemesidir. Örnek olay analizinde olduğu gibi S1 analizinde de toplam 1.284 adet ürün üretilmiş ve dağıtılmıştır. Ayrıca her müşteriye teslim edilen ürün miktarı (Q) ile her müşteriden teslim alınan atık ürün miktarı (B) da değişmemiştir. Değişen

durumlar; örnek olayda iki araç kullanılarak tamamlanan dağıtım planlamasının bu analizde tek araç ile tamamlanması ve araç rotasının değişmesidir. Bu değişikliklerin sebebi, amaç fonksiyonundan maksimum rota için oluşturulan maliyetin kaldırılması ile birlikte problemdeki rota uzunluğunun azalması için yapılan baskının bitmesinden kaynaklanmaktadır. S1 analizi kapsamında oluşan araç rotasının örnek olay analizinde elde edilen sonuçlar ile birlikte verildiği durum Tablo 17’de yer almaktadır.

S1 ve S2 analizi sonucunda oluşan temel performans kriterlerinin örnek olay analizi ile karşılaştırılan değerleri Tablo 18’de yer almaktadır. Bu tabloda, maksimum rota uzunluğu maliyetinin yok sayıldığı senaryo S1, maksimum rota uzunluğunun varsayımsal ceza çarpanının iki katına çıktığı senaryo ise S2 olarak gösterilmektedir. Tabloda, iki farklı analiz sonucunu karşılaştırmanın amacı maksimum rota uzunluğunun varsayımsal ceza çarpanının arttığı durumdaki maliyet değişimini de göstermektir.

Yapılan analizler ile birlikte çıkan sonuçlardaki temel performans kriterleri incelendiğinde; toplam üretilen ürün sayısı ile müşterilere dağıtılan toplam ürün sayısı değişmediğinden toplam atık ürün maliyeti ve toplam ceza maliyetinin S1 ve S2’de örnek olay analizine kıyasla değişmediği görülmektedir. S1’de tek araç ile tüm müşterilere ürün dağıtımı yapıldığı için en uzun rota örnek olay analizindeki sonuca göre üç katından daha fazlaya çıkmıştır. S2’de ise, örnek olay analizine kıyasla araç rotaları değişmemiştir. Detaylı yakıt hesaplaması ile hesaplanan toplam dağıtım maliyetine bakıldığında ise S1’de örnek olay analizine göre 55,52 TL’lik bir azalma olduğu görülmektedir. Aynı şekilde, soğuk zincir taşımacılık için yakıt kullanımı ile çevresel taşımacılık için yakıt kullanımında da azalma görülmektedir. Çevresel taşımacılık için yakıt kullanımının azalmasında, tek araçla yapılan dağıtım planlamasında ikinci aracın boş ağırlığının hesaba katılmaması etkili olmaktadır. Soğuk zincir taşımacılık için yakıt kullanımının azalmasının nedeni de tek araçla yapılan dağıtım planlamasında, iki araçla yapıldığına göre daha az sayıda noktada duruş yapılması ve bu sayede araca dışardan giren ısının azalmasıdır. Toplam maliyete bakıldığında en uzun rota maliyetinin olmaması ve toplam dağıtım maliyetinin azalması sebebi ile S1’de örnek olay analizine göre %15’lik azalma ile 239,77 TL’lik düşüş olduğu görülmektedir. S2’de ise toplam maliyet sadece en uzun rota maliyeti artışı kaynaklı değişmiştir. S2 analizinde toplam maliyet, örnek olay analizine kıyasla %12’lik artış göstererek 184,26 TL olmuştur. Diğer maliyetler S2 analizinde örnek olay analizine göre sabit kalmıştır.

Tablo 16: Maksimum Rota Uzunluğu Maliyetinin Yok Sayıldığı Durumda Araç Yük-
leri (Adet)

	ROTA	F	G	F+G	Q	B
1. ARAÇ ROTASI	S-C2	1284	0	1284	57	0
	C2-C7	1227	3	1230	73	3
	C7-C5	1154	13	1167	61	10
	C5-C3	1093	21	1114	51	8
	C3-C4	1042	27	1069	60	6
	C4-C6	982	32	1014	65	5
	C6-C20	917	38	955	63	6
	C20-C17	854	46	900	75	8
	C17-C19	779	49	828	74	3
	C19-C18	705	57	762	68	8
	C18-C16	637	64	701	69	7
	C16-C15	568	71	639	64	7
	C15-C14	504	71	575	70	0
	C14-C13	434	76	510	72	5
	C13-C12	362	79	441	58	3
	C12-C11	304	79	383	58	0
	C11-C10	246	82	328	55	3
	C10-C9	191	89	280	67	7
	C9-C8	124	96	220	76	7
	C8-C1	48	97	145	48	1
C1- W^{DC}	0	99	99	0	2	
W^{DC} -S	0	0	0	0	0	

F: Araçtaki toplam ürün miktarı

G: Araçtaki toplam atık ürün miktarı

Q: Teslim edilen toplam ürün miktarı

B: Teslim edilen toplam atık ürün miktarı

Tablo 17: Maksimum Rota Uzunluğu Maliyetinin Yok Sayıldığı Durumdaki Rota Değişimi

Rota	Örnek Olay Analizi	S1 analizi
1.	S-C13-C14-C15-C20-C16-C17-C19-C18-C11-C12-C10-C9-C8- W^{DC} -S	S-C2-C7-C5-C3-C4-C6-C20-C17-C19-C18-C16-C15-C14-C13-C12-C11-C10-C9-C8-C1- W^{DC} -S
2.	S-C3-C4-C6-C7-C5-C2-C1- W^{DC} -S	-

S1: Maksimum rota uzunluğu maliyetinin yok sayılması

Tablo 18: Maksimum Rota Uzunluğu Maliyetinin Yok Sayıldığı ve İki Katına Çıktığı Durumlardaki Özet Sonuçlar

Temel Performans Kriterleri	Örnek Olay Analizi	S1 Analizi	S2 Analizi
Toplam dağıtım maliyeti (TL)	490,67	435,15	490,67
Toplam atık ürün maliyeti (TL)	342,61	342,61	342,61
Toplam ceza maliyeti (TL)	546,3	546,3	546,3
En uzun rota (metre)	122.840	396.480	122.840
En uzun rota maliyeti (TL)	184,26	-	368,51
Toplam maliyet (TL)	1.563,84	1.324,07	1.748,1
Soğuk zincir taşımacılık için yakıt kullanımı (lt)	60,37	54,97	60,37
Çevresel taşımacılık için yakıt kullanımı (lt)	20,07	16,37	20,07
Toplam yakıt kullanımı (lt)	80,44	71,34	80,44
Toplam dağıtım süresi (sn)	8.774,29	28.320	8.774,29
Toplam üretim süresi (sn)	25.680	25.680	25.680
Toplam çalışma süresi (sn)	34.454,29	54.000	34.454,29
Çalışanlara tanınan ilave süre (sn)	19.545,71	0	19.545,71

-: Bu analizde en uzun rota maliyeti geçerli değildir.

S1: Maksimum rota uzunluğu maliyetinin yok sayılması

S2: Maksimum rota uzunluğu ceza çarpanı iki katına çıkarsa

Sonuç olarak, en uzun rota maliyetinin olmaması toplam maliyeti azaltması bakımından, tedarikçi nezdinde ekonomik açıdan faydalı görülmektedir. Fakat probleme sosyal açıdan sürdürülebilirlik kazandıran çalışanlara verilen ilave sürede S1 analizi sonucunda büyük bir değişim görülmüştür. Maksimum rota uzunluğu maliyetinin hesaplanmadığı durumda çalışanlar için ayrılan süre analizi Tablo 18'de yer almaktadır. Tablo 18 incelendiğinde; S1 analizinde toplam üretim süresinin örnek olay analizine göre sabit kaldığı, toplam dağıtım süresinin ise 3 katından daha fazla arttığı görülmektedir. Ayrıca S1 analizi sonucunda çalışanlar için ayrılan ilave sürenin sıfır saniye olarak kaldığı yani sosyal sürdürülebilirlik açısından çalışanlara çalışma saatlerini düzenleme hakkı tanınmadığı görülmektedir. Müşterilerin en geç sabah 07:00 itibarıyla ürünleri teslim almış olmayı bekledikleri bu problemden elde edilen sonuçlara göre her çalışanın 7,87 saat dağıtım süresi ve 2,38 saat üretim süresinin toplamı olan 10,25 saat önce işe gelmesi gerekmektedir. Böylece S1 analizi sonucunda çalışanların en geç saat 20:45'de işe başlamaları gerektiği görülmektedir. Nihayetinde örnek olay analizine göre çalışanların işe başlangıç saatinde büyük bir değişim yaşandığı görülmektedir.

4.2.2 Atık Toplaması Yapılmadığı Durum Varsayımı Analizi

Bu bölümde yapılan analiz (S3) kapsamında örnek olay veri setinde sadece Tablo 9'da verilen dönem başında müşterilerde bulunan atık ürün miktarları değiştirilmiş olup diğer hiçbir parametreye müdahale edilmemiştir. S3 analizi için dönem başında müşterilerde bir önceki günden kalan atık ürün miktarlarının olmadığı varsayılmıştır. Böylelikle araçlar müşterilerden atık toplaması yapmayacaktır. Atık toplaması yapılmadığı bu analizin amacı, sadece ileri yönde rotalama kararları verildiğinde dağıtım planının, toplam maliyetlerin ve çalışanlar için ayrılan süre analizinin nasıl değişeceğini gözlemlemektir.

Tablo 19 incelendiğinde müşterilerden atık ürün toplanmadığı için " W^{DC} " numaralı nokta olan atık ürün ayrıştırma merkezinin, örnek olaydaki analiz ile karşılaştırıldığında dağıtım planından çıkarıldığı görülmektedir. Ayrıca, S3 analizinde, örnek olaydaki analize göre araçların rotaları da değişmiştir. Araçların tedarikçiden aldığı toplam ürün miktarı değişmiş olmasına rağmen iki aracın toplam taşıdığı ürün ade-

dinin yine 1.284 olduğu görülmektedir. Müşterilere teslim edilen toplam ürün miktarları (Q) da S3 analizinde örnek olay analizindeki sonuçlar ile aynı kalmıştır. Tablo 19 incelendiğinde; her müşteriden teslim alınan atık ürün miktarı (B) ve araçta taşınan toplam atık ürün miktarının (G) olmadığı görülmektedir. Bu durumun sebebi S3 analizinde sadece ileri yönde ürün taşınması yapılmasıdır. Atık toplaması yapılmadığı durumda oluşan yeni rotaların, örnek olay analizi ile karşılaştırıldığı durum Tablo 20'de yer almaktadır.

Müşterilerden atık ürün toplanmadığı varsayımı altında yapılan S3 analizinde oluşan temel performans kriterlerinin, örnek olay analizi ile karşılaştırılan değerleri Tablo 21'de yer almaktadır. Müşteri taleplerinde herhangi bir değişiklik olmadığı için toplam atık ürün maliyeti ve toplam ceza maliyeti örnek olay analizindeki ile aynıdır. Araçlar atık ürün ayrıştırma merkezine uğramadığından toplam dağıtım mesafeleri kısalmış ve buna bağlı olarak en uzun rota ile en uzun rota maliyeti örnek olay analizine göre azalmıştır. Araçların rota boyunca tamamladığı toplam mesafenin yanı sıra daha az noktada duruş yapılması ile araç içine giren ısı azaldığından örnek olay analizi ile karşılaştırıldığında soğuk zincir ve çevresel taşımacılık için yakıt kullanımı azalmıştır. Buna bağlı olarak toplam yakıt kullanımı yaklaşık 9 litre düşmüştür. Toplam dağıtım maliyeti de araçlar gıda atık ayrıştırma merkezine uğramadığı için yaklaşık 54 TL azalmıştır. S3 analizinde en uzun rota maliyetinde ve toplam dağıtım maliyetinde azalma olduğu için örnek olay analizine göre toplam maliyet %5 azalarak 1.482,72 TL olmuştur.

Tablo 21'de atık ürünlerin toplanmaması (S3) analizine ilaveten, atık ürünlerin gün sonunda müşteriler tarafından kendi özel araçları ile gıda atık ayrıştırma merkezine gönderilip giden araçların tekrar müşteriye dönmesi senaryosu (S4) analiz edilmiştir. S4 analizindeki amaç, atık ürün taşımacılığının müşteriler tarafından yapılmasının ne kadarlık bir maliyet değişikliğine sebep olacağını öğrenmektir. Tablo 21'deki "S4 Analizi" sütunu incelendiğinde 721,2 TL'lik atık gönderme maliyeti olduğu görülmektedir. Dolayısıyla S4 analizindeki toplam maliyet, örnek olay analizine göre %41 artarak 2.203,97 TL olmuştur. S4 analizinde diğer tüm temel performans kriterleri S3 analizinin sonuçları ile aynıdır. S4 analizi ile atıkların her müşterinin kendi aracıyla gıda atık ayrıştırma merkezine gönderilmesinin, tedarikçi tarafından gönderilmesine göre çok daha büyük bir maliyet çıkardığı görülmektedir.

Tablo 19: Atık Toplaması Yapılmadığı Durumdaki Araç Yükleri (Adet)

	ROTA	F	Q
2. ARAÇ ROTASI	S-C20	774	63
	C20-C15	711	64
	C15-C16	647	69
	C16-C17	578	75
	C17-C19	503	74
	C19-C18	429	68
	C18-C11	361	58
	C11-C10	303	55
	C10-C9	248	67
	C9-C8	181	76
	C8-C1	105	48
	C1-C2	57	57
	C2-S	0	0
1. ARAÇ ROTASI	S-C7	510	73
	C7-C5	437	61
	C5-C3	376	51
	C3-C4	325	60
	C4-C6	265	65
	C6-C13	200	72
	C13-C14	128	70
	C14-C12	58	58
	C12-S	0	0

F: Araçta taşınan toplam
ürün miktarı (adet)

Q: Müşteriye teslim edilen
toplam ürün miktarı (adet)

Tablo 20: Atık Ürün Toplaması Yapılmadığı Durumdaki Rota Değişimi

Rota	Örnek Olay Analizi	S3 Analizi
1.	S-C13-C14-C15-C20-C16- C17-C19-C18-C11-C12- C10-C9-C8- W^{DC} -0	S-C20-C15-C16-C17-C19-C18- C11-C10-C9-C8-C1-C2-S
2.	S-C3-C4-C6-C7-C5-C2-C1- W^{DC} -S	S-C7-C5-C3-C4-C6-C13-C14-C12-S

S3: Atık ürünler toplanmazsa

Tablo 21: Atık Ürün Toplaması Yapılmadığı ve Müşteriler Tarafından Gönderildiği Durumlardaki Özet Sonuçlar

Temel Performans Kriterleri	Örnek Olay Analizi	S3 Analizi	S4 Analizi
Toplam dağıtım maliyeti (TL)	490,67	436,38	436,38
Toplam atık ürün maliyeti (TL)	342,61	342,61	342,61
Toplam ceza maliyeti (TL)	546,3	546,3	546,3
En uzun rota (metre)	122.840	104.950	104.950
En uzun rota maliyeti (TL)	184,26	157,42	157,42
Atık Gönderme Maliyeti (TL)	0	0	721,2
Toplam maliyet (TL)	1.563,84	1.482,72	2203,97
Soğuk zincir taşımacılık için yakıt kullanımı (lt)	60,37	55,18	55,18
Çevresel taşımacılık için yakıt kullanımı (lt)	20,07	16,35	16,35
Toplam yakıt kullanımı (lt)	80,44	71,53	71,53
Toplam dağıtım süresi (sn)	8.774,29	7.496,4	7.496,4
Toplam üretim süresi (sn)	25.680	25.680	25.680
Toplam çalışma süresi (sn)	34.454,29	33.176,4	33.176,4
Çalışanlara tanınan ilave süre (sn)	19.545,71	20.823,6	20.823,6

S3: Atık ürünler toplanmazsa

S4: Atık ürünler müşteriler tarafından gönderilirse

Tablo 21 incelendiğinde atıkların toplanmadığı (S3) ve müşteriler tarafından gün sonunda gönderildiği (S4) senaryolarının her ikisinde de tedarikçi tarafından üretilen toplam ürün sayısı, örnek olay analizinde olduğu gibi 1.284 adet olduğu için üretim süresi değişmemiştir. Dağıtım süresi ise, toplam rota uzunluğu kısaldığı için yaklaşık 1.278 saniye azalmıştır. Bu durumda çalışanlara tanınan ilave sürenin de aynı şekilde üç çalışan için yaklaşık 1.278 saniye (0,36 saat) arttığı görülmektedir. Dolayısıyla, S3 ve S4 analizlerinde sosyal sürdürülebilirlik anlamında önemli bir değişim olmamıştır.

Bu bölümde yapılan analizler sonucunda atıkların toplanmadığı senaryoda (S3) müşterilerde önceki günden kalan atıkların tedarikçi tarafından toplanarak gıda atık ayrıştırma merkezine bırakılmasının 81 TL ekstra maliyete sebep olduğu görülmüştür. Fakat atık ürünlerin müşterilerden toplanmaması problemin çevresel sürdürülebilirlik boyutunu zayıflatmaktadır. Atık ürünlerin müşteriler tarafından gıda atık ayrıştırma merkezine bırakıldığı senaryoda (S4) ise tedarikçi tarafından gönderilen araçlar ile atık toplanmasının, müşteri araçları ile göndermeye göre 640 TL'lik maliyet tasarrufu sağladığı belirlenmektedir.

4.2.3 Atık Ürün Maliyetinin Değişiminin Analizi

Bu bölümde yapılan analizlerde, tedarikçi tarafından müşterilere taleplerinden daha fazla ürün gönderildiği durumlarda satılmayan ve gün sonunda atık olan ürünler için belirlenen atık ürün maliyetinin (m) %25 azaldığı (S5) ve %25 arttığı (S6) iki farklı senaryo incelenecektir. Birinci analiz olan S5'te m değerinin 10 TL/adet'ten 7,5 TL/adet'e inmesi, ikinci analiz olan S6'da ise m değerinin 10 TL/adet'ten 12,5 TL/adet'e çıkması analiz edilecektir. S5 ve S6 analizleri kapsamında örnek olay veri setindeki atık ürün maliyeti (m) dışında hiçbir parametre değiştirilmemiştir. Analizlerin amacı ise atık ürün maliyetinin %25 azalmasının ve artmasının temel performans kriterlerini ve problemin sürdürülebilirlik boyutunu nasıl etkilediğini gözlemlemektir.

Tablo 22'de m değerinin %25 azaldığı ve arttığı durumda araçlardaki yük takibi adet cinsinden yer almaktadır. Tablo 22'de "S5 Analizi" olarak belirtilen durum m değerinin 7,5 TL/adet olduğu varsayımını, "S6 Analizi" olarak belirtilen durum ise m değerinin 12,5 TL/adet olduğu varsayımını temsil etmektedir. Tablo 22 incelendiğinde, 1. ve 2. araç rotalarının her iki analizde de örnek olay analizine kıyasla değişmediği

görülmektedir. Müşterilere teslim edilen ürün miktarları (Q) ise her iki analizde de örnek olay analizine göre değişiklik göstermiştir. S5 analizinde her iki araçta da örnek olay analizine göre daha fazla ürün taşınmaktadır. Örnek olay analizinde araçlar tedarikçiden çıktığında 1.araçta 869, 2. araçta 415 adet ürün taşınmaktadır. S5 analizinde ise 1. araçta 893, 2.araçta 426 adet ürün taşınmaktadır. Bu durumun sebebi, atık ürün maliyetinin azalması ile tedarikçi açısından daha fazla ürün üretmenin karlı duruma gelmesidir. Sonuç olarak, m değerinin %25 azalması ile müşterilere daha fazla ürün teslim edilmiştir. S6 analizi incelendiğinde her iki araçta da örnek olay analizine göre daha az ürün taşındığı görülmektedir. S6 analizinde araçlar tedarikçiden çıktığında; 1. araçta 855, 2.araçta 408 adet ürün taşınmaktadır. Bu durum atık ürün maliyetinin %25 artması ile tedarikçi açısından daha az ürün üretmenin karlı duruma gelmesinden kaynaklanmaktadır. S6 analizinin sonucunda, m değerinin artması ile müşterilere daha az ürün teslim edilmiştir. Müşterilerden teslim alınan atık ürün miktarları (B) incelendiğinde, her iki analizde de örnek olay analizine göre bir değişim olmadığı görülebilmektedir.

Tablo 23'te m değerinin %25 azaldığı ve %25 arttığı S5 ve S6 analizleri sonucunda oluşan temel performans kriterlerinin örnek olay analizine göre değişimi sunulmuştur. Tabloda "S5 Analizi" olarak belirtilen durum m değerinin 7,5 TL/adet olduğu varsayımını, "S6 Analizi" olarak belirtilen durum ise m değerinin 12,5 TL/adet olduğu varsayımını temsil etmektedir.

S5 ve S6 analizleri sonucunda temel performans kriterlerindeki örnek olay analizine kıyasla en belirgin değişiklik toplam atık ürün maliyeti ve toplam ceza maliyetinde olmuştur. Örnek olay analizinde 342,61 TL olan toplam atık ürün maliyeti, S5 analizinde atık ürün maliyeti 10 TL'de 7,5 TL'ye düşmesine rağmen 11,29 TL artarak 353,9 TL olmuştur. Buna göre S5 analizinde örnek olay analizine kıyasla müşterilerdeki beklenen atık ürün miktarının daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Çünkü atık ürün maliyetinin %25 azalması ile birlikte tedarikçi tarafından daha fazla ürün üretilmiş ve müşterilere dağıtılmıştır. Dolayısıyla müşterilerdeki beklenen atık ürün miktarı artmıştır. S6 analizinde ise toplam atık ürün maliyeti, örnek olay analizine göre sadece 4,97 TL artmıştır. Bu durum atık ürün maliyetinin %25 artması neticesinde tedarikçi tarafından daha az ürün üretilmesi ve dağıtılması ile açıklanmaktadır. Diğer bir ifadeyle daha az ürünün üretilip müşterilere dağıtılması ile müşterilerdeki beklenen atık

Tablo 22: Atık Ürün Maliyetinin %25 Azaldığı ve %25 Arttığı Durumdaki Araç Yük-
leri (Adet)

	S5 Analizi						S6 Analizi					
	ROTA	F	G	F+G	Q	B	ROTA	F	G	F+G	Q	B
1. ARAÇ ROTASI	S-C13	893	0	893	74	0	S-C13	855	0	855	71	0
	C13-C14	819	3	822	72	3	C13-C14	784	3	787	69	3
	C14-C15	747	8	755	66	5	C14-C15	715	8	723	63	5
	C15-C20	681	8	689	65	0	C15-C20	652	8	660	62	0
	C20-C16	616	16	632	71	8	C20-C16	590	16	606	68	8
	C16-C17	545	23	568	77	7	C16-C17	522	23	545	74	7
	C17-C19	468	26	494	76	3	C17-C19	448	26	474	73	3
	C19-C18	392	34	426	70	8	C19-C18	375	34	409	67	8
	C18-C11	322	41	363	59	7	C18-C11	308	41	349	56	7
	C11-C12	263	44	307	60	3	C11-C12	252	44	296	57	3
	C12-C10	203	44	247	56	0	C12-C10	195	44	239	54	0
	C10-C9	147	51	198	69	7	C10-C9	141	51	192	66	7
	C9-C8	78	58	136	78	7	C9-C8	75	58	133	75	7
	C8- W^{DC}	0	59	59	0	1	C8- W^{DC}	0	59	59	0	1
W^{DC} -S	0	0	0	0	0	W^{DC} -S	0	0	0	0	0	
2. ARAÇ ROTASI	S-C3	426	0	426	52	0	S-C3	408	0	408	50	0
	C3-C4	374	6	380	62	6	C3-C4	358	6	364	59	6
	C4-C6	312	11	323	67	5	C4-C6	299	11	310	64	5
	C6-C7	245	17	262	75	6	C6-C7	235	17	252	72	6
	C7-C5	170	27	197	63	10	C7-C5	163	27	190	60	10
	C5-C2	107	35	142	58	8	C5-C2	103	35	138	56	8
	C2-C1	49	38	87	49	3	C2-C1	47	38	85	47	3
	C1- W^{DC}	0	40	40	0	2	C1- W^{DC}	0	40	40	0	2
	W^{DC} -S	0	0	0	0	0	W^{DC} -S	0	0	0	0	0

F: Araçta taşınan toplam ürün miktarı (adet)

G: Araçta taşınan toplam atık ürün miktarı (adet)

Q: Müşteriye teslim edilen toplam ürün miktarı (adet)

B: Müşteriye teslim edilen toplam atık ürün miktarı (adet)

S5: Atık ürün maliyeti %25 azalır

S6: Atık ürün maliyeti %25 artarsa

ürün miktarı azalmıştır.

Örnek olay analizinde 546,3 TL olan toplam ceza maliyeti, S5 analizinde 110,37 TL azalarak 435,93 TL olmuştur. Ceza maliyetinin düşmesinin sebebi müşterilere teslim edilen ürün sayısının artması sonucu taleplerin karşılanma oranının yükselmesidir. S6 analizinde ise toplam ceza maliyeti, örnek olay analizine göre 72,73 TL artarak 619,03 TL olmuştur. Bu durum müşterilere teslim edilen ürün sayısının azalması ile karşılanmayan müşteri talep miktarının artmasından kaynaklanmaktadır.

S5 ve S6 analizlerinde araçlarda taşınan toplam yük miktarı örnek olay analizine göre farklı olduğundan, çevresel taşımacılık için harcanan yakıt miktarında değişim oldukça azdır. Araç rotalarında ve toplam mesafede değişiklik olmadığından, soğuk zincir taşımacılık için yakıt kullanımı her iki analizde de değişmemiştir. Çevresel taşımacılıkta harcanan yakıt miktarlarındaki farklar neticesinde bu analizlerdeki toplam dağıtım maliyeti, örnek olay analizine göre değişmiştir.

Araç rotaları her iki analizde de değişmediği için en uzun rota ve en uzun rota maliyeti örnek olay analizi ile farklılık göstermemektedir. Toplam maliyet, S5 analizinde örnek olay analizine göre %6 azalarak 1.464,77 TL olmuştur. S6 analizinde ise örnek olay analizine göre %5 artarak 1.641,54 TL olmuştur.

Tablo 23 incelendiğinde, S5 ve S6 analizlerinde örnek olay analizine göre toplam dağıtım süresinin değişmediği görülmektedir. S5 analizinde müşterilere teslim edilen toplam ürün sayısı örnek olay analizine göre 35 adet arttığından, üretim süresi de örnek olay analizine göre 700 saniye artarak 26.380 saniyeye (7,33 saat) gelmiştir. Toplam çalışma süresi, üretim süresi ile orantılı arttığı için çalışanlara tanınan çalışma saatlerini düzenleme olanağı üç çalışan için 700 saniye azalarak 18.845,71 saniye (5,23 saat) olmuştur. S6 analizinde ise müşterilere teslim edilen toplam ürün sayısı örnek olay analizine göre 21 adet azaldığından, üretim süresi de örnek olay analizine göre 420 saniye azalarak 25.260 saniyeye (7,02 saat) düşmüştür. Toplam çalışma süresinde önemli bir değişim olmadığından bu analizlerde sosyal sürdürülebilirlik anlamında kayda değer bir değişim olmamıştır.

Atık ürün maliyetinin %25 azalarak 7,5 TL/adet ve %25 artarak 12,5 TL/adet olması ile birlikte, müşterilerdeki beklenen eksik ürün ve atık ürün miktarlarında örnek olay

Tablo 23: Atık Ürün Maliyetinin %25 Azaldığı ve %25 Arttığı Durumdaki Özet Sonuçlar

Temel Performans Kriterleri	Örnek Olay Analizi	S5 Analizi	S6 Analizi
Toplam dağıtım maliyeti (TL)	490,67	490,68	490,66
Toplam atık ürün maliyeti (TL)	342,61	353,9	347,58
Toplam ceza maliyeti (TL)	546,3	435,93	619,03
En uzun rota (metre)	122.840	122.840	122.840
En uzun rota maliyeti (TL)	184,26	184,26	184,26
Toplam maliyet (TL)	1.563,84	1.464,77	1.641,54
Soğuk zincir taşımacılık için yakıt kullanımı (lt)	60,37	60,37	60,37
Çevresel taşımacılık için yakıt kullanımı (lt)	20,07	20,07	20,07
Toplam yakıt kullanımı (lt)	80,44	80,44	80,44
Toplam dağıtım süresi (sn)	8.774,29	8.774,29	8.774,29
Toplam üretim süresi (sn)	25.680	26.380	25.260
Toplam çalışma süresi (sn)	34.454,29	35.154,29	34.034,29
Çalışanlara tanınan ilave süre (sn)	19.545,71	18.845,71	19.965,71

S5: Atık ürün maliyeti %25 azalır

S6: Atık ürün maliyeti %25 artarsa

analizine kıyasla bazı değişiklikler olmuştur. Tablo 24'te S5 ve S6 analizleri sonucunda oluşan beklenen eksik ve atık ürün miktarlarının örnek olay analiz sonuçları ile birlikte sunulduğu değerleri yer almaktadır. Tabloda "S5 Analizi" olarak belirtilen durum m değerinin 7,5 TL/adet olduğu varsayımını, "S6 Analizi" olarak belirtilen durum ise m değerinin 12,5 TL/adet olduğu varsayımını temsil etmektedir. Örnek olay analizindeki müşterilerdeki beklenen eksik ürün miktarları (E) ile karşılaştırıldığında daha fazla ürün üretilip müşterilere dağıtıldığı için S5 analizindeki beklenen eksik ürün miktarları (E) azalmıştır. Atık ürün maliyeti azaldığından dolayı ise bu analizdeki müşterilerde beklenen atık ürün miktarı (W) örnek olay analizine kıyasla artmıştır. S6 analizi incelendiğinde; daha az ürün üretilip müşterilere dağıtıldığı için beklenen eksik ürün miktarları (E) örnek olay analizine göre artmıştır. Bu analizde atık ürün maliyeti arttığından dolayı müşterilere daha az ürün gönderilerek atık miktarı azaltılmaya çalışılmıştır. Dolayısıyla S6 analizinde müşterilerde beklenen atık ürün miktarı (W) örnek olay analizine kıyasla azalmıştır.

Bu analizler sonucunda; S5 analizindeki üretim miktarının ve müşterilere teslim edilen ürün sayısının arttığı, toplam maliyetin azaldığı, çalışanlara tanınan ilave sürenin azaldığı ve beklenen atık miktarının arttığı görülmektedir. Ekonomik açıdan bakıldığında atık ürün maliyetinin azalması karlı görünse de, problemin sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik boyutunu zayıflatmaktadır. İşçilerin çalışma saat aralığının daralması, işe geç başlayabilme olasılığını azalttığından sosyal açıdan olumsuz bir etki yaratmaktadır. Beklenen atık ürünlerin artması da çevresel kirliliği artırması bakımından çevresel açıdan olumsuz etkilere neden olmaktadır. S6 analizinde; üretim miktarı, müşterilere teslim edilen ürün sayısı ve müşterilerde beklenen atık miktarı azalırken, toplam maliyet ve çalışanlara tanınan ek sürenin arttığı görülmektedir. S6 analizi ekonomik olarak yüksek maliyetli görünmesine rağmen çalışanların çalışma saat aralığının genişlemesi ile sosyal açıdan, beklenen atık ürünlerin azalması ile de çevresel açıdan olumlu etkilere sahiptir.

4.2.4 Müşteri Taleplerinin Deterministik Olması Varsayımının Analizi

Bu bölümde yapılan analiz olan S7'de müşteri taleplerinin deterministik olduğu varsayılmıştır. Böylelikle tedarikçi tarafından gün içerisinde her müşteriye kaç adet tes-

Tablo 24: Atık Ürün Maliyetinin Azaldığı ve Arttığı Durumdaki Müşterilerde Beklenen Eksik ve Atık Ürün Miktarları (Adet)

Müşteriler	Örnek Olay Analizi		S5 Analizi		S6 Analizi	
	E Değeri	W Değeri	E Değeri	W Değeri	E Değeri	W Değeri
C1	4,57	1,57	3,94	1,94	5,25	1,25
C2	4,79	1,79	4,17	2,17	5,46	1,46
C3	4,64	1,64	4,02	2,02	5,32	1,32
C4	5,55	1,55	4,27	2,27	6,26	1,26
C5	5,57	1,57	4,3	2,29	6,28	1,28
C6	5,69	1,66	4,39	2,39	6,34	1,36
C7	5,83	1,83	4,57	2,57	6,52	1,52
C8	5,89	1,89	4,64	2,64	6,58	1,58
C9	5,7	1,7	4,44	2,44	6,4	1,4
C10	4,74	1,74	4,12	2,12	5,41	1,41
C11	4,81	1,81	4,2	2,2	6,19	1,19
C12	5,5	1,5	4,22	2,22	6,22	1,22
C13	5,8	1,8	4	2,55	6,5	1,5
C14	5,76	1,76	4,55	2,51	6,46	1,46
C15	5,64	1,64	4,37	2,37	6,34	1,34
C16	5,74	1,74	4,48	2,48	6,44	1,44
C17	5,89	1,87	4,62	2,62	6,56	1,56
C18	5,72	1,72	4,46	2,46	6,42	1,42
C19	5,85	1,85	4,6	2,59	6,54	1,54
C20	5,61	1,61	4,34	2,34	6,32	1,32

E: Gün sonunda müşterilerdeki beklenen eksik ürün miktarı (adet)

W: Gün sonunda müşterilerdeki beklenen atık ürün miktarı (adet)

S5: Atık ürün maliyeti %25 azalır

S6: Atık ürün maliyeti %25 artarsa

limat yapılacağı ve toplam kaç adet ürün üretileceği kesin olarak bilinmektedir. S7 analizi kapsamında sadece müşteri talep verileri değiştirilmiş olup, diğer parametrelere müdahale edilmemiştir. Örnek olay analizinde ortalama müşteri talepleri olarak tanımlanan veriler, bu analizde kesin olarak bilinen müşteri talepleri olarak belirlenmiştir. Tablo 25'te müşterilerin bu senaryo kapsamında kaç adetlik ürün talebi olduğu bilgisi yer almaktadır.

Tablo 25: Dönem Başında Kesin Olarak Bilinen Müşteri Talepleri (Adet)

Müşteri	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
Talep Miktarı	51	60	54	64	65	69	77	80	71	58	61	62	76	74	68	73	79	72	78	67

Tablo 26 incelendiğinde, S7 analizindeki 1. ve 2. araç rotalarının, örnek olay analizine kıyasla değişmediği görülmektedir. Müşterilere teslim edilen ürün miktarları (Q) ise örnek olay analizine göre değişmiştir ve her iki araçta da örnek olay analizine göre daha fazla ürün taşınmıştır. Örnek olay analizinde araçlar tedarikçiden çıktığında 1.araçta 869, 2. araçta 415 adet ürün taşınmaktadır. Bu analizde ise 1. araçta 919, 2.araçta 440 adet ürün taşınmaktadır. Müşterilerden teslim alınan atık ürün miktarlarında (B), örnek olay analizine göre bir değişim bulunmamaktadır. S7 analizinde müşteri taleplerinin deterministik olması ile birlikte Tablo 26'daki müşterilere teslim edilen ürün miktarının (Q) o müşterilerin talep miktarına eşit olduğu görülmektedir.

Müşteri taleplerinin kesin olarak bilinmesiyle birlikte temel performans kriterlerindeki en önemli değişiklik toplam atık ürün maliyeti ve toplam ceza maliyetinde olmuştur. Tablo 27 incelendiğinde her iki değerinde 0 olduğu görülmektedir. Bu durum, taleplerin net olarak bilinmesiyle birlikte müşterilere talep ettikleri kadar ürün dağıtımının yapılmasının doğal bir sonucudur. Tedarikçinin müşteri taleplerini bilmesi, toplam üretim miktarını müşteri talebine göre belirlemesini sağlamaktadır. S7 analizinde araç rotaları örnek olay analizine göre değişmediği için en uzun rota ve en uzun rota maliyeti değişmemiştir. Araçlarda taşınan ürün miktarları örnek olay analizine göre arttığından, araçlardaki toplam ağırlık da artmıştır. Bu durum çevresel taşımacılıktaki yakıt kullanım miktarını kısıtlı/sınırlı düzeyde arttırmıştır. Soğuk zincir taşımacılıktaki yakıt kullanım miktarı ise değişmemiştir. Sonuç olarak S7 analizindeki toplam yakıt kullanımının, örnek olay analizindeki toplam yakıt kullanımına göre önemli ölçüde fazla olmaması, taleplerin deterministik olmasının toplam dağıtım maliyetini

Tablo 26: Müşteri Taleplerinin Deterministik Olduğu Durumda Araç Yük Takibi Tablosu (adet)

	ROTA	F	G	F+G	Q	B
1. ARAÇ ROTASI	S-C13	919	0	919	76	0
	C13-C14	843	3	846	74	3
	C14-C15	769	8	777	68	5
	C15-C20	701	8	709	67	0
	C20-C16	634	16	650	73	8
	C16-C17	561	23	584	79	7
	C17-C19	482	26	508	78	3
	C19-C18	404	34	438	72	8
	C18-C11	332	41	373	61	7
	C11-C12	271	44	315	62	3
	C12-C10	209	44	253	58	0
	C10-C9	151	51	202	71	7
	C9-C8	80	58	138	80	7
	C8- W^{DC}	0	59	59	0	1
	W^{DC} -S	0	0	0	0	0
2. ARAÇ ROTASI	S-C3	440	0	440	54	0
	C3-C4	386	6	392	64	6
	C4-C6	322	11	333	69	5
	C6-C7	253	17	270	77	6
	C7-C5	176	27	203	65	10
	C5-C2	111	35	146	60	8
	C2-C1	51	38	89	51	3
	C1- W^{DC}	0	40	40	0	2
	W^{DC} -S	0	0	0	0	0

F: Araçtaki toplam ürün miktarı

G: Araçtaki toplam atık ürün miktarı

Q: Teslim edilen toplam ürün miktarı

B: Teslim edilen toplam atık ürün miktarı

düşük miktarda arttırdığını göstermektedir. Toplam maliyete bakıldığında ise örnek olay analizine göre büyük bir düşüş bulunmaktadır. Örnek olay analizinde 1.563,839 TL olan toplam maliyet, S7 analizinde %57 azalarak 674,947 TL olmuştur.

Tablo 27: Müşteri Taleplerinin Deterministik Olduğu Durumda Özet Sonuçlar

Temel Performans Kriterleri	Örnek Olay Analizi	S7 Analizi
Toplam dağıtım maliyeti (TL)	490,67	490,69
Toplam atık ürün maliyeti (TL)	342,61	0
Toplam ceza maliyeti (TL)	546,3	0
En uzun rota (metre)	122.840	122.840
En uzun rota maliyeti (TL)	184,26	184,26
Toplam maliyet (TL)	1.563,84	674,95
Soğuk zincir taşımacılık için yakıt kullanımı (lt)	60,37	60,37
Çevresel taşımacılık için yakıt kullanımı (lt)	20,07	20,07
Toplam yakıt kullanımı (lt)	80,44	80,44
Toplam dağıtım süresi (sn)	8.774,29	8.774,29
Toplam üretim süresi (sn)	25.680	27.180
Toplam çalışma süresi (sn)	34.454,29	35.954,3
Çalışanlara tanınan ilave süre (sn)	19.545,71	18.045,7

S7: Taleplerin deterministik olması

S7 analizi sonucunda çalışanlara ayrılan süre analizi yapıldığında, örnek olay analizine göre toplam dağıtım süresinin değişmediği görülmüştür. Toplam üretim süresi de toplam ürün sayısı ile orantılı bir şekilde 1.500 saniye (0,42 saat) artarak 27.180 saniye (7,55 saat) olmuştur. İşçilere tanınan çalışma saatlerini düzenleme olanağı ise 1.500 saniye (0,42 saat) azalarak üç çalışan için 18.045,7 saniye (5,01 saat) olmuştur. Tablo 27’de bu analiz sonucunda elde edilen çalışma süresi değerleri yer almaktadır.

Müşteri taleplerinin bilinmesi sonucunda tedarikçi tarafından üretilen ve müşterilere teslim edilen ürünler, talebi tam olarak karşılamıştır. Teslim edilen ürünler ne eksik kalmış ne de artarak atık olmuştur. Bu durumda her müşteri için beklenen eksik (S) ve atık ürün miktarları (W) yoktur. Bunun sebebi ise müşteri taleplerindeki belirsizliğin ortadan kalkması yani deterministik hale gelmesidir.

Özetle; S7 analizi sonucunda müşteri taleplerinin bilinmesinin atık ürün ve ceza maliyetlerini önlediği görülmüştür. Bu maliyetlerin olmaması ile toplam maliyette yaklaşık % 57'lik bir azalma olmuştur. S7 analizi karlılık olarak tedarikçi açısından elverişli görünse de, gerçek hayatta çoğu zaman müşteri talepleri net olarak bilinmemektedir.

4.2.5 Müşterilerdeki Ortalama Talep Değerlerinin Değişiminin Analizi

Bu bölümde yapılan analizde her müşteri için belirlenen ortalama talep değerlerinin örnek olay analizinde sunulan değere göre %50 ve %100 arttığı iki farklı senaryo incelenecektir. %50 artışın olduğu senaryoda (S8) müşteriler için belirlenen ortalama talep değerleri 1,5 ile, %100 artışın olduğu senaryoda (S9) ise 2 ile çarpılarak yeni değerler elde edilmiş olup bu değerler Tablo 28'de verilmiştir. Bu bölümde yapılan her iki analizde de örnek olay veri setindeki ortalama talep değerleri dışında hiçbir parametre değiştirilmemiştir. Yapılan analizlerin amacı; poisson dağılımına sahip müşteri taleplerinde, ortalama taleplerin artması ile birlikte artacak standart sapma değerlerinin, temel performans kriterlerini nasıl etkileyeceğidir.

Müşterilerdeki ortalama talep değerlerinin %50 ve %100 arttığı S8 ve S9 analizleri sonucu oluşan araç rotaları, araçlarda bulunan ürün ve atık ürün miktarları ve müşterilere teslim edilen toplam ürün miktarları ile müşterilerden teslim alınan toplam atık ürün miktarlarını gösteren araç yük takibi Tablo 29'da yer almaktadır. Tablo 29 incelendiğinde S8 ve S9 analizlerinin her ikisinde de araç rotalarının örnek olay analizine göre değişmediği görülebilmektedir. Ancak tedarikçinin toplam üretim miktarı, araçlarda taşınan toplam yük ve müşterilere teslim edilen toplam ürün miktarı bu senaryolarda değişiklik göstermiştir. Örnek olay analizinde tedarikçiden çıkan birinci araçta 869 adet, ikinci araçta 415 adet ürün taşınırken, S8 analizinde birinci araçta 1.319 ikinci araçta 631, S9 analizinde ise birinci araçta 1.535 ikinci araçta 726 adet ürün taşınmaktadır. S8 analizinde örnek olay analizine göre toplam üretilen ürün sayısı %52 artarken, S9 analizinde %76'lık bir artış görülmektedir. Bu durumla doğru orantılı olarak her iki analizde de müşterilere teslim edilen toplam ürün miktarları (Q) artmıştır. Önceki dönemden kalan atık ürün miktarları bu analizlerde değişiklik göstermediğinden, araçlarda taşınan atık ürün miktarları (G) ile müşterilerden teslim

Tablo 28: Ortalama Talep Değerlerinin %50 ve %100 Arttığı Durumda Oluşan Talep Değerleri

Müşteri	Ortalama Talep Değerleri (adet)		
	Örnek Olay Analizi	S8 Analizi	S9 Analizi
C1	51	77	102
C2	60	90	120
C3	54	81	108
C4	64	96	128
C5	65	98	130
C6	69	104	138
C7	77	116	154
C8	80	120	160
C9	71	107	142
C10	58	87	116
C11	61	92	122
C12	62	93	124
C13	76	114	152
C14	74	111	148
C15	68	102	136
C16	73	110	146
C17	79	119	158
C18	72	108	144
C19	78	117	156
C20	67	101	134

S8: Ortalama talepler %50 artarsa

S9: Ortalama talepler %100 artarsa

alınan atık ürün miktarlarında (B) değişim olmamıştır.

S8 ve S9 analizlerindeki ortalama talep değerlerinin artması ile birlikte temel performans kriterlerinin aldığı değerler Tablo 30'da yer almaktadır. Toplam dağıtım maliyetinin her iki analizde aldığı değerler, örnek olay analizi ile karşılaştırıldığında çok küçük farklar olduğu görülmektedir. Bu farklar araç içerisinde taşınan ürün miktarının artması ile yakıt miktarının artmasına bağlıdır. Toplam atık ürün maliyetinde ise her iki analizde de büyük değişim gözlenmiştir. S8 analizinde toplam atık ürün maliyeti örnek olay analizine göre %26 artmıştır. Bu artışın sebebi müşteri taleplerinin standart sapmasının artması nedeniyle müşterilere beklenenden fazla ürün gönderilmesidir. S9 analizinde ise toplam atık ürün maliyeti 18,13 TL'ye düşmüştür. Bu kadar büyük bir düşüşün yaşanmasının sebebi, müşteri ortalama taleplerinin iki katına çıkması ile tedarikçi tarafından yapılan toplam üretimin müşteri taleplerini dahi tam olarak karşılayamadığından atık olarak kalma olasılığının düşmesidir. Toplam ceza maliyeti incelendiğinde; S8 analizinde maliyet, örnek olay analizine göre %20 artarak 654,9 TL olmuştur. Artışın sebebi yine müşteri taleplerindeki standart sapmanın artmasıdır. S9 analizinde ise toplam ceza maliyeti örnek olay analizine göre %22 artmıştır. Bu artışın nedeni de, müşteri taleplerindeki standart sapmanın artması ve toplam üretim miktarının artan müşteri taleplerine yetmemesidir.

Her iki analizde de araç rotaları değişmediği için en uzun rota ve en uzun rota maliyeti örnek olay analizine göre değişmemiştir.

Toplam maliyet incelendiğinde, S8 analizinde örnek olay analizine göre %13'lük artış olurken, S9 analizinde örnek olay analizine göre %13'lük azalma olmuştur. S8 analizindeki %13'lük artış, hem toplam atık ürün maliyeti hem de toplam ceza maliyetinin artmasından kaynaklanmaktadır. S9 analizinde ise toplam ceza maliyetindeki artışa rağmen toplam atık ürün maliyetinde büyük azalma ile toplam maliyette örnek olay analizine göre azalma gözlemlenmiştir.

Araç rotaları örnek olay analizi ile aynı olduğundan, her iki analizde de soğuk zincir taşımacılık için yakıt kullanımı değişmemiştir. Araçlarda taşınan yük miktarının her iki analizde de artmış olması, çevresel taşımacılıktaki yakıt kullanımında çok az miktarda artışa yol açmıştır.

Tablo 29: Ortalama Talep Değerlerinin %50 ve %100 Arttığı Durumdaki Yük Takibi (Adet)

		S8 Analizi					S9 Analizi				
	ROTA	F	G	F+G	Q	B	F	G	F+G	Q	B
1. ARAÇ ROTASI	S-C13	1319	0	1319	109	0	1535	0	1535	128	0
	C13-C14	1210	3	1213	106	3	1407	3	1410	124	3
	C14-C15	1104	8	1112	98	5	1283	8	1291	113	5
	C15-C20	1006	8	1014	96	0	1170	8	1178	111	0
	C20-C16	910	16	926	105	8	1059	16	1075	122	8
	C16-C17	805	23	828	114	7	937	23	960	133	7
	C17-C19	691	26	717	112	3	804	26	830	131	3
	C19-C18	579	34	613	103	8	673	34	707	120	8
	C18-C11	476	41	517	87	7	553	41	594	100	7
	C11-C12	389	44	433	89	3	453	44	497	102	3
	C12-C10	300	44	344	83	0	351	44	395	95	0
	C10-C9	217	51	268	102	7	256	51	307	119	7
	C9-C8	115	58	173	115	7	137	58	195	137	7
	C8- W^{DC}	0	59	59	0	1	0	59	59	0	1
W^{DC} -S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2. ARAÇ ROTASI	S-C3	631	0	631	77	0	726	0	726	87	0
	C3-C4	554	6	560	92	6	639	6	645	106	6
	C4-C6	462	11	473	99	5	533	11	544	115	5
	C6-C7	363	17	380	111	6	418	17	435	130	6
	C7-C5	252	27	279	93	10	288	27	315	108	10
	C5-C2	159	35	194	86	8	180	35	215	98	8
	C2-C1	73	38	111	73	3	82	38	120	82	3
	C1- W^{DC}	0	40	40	0	2	0	40	40	0	2
	W^{DC} -S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

F: Araçta taşınan toplam ürün miktarı (adet)

G: Araçta taşınan toplam atık ürün miktarı (adet)

Q: Müşteriye teslim edilen toplam ürün miktarı (adet)

B: Müşteriye teslim edilen toplam atık ürün miktarı (adet)

S8: Ortalama talepler %50 artarsa

S9: Ortalama talepler %100 artarsa

Araç rotaları örnek olay analizi ile aynı olduğu için her iki analizde de toplam dağıtım süresi değişmemiştir. Fakat her iki analizde de örnek olay analizine göre üretim miktarında artış olmuştur. Toplam üretim süresi, S8 analizinde %52, S9 analizinde ise %76 artmıştır. Toplam dağıtım süresi ve toplam üretim süresinin toplamından oluşan toplam çalışma süresi de bu durumla aynı oranda artış göstermiştir. İşçilere tanınan çalışma saatlerindeki düzenleme hakkına bakıldığında da her iki analizde de büyük azalma olduğu görülmektedir. S8 analizinde üç çalışan için toplam 6.225,71 saniye (1,73 saat) ilave süre sağlandığından her bir çalışana 2.075,24 saniye (0,58 saat) işe geç başlayabilme olanağı tanınmıştır. S9 analizinde ise üç çalışana toplam 5,71 saniyelik ilave süre tanınmıştır. Bu bağlamda, S9 analizinde çalışanlara sosyal sürdürülebilirlik çerçevesinde işe geç başlama imkanı neredeyse verilmediği görülmüştür. Sonuç olarak her iki senaryoda da çalışanların işe başlama saatleri örnek olay analizine göre oldukça erken olacaktır.

Tablo 30: Ortalama Talep Değerlerinin %50 ve %100 Arttığı Durumdaki Özet Sonuçlar

Temel Performans Kriterleri	Örnek Olay Analizi	S8 Analizi	S9 Analizi
Toplam dağıtım maliyeti (TL)	490,67	490,87	490,96
Toplam atık ürün maliyeti (TL)	342,61	432,07	18,13
Toplam ceza maliyeti (TL)	546,3	654,9	664,44
En uzun rota (metre)	122.840	122.840	122.840
En uzun rota maliyeti (TL)	184,26	184,26	184,26
Toplam maliyet (TL)	1.563,84	1.762,09	1.357,79
Soğuk zincir taşımacılık için yakıt kullanımı (lt)	60,37	60,37	60,37
Çevresel taşımacılık için yakıt kullanımı (lt)	20,07	20,1	20,12
Toplam yakıt kullanımı (lt)	80,44	80,47	80,49
Toplam dağıtım süresi (sn)	8.774,29	8.774,29	8.774,29
Toplam üretim süresi (sn)	25.680	39.000	45.220
Toplam çalışma süresi (sn)	34.454,29	47.774,29	53.994,29
Çalışanlara tanınan ilave süre (sn)	19.545,71	6.225,71	5,71

S8: Ortalama talepler %50 artarsa

S9: Ortalama talepler %100 artarsa

Bu bölümde yapılan analizlerde müşterilerin ortalama talep değerleri arttığından, müşterilere teslim edilen toplam ürün miktarı da artmıştır. Dolayısıyla müşterilerdeki

beklenen eksik ürün miktarı ile beklenen atık ürün miktarı, örnek olay analizine göre değişmiştir. %50 ve %100'lük artışların olduğu S8 ve S9 analizlerinde müşterilerdeki beklenen eksik ürün (E) miktarları ile beklenen atık ürün (W) miktarlarının değerleri Tablo 31'de yer almaktadır. S8 analizinde, müşteri taleplerindeki standart sapma arttığından, hata payı da artmıştır. Dolayısıyla hem beklenen eksik ürün miktarı hem de beklenen atık ürün miktarı, örnek olay analizine göre artmıştır. S9 analizinde ise müşterilerin ortalama talepleri iki katına çıktığından toplam üretim miktarı, toplam talep miktarını karşılayamamıştır. Dolayısıyla beklenen eksik ürün miktarları artarken, beklenen atık ürün miktarları da her müşteri için neredeyse sıfır olmuştur.

Bu analizler sonucunda özet olarak; müşterilerdeki ortalama talep artışı ile tedarikçinin üretim miktarının ve araçlarda taşınan toplam ürün miktarının doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Maliyet açısından bakıldığında, S8 analizinde toplam atık ürün maliyeti ve toplam ceza maliyetinin artması ile toplam maliyetin, örnek olay analizine göre arttığı görülmektedir. Ayrıca çalışanlar için tanınan işe geç başlama imkanı da bu senaryoda düştüğünden problemdeki sosyal sürdürülebilirlik zayıflamıştır. S9 analizinde ise toplam ceza maliyeti artmış fakat toplam atık ürün maliyeti toplam ceza maliyetine oranla çok daha fazla düştüğünden toplam maliyet azalmıştır. Fakat S9 analizinde çalışanlara çalışma saatlerini düzenleme hakkı neredeyse verilmemiştir. Bu nedenle bu analizde de problemdeki sosyal sürdürülebilirlik zayıflamıştır.

Tablo 31: Ortalama Talep Değerlerinin %50 ve %100 Arttığı Durumdaki Müşterilerde Beklenen Eksik ve Atık Ürün Miktarları (Adet)

Müşteriler	Örnek Olay Analizi		S8 Analizi		S9 Analizi	
	E Değeri	W Değeri	E Değeri	W Değeri	E Değeri	W Değeri
C1	4,57	1,57	5,39	1,97	5,78	0,07
C2	4,79	1,79	6,03	2,09	6,44	0,07
C3	4,64	1,64	5,83	1,91	6,02	0,07
C4	5,55	1,55	6,16	2,2	6,32	0,09
C5	5,57	1,57	6,52	2,06	6,29	0,1
C6	5,69	1,66	6,64	2,17	6,65	0,09
C7	5,83	1,83	6,86	2,38	6,9	0,11
C8	5,89	1,89	7,28	2,29	7,09	0,15
C9	5,7	1,7	6,7	2,22	6,59	0,1
C10	4,74	1,74	5,97	2,03	6,03	0,85
C11	4,81	1,81	6,4	1,95	6,41	0,08
C12	5,5	1,5	6,1	2,14	6,38	0,08
C13	5,8	1,8	7,17	2,19	6,93	0,1
C14	5,76	1,76	7,12	2,14	6,98	0,09
C15	5,64	1,64	6,28	2,31	6,68	0,09
C16	5,74	1,74	6,75	2,28	7,01	0,09
C17	5,89	1,87	6,92	2,43	7,32	0,09
C18	5,72	1,72	7,06	2,09	7,03	0,08
C19	5,85	1,85	7,22	2,24	7,34	0,09
C20	5,61	1,61	6,58	2,12	6,7	0,08

E: Gün sonunda müşterilerdeki beklenen eksik ürün miktarı (adet)

W: Gün sonunda müşterilerdeki beklenen atık ürün miktarı (adet)

S8: Ortalama talepler %50 artarsa

S9: Ortalama talepler %100 artarsa

SONUÇ

Son dönemlerde işletmeler arasındaki rekabetin artması ve küreselleşen ekonomi ile birlikte, tedarik zinciri faaliyetlerindeki maliyet minimizasyonu çalışmaları önem kazanmıştır. Böyle bir ortamda işletmeler çalışmalarını karlılık ve süreklilik odaklı sürdürmektedir. Dolayısıyla rekabet avantajı sağlamak isteyen işletmeler tedarik zinciri maliyetlerini en iyi şekilde yönetmelidir. Lojistik maliyetler ise tedarik zinciri maliyetleri içinde ciddi bir yer kaplamaktadır. Bu sebeple lojistik faaliyetler arasında koordinasyonu oluşturan lojistik yönetimi, işletmeler için oldukça önemlidir. Sonuç olarak lojistik yönetimini rakiplerine göre daha etkili yapan işletmeler; kaynak yönetimi, üretim verimliliği, müşteri memnuniyeti ve bilgi yönetimi konularında öne geçme fırsatı yakalayabilmektedir.

Lojistik faaliyetlerde verimlilik odaklı olmanın yanı sıra, sürdürülebilirlik konusunu dikkate almak da son yıllarda önem kazanmıştır. Çünkü lojistik faaliyetlerin temelini oluşturan taşımacılık ve depolama sırasında açığa çıkan sera gazı emisyonları çevreye zarar vermektedir. Tüketiciler bu durumu dikkate aldığından, çevre dostu ürünlere olan ilgi artmaktadır. Ayrıca lojistik maliyetler içerisindeki bir diğer önemli etken olan envanterlerin yönetiminin verimli şekilde yapılması da çevresel kirliliği azaltmaktadır. Envanterlerin yeniden üretime kazandırılması, geri dönüşüme ayrılması veya atıkların atık merkezlerinde toplanması çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla hem envanter hem de dağıtım kararlarının birlikte ele alındığı, satıcının müşterideki envanter yönetimi sorumluluğunu üstlendiği IRP'lerde de sürdürülebilirlik kavramının ele alınması son dönemlerde popüler hale gelmiştir.

İleri ve geri yönde akışın olduğu kapalı döngü IRP'lerdeki mevcut çalışmalar incelendiğinde; bozulabilirlik konusunu ele almada eksiklik olduğu fark edilmiştir. Gerçek hayatta birçok ürünün son kullanma tarihi olmakla birlikte sadece belirli sıcaklık değerlerinde saklanması gereken envanterler vardır. Dolayısıyla modele ürünlerin bozulabilirlik durumunun eklenmesi veya taşıma araçlarının ürünlerin bozulabilirlik durumu göz önünde bulundurularak tasarlanması gerçekliği arttırmaktadır.

Bu çalışmada sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarını bütünsel

olarak ele alan bir IRP üzerinde durulmuştur. Müşteri taleplerinin belirsiz olduğu problemde, detaylı yakıt tüketimi hesaplaması yapılmış ve soğutmalı araçlar kullanılmıştır. Bu problem için matematiksel (karmaşık tam sayılı doğrusal programlama) model önerisinde bulunulmuştur. Bu tez çalışmasında önerilen matematiksel model, kendi araç filosuna sahip olan tedarikçi konumundaki işletmeler için dağıtım planlaması ve envanter yönetimi aşamasında maliyet minimizasyonu imkanı sağlamaktadır. Ayrıca modeldeki atık yönetimi, detaylı yakıt tüketimi hesaplaması ile çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunulurken maksimum rota uzunluğu maliyeti ile de sosyal sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Bu yönleri çalışmaya sürdürülebilirlik kavramı açısından değer kazandırmaktadır. Ayrıca geliştirilen bu modelin gerçek hayatta uygulanabilir yapıda olması önemini arttırmaktadır. Modelden elde edilebilecek faydalar da nümerik analizler üzerinde gösterilerek somutlaştırılmıştır. Dolayısıyla çalışma sonucunda ortaya çıkan sonuçların literatürdeki IRP'lere çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik kapsamında katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmada yapılan nümerik analizlerde, tedarikçi firmaların IRP kapsamında karşılarına çıkabilecek gerçekçi senaryolar ele alınmıştır. Yapılan her senaryo analizinde, tedarikçinin maliyet durumunu görmek amacıyla tüm maliyet kalemleri detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca sürdürülebilirlik kavramının ön plana çıkması için her analizde atık maliyetleri, toplam yakıt tüketimi ve çalışanlara ayrılan ilave süre ortaya konulmuştur.

Tez çalışmasındaki örnek olay sonuçları incelendiğinde, modelin maksimum rota uzunluğu ceza çarpanını dikkate alarak araçların toplam kat ettiği mesafeyi azaltmaya çalıştığı görülmektedir. En uzun rota kısaltılarak üretimde görev alan çalışanlara daha fazla süre ayrılmaktadır. Bu sayede çalışanların problem kapsamında rota uzunluğu azaldıkça çalışma saatlerini düzenleme avantajı ortaya çıkmaktadır. Maksimum rota uzunluğu maliyetinin yok sayıldığı analiz olan S1'de; tek araç ile tüm noktalara ziyaret yapıldığı ve rota uzunluğunun örnek olay analizine kıyasla yaklaşık 3 kat arttığı görülmektedir. Ayrıca S1 analizinde çalışanlar için çalışma saatlerini düzenleme fırsatının olmadığı görülmüştür. Ek olarak, modelde tanımlanan atık ürün ayrıştırma merkezinin çalışma prensibi sayesinde araçlar bu noktada sadece topladıkları atık ürünleri bırakma işlemini gerçekleştirmektedir. Örnek olay analizinde ve yapılmış tüm senaryo analizlerinde atık ürün ayrıştırma merkezine herhangi bir ürün bırakılmamak-

ta ve ürün alınmamaktadır. Buradan çıkan araçta atık ürün kalmamaktadır.

Yapılan S4 analizinde atıkların müşteriler tarafından gün sonunda atık ayrıştırma merkezine bırakılması yerine tedarikçi tarafından gönderilen araçlar ile toplanmasının yaklaşık %40 'lık maliyet tasarrufu sağladığı görülmüştür. Atıkların toplanıp ayrıştırma merkezine bırakılmadığı S3 analizinde ise çevresel sürdürülebilirlik açısından katkı azalmaktadır. Bu noktada atık ürünleri tedarikçinin toplamasının ne denli önemli olduğu ön plana çıkmaktadır. Atık ürün maliyetinin %25 azaldığı ve arttığı S5 ve S6 analizlerinde, tedarikçi tarafından üretilen ürün miktarının değiştiği gözlenmiştir. S5 analizinde üretim miktarı artmış, S6 analizinde ise azalmıştır. Ayrıca atık ürün maliyeti değişiminin; toplam atık ürün maliyeti, toplam ceza maliyeti, müşterilerdeki beklenen eksik ürün miktarı ve müşterilerdeki beklenen atık ürün miktarını doğrudan etkilediği görülmüştür. Müşteri taleplerinin kesin olarak olarak bilindiği varsayımı ile kurgulanan S7 analizindeki en önemli değişim toplam ceza maliyeti ve toplam atık ürün maliyetinin olmamasıdır. S7 analizinde toplam maliyet örnek olaya göre %57 azalmıştır. Fakat gerçek hayatta müşteri taleplerinin kesin olarak önceden bilinmesi pek mümkün olmamaktadır. Müşterilerdeki ortalama talep değerlerinin arttığı S8 ve S9 analizlerinde, tedarikçi tarafından yapılan üretim miktarının arttığı gözlenmektedir. Ortalama taleplerin arttığı bu analizlerde toplam üretim miktarının örnek olaya kıyasla artması çalışanların üretim için daha fazla süre çalışmak zorunda kaldığını göstermekte olup nihayetinde çalışanların çalışma saatlerini düzenleme olanağının azaldığı da dikkat çekmektedir.

Bu çalışma, kapalı döngü IRP'lerde stokastik talep altında, detaylı yakıt tüketimi hesabının yapıldığı ve hem sosyal hem de çevresel sürdürülebilirliği ele alan daha büyük boyutlu problemlere uygulanabilmesi bakımından ilerideki çalışmalar için kaynak niteliği taşımaktadır. Gelecek dönemde bu çalışmanın devamı olarak yapılabilecek çalışmalarda büyük ölçekte problemlere kısa sürede çözüm bulabilecek sezgisel yaklaşımların geliştirilmesi mümkündür.

KAYNAKÇA

- Administration, E. I. (2007). World proved reserves of oil and natural gas, most recent estimates. USDOE, Energy Information Administration Washington, DC.
- Agyabeng-Mensah, Y., Afum, E., & Ahenkorah, E. (2020). Exploring financial performance and green logistics management practices: Examining the mediating influences of market, environmental and social performances. *Journal of cleaner production*, 120613.
- Aksen, D., Kaya, O., Salman, F. S., & Akça, Y. (2012). Selective and periodic inventory routing problem for waste vegetable oil collection. *Optimization letters*, 6(6), 1063–1080.
- Andersson, H., Hoff, A., Christiansen, M., Hasle, G., & Løkketangen, A. (2010). Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing. *Computers & Operations Research*, 37(9), 1515–1536.
- Archetti, C., Christiansen, M., & Speranza, M. G. (2018). Inventory routing with pickups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, 268(1), 314–324.
- Archetti, C., Speranza, M. G., Boccia, M., Sforza, A., & Sterle, C. (2020). A branch-and-cut algorithm for the inventory routing problem with pickups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, 282(3), 886–895.
- Asadi, E., Habibi, F., Nickel, S., & Sahebi, H. (2018). A bi-objective stochastic location-inventory-routing model for microalgae-based biofuel supply chain. *Applied energy*, 228, 2235–2261.
- Baah, C., & Jin, Z. (2019). Sustainable supply chain management and organizational performance: the intermediary role of competitive advantage. *J. Mgmt. & Sustainability*, 9, 119.
- Baita, F., Ukovich, W., Pesenti, R., & Favaretto, D. (1998). Dynamic routing-and-inventory problems: a review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(8), 585–598.

- Ballou, R. (1998). Planning, organizing and controlling the supply chain. *Business Logistics Management*, 5, 341–354.
- Başkol, M. (2010). Lojistik ve lojistik yönetimi. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(2), 47–64.
- Beekman-Love, G., & Nieger, L. (1978). What is materials management?, In *Materials management*. Springer.
- Bektaş, T., & Laporte, G. (2011). The pollution-routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(8), 1232–1250.
- Bell, W. J., Dalberto, L. M., Fisher, M. L., Greenfield, A. J., Jaikumar, R., Kedia, P., Mack, R. G., & Prutzman, P. J. (1983). Improving the distribution of industrial gases with an on-line computerized routing and scheduling optimizer. *Interfaces*, 13(6), 4–23.
- Ben-Daya, M., Darwish, M., & Ertogral, K. (2008). The joint economic lot sizing problem: Review and extensions. *European Journal of Operational Research*, 185(2), 726–742.
- Bing, X., Bloemhof, J. M., Ramos, T. R. P., Barbosa-Povoa, A. P., Wong, C. Y., & van der Vorst, J. G. (2016). Research challenges in municipal solid waste logistics management. *Waste management*, 48, 584–592.
- Bloemhof, J. M., & Soysal, M. (2016). Sustainable food supply chain design, In *Sustainable Supply Chains*. Springer.
- Bogh, M. B., Mikkelsen, H., & Wøhlk, S. (2014). Collection of recyclables from cubes—A case study. *Socio-Economic Planning Sciences*, 48(2), 127–134.
- Bradley, T. H., & Frank, A. A. (2009). Design, demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in hybrid electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(1), 115–128.
- Campbell, A., Clarke, L., Kleywegt, A., & Savelsbergh, M. (1998). The inventory routing problem. *Fleet Management and Logistics*. T. Crainic, G. Laporte, eds. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.
- Cansız, Ö. F., & Ünsalan, K. (2020). Yük Taşımacılığında Tek Türlü ve Çok Türlü Taşımacılık Rotalarının Karbon Ayak İzinin Karşılaştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(2), 809–816.
- Ceran, Y., & Alagöz, A. (2007). Lojistik Maliyet Yönetimi: Lojistik Maliyetler ve Lojistik Maliyet Muhasebesi.

- Chekoubi, Z., Trabelsi, W., & Sauer, N. (2018). The integrated production-inventory-routing problem in the context of reverse logistics: The case of collecting and remanufacturing of EOL products, In *2018 4th International Conference on Optimization and Applications (ICOA)*. IEEE.
- Choi, Z., Yongrok, & Ning. (2011). Does proactive green logistics management improve business performance? A case of Chinese logistics enterprises. *African Journal of Business Management*, 5(17), 7564–7574.
- Coelho, L. C., & Laporte, G. (2013). A branch-and-cut algorithm for the multi-product multi-vehicle inventory-routing problem. *International Journal of Production Research*, 51(23-24), 7156–7169.
- Cowen, D. (2010). A geography of logistics: Market authority and the security of supply chains. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(3), 600–620.
- Danese, P. (2006). The extended VMI for coordinating the whole supply network. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80–91.
- Darwish, M. A., & Odah, O. (2010). Vendor managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply chains. *European Journal of Operational Research*, 204(3), 473–484.
- Dekker, R., Bloemhof, J., & Mallidis, I. (2012). Operations Research for green logistics - An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European journal of operational research*, 219(3), 671–679.
- Deng, S., Li, Y., Guo, H., & Liu, B. (2016). Solving a closed-loop location-inventory-routing problem with mixed quality defects returns in e-commerce by hybrid ant colony optimization algorithm. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2016.
- Disney, S. M., & Towill, D. R. (2003). The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains. *International journal of production economics*, 85(2), 199–215.
- Dong, Y., & Xu, K. (2002). A supply chain model of vendor managed inventory. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 38(2), 75–95.

- Dror, M., & Ball, M. (1987). Inventory/routing: Reduction from an annual to a short-period problem. *Naval Research Logistics (NRL)*, 34(6), 891–905.
- Edirisinghe, N., & James, R. J. (2014). Fleet routing position-based model for inventory pickup under production shutdown. *European Journal of Operational Research*, 236(2), 736–747.
- Fang, X., Du, Y., & Qiu, Y. (2017). Reducing carbon emissions in a closed-loop production routing problem with simultaneous pickups and deliveries under carbon cap-and-trade. *Sustainability*, 9(12), 2198.
- Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2004). *Introduction to logistics systems planning and control*. John Wiley & Sons.
- Golsefidi, A. H., & Jokar, M. R. A. (2020). A robust optimization approach for the production-inventory-routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Computers & Industrial Engineering*, 143, 106388.
- Grefen, P., Hofman, W., Dijkman, R., Veenstra, A., & Peters, S. (2018). An integrated view on the future of logistics and information technology. *arXiv preprint arXiv:1805.12485*.
- Guimarães, T. A., Coelho, L. C., Schenekemberg, C. M., & Scarpin, C. T. (2019). The two-echelon multi-depot inventory-routing problem. *Computers & Operations Research*, 101, 220–233.
- Guo, H., Li, C., Zhang, Y., Zhang, C., & Wang, Y. (2018). A nonlinear integer programming model for integrated location, inventory, and routing decisions in a closed-loop supply chain. *Complexity*, 2018.
- Huynh, P., & Yenradee, P. (2020). Vendor Managed Inventory for Multi-Vendor Single-Manufacturer Supply Chain: A Case Study of Instant Noodle Industry. *Engineering Journal*, 24(6), 91–107.
- Iassinovskaia, G., Limbourg, S., & Riane, F. (2017). The inventory-routing problem of returnable transport items with time windows and simultaneous pickup and delivery in closed-loop supply chains. *International Journal of Production Economics*, 183, 570–582.
- Jabali, O., Van Woensel, T., & De Kok, A. (2012). Analysis of travel times and CO2 emissions in time-dependent vehicle routing. *Production and Operations Management*, 21(6), 1060–1074.
- Kaya, O. (2015). Sürdürülebilir Lojistik.

- Khan, S. A. R., Zhang, Y., Anees, M., Golpîra, H., Lahmar, A., & Qianli, D. (2018). Green supply chain management, economic growth and environment: A GMM based evidence. *Journal of Cleaner Production*, *185*, 588–599.
- Kuvvetli, Y., & Erol, R. (2020). Coordination of production planning and distribution in closed-loop supply chains. *Neural Computing and Applications*, 1–19.
- Lambert, D., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (1998). *Fundamentals of logistics management*. McGraw-Hill/Irwin.
- Le, T., Diabat, A., Richard, J.-P., & Yih, Y. (2013). A column generation-based heuristic algorithm for an inventory routing problem with perishable goods. *Optimization Letters*, *7*(7), 1481–1502.
- Li, Y., Guo, H., Wang, L., & Fu, J. (2013). A hybrid genetic-simulated annealing algorithm for the location-inventory-routing problem considering returns under E-supply chain environment. *The Scientific World Journal*, 2013.
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Chung, S. H., & Lam, H. (2014). Survey of green vehicle routing problem: past and future trends. *Expert systems with applications*, *41*(4), 1118–1138.
- Lin, J., Chen, Q., & Kawamura, K. (2016). Sustainability SI: logistics cost and environmental impact analyses of urban delivery consolidation strategies. *Networks and Spatial Economics*, *16*(1), 227–253.
- Liu, B., Chen, H., Li, Y., & Liu, X. (2015). A pseudo-parallel genetic algorithm integrating simulated annealing for stochastic location-inventory-routing problem with consideration of returns in e-commerce. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2015.
- Liu, S.-C., & Chung, C.-H. (2009). A heuristic method for the vehicle routing problem with backhauls and inventory. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *20*(1), 29.
- Mahjoob, M., Fazeli, S. S., Tavassoli, L. S., Mirmozaffari, M., & Milanlouei, S. (2021). A Green Multi-period Inventory Routing Problem with Pickup and Split Delivery: A Case Study in Flour Industry. *Sustainable Operations and Computers*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.04.002>
- Mariano, E. B., Gobbo Jr, J. A., de Castro Camioto, F., & do Nascimento Rebelatto, D. A. (2017). CO2 emissions and logistics performance: a composite index proposal. *Journal of Cleaner Production*, *163*, 166–178.

- Martel, A., & Klibi, W. (2016). *Designing value-creating supply chain networks*. Springer.
- Minken, H., & Johansen, B. G. (2019). A logistics cost function with explicit transport costs. *Economics of Transportation*, *19*, 100116.
- Mirzaei, S., & Seifi, A. (2015). Considering lost sale in inventory routing problems for perishable goods. *Computers & Industrial Engineering*, *87*, 213–227.
- Moin, N. H., & Salhi, S. (2007). Inventory routing problems: a logistical overview. *Journal of the Operational Research Society*, *58*(9), 1185–1194.
- Moosavi, A., & Nikfarjam, A. (2019). A multi-path routing-inventory problem for a closed-loop supply chain considering the heterogeneous fleet of vehicles. *International Journal of Sustainable Engineering*, *12*(3), 174–188.
- Nahmias, S., & Cheng, Y. (2009). *Production and operations analysis* (Vol. 6). McGraw hill.
- Neto, J. Q. F., Walther, G., Bloemhof, J., Van Nunen, J., & Spengler, T. (2009). A methodology for assessing eco-efficiency in logistics networks. *European Journal of Operational Research*, *193*(3), 670–682.
- Nikolakopoulos, A., & Ganas, I. (2017). Economic model predictive inventory routing and control. *Central European Journal of Operations Research*, *25*(3), 587–609.
- Onggo, B. S., Panadero, J., Corlu, C. G., & Juan, A. A. (2019). Agri-food supply chains with stochastic demands: A multi-period inventory routing problem with perishable products. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *97*, 101970.
- Özcan, S. (2008). Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelerde Lojistik Yönetiminin Önemi/The Importance of Logistics Management in Small And Medium Sized Enterprises. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *5*(10), 275–300.
- Rahimi, M., Baboli, A., & Rekik, Y. (2016). Sustainable inventory routing problem for perishable products by considering reverse logistic. *Ifac-Papersonline*, *49*(12), 949–954.
- Sakiani, R., Seifi, A., & Khorshiddoust, R. R. (2020). Inventory routing and dynamic redistribution of relief goods in post-disaster operations. *Computers & Industrial Engineering*, *140*, 106219.

- Schreyer, C., Schneider, C., Maibach, M., Rothengatter, W., Doll, C., & Schmedding, D. (2004). External costs of transport: update study. *International Railway Union*.
- Shen, Z., Dessouky, M., & Ordóñez, F. (2011). Perishable inventory management system with a minimum volume constraint. *Journal of the Operational Research Society*, 62(12), 2063–2082.
- Shuang, Y., Diabat, A., & Liao, Y. (2019). A stochastic reverse logistics production routing model with emissions control policy selection. *International Journal of Production Economics*, 213, 201–216.
- Smokers, R., Tavasszy, L., Chen, M., & Guis, E. (2014). *Options for competitive and sustainable logistics*. Emerald Group Publishing Limited.
- Soysal, M. (2016). Closed-loop Inventory Routing Problem for returnable transport items. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, 31–45.
- Soysal, M., Belbağ, S., & Sel, Ç. (2021). A closed vendor managed inventory system under a mixed fleet of electric and conventional vehicles. *Computers & Industrial Engineering*, 156, 107210.
- Soysal, M., & Bloemhof-Ruwaard, J. M. (2017). Toward sustainable logistics, In *Sustainable Logistics and Transportation*. Springer.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., & van der Vorst, J. G. (2015). Modeling an Inventory Routing Problem for perishable products with environmental considerations and demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 164, 118–133.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Meuwissen, M. P., & van der Vorst, J. G. (2012). A review on quantitative models for sustainable food logistics management. *International Journal on Food System Dynamics*, 3(2), 136–155.
- Soysal, M., Çimen, M., Belbağ, S., & Toğrul, E. (2019). A review on sustainable inventory routing. *Computers & Industrial Engineering*, 132, 395–411.
- Stellingwerf, H. M., Laporte, G., Cruijssen, F. C., Kanellopoulos, A., & Bloemhof, J. M. (2018). Quantifying the environmental and economic benefits of cooperation: A case study in temperature-controlled food logistics. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 65, 178–193.

- Stkepien, M., Lkegowik-Swikacik, S., Skibinska, W., & Turek, I. (2016). Identification and measurement of logistics cost parameters in the company. *Transportation Research Procedia*, 16(1), 490–497.
- Stock, G. N., Greis, N. P., & Kasarda, J. D. (2000). Enterprise logistics and supply chain structure: the role of fit. *Journal of operations management*, 18(5), 531–547.
- Swamidass, P. M. (2000). *Encyclopedia of production and manufacturing management*. Springer Science & Business Media.
- Tassou, S., De-Lille, G., & Ge, Y. (2009). Food transport refrigeration—Approaches to reduce energy consumption and environmental impacts of road transport. *Applied Thermal Engineering*, 29(8-9), 1467–1477.
- TDK. (2012). GUNCEL TURKCE SOZLUK.
- Timajchi, A., Al-e-Hashem, S. M. M., & Rekik, Y. (2019). Inventory routing problem for hazardous and deteriorating items in the presence of accident risk with transshipment option. *International Journal of Production Economics*, 209, 302–315.
- Tokay, S. H., Deran, A., & Arslan, S. (2011). Lojistik maliyet yönetiminde izlenebilecek stratejiler ve muhasebe eğitiminden beklentiler. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 29, 225–244.
- TPPD. (2020). GUNCEL AKARYAKIT FIYATLARI.
- Treitl, S., Nolz, P. C., & Jammernegg, W. (2014). Incorporating environmental aspects in an inventory routing problem. A case study from the petrochemical industry. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26(1), 143–169.
- Van Anholt, R. G., Coelho, L. C., Laporte, G., & Vis, I. F. (2016). An inventory-routing problem with pickups and deliveries arising in the replenishment of automated teller machines. *Transportation Science*, 50(3), 1077–1091.
- Wang, D., Wang, Z., Zhang, B., & Zhu, L. (2020). Vendor managed inventory supply chain coordination based on commitment-penalty contracts with bilateral asymmetric information. *Enterprise Information Systems*, 1–18.
- WCED, S. W. S. (1987). World commission on environment and development. *Our common future*, 17, 1–91.

- Weiyi, F., & Luming, Y. (2009). The discussion of target cost method in logistics cost management, In *2009 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management*. IEEE.
- Yeh, W.-C., & Chuang, M.-C. (2011). Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems. *Expert Systems with applications*, 38(4), 4244–4253.
- Yuchi, Q., He, Z., Yang, Z., & Wang, N. (2016). A location-inventory-routing problem in forward and reverse logistics network design. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2016.
- Yuchi, Q., Wang, N., He, Z., & Chen, H. (2021). Hybrid heuristic for the location-inventory-routing problem in closed-loop supply chain. *International Transactions in Operational Research*, 28(3), 1265–1295.
- Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., & Mohammadi, M. (2016). Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 89, 182–214.
- Zhang, Y., Alshraideh, H., & Diabat, A. (2018). A stochastic reverse logistics production routing model with environmental considerations. *Annals of Operations Research*, 271(2), 1023–1044.

Ek A**EKLER****A.1 TEZ KAPSAMINDA ÖNERİLEN MODELİN KODU**

```
{string} V = ...;
{string} V2 = ...;
{string} V3 = ...;
{string} V4 = ...;

{string} atikmerkezi = {"WDC"};
{string} tedarikci = {"S"};

tuple Rota {
string i;
    string j;
}
{Rota} A = ...;

{int} K = ...;
    tuple Talep {
string i;
    int d;
}
{Talep} Talepler = ...;
float phi[Talepler] = ...;
```

```
{int} N1 = ...;
{int} N2 = ...;
{int} N3 = ...;
{int} N4 = ...;
{int} N5 = ...;
{int} N6 = ...;
{int} N7 = ...;
{int} N8 = ...;
{int} N9 = ...;
{int} N10 = ...;
{int} N11= ...;
{int} N12 = ...;
{int} N13 = ...;
{int} N14 = ...;
{int} N15 = ...;
{int} N16 = ...;
{int} N17 = ...;
{int} N18 = ...;
{int} N19 = ...;
{int} N20 = ...;

int b = 2000;

float r[A] = ...;
float epsilon = 54000;
float sigma = 20;
float varrho = 14;
float m = 10;
float p = 5;
float M = 1000000;
float tau = 0.0015 ;
float omega[V2]= ...;
```

```

float alpha = 0.0981;
float beta = 3.013;
float DeltaT = 18;
float mue = 0.3;
float mum = 0.3;
float mup = 0.67;
float cf= 6.1;
float hi= 4;
float pf= 8.8;
float sk= 165;
float U= 0.7;
float v[A]= ...;
float wk = 2500;
float wa=0.1;

```

```

dvar float+ W[V2];
dvar float+ E[V2];
dvar float+ Q[V2][K];
dvar float+ B[V2][K];
dvar boolean X[A][K];
dvar float+ F[A][K];
dvar float+ G[A][K];
dvar float+ pi ;

```

```

dexpr float fa= (sum (a in A, k in K)alpha* ((F[a][k] +
G[a][k])* wa+ X[a][k]* wk )*r[a]+ sum(a in A, k in K)
beta * $v[a]^2$ * r[a] * X[a][k])/
($3.6*10^6$ * pf * mum);

```

```

dexpr float hw= (sum(a in A, k in K) (X[a][k]
* r[a] * U * sk

```

```

        * DeltaT)/$(3.6*10^6*v[a]));
dexpr float hs= sum(a in A, k in K) X[a][k] * hi;
dexpr float fr= (hw + hs) / (mue * mup * pf);

dexpr float DagitimMaliyeti = (fa + fr) * cf ;
dexpr float AtikMaliyeti = sum (i in V2) W[i] * m;
dexpr float EksikMaliyeti = sum (i in V2) S[i] * p;
dexpr float maxrota = pi*tau;

minimize DagitimMaliyeti + AtikMaliyeti+
EksikMaliyeti+ maxrota ;
subject to {

forall(n in N1){
    sum(d in N1:d<=n) phi[<"1",d>] * (sum(k in K)
    Q["1"][k] - d) <= W["1"];
}
forall(n in N2){
    sum(d in N2:d<=n) phi[<"2",d>] *
    (sum(k in K) Q["2"][k] - d) <= W["2"];
}
forall(n in N3){
    sum(d in N3:d<=n) phi[<"3",d>] *
    (sum(k in K) Q["3"][k] - d) <= W["3"];
}
forall(n in N4){
    sum(d in N4:d<=n) phi[<"4",d>] *
    (sum(k in K) Q["4"][k] - d) <= W["4"];
}
forall(n in N5){
    sum(d in N5:d<=n) phi[<"5",d>] *
    (sum(k in K) Q["5"][k] - d) <= W["5"];
}

```

```

    }
forall(n in N6){
    sum(d in N6:d<=n) phi[<"6",d>] *
    (sum(k in K) Q["6"][k] - d) <= W["6"];
}
forall(n in N7){
    sum(d in N7:d<=n) phi[<"7",d>] *
    (sum(k in K) Q["7"][k] - d) <= W["7"];
}
forall(n in N8){
    sum(d in N8:d<=n) phi[<"8",d>] *
    (sum(k in K) Q["8"][k] - d) <= W["8"];
}
forall(n in N9){
    sum(d in N9:d<=n) phi[<"9",d>] *
    (sum(k in K) Q["9"][k] - d) <= W["9"];
}

forall(n in N10){
    sum(d in N10:d<=n) phi[<"10",d>] *
    (sum(k in K) Q["10"][k] - d) <= W["10"];
}
forall(n in N11){
    sum(d in N11:d<=n) phi[<"11",d>] *
    (sum(k in K) Q["11"][k] - d) <= W["11"];
}
forall(n in N12){
    sum(d in N12:d<=n) phi[<"12",d>] *
    (sum(k in K) Q["12"][k] - d) <= W["12"];
}
forall(n in N13){
    sum(d in N13:d<=n) phi[<"13",d>] *
    (sum(k in K) Q["13"][k] - d) <= W["13"];
}

```

```

    }
forall(n in N14){
    sum(d in N14:d<=n) phi[<"14",d>] *
    (sum(k in K) Q["14"][k] - d) <= W["14"];
}

forall(n in N15){
    sum(d in N15:d<=n) phi[<"15",d>] *
    (sum(k in K) Q["15"][k] - d) <= W["15"];
}

forall(n in N16){
    sum(d in N16:d<=n) phi[<"16",d>] *
    (sum(k in K) Q["16"][k] - d) <= W["16"];
}

forall(n in N17){
    sum(d in N17:d<=n) phi[<"17",d>] *
    (sum(k in K) Q["17"][k] - d) <= W["17"];
}

forall(n in N18){
    sum(d in N18:d<=n) phi[<"18",d>] *
    (sum(k in K) Q["18"][k] - d) <= W["18"];
}

forall(n in N19){
    sum(d in N19:d<=n) phi[<"19",d>] *
    (sum(k in K) Q["19"][k] - d) <= W["19"];
}

forall(n in N20){
    sum(d in N20:d<=n) phi[<"20",d>] *
    (sum(k in K) Q["20"][k] - d) <= W["20"];
}

forall(n in N1){
    sum(d in N1:d>=n) phi[<"1",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["1"][k] ) <= E["1"];
}

```

```

    }
forall(n in N2){
    sum(d in N2:d>=n) phi[<"2",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["2"][k] ) <= E["2"];
}
forall(n in N3){
    sum(d in N3:d>=n) phi[<"3",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["3"][k] ) <= E["3"];
}
forall(n in N4){
    sum(d in N4:d>=n) phi[<"4",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["4"][k] ) <= E["4"];
}
forall(n in N5){
    sum(d in N5:d>=n) phi[<"5",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["5"][k] ) <= E["5"];
}
forall(n in N6){
    sum(d in N6:d>=n) phi[<"6",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["6"][k] ) <= E["6"];
}
forall(n in N7){
    sum(d in N7:d>=n) phi[<"7",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["7"][k] ) <= E["7"];
}
forall(n in N8){
    sum(d in N8:d>=n) phi[<"8",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["8"][k] ) <= E["8"];
}
forall(n in N9){
    sum(d in N9:d>=n) phi[<"9",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["9"][k] ) <= E["9"];
}

```

```

forall(n in N10){
    sum(d in N10:d>=n) phi[<"10",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["10"][k] ) <= E["10"];
}
forall(n in N11){
    sum(d in N11:d>=n) phi[<"11",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["11"][k] ) <= E["11"];
}
forall(n in N12){
    sum(d in N12:d>=n) phi[<"12",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["12"][k] ) <= E["12"];
}
forall(n in N13){
    sum(d in N13:d>=n) phi[<"13",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["13"][k] ) <= E["13"];
}
forall(n in N14){
    sum(d in N14:d>=n) phi[<"14",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["14"][k] ) <= E["14"];
}
forall(n in N15){
    sum(d in N15:d>=n) phi[<"15",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["15"][k] ) <= E["15"];
}
forall(n in N16){
    sum(d in N16:d>=n) phi[<"16",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["16"][k] ) <= E["16"];
}
forall(n in N17){
    sum(d in N17:d>=n) phi[<"17",d>] *
    (d - sum(k in K) Q["17"][k] ) <= E["17"];
}
forall(n in N18){

```



```

sum(d in N18:d>=n) phi[<"18",d>] *
(d - sum(k in K) Q["18"][k] ) <= E["18"];
}
forall(n in N19){
sum(d in N19:d>=n) phi[<"19",d>] *
(d - sum(k in K) Q["19"][k] ) <= E["19"];
}
forall(n in N20){
sum(d in N20:d>=n) phi[<"20",d>] *
(d - sum(k in K) Q["20"][k] ) <= E["20"];
}

forall(j in V3, k in K)
sum(a in A:a.j ==j) X[a][k] -
sum(a in A:a.i ==j) X[a][k] == 0;

forall(i in V4, k in K)
sum(a in A:a.i ==i) X[a][k] <= 1;

forall(k in K)
sum (a in A) X[a][k]* r[a] <= pi;

sum (i in V2, k in K) Q[i][k]* sigma
<= epsilon - (pi/varrho);

forall(i in V2, k in K)
sum(a in A:a.j ==i) F[a][k] ==
sum(a in A:a.i ==i) F[a][k] + Q[i][k];

forall (k in K)
sum (j in V2) F[<j,"21">][k] -
sum (j in V4) F[<"21",j>][k] ==0;

```

```

forall(k in K)
sum(j in V2) F[<"0",j>][k] -
sum(i in V2) Q[i][k] ==0;

forall(i in V2)
    sum (k in K) B[i][k] == omega[i];

forall(i in V2, k in K)
sum(a in A:a.i ==i) G[a][k] ==
sum(a in A:a.j ==i) G[a][k] + B[i][k];

forall(k in K)
sum(j in V2) G[<"21",j>][k] <= 0;

forall (k in K)
    sum (j in V3) G[<j,"0">][k] <= 0;

forall(a in A, k in K)
    F[a][k] + G[a][k] <= b * X[a][k] ;
}

```