



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

**LOJİSTİK İŞ BİRLİĞİ VE HETEROJEN MÜŞTERİ SEGMENTLERİ
VARSAYIMLARIYLA AĞ TASARIMI VE ENVANTER ROTALAMA
PROBLEMLERİNİN MODELLENMESİ**

Hande Cansın KAZANÇ

Doktora Tezi

Ankara, 2024

LOJİSTİK İŞ BİRLİĞİ VE HETEROJEN MÜŞTERİ SEGMENTLERİ
VARSAYIMLARIYLA AĞ TASARIMI VE ENVANTER ROTALAMA
PROBLEMLERİNİN MODELLENMESİ

Hande Cansın KAZANÇ

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Ankara, 2024

KABUL VE ONAY

Hande Cansın Kazanç tarafından hazırlanan ‘‘Lojistik İş Birliği ve Heterojen Müşteri Segmentleri Varsayımlarıyla Ağ Tasarımı ve Envanter Rotalama Problemlerinin Modellenmesi’’ başlıklı bu çalışma, 19.01.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Kazım Barış Atıcı (Başkan)

Doç. Dr. Mehmet Soysal (Danışman)

Doç. Dr. Çağrı Sel (Üye)

Doç. Dr. Mustafa Çimen (Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Gözdem Dural (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Uęur 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⁾

14/02/2024

Hande Cansın KAZANÇ

I “*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 özgün olduğunu, **Doç. Dr. Mehmet SOYSAL** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Hande Cansın KAZANÇ

Hiç vazgeçmeyen Cansın'a

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince, bilgi ve tecrübelerini, zamanını, sabrını ve güler yüzünü benden esirgemeyen, tüm sorunlarımda yanımda olan ve benim için bir tez danışmanı olmanın çok ötesinde her zaman yol gösterici olan değerli hocam Doç. Dr. Mehmet Soysal'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Fikirleri ile bana her zaman büyük katkı sunan ve yardımcı olan değerli hocam Doç. Dr. Mustafa Çimen'e teşekkür ederim. Yapmış oldukları katkılardan dolayı değerli hocalarım ve tez izleme komitesi üyelerim Prof. Dr. Ayşegül Taş'a ve Prof. Dr. Kazım Barış Atıcı'ya teşekkür ederim. Ayrıca tez jürimde bulunarak benden fikirlerini esirgemeyen değerli hocalarım Doç. Dr. Çağrı Sel ve Dr. Öğr. Üyesi Gözdem Dural'a teşekkür ederim. Tez çalışmamdaki katkısı için değerli arkadaşım Arş. Gör. Erencan Yavrucu'ya teşekkür ederim.

Her daim desteklerini arkamda hissettiğim değerli arkadaşlarım Dr. Z. Birce Ergör'e, Dr. Zehra B. Kanık Nabi'ye ve Pembegül Çetiner Karataş'a teşekkür ederim.

İhtiyacım olan her an yanımda olan, beni güler yüzü ile destekleyen ve Hacettepe Üniversitesi'nin bana kattığı en güzel şeylerden biri olan sevgili arkadaşım Seda Büşra Saraç'a teşekkür ederim.

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

Hayatımın her anında yanımda olan, tüm doktora sürecimi benimle yaşayan, benimle ağlayıp benimle gülen, bana her zaman koşulsuz inanan ve her an destekleyen hayattaki en büyük şansım canım eşim Serkan Kazanç'a teşekkür ederim.

ÖZET

Kazanç, Hande Cansın. *Lojistik İş Birliği ve Heterojen Müşteri Segmentleri Varsayımlarıyla Ağ Tasarımı ve Envanter Rotalama Problemlerinin Modellenmesi*, Doktora, Ankara, 2024.

Karmaşık endüstriyel ortamlarda faaliyet gösteren işletmeler, müşterilerinin artan beklentilerini karşılayabilmek ve rekabet ortamında ayakta kalabilmek için sürekli bir gelişme süreci içinde olmalıdır. Bu bağlamda, işletmelerin üretim ve dağıtım süreçlerini iyileştirmek amacıyla birbirleriyle kurdukları iş ilişkileri, günümüz tedarik zincirlerinin temelini oluşturmaktadır. Tedarik zincirinde iş birliği yapılması, işletmelerin rekabet avantajını sürdürmeleri ve operasyonel etkinliklerini artırmaları için kritik bir gerekliliktir. Öte yandan, müşteri segmentasyonu, tedarik zinciri yönetiminde potansiyel avantajları olan önemli bir diğer konudur. Farklı müşteri gruplarının özel ihtiyaçlarına ve tercihlerine odaklanarak özelleştirilmiş hizmetler sunma kabiliyeti, müşteri memnuniyetini artırabilir ve müşteri sadakatini güçlendirebilir. Bu tez çalışması kapsamında üzerinde durulan ilk problem olan ağ tasarımı problemi, talep belirsizliği varsayımı altında aralarında yatay iş birliği bulunan heterojen müşteri segmentlerini ve sonlu bir planlama ufkunu içeren bir yapıya sahiptir. Problem, dağıtım kanalı seçimi, dağıtım planlaması, envanter, aktarma ve atama kararlarını içeren bir matematiksel model ile ifade edilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan ikinci problem olan envanter rotalama problemi ise, talep belirsizliği varsayımı altında, aralarında iş birliği bulunan heterojen müşteri segmentlerine sahip, dağıtım kanalı seçimi, dağıtım planlaması, envanter ve aktarma kararlarını içerecek şekilde matematiksel olarak modellenmiştir. Envanter rotalama probleminin çözümü amacıyla üç aşamalı sezgisel bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Sezgisel çözüm yaklaşımı ile büyük ölçekli envanter rotalama problemlerinin daha etkili bir şekilde çözülmesine katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Çalışmada elde edilen bulgular, heterojen müşteri segmenti ve iş birliğinin ağ tasarımı ve envanter rotalama problemlerindeki stratejik önemini vurgulamaktadır. Çalışma, özellikle karmaşık dağıtım ağlarına sahip olan ve farklı müşteri segmentlerine hizmet sunan işletmeler için karşılıklı yararlı iş birliklerinin kurulmasının avantajlarını detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, işletmelerin sürdürülebilirlik,

maliyet etkinliği ve müşteri memnuniyeti açısından daha etkili stratejiler geliştirmelerine olanak tanımaktadır.

Anahtar Sözcükler

Ađ Tasarımı Problemi, Envanter Rotalama Problemi, Lojistik İş Birliği, Müşteri Segmentasyonu, Belirsizlik, Sezgisel Çözüm Yaklaşımı.

ABSTRACT

Kazanç, Hande Cansın. *Modelling Network Design and Inventory Routing Problems with Logistics Collaboration and Heterogeneous Customer Segment Assumptions*, PhD Dissertation, Ankara, 2024.

Companies operating in complex industrial environments need to be in a continuous process of development to meet the increasing expectations of their customers and to survive in a competitive environment. In this context, the business relationships that companies establish with each other to improve their production and distribution processes form the basis of today's supply chains. Supply chain collaboration is a critical requirement for companies to maintain a competitive advantage and increase operational efficiency. Another important issue with potential benefits in supply chain management is customer segmentation. The ability to provide tailored services by focusing on the specific needs and preferences of different customer groups can increase customer satisfaction and loyalty. The first problem addressed in this thesis, the network design problem, involves heterogeneous customer segments with horizontal cooperation and a finite planning horizon, assuming demand uncertainty. The problem is formulated mathematically, including channel selection, distribution planning, inventory, replenishment, and allocation decisions. The inventory routing problem, which is the second problem considered in the study, is mathematically modelled under the assumption of demand uncertainty, with heterogeneous customer segments and cooperation between them, including channel selection, distribution planning, inventory, and replenishment decisions. A three-stage heuristic solution approach is proposed to solve the inventory routing problem. The heuristic solution approach aims to contribute to the solution of large-scale inventory routing problems more effectively. The results of the study highlight the strategic importance of heterogeneous customer segments and collaboration in network design and inventory routing problems. The study provides a detailed account of the benefits of establishing mutually beneficial collaborations, especially for companies that have complex distribution networks and serve different customer segments. The findings enable companies to develop more effective strategies in terms of sustainability, cost-effectiveness, and customer satisfaction.

Keywords

Network Design Problem, Inventory Routing Problem, Logistics Collaboration, Customer Segmentation, Uncertainty, Heuristic Solution Approach.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	ii
ETİK BEYAN	iii
ADAMA	iii
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	x
KISALTMALAR	xiii
TABLolar DİZİNİ	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
GİRİŞ	1
1.BÖLÜM: LİTERATÜR TARAMASI	11
1.1. LOJİSTİKTE İŞ BİRLİĞİ	11
1.2. ENVANTER HAVUZLAMA	15
1.3. MÜŞTERİ SEGMENTASYONU	17
1.4. AĞ TASARIMI PROBLEMİ ÜZERİNE LİTERATÜR TARAMASI	20
1.5. ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ ÜZERİNE LİTERATÜR TARAMASI	29
1.5.1. Belirsizlik ve Envanter Kontrol Politikası İçeren IRP Çalışmaları.....	31
1.5.2. Yatay İş Birliği İçeren IRP Çalışmaları	37
1.5.3. Müşteri Segmenti İçeren Çalışmalar VRP Çalışmaları.....	44
2.BÖLÜM: LOJİSTİK İŞ BİRLİĞİ VE HETEROJEN MÜŞTERİ SEGMENTLERİ VARSAYIMLARIYLA AĞ TASARIMI PROBLEMİ	51
2.1. PROBLEM TANIMI	51

2.2. MATEMATİKSEL MODEL	53
2.3. NÜMERİK ANALİZLER	58
2.3.1. Örnek Olay Veri Setinin Tanıtılması	59
2.3.2. Örnek Olay Çözümü	64
2.3.3. Örnek Olay Üzerinde Senaryo Analizleri	68
2.3.3.1. S1 Senaryosunun Çözümü	70
2.3.3.2. S2 Senaryosunun Çözümü	73
2.3.3.3. S3 Senaryosunun Çözümü	76
2.3.3.4. S4 Senaryosunun Çözümü	78
3.BÖLÜM: LOJİSTİK İŞ BİRLİĞİ VE HETEROJEN MÜŞTERİ SEGMENTLERİ VARSAYIMLARIYLA ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ	84
3.1. PROBLEM TANIMI	84
3.2. MATEMATİKSEL MODEL	89
3.2.1. Geliştirilen Matematiksel Formülasyonun Güçlendirilmesi.....	98
3.3. SEZGİSEL ÇÖZÜM YAKLAŞIMI	99
3.4. NÜMERİK ANALİZLER	102
3.4.1. Örnek Olay Veri Setinin Tanıtılması.....	103
3.4.2. Örnek Olay Çözümü	109
3.4.3. Örnek Olay Üzerinde Senaryo Analizleri.....	114
3.4.3.1. Orta Düzey Müşteriler için Birden Fazla Dağıtım Kanalı Kullanmanın Fayda Analizi	114
3.4.3.2. Envanter Havuzlama Stratejisi Uygulamanın Fayda Analizi	117
3.4.3.3. Aktarma ve Ürün Alma Noktaları için Mesafe Sınırının Olmadığı Durumun Analizi	120
3.4.3.4. Geçerli Eşitsizliklerin Analizi.....	123
3.4.4. Geliştirilen Sezgisel Yaklaşımın Performans Değerlendirmesi.....	124

SONUÇ.....	127
KAYNAKÇA	132
EKLER.....	145

KISALTMALAR

VMI: Tedarikçi GÜdümünde Envanter

IRP: Envanter Rotalama Problemi

VRP: Araç Rotalama Problemi

MINLP: Karma Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama

MILP: Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1: Ele Alınan Problemlerdeki Hizmet Farklılaştırılması için Özet Tablo

Tablo 2: Ağ Tasarımı Probleminde Belirsizlik ve İş Birliği İçeren Çalışmalar

Tablo 3: Belirsizlik ve Envanter Kontrol Politikası İçeren IRP Çalışmaları

Tablo 4: Yatay İş Birliği ve Yanal Aktarma İçeren IRP Çalışmaları

Tablo 5: Müşteri Segmenti ve Hizmet Farklılaştırması İçeren VRP Çalışmaları

Tablo 6: Notasyon Tablosu (ağ tasarımı problemi)

Tablo 7: Üst Düzey Müşterilerin Ortalama Talep Miktarları (adet ürün)

Tablo 8: Orta ve Temel Düzey Müşterilerin Ürün Talep Miktarları (parti ürün)

Tablo 9: Kullanılan Parametrelerin Özeti (ağ tasarımı problemi)

Tablo 10: Örnek Olay Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri (ağ tasarımı problemi)

Tablo 11: Örnek Olay Çözümünde Depolardan Hareket Eden Araç Sayıları (adet)

Tablo 12: Örnek Olay Çözümünde Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Dönem Sonu Envanter Miktarları (ağ tasarımı problemi, adet)

Tablo 13: Örnek Olay Çözümünde Karşılanamayan Talep Verileri (parti ürün)

Tablo 14: İncelenen Senaryoların Özeti

Tablo 15: S1 Senaryosunun Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri

Tablo 16: S1 Senaryosunun Çözümünde Depolardan Hareket Eden Araç Sayıları (adet)

Tablo 17: S1 Senaryosunun Çözümünde Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Dönem Sonu Envanter Miktarları (adet)

Tablo 18: S2 Senaryosunun Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri

Tablo 19: S2 Senaryosunun Çözümünde Karşılanamayan Talep Verileri (parti ürün)

Tablo 20: S3 Senaryosunun Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri

- Tablo 21:** S3 Senaryosunun Çözümünde Depolardan Hareket Eden Araç Sayıları (adet)
- Tablo 22:** S3 Senaryosu Çözümünde Karşılanamayan Talep Verileri (parti ürün)
- Tablo 23:** S4 Senaryosunun Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri
- Tablo 24:** S4 Senaryosunun Çözümünde Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Dönem Sonu Envanter Miktarları (adet)
- Tablo 25:** S4 Senaryosu Çözümünde Karşılanamayan Talep Verileri (parti ürün)
- Tablo 26:** Notasyon Tablosu
- Tablo 27:** Üst ve Orta Düzey Müşteriler Arası Mesafeler (km)
- Tablo 28:** Üst Düzey Müşterilerden Orta Düzey Müşterilere Aktarma Maliyeti (€/adet)
- Tablo 29:** Temel Düzey Müşterilerin Talepleri (adet)
- Tablo 30:** Orta Düzey Müşteriler için Üst Düzey Müşterilerde Güvenlik Stoku Tutulabilecek Konumlar
- Tablo 31:** Temel Düzey Müşterilerin Ürün Alma Noktası Olarak Kullanabildiği Üst Düzey Müşteri Konumları
- Tablo 32:** Kullanılan Parametrelerin Özeti
- Tablo 33:** Örnek Olay Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri
- Tablo 34:** Örnek Olay Çözümünde Oluşan Rotalar
- Tablo 35:** Örnek Olay Çözümünde Oluşan Aktarmalar (adet)
- Tablo 36:** Örnek Olay Çözümünde Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Envanter Miktarları (adet)

Tablo 37: Orta Düzey Müşteriler için Yalnızca Aktarma Dağıtım Kanalı Yoluyla Ürün Teslimi Sonucu Oluşan Temel Performans Kriterleri

Tablo 38: Orta Düzey Müşteriler için Yalnızca Aktarma Dağıtım Kanalı Yoluyla Ürün Teslimi Senaryosunda Oluşan Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Envanter Miktarları (adet)

Tablo 39: Orta Düzey Müşterilere Envanterlerini Kendi Konumlarında Tuttuğunda Oluşan Temel Performans Kriterleri

Tablo 40: Orta Düzey Müşterilerde Tutulan Güvenlik Stoku Miktarları (adet)

Tablo 41: Mesafe Sınırı Olmadığı Durumda Oluşan Temel Performans Kriterleri

Tablo 42: Mesafe Sınırı Olmadığı Durumda Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Envanter Miktarları (adet)

Tablo 43: Geçerli Eşitsizliklerin Performansı (sn)

Tablo 44: MILP Modeli ve Sezgisel Çözüm Yaklaşımı Arasındaki Karşılaştırmalı Sonuçlar

Tablo 45: Düğümler Arasındaki Mesafeler (km, ağ tasarımı problemi)

Tablo 46: Depolardan Üst ve Orta Düzey Müşterilere Araç Gönderimi Maliyetleri (€)

Tablo 47: Bir Parti Ürünün Üst ve Orta Düzey Müşteriler Arasında Aktarım Maliyeti (€)

Tablo 48: Düğümler Arasındaki Mesafeler (km)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1: Çalışma Tasarımı

Şekil 2: Ağ Tasarımı Problemi için Literatür İncelemesinin Sınıflandırılması

Şekil 3: VRP için Literatür İncelemesinin Sınıflandırılması

Şekil 4: Ağ Tasarımı Problemin Genel Gösterimi

Şekil 5: VRP Genel Gösterimi

Şekil 6: Veri Setinde Kullanılan Noktaların Harita Üzerinde Gösterimi

Şekil 7: 2438x1143x1295 Milimetrelik Palet Gösterimi

GİRİŞ

Karmaşık endüstriyel ortamlarda faaliyet gösteren işletmeler, müşterilerinin artan beklentilerini karşılayabilmek ve rekabet ortamında ayakta kalabilmek için sürekli bir gelişme süreci içinde olmalıdır. Ayrıca, işletmelerin hızla değişen rekabet koşullarına uyum sağlayabilmeleri ve Pazar paylarını genişletebilmeleri, ekonomik başarılarını sürdürebilmeleri açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, işletmelerin üretim ve dağıtım süreçlerini iyileştirmek amacıyla birbirleriyle kurdukları iş ilişkileri, günümüz tedarik zincirlerinin temelini oluşturmaktadır (Adams vd., 2014; Wu vd., 2019, Soysal vd., 2019). Tedarik zincirleri; tedarikçilerden, üreticilerden, dağıtıcılardan, perakendecilerden, taşıyıcılardan ve toptancılardan oluşan, müşteri ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlayan bütünleşik bir yapı olarak tanımlanmaktadır.

Tedarik zincirinin bir parçası olarak lojistik ise, tedarik zinciri içinde malların ve hizmetlerin etkili bir şekilde hareket etmesini sağlayan anahtar bir süreçtir ve bu süreçlerin verimli yönetilmesi, tedarik zincirinin başarısı için kritik öneme sahiptir (Chopra & Meindl 2001). Lojistik ve tedarik zinciri yönetimi süreçlerinin bir bütün olarak yürütülmesi, işletmelerin tedarik zincirlerini daha etkili, verimli ve rekabetçi bir şekilde yönetmelerine yardımcı olur. Lojistik ve tedarik zinciri yönetiminin birlikte ele alan işletmeler, maliyet tasarrufu sağlayabilir, değişimlere hızlı tepki verme yeteneğini geliştirebilir ve müşteri memnuniyetini artırabilir (Nahmias & Olsen, 2015; Rushton vd., 2021). Son dönemde lojistik sektörü, önemli bir büyüme sürecinden geçmiş ve gelecekte de bu büyüme eğiliminin devam etmesi öngörülmektedir (Chen & Shi, 2019). 2022 yılı itibariyle küresel lojistik pazarının büyüklüğü 10,68 trilyon ABD doları olarak rapor edilmiştir. Bu büyümede, özellikle e-ticaretin yükselişi önemli bir etken olmuş ve lojistik hizmetlere olan talebi artırmıştır. Artan talep, küresel lojistik pazarının 2032 yılına kadar yaklaşık 18,23 trilyon ABD dolarına ulaşmasının beklendiğini göstermektedir (UTİKAD, 2022). Lojistik pazarının hızlı büyümesi, lojistik sektörünün gelecekteki potansiyelini ve stratejik önemini vurgulamaktadır. Lojistik sektörünün dinamik büyüme sürecine paralel olarak, lojistik ve tedarik zinciri yönetimi alanında karşılaşılan zorluklar da daha karmaşık hale gelmektedir.

Günümüzün dinamik iş ortamında talep belirsizliği, tedarik zincirinde bulunan karar vericiler için önemli zorluklar yaratmaktadır. Müşteri tercihlerinde, Pazar eğilimlerinde ve ekonomik koşullardaki öngörülemeyen değişiklikler, talepte dalgalanmalar yaratarak stokların tükenmesine, stok fazlalığına, artan maliyetlere ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açabilir. Bu zorluklarla başarılı bir şekilde baş edebilmek için tedarik zincirinde yer alan karar vericilerin talep değişkenliğini yönetecek etkili stratejiler kullanması gerekir.

Öte yandan, tedarik zincirinde iş birliği yapılması, işletmelerin rekabet avantajını sürdürmeleri ve operasyonel etkinliklerini artırmaları için kritik bir gerekliliktir. Tedarik zinciri iş birliği, tedarik zinciri paydaşları arasında daha yakın ilişkiler kurmayı, bilgi ve kaynakları paylaşmayı içerir. İş birliği, tedarik zinciri paydaşları açısından bir dizi önemli fayda sunar. Ortak kararlar almak ve bilgi paylaşımı, tedarik zinciri üzerindeki belirsizlikleri azaltır ve daha iyi planlama imkânı tanır. Daha iyi planlama yapılması; talep tahminlerini iyileştirme, stok seviyelerini optimize etme ve teslimat süreçlerini daha etkin hale getirme konularında avantaj sağlar. Maliyet etkinliği de iş birliğinin bir diğer önemli yararlarıdır. Tedarik zinciri paydaşları arasında maliyetleri paylaşmak ve ortaklaşa kaynak kullanımı, genellikle işletmelerin üretim, depolama ve dağıtım maliyetlerini düşürmelerine yardımcı olur. Sonuç olarak, tedarik zinciri iş birliği, paydaşlar arasında güçlü bir iş birliği kültürü oluşturarak sürdürülebilir başarı ve müşteri memnuniyetine katkıda bulunur.

Müşteri segmentasyonu, tedarik zinciri yönetiminde potansiyel avantajları olan önemli bir diğer konudur. Farklı müşteri gruplarının özel ihtiyaçlarına ve tercihlerine odaklanarak özelleştirilmiş hizmetler sunma kabiliyeti, müşteri memnuniyetini artırabilir ve müşteri sadakatini güçlendirebilir. Müşteri segmentasyonu, tedarik zinciri yönetiminde daha etkili stratejiler oluşturmayı mümkün kılar. Müşteri segmentasyonu yapıldığında, işletmeler müşteri tabanındaki çeşitliliği daha iyi anlar ve buna göre tedarik zinciri süreçlerini optimize edebilir. Ayrıca, müşteri segmentasyonu, talep tahminlerini geliştirme, stok yönetimini optimize etme ve tedarik zinciri süreçlerini daha hassas bir şekilde yönetme konularında işletmelere değerli bilgiler sunar. Tüm bunlar değerlendirildiğinde, tedarik zincirinde talep belirsizliğini yönetmek, iş birliği kurmak ve müşteri segmentasyonu yapmak, paydaşlara çeşitli avantajlar sağlayarak sürdürülebilir

başarı ve rekabet avantajı elde etmelerini destekler. Tez çalışmasında, tedarik zinciri yönetimi kapsamında sıkça karşılaşılan talep belirsizliği, heterojen müşteri segmenti ve iş birliği varsayımını içeren ağ tasarımı ve envanter rotalama problemi konularına odaklanarak, sektördeki karar vericilere geleceğe yönelik stratejik adımların belirlenmesine katkıda bulunulması amaçlanmaktadır.

Tedarik zinciri yönetiminde, ağ tasarımı problemi (*network design problem*), tedarik zinciri ağının yapılandırılmasıyla ilgili kararların alınmasını içerdiğinden büyük önem taşımaktadır. Ağ tasarımı problemi, tedarik zinciri içinde açılacak tesislerin (fabrikalar, perakendeciler, dağıtım merkezleri, toplama merkezleri, vb.) yerlerinin belirlenmesi ve bu tesisler arasında toplam maliyeti minimize etmeyi hedefleyerek (Soysal vd., 2014) müşterilerin taleplerinin karşılanmasını sağlayacak şekilde ürün akışlarının optimize edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Altıparmak vd., 2009). Ağ tasarımı probleminin önemi çeşitli yönlerden anlaşılabilir. Optimal bir tedarik zinciri ağı tasarımı, taşıma, envanter ve tesis işletme maliyetlerini minimize ederek maliyet verimliliği sağlayabilir. Ayrıca, iyi tasarlanmış bir tedarik zinciri ağı, talep, arz ve Pazar koşullarındaki değişikliklere duyarlı olup işletmelere dinamik iş ortamlarına, yeni Pazar fırsatlarına ve müşteri tercihlerindeki değişikliklere uyum sağlama esnekliği sunar. Lojistik faaliyetlerin kapsamı değerlendirildiğinde, dağıtım faaliyetine ek olarak envanter kontrolü sağlamanın da önemli olduğu görülmektedir. Bundan dolayı, araç rotalama ve envanter yönetimi kararlarının eş zamanlı verilmesinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu kararların bütünleşerek verildiği problemler literatürde envanter rotalama problemi (*inventory routing problem*, IRP) olarak tanımlanmaktadır. IRP’de tedarikçinin amacı, envanter ve dağıtımın toplam maliyetini en aza indiren ve müşterilerin taleplerini karşılamayı sağlayacak şekilde bir envanter politikası oluşturmaktır. IRP ile temel olarak 3 başlık altında yer alan sorulara cevap vermeye çalışılmaktadır (Crainic & Laporte, 2012). Başlıklara bakıldığında; müşteriye teslim edilmesi gereken ürünlerin teslimi ne zaman gerçekleşeceği, teslim edilecek ürünlerin miktarının ne kadar olacağı, ürün teslimi yapılırken kullanılacak rotaların hangileri olacağı şeklindedir. IRP maliyet verimliliğine ulaşmak, müşteri hizmetlerini geliştirmek ve dinamik tedarik zinciri koşullarına uyum sağlamak açısından son derece önemlidir. IRP için geliştirilen bir model yaklaşımı, maliyetleri optimize ederek, kaynak kullanımını artırarak, müşteri hizmet seviyelerini

yükselterek ve çevresel kaygıları ele alarak önemli katkılar sağlar. Ayrıca, bu model yaklaşımı işletmelere, karar verme süreçlerini entegre etme ve daha etkili tedarik zinciri yönetimi için gelişmiş analitiklerden faydalanma imkânı sunar.

Çalışmada üzerinde durulan ağ tasarımı problemi, talep belirsizliği varsayımı altında aralarında yatay iş birliği bulunan heterojen müşteri segmentlerini ve sonlu bir planlama ufku içeren bir yapıya sahiptir. Bu problem, ağ tasarımı açısından kritik kararları içeren bir matematiksel model ile ifade edilmiştir. Verilen kararlar, dağıtım kanalı seçimi, dağıtım planlaması, envanter, aktarma ve atama kararları şeklindedir. Çalışma kapsamında ele alınan ikinci problem olan IRP ise, talep belirsizliği varsayımı altında, aralarında iş birliği bulunan heterojen müşteri segmentlerine sahip, dağıtım kanalı seçimi, dağıtım planlaması, envanter ve aktarma kararlarını içerecek şekilde matematiksel olarak modellenmiştir. IRP'nin çözümü amacıyla üç aşamalı sezgisel bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Sezgisel çözüm yaklaşımı ile, büyük ölçekli IRP'lerin daha etkili bir şekilde çözülmesine katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

Çalışmada elde edilen bulgular, heterojen müşteri segmenti ve iş birliğinin ağ tasarımı ve envanter rotalama problemlerindeki stratejik önemini vurgulamaktadır. Çalışma, özellikle karmaşık dağıtım ağlarına sahip olan ve farklı müşteri segmentlerine hizmet sunan işletmeler için karşılıklı yararlı iş birliklerinin kurulmasının avantajlarını detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, işletmelerin sürdürülebilirlik, maliyet etkinliği ve müşteri memnuniyeti açısından daha etkili stratejiler geliştirmelerine olanak tanımaktadır.

Araştırma Tasarımı:

Bu tez çalışması, tedarik zinciri yönetimde iş birliği, heterojen müşteri segmenti ve belirsiz talep durumunda karşılaşılan ağ tasarımı ve envanter rotalama problemlerinin matematiksel olarak modellenmesi ve bu problemlerin çözümü için gerekli dağıtım planlarının oluşturulmasına odaklanmaktadır. Çalışmanın temel amacı, karmaşık operasyonel zorlukları anlamak ve işletme karar vericilerine bu konularda yardımcı olacak analitik araçlar sunmaktır. Analitik araçlar, tedarik zinciri süreçlerinin

verimliliğini artırma, maliyetleri azaltma, müşteri memnuniyetini artırma ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma konularında önemli bir rol oynamaktadır. Çalışmada ele alınan iki problem aşağıdaki şekilde kısaca tanımlanabilir:

1.Problem: Lojistik iş birliği ve heterojen müşteri segmentleri varsayımlarıyla ağ tasarımı problemi:

Bu tez çalışmasında yer alan ağ tasarımı problemi kapsamında talep belirsizliği varsayımı altında, aralarında yatay iş birliği bulunan heterojen müşteri segmentlerine ve sonlu planlama ufkuна sahip bir sistem için dağıtım kanalı seçimi, dağıtım planlaması, envanter, aktarma ve atama kararları dikkate alınmıştır. İlgili problem doğrusal tam sayılı programlama yaklaşımı ile matematiksel olarak modellenmiştir. Tedarikçi tarafından değer bazlı segmentasyona göre gruplanan müşteri segmentleri, üst düzey müşteriler, orta düzey müşteriler ve temel düzey müşteriler olarak belirlenmiştir. Üst düzey müşteriler, tedarikçi için en önemli müşteri segmentini oluşturur ve genellikle tedarikçinin gelirini büyük ölçüde etkiler. Hemen arkasından gelen orta düzey müşteriler, ikinci önemli müşteri segmentini temsil eder. Temel düzey müşteriler ise genellikle tedarikçinin müşteri tabanının en geniş segmentini oluşturur. Bu müşteri grubu, düşük miktarlarda ve düşük değerde gelir sağlayan müşterileri içerir. Üst düzey müşteriler için verilen hizmetler; müşteriye ürünü doğrudan teslim etme, envanter yönetimi kapsamında üzerinde anlaşmaya varılan bir hizmet düzeyini garanti etme ve bu hizmet düzeyi kapsamında envanter kaynaklarını yönetme şeklindedir. Tedarikçi ve üst düzey müşteri arasındaki anlaşma kapsamında, üst düzey müşterilerin konumu tedarikçi tarafından, orta düzey müşteriler için bir aktarma merkezi olarak ve temel düzey müşteriler için ürün alma noktası olarak kullanılmaktadır. Orta düzey müşteriler için; müşterilere ürünler direkt olarak depolardan gönderilebildiği gibi, üst düzey müşterilerden aktarma yolu ile de ürün gönderimi gerçekleştirilebilmektedir. Temel düzey müşteriler, ürünleri yalnızca üst düzey müşterilerden teslim alabilmektedirler. Çalışma kapsamında ele alınan ağ tasarımı probleminin amacı; müşterilere farklılaştırılmış hizmetler sunarak toplam maliyeti minimize etmek için talep noktalarına ürün akışlarını planlamaktır. Ayrıca, problem kapsamında geliştirilen matematiksel modelin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla, bir örnek olay oluşturulmuştur. Daha sonra, dağıtım sürecinde meydana gelebilecek çeşitli durumları ele almak için dört farklı senaryo oluşturulmuş ve bu senaryolar

çözümüştür. Örnek olay çözümü ve senaryo analizleri, bu problemin pratik uygulamalarını anlamak ve işletmelerin karar alma süreçlerine destek olmak amacıyla çeşitli veriler ve bilgiler elde etmeyi amaçlamaktadır.

2. Problem: Lojistik iş birliği ve heterojen müşteri segmentleri varsayımlarıyla IRP:

Tez çalışması kapsamında ele alınan ikinci problem bağlamında, talep belirsizliği varsayımı altında, aralarında iş birliği bulunan heterojen müşteri segmentlerine sahip olan bir IRP incelenmiştir. Problem, dağıtım kanalı seçimi, dağıtım planlaması, envanter ve aktarma kararları içermektedir. İlgili problem bir karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama (*mixed integer non-linear programming*, MINLP) yaklaşımı ile matematiksel olarak modellenmiştir. Daha sonra, orta ve büyük ölçekli problemlerin etkili bir şekilde çözümü için sezgisel bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çalışmada yer alan heterojen müşteri segmentleri üst düzey, orta düzey ve temel düzey müşteriler olarak sınıflandırılmıştır. Tedarikçi tarafından değer bazlı segmentasyona göre gruplanan heterojen müşteri segmentleri için farklı hizmetler sağlanmaktadır. Tedarikçi açısından en değerli müşteri grubu olan üst düzey müşteriler, tedarikçinin gelirini önemli ölçüde etkileyen müşteri segmenti olarak kabul edilmektedir. Bu müşteri kitlesi genellikle yüksek değerli alımlar yaparak, tedarikçi ile uzun vadeli ve sağlam ilişkiler kurma eğilimindedir. Orta düzey müşteriler, üst düzey müşterilerden sonra gelen ikinci önemli müşteri segmentini temsil eder. Bu müşteri segmenti, tedarikçinin orta ölçekli gelirlerini oluşturan müşterilerden oluşmaktadır. Temel düzey müşteriler ise tedarikçinin müşteri tabanının en geniş kesimini temsil eder. Bu müşteri grubu genellikle düşük miktarlarda ve düşük değerde gelir getiren müşterileri içermektedir. Tedarikçi, üst düzey müşterilere, ürünlerin doğrudan teslim edilmesi ve müşteri ile birlikte yönetilen envanter hizmetlerini sunmaktadır. Üst düzey müşterilerin envanter yönetimi, tedarikçi tarafından planlama ufkunun başında her dönem için müşterinin envanterinin ulaşacağı hedef seviyeye ve sipariş zamanına yönelik kararların belirlendiği bir statik-dinamik belirsizlik stratejiyle gerçekleştirilmektedir. Tedarikçi ve üst düzey müşteri arasındaki anlaşma kapsamında; üst düzey müşterilerin konumları, orta düzey müşterilere envanter havuzlama hizmeti sağlama ve aynı zamanda orta düzey ile temel düzey müşteriler için bir aktarma merkezi olarak hizmet verme amacıyla tedarikçi tarafından kullanılmaktadır. Tedarikçi tarafından, orta düzey müşterilere, doğrudan teslimat ve aktarma merkezi olarak hizmet veren bir üst

düzyer müşteriiden ürünü dış kaynaklı taşıyıcı yoluyla aktarma şeklinde iki ayrı dağıtım kanalından ürün teslimi hizmeti verilmektedir. Orta düzey müşterilerin envanter yönetimi, planlama ufkunun başında her dönem için sipariş zamanlarına ve sipariş miktarlarına tedarikçi tarafından karar verilen bir statik belirsizlik stratejisi yoluyla gerçekleştirilmektedir. Temel düzey müşteriler için ise, tedarikçi tarafından, ürün alma noktası olarak hizmet veren üst düzey müşterilere ürünlerin teslimi hizmeti sağlanmaktadır. Bu hizmet ile, müşteri tarafından ürünün alınması yoluyla temel düzey müşterilerin talebinin karşılanması amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında tedarikçinin amacı, her periyotta müşteri taleplerini optimal seviyede karşılayarak dağıtım, envanter ve diğer maliyetleri minimize etmektir. Problem kapsamında geliştirilen matematiksel modelin uygulanabilirliğinin gösterilebilmesi için, bir örnek olay ve farklı senaryolar oluşturulmuş ve elde edilen çözümler değerlendirilmiştir. Örnek olay çözümü ve senaryo analizleri ile, problemin pratik uygulamalarını daha iyi anlayabilmek ve işletmelerin karar alma süreçlerine katkıda bulunmak için çeşitli veriler ve bilgiler elde etmek hedeflenmektedir. Ayrıca, orta ve büyük ölçekli problemlerin çözümü için önerilen sezgisel çözüm yaklaşımının performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Tablo 1’de tez çalışması kapsamında ele alınan ağ tasarımı problemi ve envanter rotalama problemi için tedarikçi tarafından verilen farklılaştırılmış hizmetlerin heterojen müşteri segmentleri açısından özeti sunulmaktadır.

Tablo 1*Ele Alınan Problemlerdeki Hizmet Farklılaştırılması için Özet Tablo*

Tedarikçi tarafından verilen hizmetler	Ağ Tasarımı Problemi			IRP		
	HT	MT	BT	HT	MT	BT
Müşteriye doğrudan ürün teslimatı	✓	✓	-	✓	✓	-
Müşteri ile birlikte yönetilen envanter	✓	-	-	✓	✓	-
Statik-dinamik belirsizlik stratejisi (planlama ufkunun başında her dönem için müşterinin envanterinin ulaşacağı hedef seviyeye ve sipariş zamanına karar verme)	-	-	-	✓	-	-
Envanter havuzlama hizmeti sağlama	-	-	-	✓	-	-
Aktarma merkezi olarak hizmet verme	✓	-	-	✓	-	-
Aktarma merkezi olarak hizmet veren müşteriden ürünü dış kaynaklı taşıyıcı yoluyla temin etme	✓	✓	-	-	✓	-
Statik belirsizlik stratejisi (planlama ufkunun başında her dönem için sipariş zamanlarına ve sipariş miktarlarına karar verme)	✓	-	-	-	✓	-
Müşteri tarafından ürünün alınması yoluyla müşteri talebinin karşılanması (ürün alma noktası olarak hizmet veren müşteriden ürünü direkt olarak teslim alma)	-	-	✓	-	-	✓

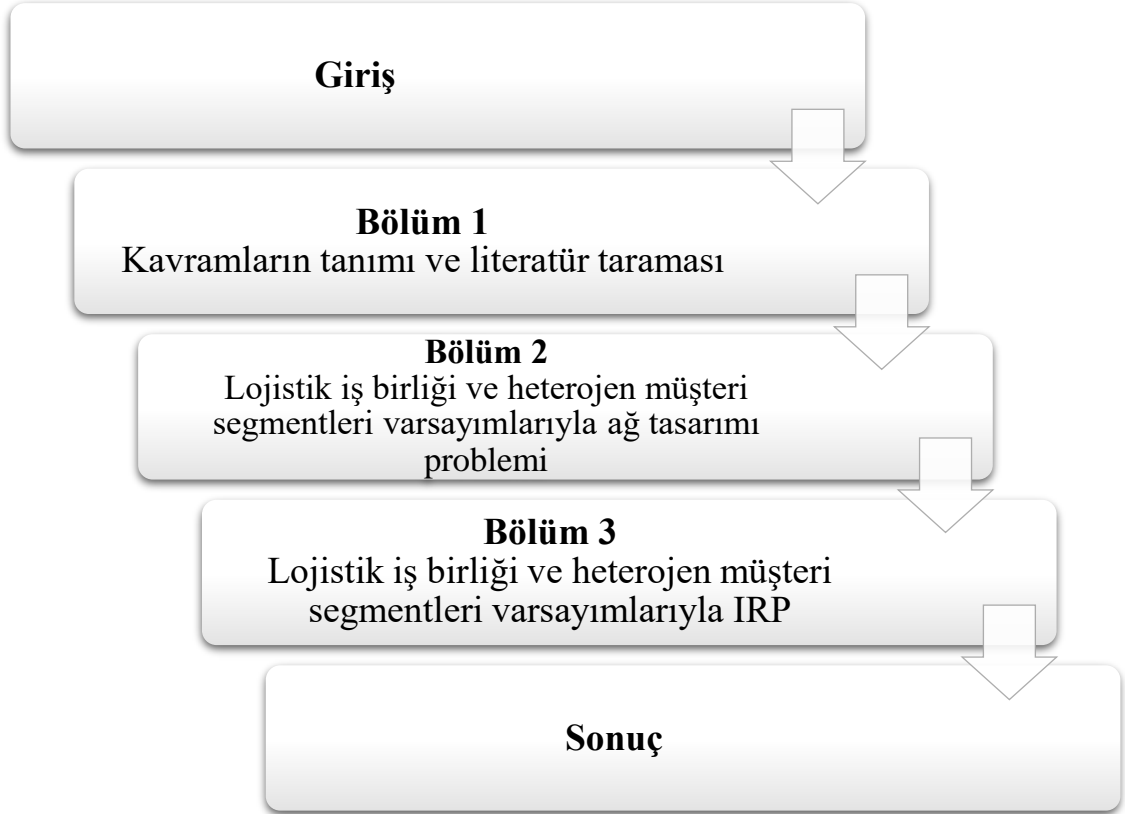
HT: Üst düzey müşteri (*high-tier customer*), MT: Orta düzey müşteri (*mid-tier customer*), BT: Temel düzey müşteri (*basic-tier customer*).

Tez Taslağı:

Çalışma tasarımı Şekil 1’de gösterilmektedir.

Şekil 1

Çalışma Tasarımı



Çalışmanın ilk bölümünde öncelikle, lojistikte iş birliği, envanter havuzlama ve müşteri segmentasyonu kavramları ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. Daha sonra, bu çalışmayı oluşturan ağ tasarımı problemi ve envanter rotalama problemine yönelik kapsamlı bir literatür taraması sunulmaktadır.

İkinci bölümde heterojen müşteri segmentleri, talep belirsizliği ve yatay iş birliği varsayımlarıyla ağ tasarımı probleminin model tanıtımı yapılmış ve problemin doğrusal tam sayılı programlama formülasyonuna yer verilmiştir. Geliştirilen matematiksel modelin sunulmasının ardından, ele alınan ağ tasarımı problemi genel amaçlı bir çözücü kullanılarak bir örnek olay ve bu örnek olaydan türetilen farklı senaryolar için çözülmüştür. Ardından, örnek olay çözümü ve senaryo çözümlerine yönelik nümerik

analizler yapılmış, modelin işlevselliği gösterilmiş ve belirlenen temel performans kriterleri üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.

Üçüncü bölümde heterojen müşteri segmentleri, talep belirsizliği ve iş birliği varsayımlarıyla IRP'nin model tanıtımı yapılmış ve problemin MINLP formülasyonuna yer verilmiştir. Geliştirilen matematiksel modelin sunulmasının ardından, envanter rotalama problemi genel amaçlı bir çözücü kullanılarak bir örnek olay ve bu örnek olaydan türetilen farklı senaryolar için çözülmüştür. Daha sonra orta/büyük ölçekli problemlerin çözümü için geliştirilen sezgisel çözüm yaklaşımının tanıtımı yapılmıştır. Geliştirilen sezgisel çözüm yaklaşımının performansı 20 örnek üzerinden değerlendirilmiştir. Son olarak elde edilen bulgular kapsamlı şekilde tartışılmıştır.

Son bölümde ise elde edilen sonuçlar, önerilen sezgisel çözüm yaklaşımının performansının değerlendirmesi ve çalışmanın kısıtları yer almaktadır.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında ele alınan problemler çerçevesinde kullanılan temel kavramların tanıtılmasının ardından, ilgili literatürün incelenmesi amaçlanmaktadır. İlk olarak, lojistikte iş birliği, envanter havuzlama ve müşteri segmentasyonu konularına dair genel bilgiler sunulmaktadır. Bu konuların öne çıkan noktaları ve bu çalışma bağlamında nasıl değerlendirileceği belirtilmektedir. Ardından, ağ tasarımı problemi ve envanter rotalama problemi için ilgili literatür detaylı bir şekilde incelenmektedir. Bu bölüm, tezin temelini oluşturan kavramları kapsamlı bir şekilde açıklamakla birlikte, aynı zamanda çalışmanın genel bağlamını vurgulayarak literatürdeki bilgiye katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

1.1. LOJİSTİKTE İŞ BİRLİĞİ

Tedarik zinciri, bir işletmede hammadde alımından başlayarak ürünün üretilmesi ve dağıtımını dahil olmak üzere son tüketiciye ulaşana kadar geçirdiği tüm aşamaları kapsayan bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Simchi-Levi vd., 2000). Tedarik zinciri genellikle tedarikçiler, nakliyeciler, üreticiler, dağıtım merkezleri, perakendeciler ve tüketicilerden oluşan karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu karmaşık yapı içinde çeşitli sistemler (tedarik, üretim, teslimat vb.), alt sistemler (talep tahmini ve tedarik planlama sistemleri, kurumsal kaynak planlama sistemi, depo yönetim sistemi, nakliye yönetim sistemi, teslimat yönetim sistemi vb.) ile operasyonlar ve faaliyetler bir arada yürütülmektedir. Bu nedenle, işletmeler için bu yapı, maksimum etkinlik ve verimlilik sağlayacak şekilde planlanmalıdır (Abdelgawad & Abdulhai, 2009).

Rekabetçi koşulların son yıllarda artması nedeniyle, tedarik zinciri operasyonlarında verimliliği artırmak daha da önemli hale gelmiştir. İşletmeler, bu hedefi gerçekleştirmek amacıyla tedarik zinciri operasyonlarını ayrı ayrı değil, bir bütün olarak ele almayı tercih

etmektedirler. Tedarik zincirini bütünsel bir perspektiften ele almanın sonucunda, iş birlikçi yapıların tedarik zincirinde artış gösterdiği gözlenmektedir (Shi vd., 2023).

Tedarik zinciri iş birliği, tedarik zincirinin iki veya daha fazla bileşeni arasında ortak kararlar almayı ve birlikte çalışmayı içeren bir yaklaşımı ifade etmektedir. Bu iş birliği sayesinde, tedarik zinciri aktörleri, ortak hareket ederek son müşterinin ihtiyaçlarını daha etkili bir şekilde karşılamayı amaçlarlar (Simatupang, & Sridharan, 2002). Tedarik zincirinde yer alan aktörlerin aralarında iş birliği kurmaları birçok fayda sağlamaktadır. Maliyetleri azaltmak, Pazar koşullarını iyileştirmek, pazardaki değişkenliği azaltmak, operasyonel ve çevresel kısıtlamalara uygun davranmak ve yeni pazarlara erişmek bu faydalardan bazıları olarak değerlendirilebilir (Basso vd., 2019). Tedarik zincirindeki iş birlikçi yapılara bakıldığında, bu yapıların genellikle dikey iş birliği ve yatay iş birliği şeklinde olduğu görülmektedir (Simatupang, & Sridharan, 2002). Dikey iş birliği, tedarik zincirinin farklı seviyelerinde bulunan tedarikçiler, üreticiler, dağıtım merkezleri ve müşteriler gibi paydaşlar arasında gerçekleştirilen iş birliği türü olarak tanımlanmaktadır (Schulz & Blecken, 2010). Yatay iş birliği ise, tedarik zincirinin aynı seviyelerinde bulunan tedarikçiler, üreticiler, perakendeciler, dağıtım merkezleri ve müşteriler gibi paydaşlar arasında iş birliği olarak açıklanmaktadır. Yatay iş birliğinde pazarda aynı seviyede yer alan potansiyel rakipler bulunduğu için kazan-kazan şeklinde hareket edilerek iş birliğinin yapılması amaçlanmaktadır (Gou vd., 2014). Bu iki iş birliği türüne ek olarak yatay iş birliğinin bir çeşidi olan yanal aktarmaya çalışmalarda sıkça rastlanmaktadır. Yanal aktarmada da yatay iş birliğindeki gibi stoklar tedarik zincirinde yatay olarak, yani aynı kademe seviyesindeki konumlar arasında taşınır (Nonas & Jörnsten, 2005). Özellikle ürünlerin ikmal sürelerinin (*replenishment time*) uzun olduğu ve depoların birbirine yakın olduğu durumlarda yanal aktarmanın faydalı olduğunu görülmektedir (Pan vd., 2015). Örneğin, depolar arasında yanal aktarmalara izin verilmesinin, müşteri memnuniyetini artırdığı ve maliyetlerde iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir (Ekren & Arslan, 2020).

Dikey iş birliği, tedarik zincirinde bulunan tedarikçiler, üreticiler, lojistik hizmet sağlayıcıları ve perakendeciler gibi aktörlerin, benzer hedef müşterilere daha etkili hizmet sunmak amacıyla sorumluluklarını, kaynaklarını ve performans bilgilerini paylaştığı bir

iş birliği modelidir (Xu, 2013). Tedarik zincirinde başarılı bir dikey iş birliği için, çeşitli ön koşulların titizlikle sağlanması gerekmektedir. Bu koşullar; (i) mali koşullar, (ii) ilişki özellikleri, (iii) strateji uyumu, (iv) etkili müzakereler ve (v) hesap yönetimi şeklindedir (Renko, 2011). Mali koşulların uygunluğu, iş birliği yapan taraflar arasındaki maliyetleri azaltmayı ve ortak kârlılığını artırmayı içerir. İlişki özellikleri; kişisel ilişkilerin kurulması, karşılıklı güvenin tesis edilmesi, karşılıklı bağımlılık ve bağlılık unsurları, iş birliği ortamının sağlam bir temel üzerine inşa edilmesini sağlar. Stratejilerin uyumluluğu, iş birliği yapan taraflar arasında hedeflerin ve stratejilerin ortaklaşa geliştirilmesi, uzun vadeli bir vizyonun oluşturulmasına katkı sağlar. Etkili müzakereler, müzakere sürecinin verimli bir şekilde yönetilmesi ve tarafların aktif katılımı, adil ve karşılıklı tatmin sağlayan anlaşmaların ortaya çıkmasına yardımcı olur. Hesap yönetiminin kalitesi, hesap yöneticilerinin ilgili gerçekleri ve rakamları etkin bir şekilde kullanmaları, şirketlerinin performansını anlamalarına ve iyileştirmeler yapmalarına olanak tanır. Bu koşulları sağlayan bir dikey iş birliği, tedarik zincirinin farklı aşamalarında faaliyet gösteren paydaşlar arasında karşılıklı avantajlar sağlanmasına yardımcı olmaktadır (Verdonck, 2017).

Tedarikçi güdümünde envanter (*vendor managed inventory-VMI*) sistemleri tedarikçi ve müşteriler arasındaki iş birliği yapılarından biri olarak kabul edilmektedir. VMI yaklaşımı tedarikçinin mal ve hizmet sunumu gerçekleştirdiği müşterilerde bulunan envanteri yönetme görevini üstlendiği bir dikey iş birliği girişimi olarak tanımlanmaktadır (Soysal vd., 2015). VMI sistemi içinde tedarikçi, gelişmiş veri toplama sistemleri kullanarak müşterilerin envanter kontrolünü gerçekleştirir ve müşterinin envanter seviyelerini gözden geçirerek, envanterin yenilenme miktarı ve zamanlaması gibi kararları alır (Çetinkaya & Lee, 2000). VMI, ilk olarak 1980'lerin sonlarında perakende sektöründe faaliyet gösteren firmalar tarafından kullanılmıştır (Waller vd., 1999). Daha sonra otomotiv, kimya, paketleme, ahşap/mobilya endüstrileri gibi birçok farklı sektörde faaliyet göstermekte olan firmalar tarafından da uygulanmıştır (Kauremaa vd., 2009). VMI, genellikle tedarikçiler ve müşteriler açısından bir kazan-kazan durumu olarak tanımlanmaktadır. VMI sistemi, her müşterinin stok seviyelerini etkin bir şekilde izleyip yöneterek, tedarikçinin müşterilerin yenileme kararlarını beklemeksizin proaktif bir yaklaşım benimsemesine olanak tanımaktadır. Tedarikçiler, müşterilerin ürünü yeniden

sipariş etmesini beklemeden yenileme kararını vererek teslimatları daha iyi koordine ederler ve farklı müşterilerin teslimatlarını birleştirebildikleri için dağıtım maliyetinden tasarruf ederler (Coelho vd., 2012a; Soysal vd., 2023). Müşteriler ise kısıtlı kaynaklarını envanter kontrolüne ayırmadan diğer süreçlere odaklanırlar ve aşırı envanterden ve ortaya çıkan envanter maliyetlerinden korunurlar. Ayrıca VMI yaklaşımında; müşteriden tedarikçiye aktarılan talep bilgisinin bozulması en aza indirilir ve kamçı etkisi önlenir, stoksuz kalma durumları daha az görülür ve envanter bulundurma maliyetleri azalır, piyasa değişikliklerine daha iyi yanıt verilebilir, üretimde ve dağıtımda daha fazla esneklik sağlanabilir (Darwish & Odah, 2010). Ek olarak, literatürde, VMI sistemlerinin kullanılmasının sağladığı faydalar, örnek vaka çalışmalarıyla da desteklenmektedir (bkz. Simchi-Levi vd., 2000; Sarpola, 2008; Irungu & Wanjaw, 2011; Radzuan vd., 2012). Bu çalışmalar, VMI'nın tedarik zinciri verimliliğini artırmada önemli bir araç olduğunu göstermektedir.

1980'lerin sonlarından itibaren VMI sistemini uygulayan Wal-Mart, bu stratejiyi başarıyla benimseyen öncü bir kuruluş olarak öne çıkmaktadır. Wal-Mart'a ürün sağlayan tedarikçiler, Wal-Mart'ın depolarında saklanan kendi envanterlerini yönetme sorumluluğunu üstlenirler. Gelişmiş veri alma sistemleriyle desteklenen bir VMI sistemi ile tedarikçiler, Wal-Mart'ın verilerine erişerek gerçek zamanlı stok seviyelerini ve satışları takip edebilirler. Bu şekilde tedarikçiler ürünlerde ne kadar stok bulunduğunu ve belirli ürünlerin nasıl satıldığını izlerler. Elde ettikleri bilgilere dayanarak Wal-Mart'a ne zaman ve ne kadar envanter göndermeleri gerektiğini görebilir ve stoklarını etkin bir şekilde yönetebilirler. Bu basitleştirilmiş VMI sistemi, stokların yenilenmesinde gecikmenin önlenmesini ve stokların azalmasını sağlar. Aynı zamanda, Wal-Mart bu VMI sistemi aracılığıyla envanter kontrolü faaliyetlerinin bir kısmını tedarikçilere devrederek zaman kazanır ve şirket içinde başka görevlere odaklanabilir. Tedarikçi ve perakendeci arasında kurulan iş birliği sayesinde daha etkili bir envanter yönetimi ve daha iyi bir stok seviyesi sağlayarak hem tedarikçilerin hem de Wal-Mart'ın iş süreçlerini iyileştirir (Lin, 2019).

Yatay iş birliği, tedarik zincirinin aynı seviyesinde hizmet veren aktörlerin birbirleri ile iş birliği kurması şeklinde tanımlanmaktadır. Örneğin, tedarik zincirinde yer alan iki

tedarikçi arasında kurulan iş birliği yatay iş birliği olarak değerlendirilmektedir (Soysal vd., 2018). Yatay iş birliği, tedarik zinciri açısından bir dizi avantaj sunmaktadır. İlk olarak, nakliye maliyetlerinde düşüş sağlamaktadır. Ortak hareket eden tedarik zinciri elemanları, mal ve hizmetleri daha verimli bir şekilde taşıyarak maliyetleri minimize etmektedirler. Ayrıca, yatay iş birliği, karlılığın artmasına katkıda bulunmaktadır. Stok seviyelerinin ve envanter maliyetlerinin azalması, tedarik zinciri içinde daha etkili bir kaynak yönetimini mümkün kılmaktadır. Diğer bir avantaj, yatay iş birliğine bağlı olarak müşteri memnuniyetinin artmasıdır. Yatay iş birliği, zincirdeki elemanlar arasındaki iletişimi güçlendirir ve taleplerin daha hızlı ve doğru bir şekilde karşılanmasına olanak tanır (Crujssen vd., 2007).

1.2. ENVANTER HAVUZLAMA

Varlıkların kullanılmadığı veya üretilen ürünlerin satılmadığı veya âtil durumda bırakıldığı durumlara stok adı verilmektedir. Başka bir ifadeyle stok, bir işletmenin parayı nakit olarak tutmak yerine stoklara yatırım yapması ve parasını stoklara bağlaması durumunu ifade etmektedir. Yüksek miktarda tutulan stoklar, daha yüksek faiz ve depolama maliyetleri oluşturur. Düşük miktarda tutulan stoklar ise üretim programının sık sık kesintiye uğramasına, kapasitenin yetersiz kullanılmasına ve satışların düşmesine neden olabilir. Bu nedenle stok değerinin optimum seviyede tutulması önemlidir (Deveshwar & Dhawal, 2013; Jacobs & Chase, 2018).

Envanter, birçok endüstride ve tedarik zincirinde önemli bir maliyet unsuru olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle envanterin doğru şekilde planlaması ve yönetilmesi gerekmektedir. Etkili envanter yönetiminin hedefi, müşteri hizmet gereksinimlerini karşılamak için doğru miktarda envanteri doğru yerde ve doğru zamanda bulundurarak sistem maliyetlerini minimize etmektir. Yanlış envanter miktarı veya uygun olmayan bir şekilde azaltılan stok seviyeleri, açıkça müşteri hizmetlerine zarar verebilir (Simchi-Levi vd., 2000).

Küreselleşen dünyada, tedarik zincirinin giderek karmaşık bir yapı kazanması, işletmelerin karşılaştığı riskleri ve belirsizlikleri artırmaktadır. Bu nedenle, tedarik zincirinin işleyişini ve performansını yakından takip etmek, işletmeler için daha da

önemli hale gelmektedir. Tedarik zincirindeki değişkenliği yönetmek için kullanılan en etkili araçlardan biri, risk havuzu kavramıdır. Risk havuzu kavramı, farklı konumlardaki taleplerin bir araya getirilmesi durumunda talep değişkenliğinin azalacağını öne sürer. Farklı konumlardan gelen taleplerin birleştirilmesi, bir müşteriden gelen yüksek talebin diğerinden gelen düşük taleple dengelemesini daha olası hale getirir. Bu değişkenlikteki azalma, güvenlik stokunun azaltılmasına ve bu nedenle ortalama envanterin düşürülmesine olanak tanır. Söz konusu yaklaşım, tedarik zincirinin daha etkili ve verimli bir şekilde yönetilmesini sağlar (Simchi-Levi vd., 2000). Envanter havuzu oluşturma, risk havuzlama kavramının envanter yönetiminde bir uygulamasıdır. Eppen (1979) tarafından gerçekleştirilen çalışma, envanter havuzlama kavramının başlangıç noktası olarak kabul görmektedir. Envanter havuzlama yaklaşımı, ürünlerin birçok farklı yerde stoklanması yerine, merkezi bir konumda envanterin toplanmasını içerir. Envanter havuzlama, tedarikçilerin, tüm envanteri merkezi bir depoda saklayarak ve ihtiyaç duyulduğunda farklı konumlara sevk ederek birden çok pazara hizmet vermesine olanak tanır (Xue vd., 2022).

Envanter havuzlama, tedarik zincirinde bulunan paydaşlar için bir dizi fayda sağlamaktadır. Tedarikçiler, müşterilerin envanterini merkezi bir envanter havuzunda toplayarak tutmaları gereken toplam envanter miktarını azaltabilir ve böylece depolama, elleçleme ve nakliye maliyetlerinden tasarruf edebilirler (Aouam vd., 2021). Envanter havuzlama ile müşterilerin stoksuzluk ve fazla envanter riski tedarikçi tarafından azaltılabilir. Buna bağlı olarak, müşterilere sunulan ürünlerin bulunabilirliğini ve çeşitliliğini artırabilir, teslim süreleri ve teslimat maliyetlerini azaltılabilirler (Kurata, 2014). Ayrıca, ürün bulunabilirliği sayesinde işletmeler pazardaki konumlarını ve müşteri sadakatini geliştirebilir ve aynı envanter kaynaklarına erişimi olmayan rakiplerine karşı avantaj elde edebilirler. Envanter havuzu oluşturma, özellikle piyasa talepleri negatif korelasyonlu olduğunda, talep belirsizliğini azaltabilir. Talep belirsizliğinin azalması ile güvenlik stoklarının seviyesi azaltılabilir bu da envanterin elde bulundurma maliyetinin azalmasını sağlar. Bu sayede firma arz talep dengesini daha kolay ve etkin yönetebilmekte, bu da karlılığın artmasına olanak sağlamaktadır (Eppen, 1979). Envanter havuzunun, envanter tutma maliyetleri, güvenlik stokları ve üretim/depo kapasiteleri gibi unsurlar değerlendirilerek verimli bir şekilde oluşturulması; siparişler arasındaki

değişkenliğin azaltılmasına, envanter maliyetinin düşürülmesine ve tedarik zincirinde önemli tasarruflar sağlanmasına olanak tanımaktadır (Chopra & Meindl 2001).

Uygulamada genellikle konum havuzu oluşturmanın yaygın bir şekilde kullanıldığı gözlemlenmektedir. Konum havuzu oluşturma, ayrı coğrafi pazarlardan gelen talepleri havuzlama anlamına gelmektedir. İki farklı fiziksel lokasyondaki mağazalardan gelen envanteri birleştirmek konum havuzu oluşturmaya örnek gösterilebilir (Swinney, 2012).

1.3. MÜŞTERİ SEGMENTASYONU

Günümüz pazarları ve piyasa koşullarında, işletmelerin farklı müşteri portföylerine hizmet vermeleri ve bu müşterilerin beklentilerini karşılamaları giderek zorlaşmaktadır. Çünkü farklı özelliklere, ihtiyaçlara ve isteklere sahip birçok müşteri portföyüne hizmet etmek, işletmelerin bütün müşterileri için ortak olan tek bir dağıtım planı veya stratejisi ile mümkün değildir. Bu nedenle, işletmelerin bu zorluklarla başa çıkması ve farklı müşteri gruplarının beklentilerini karşılaması için Pazar bölümlendirme ve müşteri segmentasyonu yaklaşımları yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Aghdaie vd., 2014). Pazar bölümlendirme stratejisi, benzer özelliklere, ihtiyaçlara ve beklentilere sahip müşterilerin gruplanmasını hedefler. Bu gruplandırma ile işletme, kendi amaçlarına uygun hedef pazarları seçer (McDonald, 2012). Pazar bölümlendirme stratejisinin sonucunda, farklı hizmet seviyeleri sunulabilen müşteri portföyleri oluşturulur ve müşteri segmentasyonu yapılır. Müşteri segmentasyonu, müşteri gruplarını özelliklerine göre daha küçük alt gruplara ayırarak, müşterilerin istek ve ihtiyaçlarına daha iyi yanıt veren mal ve hizmetler sunmayı amaçlar (Hwang vd., 2004). Aynı zamanda müşteri segmentasyonu, farklı müşteri türlerini tanımlayarak, müşterilere daha iyi hizmet sunmak ve özelleştirilmiş pazarlama stratejileri geliştirmeyi kolaylaştırır (Tsipstis & Chorianopoulos, 2011). Bu farklılaştırılmış pazarlama stratejileri, her bir müşteri segmenti için uygulanır. Müşteri segmentasyonu, işletmelerin sınırlı kaynaklarını daha karlı müşteri gruplarına yönlendirmelerine yardımcı olur (Bošnjak & Grljevic, 2011).

Tedarikçiler tarafından benimsenen müşteri segmentasyonu, iş başarısını belirgin bir şekilde artıracak çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bu yaklaşım, tedarikçilere mal ve

hizmetlerini farklı müşteri gruplarının özel ihtiyaçlarına daha iyi uyarlamalarına olanak tanır. Müşterilere özel teklifler sunulması, bireysel ihtiyaçlara ve tercihlere daha uygun çözümler sağladığı için müşteri memnuniyeti ve sadakatının artmasına katkıda bulunabilir. Tedarikçiler, ödeme isteği ve algılanan değer gibi faktörleri göz önüne alarak farklı müşteri segmentleri için özel fiyatlandırma stratejileri belirleyebilirler. Özel fiyatlandırma stratejileri ile mal ve hizmetlerin her segment için doğru fiyatlandırılmasını sağlayarak satışların ve kârlılığın artmasına olanak tanır. Müşteri segmentasyonu, tedarikçilere kaynaklarını stratejik olarak önemli olan segmentlere yönlendirme konusunda yardımcı olur, böylece maliyet tasarrufu ve yatırım getirisinin artmasına katkı sağlar. Ayrıca, tedarikçiler müşteri segmentlerine göre talep modellerine uygun olarak stok seviyelerini optimize edebilirler. Stok seviyelerinin optimize edilmesi, envanter devir hızının ve maliyet yönetiminin iyileşmesine katkıda bulunarak stok eksikliği ve fazlalığı riskini azaltır. Müşteri segmentasyonu, tedarikçilere pazarda kendilerini öne çıkararak rekabet avantajı sağlama fırsatı sunar. Özel çözümler sunma ve müşteri taleplerine daha etkili bir şekilde yanıt verme, Pazar payının artmasına ve sektörde daha güçlü bir konum elde etmeye katkı sağlar. Genel olarak, müşteri segmentasyonu, tedarikçilere daha odaklı ve etkili stratejiler geliştirme imkânı tanıyarak müşteri memnuniyeti, kârlılık ve genel rekabet gücünün artmasına katkı sağlar (Szulce & Sosnowska, 2010; Müller vd., 2018; Sun & Ming, 2021).

Tüketici pazarlarında müşteri segmentasyonu için kullanılacak çeşitli kriterler bulunmaktadır. Bu kriterler, Tsiptsis & Chorianopoulos (2011) tarafından altı ana kategori altında sınıflandırılmıştır. Bu altı ana kategori, değer bazlı, davranışsal, yatkınlık temelli, sadakat bazlı, sosyo-demografik ve ihtiyaç/tutum temelli kriterleri içerir. Bu kriterler, işletmelerin müşteri tabanını daha iyi anlamalarına yardımcı olur ve çeşitli müşteri gruplarını daha etkili bir şekilde tanımlamalarına olanak tanır. Bu sayede işletmeler, pazarlama, ürün geliştirme ve müşteri ilişkileri yönetimi stratejilerini her bir müşteri segmentine daha iyi uyumlu hale getirerek, müşteri memnuniyetini artırmanın yanı sıra pazarlama bütçesini daha etkili bir şekilde kullanma ve Pazar payını artırma fırsatı bulabilirler. Müşteri segmentasyonu, işletmelere rekabetçi pazarlarda daha başarılı olmaları için önemli bir araç sağlar.

Değer bazlı segmentasyonda, müşteri değeri farklı hesaplama yaklaşımları kullanılarak hesaplanır ve buna göre müşteriler gruplara ayrılır. Bu segmentasyon yaklaşımında amaç, gelir ve maliyetlere ilişkin girdileri kullanarak her müşterinin değerinin periyodik olarak hesaplanması ve müşterilerin değere göre bölünmesidir. Değer bazlı segmentasyon, veri madenciliği modelleri gerektirmeyen basit hesaplamalar kullanılarak geliştirilebilir. Örneğin altın, gümüş ve bronz şeklinde belirli değer segmentleri tanımlandıktan sonra müşteriler, en yüksek değere sahip müşterilerin ilk %20'si altın, ikinci en yüksek değere sahip müşterilerin %30'u gümüş ve en düşük değere sahip müşterilerin %50'si bronz şeklinde gruplanabilir. Bu yaklaşım, işletmelerin müşterilerini değerlerine göre daha iyi anlamalarına ve pazarlama stratejilerini özelleştirmelerine yardımcı olur. Müşteri değerine dayalı olarak segmentasyon, işletmelerin en değerli müşterilere odaklanmalarını ve müşteri memnuniyetini artırmalarını sağlar.

Davranışsal segmentasyonda segmentler, genellikle işletmenin veri tabanında bulunan müşteri davranışı ve kullanım verileri üzerinde uygun kümeleme modellerinin uygulanmasıyla elde edilmektedir. Müşteriler belirlenen bu davranış ve kullanım modellerine göre gruplanırlar. Davranışsal segmentasyonda, ürün sahipliği ve kullanımı, işlemlerin hacmi, türü ve sıklığı, ödeme geçmişi ve gelir geçmişi gibi müşteri davranışlarına dayalı özellikler kullanılır. Bu yaklaşım, işletmelerin müşterilerini belirli davranışlarına ve kullanımına göre daha iyi anlamalarına ve pazarlama stratejilerini bu bilgilere dayalı olarak özelleştirmelerine yardımcı olur. Müşteri davranışlarına dayalı olarak segmentasyon, işletmelere daha etkili ve hedeflenmiş pazarlama iletişimi geliştirme fırsatı sunar.

Yatkınlık temelli segmentasyonda, müşteriler, ilgili sınıflandırma modelleri tarafından tahmin edilen yatkınlık puanlarına göre gruplandırılırlar. Örneğin, yatkınlık temelli segmentasyonda müşteriler, bir sınıflandırma modelinin sonuçlarına göre düşük, orta ve yüksek ayrılma riskine sahip müşteriler olarak gruplara ayrılabilir. Bu yaklaşım, işletmelerin müşterilerinin belirli davranışlarını, özellikle ayrılma veya sadakat davranışlarını tahmin etmelerine yardımcı olur. Bu bilgilere dayalı olarak işletmeler, ayrılma riski taşıyan müşterilere odaklanabilir ve onları tutmak veya geri kazanmak için özel stratejiler geliştirebilir.

Sadakat bazlı segmentasyon, müşterilerin sadakat durumlarının araştırılması ve bu sadakate dayalı segmentlerin tanımlanmasını içerir. Bu segmentasyon yaklaşımı, müşterilerin belirli kullanım davranışları ve müşteri özellikleri ile ilişkilendirilen farklı sadakat seviyelerini incelemeyi amaçlar. Genellikle işletmeler, sadakat segmentlerini belirlemek için Pazar araştırması yaparlar ve bu araştırma sonuçlarına dayalı olarak bir sınıflandırma modeli oluştururlar. Sadakat bazlı segmentasyon, işletmelerin müşteri sadakatini artırmak ve müşteri ilişkilerini sürdürülebilir bir şekilde yönetmek için önemli bir araçtır.

Sosyo-demografik segmentasyon, müşterileri demografik özelliklerine göre gruplandırma yöntemidir. Bu segmentasyon yaklaşımı, müşterilerin cinsiyet, ırk, sosyal durum, yaş, gelir, eğitim, medeni durum, meslek gibi demografik özelliklerine dayalı olarak farklı müşteri gruplarını tanımlar. Sosyo-demografik segmentasyon, demografik faktörlerin müşterilerin ihtiyaçları, tercihleri ve tüketim/kullanım davranışları üzerinde güçlü bir etkisi olduğu düşünüldüğü için yaygın olarak kullanılan bir segmentasyon yöntemidir. Bu yaklaşım, işletmelere belirli demografik özelliklere sahip müşterilere odaklanma ve onlara özel pazarlama stratejileri geliştirme fırsatı sunar.

İhtiyaç/tutum temelli segmentasyon, genellikle pazar araştırması verilerine dayanır ve müşteri segmentlerini şirketin hizmetlerine ve ürünlerine ilişkin ihtiyaçları, istekleri, tutumları, tercihleri ve algılarına göre tanımlar. Bu yaklaşım, müşterilerin belirli ihtiyaçlarına ve tutumlarına odaklanarak farklı segmentler oluşturmayı amaçlar.

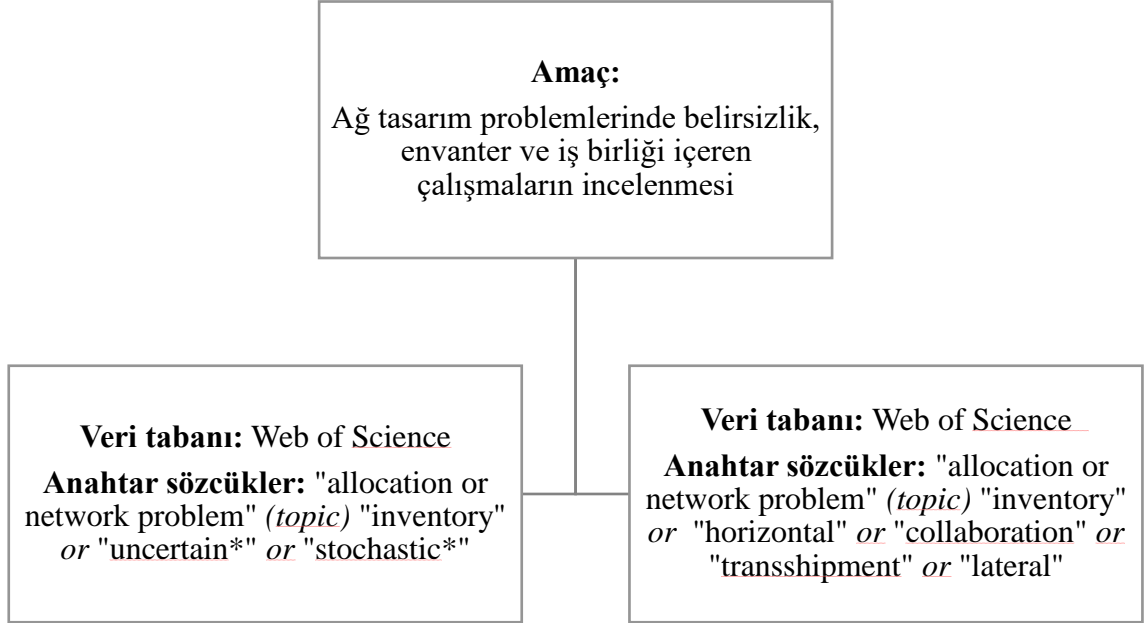
1.4. AĞ TASARIMI PROBLEMİ ÜZERİNE LİTERATÜR TARAMASI

Yapılan ilgili literatür taraması için, Şekil 2’de gösterilen araştırma süreci izlenmektedir. Literatür taraması kapsamında ilk olarak “ağ tasarımı” anahtar sözcüğü kullanılarak bulunan çalışmalardan belirsizlik ve envanter kavramlarını içeren çalışmalar ele alınmaktadır. Daha sonra yine aynı anahtar sözcük ile yapılan taramada envanter ve iş birliği kavramlarını içeren çalışmalar ele alınmaktadır. Yapılan literatür taraması için veri tabanı olarak “Web of Science” platformu kullanılmaktadır. Bu platformda öncelikli olarak tarama, “ağ tasarımı problemi (*allocation problem/network problem*)” anahtar

sözcüğü ile “konu (*topic*)” esaslı olarak yapılmıştır. Tarama sonucunda bu alandaki çalışmalar “envanter (*inventory*)”, “belirsiz/belirsizlik (*uncertain**)” ve “rastgele/rastgelelik (*stochastic**)” sözcükleri ile filtrelenmiştir. Daha sonra ağ tasarımı problemi “envanter (*inventory*)”, “yatay (*horizontal*)”, “iş birliği (*collaboration*)”, “aktarma (*transshipment*)” ve “yanal (*lateral*)” sözcükleri ile ayrı ayrı olacak şekilde de filtrelenmiştir. Filtreleme sonucunda Kasım 2023 tarihi itibarıyla 101 adet çalışmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmaların değerlendirilmesinden sonra ele alınan probleme benzer unsurlar içeren 43 adet makale, Tablo 2’de detaylı şekilde özetlenmiştir.

Şekil 2

Ağ Tasarımı Problemi için Literatür İncelemesinin Sınıflandırılması



Tablo 2*Ağ Tasarımı Probleminde Belirsizlik ve İş Birliği İçeren Çalışmalar*

#	Çalışmalar	Problem tipi	Verilen karar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Yatay iş birliği
1	Swaminathan & Srinivasan (1999)	AP	I, A	SP	Bölüntüleme algoritması (Partitioning algorithm)	Talep	-
2	Papadopoulos & Vidalis (2001)	AP	I	SP	Sezgisel algoritma	Hizmet süresi	-
3	Dai vd. (2005)	AP	I, A	MP	Oyun teorisi algoritması	Talep	-
4	Han & Damrongwongsiri (2005)	SCP	I, A	MP	Genetik algoritma	Talep	-
5	Topaloglu & Kunnumkal (2006)	IAP	I, L, A	DP	(1) Lagrangian gevşetmesi (2) Benders ayrıştırma algoritması	Getiri	-
6	Tanonkou vd. (2008)	LOP	I, L	NLIP	Lagrangian gevşetmesi	Talep	-
7	Dong & Song (2009)	Yeniden konumlandırma problemi	I, L, Rep	MP	(1) Genetik algoritma (2) Evrim stratejisi	Talep	-
8	Ghezavati vd. (2009)	NDP	I, L, As	NLIP	Robust genetik algoritma	Talep	-
9	Gebennini vd. (2009)	LAP	I, L, A, T, P	MIP	Genel amaçlı çözücü (CPLEX)	Talep	-
10	Paksoy vd. (2010)	NDP	I, T, P	FMP	Genel amaçlı çözücü (LINDO)	(1) Talep (2) Çeşitli maliyetler	-

#	Çalışmalar	Problem tipi	Verilen karar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Yatay iş birliği
11	Han vd. (2011)	PAP	I, A, P	SDP	Yinelemeli algoritma (Iterative algorithm)	Talep	-
12	Zhou vd. (2011)	SS-AP	I, A, S	SDP	(1) Polinom algoritması (2) Sezgisel algoritma	Talep	-
13	Han vd. (2012)	Getiri yönetimi problemi	I, A	SDP	Arama algoritması	Talep	-
14	Esfandiari & Seifbarghy (2013)	AP	I, A	NLIP	(1) Genetik algoritma (2) Benzetilmiş tavlama algoritması	Talep	-
15	Li (2013)	NDP	I, L, S	NLIP	Lagrangian gevşetmesi	Talep	-
16	Klosterhalfen vd. (2014)	Filo yönetimi problemi	I, A	MILP	Genel amaçlı çözücü (CPLEX)	(1) Talep (2) Seyahat süresi	-
17	Lv vd. (2014)	AP	I, A	MILP	Dağınmık arama yöntemi algoritması (Scatter search algorithm)	(1) Talep (2) Getiri	-
18	Pasandideh vd. (2015)	SCP	I, L, P, T	MINLP	(1) Baskın olmayan sıralamalı genetik algoritma (Non-dominated sorting genetic algorithm- NSGA-II) (2) Baskın olmayan derecelendirmeli genetik algoritma (Non-dominated ranking genetic algorithm- NRGGA)	(1) Talep (2) Sabit ve değişken maliyetler (3) Kurulum ve üretim süresi	-
19	Ramezani vd. (2015)	NDP	I, L, A, T	MO-MINLP	Robust optimizasyon	(1) Talep (2) Getiri oranı	-
20	Natarajan & Swaminathan (2017)	IAP	I, A	SDP	İlk gelen ilk servis yöntemi (First-come-first-serve)	(1) Talep (2) Fonlama zamanlaması (3) Taksit tutarları	-

#	Çalışmalar	Problem tipi	Verilen karar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Yatay iş birliği
21	Battarra vd. (2018)	IAP	I, A	MP	Genel amaçlı çözücü (CPLEX)	Deprem büyüklüğü	-
23	Patne vd. (2018)	LAP	I, L, A	MP	Parçacık sürü optimizasyonu	Talep	-
24	Tikani vd. (2018)	LOP	I, L, A	TS-SP	Genetik algoritma	Talep	-
25	Alavidoost vd. (2018)	SCP	I, L, S	MINLP	Genetik algoritma	(1) Talep (2) Tedarik süresi (3) Çeşitli maliyetler	-
26	Lin & Wang (2018)	LOP	I, L	MILP	(1) Genetik algoritma (2) Türev methodu (Gradient method)	Talep	-
27	Memari vd. (2018)	NDP	I, T	MILP	Parçacık sürü optimizasyonu	(1) Talep (2) Arz	-
28	Fakhrzad & Goodarzian (2019)	SCP	I, L, T	MO-MILP	Yayılmacı rekabetçi algoritma (Imperialist competitive algorithm- ICA)	(1) Nakliye maliyetleri (2) İade oranları (3) Tesis kapasitesi (4) İşlem ve kurulum süresi (5) Diğer	-
29	Mousavi vd. (2019)	ILAP	I, L, A	MINLP	(1) Değiştirilmiş genetik algoritma (2) Parçacık sürü optimizasyonu	Talep	-
30	Jackson vd. (2019)	AP	I, A	DP	Robust optimizasyon	Talep	-
31	Kim vd. (2019)	SS-AP	I, A, S	ILP	Dal ve dondur algoritması (Branch-freeze algorithm)	Talep	-
32	Bayram vd. (2019)	AP	I, A	MIP	Genel amaçlı çözücü (CPLEX)	(1) Talep (2) Üretim süresi	-

#	Çalışmalar	Problem tipi	Verilen karar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Yatay iş birliği
33	Aghalari vd. (2020)	Liman yönetimi problemi	I, A	TS-MILP	(1) Benders ayrıştırma algoritması (2) Örneklem ortalama yakınsaması	(1) Su yolu koşulları	-
34	Guo vd. (2020)	Konumlandırma problemi	I, L, A	SP	Sezgisel algoritma	Talep	-
35	Rezaei vd. (2021)	ILAP	I, L, A, T	MINLP	(1) E-kısıt methodu (2) Grasshopper optimizasyon algoritması	Talep	-
36	Hemmati & Pasandideh (2021)	LAP	I, L, A, T, S	MINLP	(1) LP-metrik tekniği (2) Çoktan seçmeli hedef programlama (3) Genetik algoritma	(1) Talep (2) Elde bulundurma ve eksiklik maliyeti oranı (3) Sabit maliyet	-
37	Zheng vd. (2021)	IAP	I, A, LT, Re	TS-SMIP	Benders ayrıştırma algoritması	Talep	✓
38	Alamdari & Savard (2021)	IAP	I, A	Analitik	Eylem oluşturma algoritması (Action Generation-Agen algorithm)	Talep	-
39	Manupati vd. (2021)	LAP	I, L, T	MILP	Baskın olmayan sıralamalı genetik algoritma (Non-dominated sorting genetic algorithm- NSGA-II)	(1) Talep (2) Taşıma maliyeti	-
40	Taghavi vd. (2022)	(1) SS-AP (2) VRP	I, A, T, S, R	MISLP	Genel amaçlı çözücü (GAMS)	(1) Kalan kapasite oranı (2) Araçların ve rotaların aksamaması	-
41	Maji vd. (2022)	PIP	I, P	CCP	Baskın olmayan sıralamalı genetik algoritma (Non-dominated sorting genetic algorithm- NSGA-II)	Arıza olasılığı	-

#	Çalışmalar	Problem tipi	Verilen karar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Yatay iş birliği
42	Ehsani vd. (2023)	ILAP	I, L, A, T	MIMP	LP-metrik tekniği	(1) Arz (2) Talep (3) Envanter maliyeti (4) Dağıtım maliyeti	-
43	Daneshvar vd. (2023)	NDP	I, T, As	MINLP	(1) Genetik algoritma (2) Balina optimizasyon algoritması (3) Aritmetik optimizasyon algoritması	Talep	-
44	Bu çalışma	NDP	I, A, T, LT, As	ILP	Genel amaçlı çözücü (CPLEX)	Talep	✓

I: Envanter, L: Lokasyon, A: Tahsis, As: Atama, S: Seçim, T: Taşıma, R: Rotalama, P: Üretim, LT: Aktarma, , Re: Yenileme, Rep: Yeniden konumlandırma, NDP: Ağ tasarımı problemi, IAP: Envanter tahsis problemi, AP: Tahsis problemi, LAP: Yer seçimi tahsis problemi, LOP: Yer seçimi problemi, ILAP: Envanter yer seçimi tahsis problemi, SS-AP: Tedarikçi seçimi ve tahsis problemi, PAP: Üretim tahsis problemi, PIP: Üretim envanter problemi, SCP: Tedarik zinciri problemi, VRP: Araç rotalama problemi, NLIP: Doğrusal olmayan tam sayılı programlama modeli, DP: Dinamik programlama modeli, SP: Stokastik programlama modeli, SDP: Stokastik dinamik programlama modeli, MP: Matematiksel programlama, MILP: Karma tam sayılı doğrusal programlama modeli, MINLP: Karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli, MIP: Karma tam sayılı programlama modeli, TS-SP: İki aşamalı stokastik programlama modeli, TS-MILP: İki aşamalı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli, ILP: tam sayılı doğrusal programlama modeli, MIMP: Karma tam sayılı matematiksel programlama modeli, MISLP: Karma tam sayılı stokastik doğrusal programlama modeli, CCP: Şans kısıtlı programlama modeli, MO-MILP: Çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli, TS-SMIP: İki aşamalı stokastik karma tam sayılı programlama modeli, LP: Doğrusal programlama modeli, MO-MINLP: Çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli, FMP: Bulanık matematiksel programlama, ML: Maksimum seviye.

Tablo 2, çalışmalardaki problem tipi, modelde verilen temel kararlar, model yaklaşımı, çözüm yöntemi, belirsizliğin hangi parametre veya parametrelerde olduğu ve yatay iş birliği yapılıp yapılmadığı açılarından değerlendirmeler içermektedir.

Tablo 2'ye bakıldığında, ağ tasarımı anahtar sözcüğü ile ulaşılan çalışmalarda farklı problem tiplerinin yer aldığı söylenebilir. En çok yer alan problem tipinin “tahsis problemi” ve tahsis problemine çeşitli kararların entegre edilmesi ile ortaya çıkan problemlerin olduğu görülmektedir.

İncelenen çalışmalarda kullanılan model yaklaşımlarının da farklılık gösterdiği görülmektedir. Çalışmalarda en çok kullanılan model yaklaşımı MINLP yaklaşımıdır. Diğer model yaklaşımları ise, matematiksel programlama, karma tam sayılı doğrusal programlama (*mixed integer linear programming*, MILP), stokastik programlama, karma tam sayılı programlama, doğrusal olmayan tam sayılı programlama, dinamik programlama ve stokastik dinamik programlama gibi çeşitli yaklaşımlar şeklindedir.

Ağ tasarımı ve tahsis problemleri genel olarak NP-zor sınıfta yer alan problemlerdir (Syarif vd., 2002). Bu tip problemlerde çözüme genel amaçlı çözümler ve standart çözüm yöntemleri kullanarak erişmek zordur. NP-zor sınıfta yer alan problemler için çoğunlukla sezgisel çözüm yaklaşımlarının kullanıldığı görülmektedir. Örneğin; Gebennini vd. (2009), Paksoy vd. (2010) ve Klosterhalfen vd. (2014) çalışmalarında genel amaçlı çözümler kullanmışlardır. Diğer çalışmalarda ise çeşitli sezgisel çözüm yaklaşımlarının uygulandığı görülmektedir.

Çalışmalara bakıldığında, belirsiz parametre olarak genellikle talebin ele alındığı görülmektedir. Talebin belirsiz olarak ele alındığı bazı çalışmalarda, talebe ek olarak başka parametrelerde de belirsizlik bulunmaktadır. Örneğin; Hemmati & Pasandideh (2021), Manupati vd. (2021) ve Ehsani vd. (2023), çalışmaları talebe ek olarak çeşitli maliyet parametrelerini (elde bulundurma maliyeti, sabit maliyet, taşıma maliyeti gibi) belirsiz olarak ele almaktadırlar. Çalışmalar incelendiğinde talepten farklı parametrelerin de belirsiz olduğu görülmektedir. Papadopoulos & Vidalis (2001) hizmet süresini, Topaloglu & Kunnumkal (2006) getiriyi, Battarra vd. (2018) deprem büyüklüğünü,

Aghalari vd. (2020) su yolu koşullarını ve Maji vd, (2022) arıza olasılığını belirsiz parametreler olarak çalışmalarına dâhil etmişlerdir.

İncelenen literatürde yalnızca Zheng vd. (2021), çalışmasında iş birliği unsurlarının yer aldığı görülmektedir. Bu çalışmada ilaç sektöründe envanter tahsisi probleminde klinikler arası yanal aktarma yoluyla yatay iş birliği ele alınmaktadır. Çalışmada, dağıtım merkezleri tarafından stok fazlası olan kliniklerden stoksuz kalma durumu ile karşı karşıya kalan (veya karşılaşılabilecek olan) kliniklere ürün aktarımı yapılmaktadır. Yanal aktarma yapılması ile kliniklerin stoksuz kalmaya karşı korunduğu ve talep belirsizliği etkisinin azaltıldığı görülmektedir.

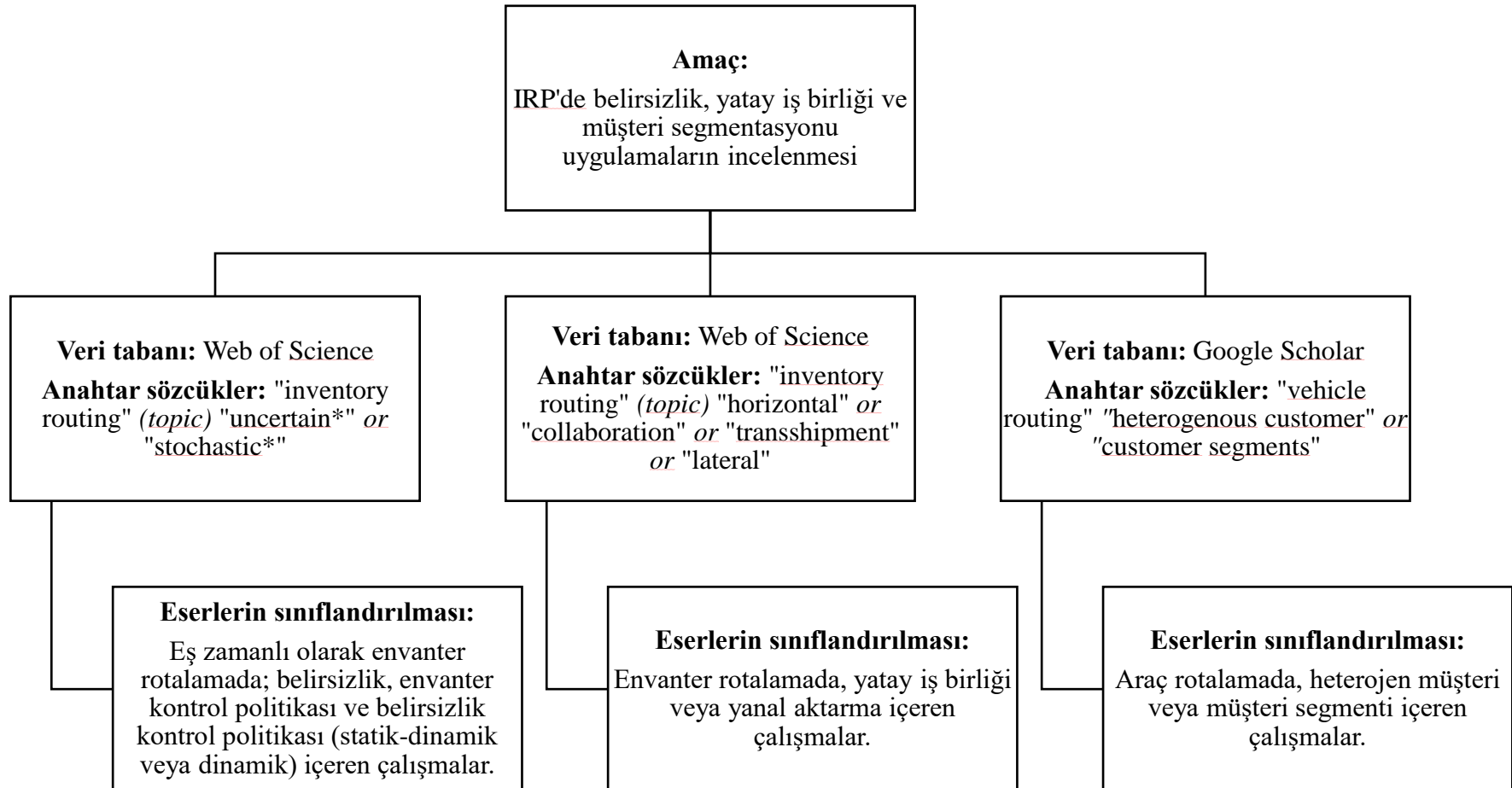
Çalışmanın bu bölümünde yer alan ağ tasarımı probleminde, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak talep belirsizliğinin ve heterojen müşteri segmentlerinin bulunduğu buna ek olarak, müşteriler arasında yatay iş birliği yapılan durum incelenmektedir. Literatürde ağ tasarımı problemi kapsamında erişilebilen çalışmaların hiçbirinde heterojen müşteri segmenti ve bu müşteri segmentlerine farklılaştırılmış hizmet sunulmasının bulunmadığı görülmüştür. İlgili bölümde bulunan çalışmada yatay iş birliğinin tedarik zincirinde ağ tasarımı üzerindeki faydasının değerlendirilmesinin yanı sıra farklılaştırılmış hizmet yoluyla müşteri segmentasyonunun da faydaları ortaya konulmaktadır.

1.5. ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ ÜZERİNE LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında yapılan ilgili literatür taraması için, Şekil 3'te yer alan araştırma süreci kullanılmaktadır ve IRP literatürü belirsizlik, yatay iş birliği ve müşteri segmenti olmak üzere üç farklı başlık altında incelenmektedir. Çalışmalara Kasım 2023 tarihi itibarıyla erişim sağlanmıştır.

Şekil 3

IRP için Literatür İncelemesinin Sınıflandırılması



1.5.1. Belirsizlik ve Envanter Kontrol Politikası İçeren IRP Çalışmaları

İlgili literatürün incelenmesi kapsamında ilk olarak, “envanter rotalama” anahtar sözcüğü kullanılarak belirsizlik içeren çalışmalara erişmek hedeflenmektedir. Bu çalışmalar tez konusu kapsamında oluşturulan model yaklaşımı temel alınarak incelenmektedir. Çalışmaların sınıflandırılmasında esas alınan nokta, herhangi bir envanter kontrol politikası içerip içermediği ve bu kontrol politikasına bağlı olarak bir belirsizlik kontrol stratejisinin bulunup bulunmadığı şeklindedir. Bu tez çalışmasında yapılan ilgili literatür taraması için veri tabanı olarak “Web of Science” veri tabanı kullanılmaktadır. Bu platformda öncelikli olarak tarama, “envanter rotalama (*inventory routing*)” anahtar sözcüğü ile “konu (*topic*)” esaslı olarak yapılmıştır. Tarama sonucunda bu alandaki çalışmalar “belirsiz/belirsizlik (*uncertain**)” ve “rastgele/rastgelelik (*stochastic**)” sözcükleri ile filtrelenmiştir. Filtreleme sonucunda Tablo 3’te, belirsizlik içeren ve envanter kararı verilirken belirli bir envanter kontrol politikasının kullanıldığı ve statik-dinamik belirsizlik kontrol politikası veya dinamik belirsizlik kontrol politikasına sahip çalışmalar gösterilmektedir.

Tablo 3*Belirsizlik ve Envanter Kontrol Politikası İçeren IRP Çalışmaları*

#	Çalışmalar	Problem tipi	Dağıtım yapısı	Verilen Karar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Envanter politikası	Envanter kontrol politikası	Belirsizlik kontrol stratejisi	Yatay iş birliği
1	Giesen vd. (2005)	IRP	Birden-çoğa	I, R	MIP	Genel amaçlı çözücü (CPLEX)	Talep	Kayıp satış	(s, S)	Dinamik	-
2	Franco vd. (2012)	DNP	Birden-çoğa	I, R	SP	Genel amaçlı çözücü (Xpress-MP)	Talep	Stok aşımı	OU	Statik-dinamik	-
3	Bertazzi vd. (2013)	SIRP	Birden-çoğa	I, R	DP	Hibrit yerleştirme algoritması (Hybrid rollout algorithm)	Talep	Stok aşımı	OU	Statik-dinamik	-
4	Jemai vd. (2013)	IRP	Birden-çoğa	I, R, LT	Analitik	Sezgisel algoritma	Talep	Stok aşımı	(R, s, S)	Statik-dinamik	✓
5	Coelho vd. (2014a)	IRP	Birden-çoğa	I, R, LT	MILP	Uyarlanabilir geniş komşu araması algoritması	Talep	Stok aşımı	(1) OU (2) ML (3) (s, S) (4) (R, s, S)	Statik-dinamik	✓
6	Bertazzi vd. (2015)	SIRP	Birden-çoğa	I, R	MILP	Mat-sezgisel algoritma	Talep	Stok aşımı	OU	Statik-dinamik	-
7	Roldan vd. (2016)	DSIRP	Birden-çoğa	I, R	Analitik	Sezgisel algoritma	Talep	Sabit	(s, S)	Dinamik	-
8	Li vd. (2016)	IRP	Birden-çoğa	I, R	Analitik	DP	Talep	Geri dönen	OU	Statik-dinamik	-

#	Çalışmalar	Problem tipi	Dağıtım yapısı	Verilen Karar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Envanter politikası	Envanter kontrol politikası	Belirsizlik kontrol stratejisi	Yatay iş birliği
9	Kazemi vd. (2017)	IRP	Birden-çoğa	I, R	MILP	Yinelemeli dal sınır algoritması	(1) Talep (2) Taze kan miktarı (3) Elde bulundurma maliyeti (4) Atık maliyeti	Sabit	OU	Statik-dinamik	-
10	Taube & Minner (2018)	JRP	Birden-çoğa	I, R, Re	MILP	(1) Hiyerarşik ayrıştırma algoritması (2) Genetik algoritma	Talep	Kayıp satış	OU	Statik-dinamik	-
11	Kahraman & Aydemir (2020)	IRP	Birden-çoğa	I, R	MILP	Genel amaçlı çözücü	Talep	Sabit	(1) OU (2) ML	Statik-dinamik	-
12	Salari vd. (2022)	LIRP	Çoktan-çoğa	L, I, R	MI-BOMP	Grasshopper optimizasyon algoritması	Talep	Kayıp satış	(R, s, S)	Statik-dinamik	-
13	Li vd. (2023)	SIRP	Birden-çoğa	I, R	MILP	Tabu arama algoritması	Talep	Geri dönen	OU	Statik-dinamik	-
14	Sonntag vd. (2023)	SIRP	Birden-çoğa	I, R	SMINLP	Dal-sınır algoritması (Branch-price-and-cut algorithm)	Talep	Geri dönen	OU	Statik-dinamik	-
15	Bu çalışma	IRP	Birden-çoğa	I, R	MINLP	Sezgisel algoritma	Talep	Kayıp satış	OU	Statik-dinamik	✓

R: Rotalama ve taşıma, I: Envanter, LT: Aktarma, L: Lokasyon, Re: Yenileme, IRP: Envanter rotalama problemi, LIRP: Tesis yeri seçimli envanter rotalama problemi, SIRP: Stokastik envanter rotalama problemi, DSIRP: Dinamik ve stokastik envanter rotalama problemi, DNP: Dağıtım ağı problemi, JRP: Ortak yenileme problemi, MIP: Karma tam sayılı programlama modeli, MILP: Karma tam sayılı doğrusal programlama modeli, MINLP: Karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli, SMINLP: Stokastik karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli, SP: Stokastik programlama modeli, MI-BOMP: Karışık tam sayılı iki amaçlı matematiksel programlama modeli, DP: Dinamik programlama, ML: Maksimum seviye, OU: Envanterin ulaşacağı seviye.

Tablo 3, incelenen her makaledeki problem tipi, dağıtım yapısı, modelde verilen kararlar, model yaklaşımı, çözüm yöntemi, belirsizliğin hangi parametre veya parametrelerde olduğu, modelde kullanılan envanter politikası, envanter kontrol politikası, envanter kontrol politikasının belirsizliği bakımından hangi kontrol stratejisinin kullanıldığı ve yatay iş birliği yapılıp yapılmadığı açılarından değerlendirmesine ait bilgiler içermektedir.

Tablo 3 incelendiğinde, 6 farklı problem tipinde çalışmanın literatürde yer aldığı görülmektedir. En çok kullanılan problem tipi IRP tipidir. IRP'den farklı olarak tesis konumu, envanter kontrolü ve araç rotalama kararlarının entegre olarak verildiği “tesis yeri seçimli envanter rotalama problemi”, lojistik ağlarda dağıtım kararlarını içeren “dağıtım ağı problemi”, “stokastik envanter rotalama problemi”, “dinamik-stokastik envanter rotalama problemi” ve “ortak yenileme problemi” problem tipi olarak kullanılmıştır.

Tablo 3'te yer alan dağıtım yapısı ve envanter politikası yaklaşımlarının sınıflandırılması için Andersson vd. (2010) tarafından yapılan çalışmadaki sınıflandırma yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu çalışmada dağıtım yapılarının üç farklı şekilde sınıflandırıldığı görülmektedir. İlk dağıtım yapısı, tek tedarikçinin tek müşteriye hizmet verdiği bire-bir dağıtım yapısıdır. İkinci dağıtım yapısı, IRP literatüründe en çok kullanılan yapı olan birden-çoğa dağıtım yapısıdır (Soysal vd., 2019). Bu dağıtımda tek tedarikçi birden fazla müşteriye aynı anda hizmet vermektedir. Son olarak çoktan-çoğa dağıtım yapısında ise araçların harekete başlayacakları ve bunu sonlandıracakları tek bir düğüm yoktur. Araçlar, herhangi bir düğümden başlayarak birden çok müşteriye hizmet verirler ve herhangi bir depoda hareketlerini sonlandırırlar. Çoktan-çoğa dağıtım yapısı genellikle denizcilikte kullanılır. Tablo 3'te yer alan Salari vd. (2022) çalışması dışında, tüm çalışmalarda birden-çoğa dağıtım yapısı görülmektedir.

İncelenen çalışmalarda yer alan problemlerde kullanılan model yaklaşımlarının da değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Çalışmalarda en çok kullanılan model yaklaşımı MILP yaklaşımıdır. Diğer model yaklaşımları ise, karma tam sayılı programlama,

stokastik programlama, karma tam sayılı iki amaçlı matematiksel programlama ve dinamik programlama şeklindedir.

IRP ve IRP'nin çeşitli varyantlarından oluşan problemler, genellikle NP-zor sınıfta yer almaktadır. Bu problemlerde çözüme, standart çözüm yöntemleri kullanarak ulaşmak oldukça zor olmaktadır. Bu sebeple NP-zor problemler sınıfında yer alan problemler için genellikle kısa sürede daha iyi sonuçlar veren sezgisel çözüm yaklaşımları kullanılmaktadır. Giesen vd. (2005), Franco vd. (2012) ve Kahraman & Aydemir (2020) çalışmaları dışında diğer tüm çalışmalarda çeşitli sezgisel yaklaşımların kullanıldığı görülmektedir.

İncelenen çalışmaların tamamında belirsiz parametre olarak talebin kullanıldığı görülmektedir. Kazemi vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada belirsiz talebe ek olarak, çeşitli maliyet parametrelerinin de belirsiz olduğu görülmektedir. 35ort . (2016) ve Salari vd. (2022) çalışmalarında talep belirsizliği, talep değerlerinin bağımsız ve normal dağılmış olduğunu varsayımı ile ele alınmaktadır. Bundan farklı olarak Franco vd. (2005) çalışmasında Poisson dağılım yaklaşımı kullanılmaktadır.

Envanter politikası alternatiflerinde ana karar, envanter seviyesinin sıfırın altına inmesine izin verilip verilmeyeceğidir. Eğer envanter seviyesinin, sıfırın altına düşmesine izin verilmiyorsa bu durum sabit (*fixed*) envanter politikası olarak adlandırılmaktadır. Gelen talebi karşılayacak yeterli stok bulunmadığı durumlarda daha sonra yapılacak acil bir teslimat ile durum dengelenebiliyorsa buna stok aşımı (*stock-out*) adı verilmektedir. Talep karşılanmadığında direkt olarak satış kaybediliyorsa bu duruma satış kaybı (*lost sale*) denilmektedir. Son olarak talep ertelenerek daha sonraki periyotlarda karşılanması planlanıyorsa bu geri dönen (*back-order*) envanter politikası olarak tanımlanmaktadır (Andersson vd., 2010). Tablo 3'te ele alınan çalışmalara bakıldığında farklı envanter politika alternatiflerinin kullanıldığı görülmektedir.

Envanter kontrol politikasında; envanter durumunun ne sıklıkla gözden geçirileceği, siparişin ne zaman verileceği ve sipariş miktarının ne olması gerektiği soruları cevaplanmaktadır (Silver, 1981). Çalışmalarda envanter kontrol politikası bakımından 4

ayrı kontrol politikası yer almaktadır. Maksimum seviye (*maximum level*) politikasında, tedarikçi perakendecinin kapasitesini aşmayacak şekilde ne kadar miktarı teslim edeceğine kendisi karar vermektedir. (De Vos & Raa, 2018). Envanterin ulaşacağı seviye (*order-up-to level*) politikası kapsamında ise, tedarikçi perakendecilerin envanter kapasitesini bilmektedir ve envanteri bu seviyeye ulaştıracak miktarı perakendeciye teslim eder. Coelho vd. (2014a) ve Kahraman & Aydemir (2020) çalışmalarında Maksimum seviye ve envantere ulaşacağı seviye politikaları birlikte kullanılmıştır. (s, S) envanter kontrol politikasında, s yeniden sipariş noktasıdır ve S sipariş düzeyidir. Yaygın olarak (Min, Max) adıyla kullanılır. Stok seviyesinin sürekli izlendiği varsayılır ve envanter minimum değer altına düşer düşmez maksimum değer ve minimum değer arasındaki miktar kadar (S) sipariş verilir. (R, s, S) envanter kontrol politikasında, envanter düzeyi yalnızca planlama ufkunun başlangıcında sabitlenen politika parametreleri olan gözden geçirme dönemlerinde (R) kontrol edilir. Kontrolten sonra, envanter düzeyi belirlenen yeniden sipariş verme noktasında (s) veya altında ise envanter seviyesini S'ye çıkarmak için bir sipariş verilmektedir.

Bookbinder ve Tan (1988) tarafından yapılan çalışmada, taleplerin belirsizliği ile başa çıkmak için farklı belirsizlik kontrol stratejileri ele alınmaktadır (Soysal, 2016). Bu stratejiler; statik belirsizlik stratejisi, statik-dinamik belirsizlik stratejisi ve dinamik belirsizlik stratejisi olarak adlandırılmaktadır. Stratejilerin arasındaki temel fark sipariş yenileme zamanları ve sipariş yenileme büyüklükleri şeklindedir. Statik belirsizlik stratejisinde ne zaman ve ne kadar miktarda sipariş verileceği önceden bilinmektedir. Statik-dinamik belirsizlik stratejisinde, siparişlerin zamanlaması önceden bilinmemekte fakat sipariş büyüklüklerine her dönemin başında dinamik olarak karar verilmektedir. Dinamik belirsizlik stratejisinde ise, bir siparişin verilip verilmemesine ve büyüklüğüne her dönemin başında karar verilmesi gerekmektedir. Ek olarak belirsizlik kontrol stratejileri sistem sinirliliği durumu ile ilişkilendirilmektedir. Özellikle sipariş zamanlaması ve sipariş miktarlarının sürekli olarak değişmesi belirsizliğin artmasına neden olmaktadır. Sistem sinirliliği, üretim sisteminin içinde var olan belirsizliğin sonucudur ve envanter kontrol politikaları için önemli bir performans ölçütü olarak kabul edilmektedir (De Kok & Inderfurth, 1997). Tunç vd., (2013) tarafından yapılan çalışmada sistem sinirliliği, beklenen maliyetler ele alınarak belirsizlik kontrol stratejileri açısından

değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonucunda, statik-dinamik belirsizlik stratejisinin, statik belirsizlik stratejisinden envanterlerin koordine edilmesi yönünde önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiği sonucu gözlemlenmiştir. Envanter kontrol politikaları, Ma vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada belirsizlik stratejileri ile ilişkilendirilmiş ve gruplandırılmıştır. Tablo 3'te bu çalışmada uygulanan sınıflandırma yaklaşımına göre belirsizlik kontrol stratejileri değerlendirilmiştir. Tez kapsamında kullanılan stratejiler, statik-dinamik belirsizlik ve dinamik belirsizlik stratejisi olduğundan statik belirsizlik stratejisi içeren çalışmalar Tablo 3'te ele alınmamıştır. OU ve (R, s, S) envanter kontrol politikalarında siparişlerin zamanı bilinmektedir fakat sipariş miktarına siparişin verildiği anda karar verilir. Bu nedenle bu iki politika, statik-dinamik belirsizlik stratejisi kapsamında değerlendirilmiştir. (s, S) envanter kontrol politikası ise, siparişin ne zaman verileceğine ve sipariş miktarına siparişin verildiği anda karar verilir. Bu politika dinamik belirsizlik kapsamındadır (Ma vd., 2019).

Tablo 3'te yer alan çalışmalarda yalnızca Jemai vd. (2013) ve Coelho vd. (2014a) çalışmasında, yatay iş birliğinin kullanıldığı görülmektedir. Jemai vd. (2013) çalışmasında, müşterilerin stoksuz kalma riskinin azaltılması için tedarikçiler arası aktarma yapılmaktadır. Aktarma seçeneğinin kullanılması, kat edilen toplam mesafenin azalmasını sağladığından toplam maliyetin de azalmasını sağlamaktadır. Coelho vd. (2014a) tarafından yapılan çalışmada ise, müşterilerde yaşanan bir stoksuz kalma durumunda bir müşteriden diğer müşteriye aktarma yapılmaktadır. Çalışmada, aktarma için dış kaynaklı taşıyıcılar kullanılmaktadır. 4 farklı envanter kontrol politikası ve aktarmanın kullanılmasının etkileri analiz edilmiştir.

1.5.2. Yatay İş Birliği İçeren IRP Çalışmaları

İlgili literatür taraması kapsamında ikinci olarak; çalışmaların belirsizlik unsurunu içermesine bakılmaksızın, IRP içeren çalışmaların yatay iş birliği, aktarma ve yanal aktarma unsurları ile filtrelenmesi sonucu elde edilen çalışmalar incelenmektedir.

“Web of Science” veri tabanında öncelikli olarak tarama “envanter rotalama (*inventory routing*)” anahtar sözcüğü ile “konu (*topic*)” esaslı olarak yapılmıştır. Tarama sonucunda

bu alandaki çalışmalar “yatay (*horizontal*)”, “iş birliği (*collaboration*)”, “aktarma (*transshipment*)” ve “yanal (*lateral*)” sözcükleri ile ayrı olacak şekilde filtrelenmiştir. Filtreleme sonucu elde edilen çalışmalarda yalnızca problem tipi olarak IRP’yi ele alan ve yatay iş birliği, aktarma ve yanal aktarma içeren çalışmalar incelemeye dahil edilmiştir.

Yatay iş birliği içeren çalışmalar sınıflandırılırken Tablo 3’te kullanılan yaklaşıma benzer şekilde bir inceleme yapılmıştır. Tablo 4 incelenen çalışmaların; dağıtım yapısı, modelde verilen kararlar, model yaklaşımı, çözüm yöntemi, varsa belirsizliğin hangi parametre veya parametrelerde olduğu, modelde kullanılan envanter politikası, envanter kontrol politikası, yapılan aktarmanın tipi, aktarmanın kimler arasında yapıldığı ve aktarma yapılırken dış kaynak kullanılıp kullanılmadığı açılarından değerlendirmesine ait bilgiler içermektedir.

Tablo 4*Yatay İş Birliği ve Yanal Aktarma İçeren IRP Çalışmaları*

#	Çalışmalar	Dağıtım yapısı	Verilen karar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Envanter politikası	Envanter kontrol politikası	Aktarma tipi	Aktarma kimler arasında	Dış kaynak	Diğer
1	Coelho vd. (2012b)	Birden-çoğa	I, R, LT	MIP	Uyarlanabilir geniş komşu araması algoritması	-	Sabit	(1) ML (2) OU	Reaktif	Müşteri- müşteri	✓	
2	Rabbani vd. (2013)	Birden-çoğa	I, R, LT	MILP	(1) Genetik algoritma (2) Parçacık sürü optimizasyonu	-	Kayıp satış	Genel	Reaktif	Müşteri- müşteri	✓	
3	Mirzapour Al-e-Hashem & Rekik (2014)	Birden-çoğa	I, R, LT	MIP	Dal-sınır algoritması	-	Stok aşımı	Genel	Reaktif	Tedarikçi-tedarikçi	✓	Yeşil
4	Peres vd. (2017)	Birden-çoğa	I, R	MIP	Rastgele değişken komşuluk iniş algoritması (Randomized variable neighborhood descent)	-	Sabit	Genel	Proaktif	Perakendeci-perakendeci	✓	
5	Azadeh vd. (2017)	Birden-çoğa	I, R, LT	MIP	Genetik algoritma	-	Sabit	ML	Reaktif	Müşteri- müşteri	✓	Bozulabilirlik
6	Fattahi vd. (2017)	Birden-çoğa	I, R, LT	BO-MIP	(1) Baskın olmayan sıralamalı genetik algoritma	Talep	Sabit	ML	Reaktif	Müşteri- müşteri	✓	Bozulabilirlik

#	Çalışmalar	Dağıtım yapısı	Verilen karar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Envanter politikası	Envanter kontrol politikası	Aktarma tipi	Aktarma kimler arasında	Dış kaynak	Diğer
					(Non-dominated sorting genetic algorithm- NSGA-II) (2) Baskın olmayan derecelendirmeli genetik algoritma (Non-dominated ranking genetic algorithm- NPGA)							
7	Rahbari vd. (2018)	Çoktan-bire	I, R, LT	MILP	Benzetilmiş tavlama algoritması	-	Sabit	Genel	Reaktif	Tedarikçi-tedarikçi	✓	Yeşil
8	Jafarkhan & Yaghoubi (2018)	Birden-çoğa	I, R, LT	LP	Sezgisel algoritma	(1) Talep (2) Arz	Stok aşımı	Genel	Reaktif	Müşteri- müşteri	-	İkame
9	Soysal vd. (2018)	Birden-çoğa	I, R, LT	CCP	Genel amaçlı çözücü (CPLEX)	Talep	Stok aşımı	Genel	Reaktif	Tedarikçi-tedarikçi	-	(1) Yeşil (2) Bozulabilirlik
10	Roostaei & Abadi (2018)	Birden-çoğa	I, R, LT, P	MIP	Uyarlanabilir geniş komşu araması algoritması	-	Kayıp satış	Genel	Reaktif	Perakendeci-perakendeci	✓	
11	Lefever vd. (2018)	Birden-çoğa	I, R, LT	MIP	Dal-sınır algoritması	-	Sabit	ML	Reaktif	Perakendeci-perakendeci	✓	
12	Timajchi vd. (2019)	Birden-çoğa	I, R, LT	MIP	Genetik algoritma	-	(1) Geri dönen (2) Kayıp satış	Genel	Reaktif	Perakendeci-perakendeci	-	Tehlikeli madde
13	Mirzapour Al-e-Hashem	Çoktan-bire	I, R, LT	MIP	L- Şekil methodu	Talep	(1) Geri dönen	Genel	Reaktif	Tedarikçi-tedarikçi	-	Yeşil

#	Çalışmalar	Dağıtım yapısı	Verilen karar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Envanter politikası	Envanter kontrol politikası	Aktarma tipi	Aktarma kimler arasında	Dış kaynak	Diğer
	vd. (2019)						(2) Kayıp satış					
14	Fardi vd. (2019)	Birden-çoğa	I, R, LT	MIP	Karınca kolonisi algoritması	Talep	Geri dönen	Genel	Reaktif	Tedarikçi-tedarikçi	-	
15	De Vos vd. (2019)	Birden-çoğa	I, R, LT	Analitik	Meta-sezgisel algoritma	-	Sabit	Genel	Reaktif	Tedarikçi-tedarikçi	✓	
16	Liu vd. (2021)	Birden-çoğa	I, R, LT	MIP	Sezgisel algoritma	Talep	Stok aşımı	Genel	Reaktif	Müşteri- müşteri	-	Bozulabilirlik
17	Achamrah vd. (2022a)	Birden-çoğa	I, R, LT	MILP	Genetik algoritma	Talep	Kayıp satış	ML	Reaktif	Müşteri- müşteri	-	İkame
18	Achamrah vd. (2022b)	Birden-çoğa	I, R, LT	MILP	Örnek ortalama yaklaşım (Sample average approximation)	Talep	Kayıp satış	ML	Reaktif	Tedarikçi-tedarikçi	-	İkame
19	Achamrah vd. (2022c)	Birden-çoğa	I, R, LT	MILP	(1) Genetik algoritma (2) Benzetilmiş tavlama algoritması	-	Kayıp satış	Genel	Reaktif	Müşteri- müşteri	-	
20	Fattahi & Tanhatab (2022)	Birden-çoğa	I, R, LT, P	CCP	Lagrange gevşetmesi	Talep	Sabit	ML	Reaktif	Müşteri- müşteri	-	Bozulabilirlik
21	Neves-Moreira vd. (2022)	Birden-çoğa	I, R, LT	SP	Dal-sınır algoritması	Talep	Stok aşımı	ML	Reaktif	Perakendeci-perakendeci	-	
22	Esmaili vd. (2023)	Birden-çoğa	I, R, L, LT	BO-MILP	Sezgisel algoritma (Subtoure cut generation)	-	Sabit	Genel	Reaktif	Tedarikçi-tedarikçi	-	

#	Çalışmalar	Dağıtım yapısı	Verilen karar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Envanter politikası	Envanter kontrol politikası	Aktarma tipi	Aktarma kimler arasında	Dış kaynak	Diğer
23	Song vd. (2023)	Birden-çoğa	I, R, LT	MIP	Uyarlanabilir geniş komşu araması algoritması	Talep	Stok aşımı	ML	Reaktif	Müşteri- müşteri	✓	
24	Bu çalışma	Birden-çoğa	I, R, LT	MINLP	Sezgisel algoritma	Talep	Kayıp satış	OU	Reaktif	Müşteri- müşteri	✓	Segmentasyon

R: Rotalama ve taşıma, I: Envanter, LT: Aktarma, P: Üretim, MILP: Karma tam sayılı doğrusal programlama modeli, MIP: Karma tam sayılı programlama modeli, MINLP: Karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli, BO-MIP: İki amaçlı karışık tam sayılı programlama modeli, BO-MILP: İki amaçlı karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli, SP: Stokastik programlama modeli, LP: Doğrusal programlama modeli, CCP: Şans kısıtlı programlama modeli, ML: Maksimum seviye, OU: Envanterin ulaşacağı seviye

Achamrah vd. (2021) çalışmasında problem tipi olarak dinamik ve stokastik IRP; diğer tüm çalışmalarda ise problem tipi olarak IRP kullanılmaktadır. Çalışmaların dağıtım yapılarına bakıldığında; Rahbari vd. (2018) ve Al-e-Hashem vd. (2019) çalışmalarında, birden fazla tedarikçi ile tek müşteriye aynı anda hizmet verilen çoktan-bire yapısının kullanıldığı görülmektedir. Diğer çalışmaların tamamında birden-çoğa dağıtım yapısı mevcuttur. Model yaklaşımlarına bakıldığında, ağırlıklı olarak MIP ve MILP model yaklaşımlarının kullanıldığı görülmektedir. Çözüm yöntemi olarak sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalar sıklıkla kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda talep belirsizliğinin ele alındığı görülmektedir (örneğin Fattahi vd. (2017), Soysal vd. (2018), Fardi vd. (2019) vb.). Jafarkhan & Yaghoubi, (2018) çalışmasında ise hem arz hem talep belirsizliği yer almaktadır. Çalışmalarda farklı envanter politika alternatiflerinin kullanıldığı görülmektedir. Envanter kontrol politikası olarak genel yaklaşım, ML ve OU politikaları benimsenmiştir. Genel yaklaşımda, belirli bir envanter kontrol politikası benimsenmeden envanter kararı kapasite sınırları içinde belirlenir. Çalışmalar belirsizlik kontrol stratejileri bakımından değerlendirildiğinde; Coelho vd. (2012b) çalışması dışında tüm çalışmalarda ne zaman ve ne kadar miktarda sipariş verileceği önceden bilindiğinden çalışmalar statik belirsizlik stratejisi kapsamında yer almaktadır. Coelho vd. (2012b) çalışması ise OU envanter kontrol politikasını da içerdiğinden statik-dinamik belirsizlik stratejisi kapsamında değerlendirilmiştir.

Yanal aktarmalar; önceden belirlenmiş zamanlarda gerçekleşecek şekilde sınırlandırılabilir veya stoksuz kalma durumlarına yanıt vermek için herhangi bir zamanda gerçekleştirilebilir. Bu iki tür aktarma, proaktif aktarma ve reaktif aktarma olarak sınıflandırılmaktadır (Paterson vd., 2011). Aktarmalar, önceden belirlenmiş zamanlarda stoku yeniden dağıtmak için kullanıldığında proaktif aktarma; stoksuz kalma (veya stoksuz kalma riski) durumunda yeterli stok bulunan noktalardan stok yeniden dağıtıldığında reaktif aktarma olarak sınıflandırılmaktadır. Tablo 4'te Peres vd. (2017) tarafından yapılan çalışma hariç tüm çalışmalarda reaktif aktarma kullanıldığı görülmektedir.

Aktarma seçeneğinin uygulandığı çalışmalarda sıklıkla dış kaynakların kullanılması yoluyla aktarma yapıldığı görülmektedir. Bu aktarma seçeneği tedarikçiler,

perakendeciler veya müşteriler arasında yapılan aktarmaların dış kaynaklı firmalar tarafından yapıldığı durumdur. Maliyet avantajı sağlandığı veya tedarikçinin filosunun aktarma seçeneğini karşılayamayacağı durumlarda tercih edilmektedir. Tablo 4’te yer alan çalışmalardan bazılarında (örneğin Coelho vd., 2012b, Rabbani vd., 2013, Al-e-Hashem & Rekik 2014 vb.) aktarma seçeneğinin dış kaynak kullanılarak yapıldığı görülmektedir.

Envanter sistemleri genellikle bir işletmenin maliyetlerinin büyük bir bölümünü oluşturur. Bu nedenle envanter sistemlerini verimli bir şekilde yönetmek önemlidir. Bir envanter sisteminin geleneksel tasarımı, bir kademededen diğerine, yani üreticilerden toptancılara ve toptancılardan perakendecilere ulaşım akışlarıyla sağlanmaktadır. Daha esnek sistemler, bir kademe içinde, yani toptancılar veya perakendeciler arasında yanal aktarmalara da izin verir. Tablo 4’te yer alan çalışmalarda IRP’de yanal aktarmaların kullanılmasının çeşitli faydalar sağladığı ortaya koyulmuştur. İncelenen çalışmaların tamamında aktarma seçeneğinin kullanılmasının toplam maliyeti azalttığı görülmektedir. Aktarma yoluyla, aynı kademenin üyeleri stoklarını bir araya getirerek envanter seviyelerini ve envanter maliyetlerini azaltmaktadırlar. Ayrıca yine seyahat mesafelerinin azaltılmasıyla taşıma maliyetlerinin azalması ve rotaların kısılması sağlanmaktadır. Çalışmalara bakıldığında, aktarma yoluyla stoksuz kalma riskinin de azaltıldığı görülmektedir. Ek olarak, Al-e-Hashem & Rekik (2014), Rahbari vd. (2018), Soysal vd. (2018) ve Al-e-Hashem vd. (2019) çalışmalarında aktarmanın karbon emisyonlarının azaltılmasına da katkı sağladığı ortaya koyulmuştur. Jafarkhan & Yaghoubi (2018), Achamrah vd. (2021) ve Achamrah vd. (2022a) çalışmalarında aktarmaya ek olarak ikame yönteminin de kullanıldığı görülmektedir. İkame yöntemi ürünün yerine geçebilecek nitelikte olan ve stokta bulunan başka bir ürün ile yer değiştirmesi olarak tanımlanabilir.

1.5.3. Müşteri Segmenti İçeren VRP Çalışmaları

İlgili literatür taraması kapsamında son olarak, IRP ve müşteri segmenti içeren çalışmaların incelenmesi hedeflenmektedir. Fakat burada, eş zamanlı olarak IRP ve müşteri segmentini ele alan herhangi bir çalışmaya ulaşılamadığından, IRP’ye göre

kapsamı daha geniş olan araç rotalama anahtar sözcüğü ile müşteri segmenti içeren çalışmalar filtrelenmiş ve incelenmiştir. “Web of Science” veri tabanında “envanter rotalama (*inventory routing*)” anahtar sözcüğü heterojen müşteriler (*heterogenous customer*)” ve “müşteri segmentleri (*customer segments*)” konusu ile ayrı şekilde filtrelenmiştir. Bu platform üzerinden herhangi bir çalışmaya ulaşılammıştır. Müşteri segmentleri ile alakalı çalışmalara erişebilmek için “Google Scholar” veri tabanı üzerinden “araç rotalama problemi (*vehicle routing problem*)” anahtar sözcüğü “heterojen müşteriler (*heterogenous customer*)” ve “müşteri segmentleri (*customer segments*)” konusu ile ayrı şekilde filtrelenmiştir. Filtreleme sonucunda bulunan makaleler tez çalışmasında yer alan heterojen müşteri bakış açısı temel alınarak incelenmiştir ve 13 adet makaleye ulaşılmıştır. Tablo 5’te yer alan çalışmalar daha önceki bölümlerde yer alan literatür incelemesine benzer şekilde ele alınmaktadır. Tablo 5 incelenen çalışmaların; problem tipi, modelde verilen kararlar, model yaklaşımı, çözüm yöntemi, müşteri segmentinin belirlenmesinde kullanılan kriter ve müşteri segmenti için hizmet farklılaştırılması yapıp yapılmadığı açılarından değerlendirmesine ait bilgiler içermektedir.

Tablo 5*Müşteri Segmenti ve Hizmet Farklılaştırması İçeren VRP Çalışmaları*

#	Çalışmalar	Problem tipi	Verilen karar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Müşteri segmenti	Müşteri segmenti için hizmet farklılaştırması
1	Jachimowski & Zak (2013)	VRP	R	Analitik	(1) Kümeleme (2) Genetik algoritma	Ürün grupları	-
2	Hsieh vd. (2013)	VRP-LAP	R, L	IP	(1) Kümeleme (2) Genetik algoritma	Satış kanalları	-
3	Garcia Marquez vd. (2015)	VRP	R	IP	Tabu arama algoritması	Karlılık analizi	-
4	Apte vd. (2015)	VRP	R	IP	Karınca kolonisi optimizasyon algoritması	Araç kapasitesi	-
5	Correia & Melo (2015)	FLP	R, L	MILP	Genel amaçlı çözücü	Teslimat süresi	✓
6	Jayaswal & Vidyanthi (2017)	FLP	R, L	IP	Kesme düzlemlerli algoritma	Farklı hizmet düzeyleri	✓
7	Bulhoes vd. (2018)	VRP	R	IP	Hibrit genetik algoritma	Farklı hizmet düzeyleri	-
8	Martins vd. (2019)	VRP	R	MIP	Komşu arama algoritması	Ürün çeşidi	-
9	Rivas & Greene (2019)	VRP-LAP	R, L	MILP	Genel amaçlı çözücü	Talep miktarı	-
10	Cruz (2020)	VRP	R	ILP	Genel amaçlı çözücü	Coğrafi konum ve teslimat sayısı	✓
11	Orlis vd. (2020)	CRP	R	IP	Dal sınır algoritması	Farklı hizmet düzeyleri	-
12	Davila vd. (2021)	VRP	R	MIP	(1) Tabu arama algoritması (2) Kaotik arama algoritması	Deneyim	✓
13	Bosse vd. (2023)	VRP	R	Analitik	Bayesian optimizasyonu	Farklı hizmet düzeyleri	-
14	Bu çalışma	IRP	I, R, LT	MINLP	Sezgisel algoritma	İşletme özellikleri	✓

R: Rotalama ve taşıma, L: Lokasyon, LT: Aktarma, VRP: Araç rotalama problemi, VRP-LAP: Araç rotalama ve yer seçimi tahsis problemi, FLP: Tesis yeri problemi, CRP: Kapasiteli rotalama problemi, IRP: Envanter rotalama problemi, MILP: Karma tam sayılı doğrusal programlama modeli, MIP: Karma tam sayılı programlama modeli, MINLP: Karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli, IP: Tam sayılı programlama modeli, ILP: Tam sayılı doğrusal programlama modeli.

IRP üzerine yayınlanan ilk çalışmalar, çoğunlukla araç rotalama problemi (*vehicle routing problem*, VRP) için tasarlanmış modellerin varyasyonlarıdır (Coelho vd., 2014b). Bu sebeple farklı müşteri segmenti ile ilgili çalışmalara erişim sağlanırken VRP ele alan çalışmalar kullanılmıştır. Tablo 4'te yer alan çalışmalarda problem tipi olarak VRP, tesis yeri problemi, araç rotalama ve yer tahsis problemi ve kapasiteli rotalama problemi kullanıldığı görülmektedir. Model yaklaşımı olarak tam sayılı programlama modeli, tam sayılı doğrusal programlama modeli, karma tam sayılı doğrusal programlama modeli ve MILP yaklaşımları kullanılmıştır. Çözüm yöntemi olarak çoğunlukla sezgisel yaklaşımları içeren çalışmalar mevcuttur. Tablo 5'te müşteri segmenti sınıflandırması yapılırken, çalışmaların müşterileri hangi kriteri temel alarak segmentlere ayırdığı gösterilmektedir. Çalışmalara bakıldığında müşteri segmentlerinin belirlenmesi için farklı kriterler kullanıldığı görülmektedir. Müşteri segmentlerinin belirlenmesinden sonra çalışmalarda, bu müşteri segmentlerine göre müşteriler için hizmetlerin farklılaştırılıp farklılaştırılmadığı incelenmiştir.

Jachimowski & Zak (2013) çalışmasında, müşterilerin farklı taşıma hassasiyetlerine sahip ve birlikte taşınamayacak farklı ürün gruplarını ellerinde bulundurdukları varsayılmaktadır. Müşteriler, bir arada taşınamayan bu farklı ürün grupları ile karakterize edilmektedirler. Belirlenen farklı ürünler aynı araçta taşınamayacağından, kullanılan araçlar yalnızca benzer ürün gruplarına sahip müşterilere hizmet vermektedirler. Apte vd. (2015) çalışmasında, bir afet durumunda özel ulaşım araçları olmayan ve toplu taşıma aracı kullanmasını engelleyen bir hareket bozukluğu nedeniyle kendi kendini tahliye edemeyen vatandaşlara yardım sağlamak için bir model geliştirilmiştir. Taşınması gereken insanların farklı engelleri nedeniyle her bir aracın kapasitesi taşınan kişilerin engeline bağlıdır. Bu şekilde araç kapasitesi heterojen müşteriler ile ilişkilendirilebilir. Martins vd. (2019) çalışmasında, farklı sıcaklık gereksinimlerine sahip ürünlerin ortaklaşa taşınmasına ve böylece yapılan ziyaretlerin sayısını azaltmasına olanak tanıyan bir vrp modellenmiştir. Çalışmada marketlere gıda ürünü teslimatı planlanmaktadır. Bu nedenle marketlerin, mağaza içi operasyonlarını daha iyi planlamak için teslimatların ne zaman yapılmasının gerektiği genellikle ürünlerin sıcaklığına (örneğin sabah taze ürünler) bağlı tercih edilen zaman pencereleri yardımıyla sağlanmaktadır. Benzer

özelliklere ve sıcaklık gereksinimlerine sahip ürünler gruplanarak müşteri segmenti olarak kullanılmaktadır.

Hsieh vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, tek bir satıcı, dağıtım merkezleri ve iki tür müşteriden (perakendeci/e-perakendeci) oluşan üç kademeli bir tedarik zinciri ağı yapılandırmasını ele alınmaktadır. Ayrıca, her dağıtım merkezi için iki farklı teslimat politikası vardır. Geleneksel perakendeci kanalında, dağıtım merkezleri ve perakendeciler arasındaki sevkiyat için noktadan noktaya bir politika benimsenir; e-perakendeci kanalında ise, dağıtım merkezlerinin çevrimiçi müşterinin gereksinimlerine hızlı bir şekilde yanıt vermesi için sevkiyat belirlenen zaman aralığında ulaştırılır.

Garcia Marquez vd. (2015) çalışmasında, müşteri portföyünün yeniden tanımlanması ve müşteri seçimi için karlılık analizi kullanılmaktadır. Karlılık analizi ile, birbirlerine çeşitli açılardan benzeyen müşteriler (satış dağılımının analizi, siparişlerin boyutu ve sayısı, satış ziyaretlerinin sayısı gibi) gruplanır ve rotalama buna göre yapılır.

Bulhoes vd. (2018), Orliş vd. (2020) ve Bosse vd. (2023) çalışmalarında, müşterilere farklı hizmet düzeylerinde hizmet verilmesi yoluyla farklı müşteri gruplarının oluşturulması ele alınmaktadır. Hizmet düzeyi, müşterilerin taleplerinin belirlenen hizmet düzeyi seviyesinde karşılanma zorunluluğu olarak tanımlanmaktadır. Çalışmalarda, müşterilerin taleplerinin karşılanma seviyesine göre müşteri grupları oluşturulmuştur.

Rivas & Greene (2019) tarafından yapılan çalışmada; farklı coğrafi bölgelerde yer alan ve farklı taleplere sahip müşteriler, talep miktarlarına ve buldukları coğrafi bölgelere göre müşteri segmentlerine ayrılmışlardır. Müşterilerin segmentlerine göre, müşteriler teslimat yapılacak günler belirlenmektedir.

Correia & Melo (2015) çalışmasında, müşterilerin teslimat sürelerine duyarlı olduğu çok dönemli tesis yerleşimi probleminin bir uzantısını ele alınmaktadır. Müşteriler, teslimat süresine duyarlılıklarına göre sınıflandırılır. Bunun için iki müşteri segmenti ele alınmıştır. İlk segment, zamanında talep tatmini gerektiren müşterilerden oluşurken,

gecikmeli teslimatları kabul eden müşteriler ikinci segmenti oluşturur. İkinci segmente ait olan her müşteri, istenen maksimum teslimat süresini belirtmektedir. Eldeki problemlerin karmaşıklığı hakkında fikir edinmek için, genel amaçlı bir çözücü ile çözülen rastgele oluşturulmuş örneklerle bir hesaplama çalışması yapılmıştır. Jayaswal & Vidyarthi (2017) tarafından yapılan çalışmada heterojen müşterilere hizmet vermek için tesis yeri seçimi problemi ele alınmaktadır. Müşteriler, yüksek öncelikli veya düşük öncelikli olarak sınıflandırılır ve yüksek öncelikli müşterilere her zaman öncelikli olarak hizmet verilir. Problem belirli hizmet bölgesi kapsama ve hizmet seviyesi kısıtları altında sezgisel bir algoritma yardımıyla çözülmüştür. Cruz (2020) tarafından yapılan çalışmada yoğunluğa dayalı bir kümeleme algoritması yardımıyla müşterilerin coğrafi konumlarına göre kümelenmesi ve müşterilerin gruplanması önerilmektedir. Daha sonra bu gruplara uygun şekilde her müşterinin ihtiyacını karşılamayı hedefleyen ve aynı zamanda nakliye maliyetlerini de en aza indirmeyi amaçlayan bir dağıtım ağı tasarlamaya yönelik matematiksel bir model sunulmuştur. Müşteriler hem coğrafi olarak hem de çeşitli özelliklerine dayanarak farklı segmentlere ayrılmaktadır. Farklı segmentler müşterilere yapılan teslimat sayısını ve aynı zamanda müşterilere uygulanacak olan indirim miktarının da belirlenmesini sağlar. Davila vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, soğutulmuş ürünlerin dağıtımını için VRP ele alınmaktadır. Modelde zaman pencereli araç rotalama ve rastgele hizmet süresi mevcuttur. Dağıtım güzergahları, aynı bölgede bulunan müşterilerin talebini karşılamak için günlük olarak planlanmaktadır. Müşteri segmentine verilen hizmet zaman pencereleri ile farklılaştırılır.

IRP Literatürünün Değerlendirilmesi:

İlgili literatür taramasında IRP literatürü, üç farklı açıdan ele alınmıştır. İlk olarak, envanter rotalamada belirsizlik ve rastgelelik içeren 190 makale incelenerek eş zamanlı şekilde belirsizlik/ rastgelelik, envanter kontrol politikası ve belirsizlik kontrol politikası (statik-dinamik veya dinamik) içeren sınıflandırmaya dahil edilmiştir. İncelenen çalışmalara bakıldığında bu üç kavramın eş zamanlı olarak ele alındığı çok az çalışma olduğu görülmüştür. İkinci olarak, IRP literatüründe yalnızca yatay iş birliği veya yanal aktarma içeren çalışmalar literatür taraması kapsamında incelenmiştir. IRP’de yatay iş birliği üzerine yapılan çalışmaların da sayıca kısıtlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle IRP çalışmalarında yatay iş birliği uygulamalarının problemlere entegre edilmesi önem

kazanmaktadır. Son olarak, IRP ve heterojen müşteri veya müşteri segmenti içeren çalışmaların incelenmesi hedeflenmiştir. Envanter rotalamada, müşteri segmenti içeren herhangi bir çalışmaya erişilememiştir. Bu nedenle envanter rotalamaya göre kapsamı daha geniş olan araç rotalama konusu ile müşteri segmenti içeren çalışmalar ele alınmıştır. Araç rotalama ve müşteri segmenti çalışmalarına bakıldığında da literatürün oldukça sınırlı olduğu görülmektedir.

Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda, heterojen müşteri segmenti ve talep belirsizliği varsayımı altında; IRP için müşteriye sunulan hizmetlerin farklılaştırılmasına olanak sağlayacak, envanter kontrol politikası ve yatay iş birliği yaklaşımını içeren bir model tez kapsamında sunulmaktadır. Ek olarak, sunulan modelin zorluğu nedeni ile modelin çözümü için bir sezgisel algoritma yaklaşımı önerilmektedir. Çalışmanın bu anlamda literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. BÖLÜM

LOJİSTİK İŞ BİRLİĞİ VE HETEROJEN MÜŞTERİ SEGMENTLERİ VARSAYIMLARIYLA AĞ TASARIMI PROBLEMİ

Bu bölümde, ilk olarak ele alınan ağ tasarımı problemi tanımlanmakta ve ilgili problemin çözümü için önerilen matematiksel model sunulmaktadır. Daha sonra ağ tasarımı problemine dair yapılan numerik analizlerin sonuçları ve farklı senaryolar için elde edilen çözümler detaylı olarak incelenmiştir.

2.1. PROBLEM TANIMI

Çalışma kapsamında ele alınan ağ tasarımı problemi $G = \{D, V_i\}$ grafiğinde tanımlanmaktadır. Gösterimde $D = \{1, 2, \dots, |D|\}$ depo düğümlerini ve $V_i = \{V_1 \cup V_2 \cup V_3\}$ müşteri düğümlerini temsil etmektedir. Müşteri düğümleri kümesi, $V_1 = \{1, 2, \dots, |V_1|\}$ üst düzey müşteriler kümesinden, $V_2 = \{1, 2, \dots, |V_2|\}$ orta düzey müşteriler kümesinden ve $V_3 = \{1, 2, \dots, |V_3|\}$ temel düzey müşteriler kümesinden meydana gelmektedir. Depo konumunda bulunan tedarikçiler; dağıtım planlamasından ve üst düzey müşterilerin stok yönetiminden, ayrıca orta düzey ve temel düzey müşterilerin taleplerini karşılamak üzere aktarma merkezi görevi yapan üst düzey müşterilere ürünlerin teslimatından sorumludurlar. Problem $T = \{1, 2, \dots, |T|\}$ dönemden oluşan sonlu planlama ufkunda ele alınmıştır.

Tedarikçi, müşterilerini değer bazlı segmentasyona göre gruplamaktadır ve gelir ve maliyete ilişkin girdiler kullanarak müşterileri segmentlerine ayrılmaktadır (Tsiptsis & Chorianopoulos, 2011). Üst düzey müşteriler, tedarikçi için en önemli grup olarak kabul edilir ve bu müşteri segmentinin, tedarikçinin gelirini önemli ölçüde etkilediği düşünülmektedir. Orta düzey müşteriler, üst düzey müşterilerin hemen ardından gelen ikinci önemli müşteri kategorisini temsil etmektedir. Temel düzey müşteriler ise tedarikçinin müşteri tabanının en geniş segmentini oluşturmaktadır. Bu müşteri grubu genellikle düşük miktarlarda ve düşük değerde gelir sağlayan müşterileri içermektedir.

Depolardan üst ve orta düzey müşterilere ürün sevkiyatı, her depoda her dönem başında hazır halde bulunan k adet homojen araçla gerçekleştirilmektedir. Bu araçların her biri cap adet ürün taşıma kapasitesine sahiptir. Her araç, kullanıldığı her dönemde π araç kullanımını sabit maliyeti meydana getirmektedir. Depolardan harekete başlayan araçlar, ilgili üst veya orta düzey müşteriye tek bir güzergâhtan ulaşıp ürünleri teslim etmekte, ardından aynı güzergâhı kullanarak ilgili depoya geri dönmektedirler. Herhangi bir dönemde $d \in D$ deposundan $i \in \{V_1 \cup V_2\}$ üst düzey veya orta düzey müşterisine hareket eden her araç için $t_{d,i}$ ürün gönderim maliyeti meydana gelmektedir. Üst düzey müşteriler, kendi aralarında ve orta düzey müşterilere dış kaynaklı taşıyıcı yoluyla ürün aktarımı yapabilmektedirler. Herhangi bir dönemde $i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_1$ üst düzey müşterisine ($i \neq j$) parti başına ürün aktarma maliyeti $f_{i,j}$, $i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_2$ orta düzey müşterisine parti başına ürün aktarma maliyeti ise $f'_{i,j}$ olarak gösterilmiştir.

Üst düzey müşterilerin ürün talepleri belirsizlik içermektedir. Bu taleplerin her dönem için bilinen bir ortalama ($\mu_{i,t}, i \in V_1, t \in T$) ve standart sapma ($\sigma_{i,t}, i \in V_1, t \in T$) ile normal dağılıma sahip olduğu varsayılmaktadır. Tedarikçiler, üst düzey müşteriler için üzerinde anlaşmaya varılan bir hizmet düzeyini (z_α) garanti etmekte ve müşteriler bu hizmet düzeyi kapsamında envanter yönetimini tedarikçilere bırakmaktadırlar. Her dönem sonunda, üst düzey müşterilerin depolarında kalan her bir adet ürün için h elde bulundurma maliyeti meydana gelmektedir. Üst düzey müşterilerin güvenlik stokları da dönem sonu envanter miktarlarına dahildir.

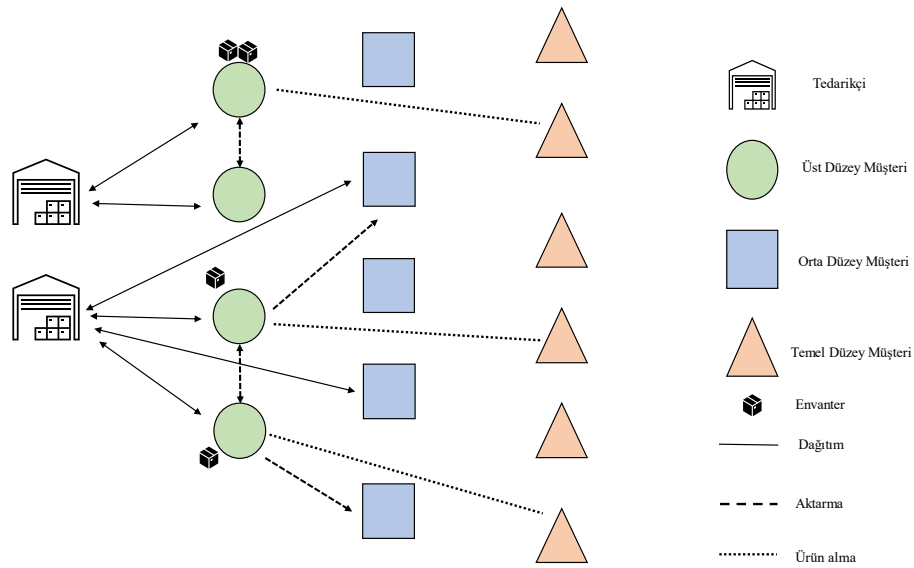
Orta düzey ve temel düzey müşterilerin talepleri planlama ufkunun başında kesin olarak bilinmektedir. Bu talepler parti bazında ele alınmış olup, her partide b adet ürünün yer aldığı varsayılmıştır. Orta düzey müşterilerin karşılanamayan talepleri için parti başına p , temel düzey müşterilerin karşılanamayan talepleri için ise parti başına v kayıp satış maliyeti oluşmaktadır. Müşterilerin herhangi bir dönemde karşılanamayan ürün talepleri, bir sonraki döneme ertelenmemektedir. Orta düzey müşterilere ürünler direkt olarak depolardan gönderilebildiği gibi, üst düzey müşterilerden aktarma yolu ile de ürün gönderimi gerçekleştirilebilmektedir. Temel düzey müşteriler, ürünleri yalnızca üst düzey

müşterilerden teslim alabilmektedirler. Herhangi bir temel düzey müşteri, kendisine önceden belirlenmiş olan maksimum mesafeden daha yakın konumda olan bütün üst düzey müşterilerden ürün teslim alabilmekte, bu mesafeden daha uzakta bulunan üst düzey müşterilerden ise ürün teslim alamamaktadır. Problemin amacı toplam maliyeti minimize edecek şekilde ürün akışlarının sağlanmasıdır. Problemden üst düzey müşteriler için envanter, tahsis, taşıma ve aktarma kararları verilirken; orta düzey müşteriler için tahsis, taşıma ve aktarma kararları; temel düzey müşteriler için ise atama kararı verilmektedir.

Şekil 4'te ilgili problemin genel bir gösterimi verilmiştir.

Şekil 4

Ağ Tasarımı Problemin Genel Gösterimi



2.2. MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde, ele alınan problemin tam sayılı doğrusal programlama modelinin formülasyonu sunulmaktadır. Matematiksel modelin ifade edilmesinde kullanılan kümeler, parametreler ve karar değişkenleri Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6*Notasyon Tablosu (ağ tasarımı problemi)*

Sembol	Açıklama	Birim
Kümeler		
V_i	Müşteriler kümesi, $V_i = \{V_1 \cup V_2 \cup V_3\}$	
V_1	Üst düzey müşteriler kümesi, $V_1 = \{1, 2, \dots, V_1 \}$	
V_2	Orta düzey müşteriler kümesi, $V_2 = \{1, 2, \dots, V_2 \}$	
V_3	Temel düzey müşteriler kümesi, $V_3 = \{1, 2, \dots, V_3 \}$	
D	Depolar kümesi, $D = \{1, 2, \dots, D \}$	
T	Zaman periyotları kümesi, $T = \{1, 2, \dots, T \}$	
Parametreler		
cap	Araçların ürün taşıma kapasitesi	Adet
π	Araç kullanım sabit maliyeti	€
$f_{i,j}$	$i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_1$ üst düzey müşterisine bir parti ürün gönderme maliyeti	€/adet
$f'_{i,j}$	$i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_2$ orta düzey müşterisine bir parti ürün gönderme maliyeti	€/adet
h	Üst düzey müşteri depolarında dönem sonunda kalan ürünler için elde bulundurma maliyeti	€/adet
$t_{d,i}$	$d \in D$ deposundan $i \in V_1 \cup V_2$ üst düzey ve orta düzey müşterileri için ürün gönderim maliyeti	€/adet
p	Orta düzey müşterilerde bir parti ürünün kayıp satışının maliyeti	€/adet
v	Temel düzey müşterilerde bir parti ürünün kayıp satışının maliyeti	€/adet
$d_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_1$ üst düzey müşterisi için $\mu_{i,t}$ ortalama ve $\sigma_{i,t}$ standart sapma ile normal dağılım gösteren belirsiz talep miktarı	Adet
$d'_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_2 \cup V_3$ orta düzey veya temel düzey müşterisi için parti büyüklüğünde talep miktarı	Adet
z_α	$i \in V_1$ üst düzey müşterisi için belirlenen müşteri hizmet düzeyi	

$l_{i,j}$	$j \in V_3$ temel düzey müşterisi mesafeye bağlı olarak $i \in V_1$ üst düzey müşterisinin konumunu ürün alma noktası olarak kullanabilme imkânına sahipse 1, değilse 0	(0,1)
b	Gönderilen ürünlerin parti büyüklüğü	Adet
k	Depoda bulunan araç sayısı	Adet
cv	Varyasyon katsayısı (<i>coefficient of variation</i>)	
M	Yeterince büyük bir sayı	
$E\{. \}$	Beklenen değer operatörü (<i>expected value operator</i>)	

Karar değişkenleri

$I_{i,t}$	$t \in T$ periyodunun sonunda $i \in V_1$ üst düzey müşterisinin envanter seviyesi, $I_{i,0} = 0, \forall i \in V_1$	Adet
$X_{d,i,t}$	$t \in T$ periyodunda $d \in D$ deposundan $i \in V_1 \cup V_2$ üst düzey veya orta düzey müşterisine hareket eden araç sayısı	Adet
$Y_{i,j,t}$	$t \in T$ periyodunda $j \in V_3$ temel düzey müşterisinin talebini karşılamak için $i \in V_1$ üst düzey müşterisine gönderilen parti sayısı	Adet
$L_{i,j,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_1$ üst düzey müşterisine gönderilen parti sayısı, $i \neq j$	Adet
$Z_{i,j,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_2$ orta düzey müşterisine gönderilen parti sayısı	Adet
$S_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_2$ orta düzey müşterisinin parti büyüklüğünde karşılanmayan talep miktarı	Adet
$U_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_3$ temel düzey müşterisinin parti büyüklüğünde karşılanmayan talep miktarı	Adet
$Q_{d,i,t}$	$t \in T$ periyodunda $d \in D$ deposundan $i \in V_1 \cup V_2$ üst düzey veya orta düzey müşterisine gönderilen ürün miktarı	Adet

En küçükle (Minimize)

$$\sum_{i \in V_1} \sum_{t \in T} h E\{I_{i,t}\} \quad (1.i)$$

$$+ \sum_{d \in D} \sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{t \in T} \pi X_{d,i,t} \quad (1.ii)$$

$$+ \sum_{d \in D} \sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{t \in T} t_{d,i} X_{d,i,t} \quad (1.iii)$$

$$+ \sum_{i \in V_1} \sum_{j \in V_1: i \neq j} \sum_{t \in T} f_{i,j} L_{i,j,t} + \sum_{i \in V_1} \sum_{j \in V_2} \sum_{t \in T} f'_{i,j} Z_{i,j,t} \quad (1.iv)$$

$$+ \sum_{i \in V_2} \sum_{t \in T} p S_{i,t} + \sum_{i \in V_3} \sum_{t \in T} v U_{i,t} \quad (1.v)$$

Amaç fonksiyonu (1.i), (1.ii), (1.iii), (1.iv) ve (1.v) şeklinde beş bölümden oluşmaktadır. (1.i) üst düzey müşterilerin envanter elde bulundurma maliyetini, (1.ii) araçların kullanımının sabit maliyetini, (1.iii) üst ve orta düzey müşterilere depolardan ürün gönderim maliyetini, (1.iv) üst düzey müşterilerin kendi aralarında ve üst düzey müşteriler ve orta düzey müşteriler arasında aktarma sonucu oluşan taşıma maliyetini ve (1.v) orta ve temel düzey müşteriler için kayıp satışta ortaya çıkan ceza maliyetini içermektedir.

$$E\{I_{i,t}\} = \left(E\{I_{i,t-1}\} + \sum_{d \in D} Q_{d,i,t} + \sum_{j \in V_1: i \neq j} L_{j,i,t} b \right) - \left(E\{d_{i,t}\} + \sum_{j \in V_1: i \neq j} L_{i,j,t} b + \sum_{j \in V_3} Y_{i,j,t} b + \sum_{j \in V_2} Z_{i,j,t} b \right) \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (2)$$

Kısıt seti (2), üst düzey müşterilerin beklenen dönem sonu envanter miktarlarını düzenlemektedir. Her bir üst düzey müşterinin her bir periyotta beklenen dönem sonu envanter miktarı hesaplanırken, müşterinin bir önceki periyot sonunda beklenen envanter miktarı, müşteriye depolardan gönderilen ürün miktarı ve müşteriye diğer üst düzey müşterilerden aktarılan parti bazında ürün miktarı toplanır; müşterinin beklenen talep miktarı, müşteriden diğer üst düzey müşterilere parti bazında gönderilen ürün miktarı, temel düzey müşteriler için ayrılmış parti bazında ürün miktarı ve orta düzey müşterilere parti bazında gönderilen ürün miktarı çıkartılır.

$$E\{I_{i,t}\} \geq \left(\sum_{j=1}^t G_{d_{i,t-j+1} + d_{i,t-j+2} + \dots + d_{i,t}}^{-1}(\alpha) - \sum_{k=t-j+1}^t E\{d_{i,k}\} \right) \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (3)$$

Kısıt seti (3)'te yer alan $G_{d_{i,1}+d_{i,2}+\dots+d_{i,t}}(\alpha)$ fonksiyonu $d_{i,1} + d_{i,2} + \dots + d_{i,t}$ toplamının kümülatif dağılımını gösterir. (α) ise belirlenen hizmet düzeyini ifade etmektedir. Bu durumda $G_{d_{i,1}+d_{i,2}+\dots+d_{i,t}}^{-1}(\alpha)$ toplam talebin belirlenen hizmet düzeyinin (α) olasılığının envanter miktarı cinsinden karşılığı şeklinde tanımlanabilir.

$$E\{I_{i,t}\} \geq \sqrt{\sum_{k=1}^t \mu_{i,k}^2 cv^2 z_\alpha} \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (3.1)$$

Talebin $\mu_{i,t}$ ortalama ve $\sigma_{i,t}$ standart sapma ile normal dağıldığı varsayımı altında; (3) numaralı kısıt seti yeniden yazılarak kısıt seti (3.1) şeklinde ifade edilebilir (bkz. Soysal vd., 2015).

$$\sum_{i \in V_1} Y_{i,j,t} l_{i,j} b = d'_{j,t} b - U_{j,t} b \quad \forall j \in V_3, t \in T \quad (4)$$

Kısıt seti (4), temel düzey müşterilerin ürün talepleri ile üst düzey müşterilerden teslim aldıkları ürün miktarlarını arasında ilişki kurmaktadır.

$$Y_{i,j,t} b \leq M l_{i,j} \quad \forall i \in V_1, j \in V_3, t \in T \quad (5)$$

Kısıt seti (5), temel düzey müşterilerin önceden belirlenen mesafeden daha uzakta konumlanmış üst düzey müşterilerden ürün teslim almalarını engellemektedir.

$$\sum_{d \in D} Q_{d,i,t} + \sum_{j \in V_1} Z_{j,i,t} b = d'_{i,t} b - S_{i,t} b \quad \forall i \in V_2, t \in T \quad (6)$$

Kısıt seti (6), orta düzey müşterilerin ürün talepleri ile depodan ve üst düzey müşterilerden teslim aldıkları ürün miktarlarını ilişkilendirmektedir.

$$Q_{d,i,t} \leq cap X_{d,i,t} \quad \forall d \in D, i \in V_1 \cup V_2, t \in T \quad (7)$$

Kısıt seti (7), depolardan üst düzey ve orta düzey müşterilere ürün taşıyan araçların taşıma kapasitelerinin üzerinde yüklenmesini engellemektedir.

$$\sum_{i \in V_1 \cup V_2} X_{d,i,t} \leq k \quad \forall d \in D, t \in T \quad (8)$$

Kısıt seti (8), depolardan müşterilere gönderilen araçların sayısı ile depolarda mevcut halde bulunan araçların sayısını ilişkilendirmektedir.

$$I_{i,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (9)$$

$$Y_{i,j,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_1, j \in V_3, t \in T \quad (10)$$

$$L_{i,j,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_1, j \in V_1, t \in T \quad (11)$$

$$S_{i,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_2, t \in T \quad (12)$$

$$U_{i,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_3, t \in T \quad (13)$$

$$X_{d,i,t}, Q_{d,i,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall d \in D, i \in V_1 \cup V_2, t \in T \quad (14)$$

$$Z_{i,j,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_1, j \in V_2, t \in T \quad (15)$$

Modelde yer alan karar değişkenlerinin üzerindeki değersel kısıtlar, kısıt setleri (9)-(15) arasında verilmiştir.

Talep belirsizliği varsayımı ile tam sayılı doğrusal programlama modeli (1.i) – (1.v) amaç fonksiyonu bileşenleri ve, (2), (3.1), (4) – (15) numaralı kısıt kümeleri ile tanımlanmaktadır.

2.3. NÜMERİK ANALİZLER

Bu bölümde ağ tasarımı problemine dair yapılan detaylı numerik analizlerin sonuçları tartışılmaktadır. Öncelikle, geliştirilen matematiksel modelin uygulanabilirliğinin gösterilebilmesi için bir örnek olay oluşturulmuş ve bu örnek olayın çözümüne dair

veriler paylaşılmıştır. Ardından, ele alınan probleme dair farklı senaryolar oluşturulmuş, geliştirilen matematiksel model ile bu senaryoların çözümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen çözümler detaylı olarak incelenmiştir. Senaryo çözümleri ile örnek olay çözümleri karşılaştırılmış ve çözümlerin farklı problem parametreleri altındaki değişimleri hakkında yorumlara yer verilmiştir.

Nümerik analizler yapılırken geliştirilen matematiksel model IBM OPL ILOG CPLEX yazılımının 22.1.0 sürümü kullanılarak 64 GB belleğe ve 64 bit işletim sistemine sahip, Intel® Xeon® Silver 4216 CPU 2.10 GHz işlemcili bir bilgisayarda çözülmüştür.

Geliştirilen matematiksel model ile problem kapsamında optimal maliyeti elde etmek amaçlanmıştır. Yapılan nümerik analizlerin performansının değerlendirilebilmesi adına temel performans kriterleri belirlenmiştir. Bu kriterler; (i) araç kullanımı sabit maliyeti, (ii) elde bulundurma maliyeti, (iii) ceza maliyeti, (iv) depolardan müşterilere ürün taşıma maliyeti, (v) ürün aktarma maliyeti, (vi) toplam maliyet, (vii) üst düzey müşteriler arasında aktarılan ürün miktarı, (viii) üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan ürün miktarı, (ix) depolardan orta düzey müşterilere gönderilen ürün miktarı, (x) orta düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı, (xi) temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı ve (xii) temel düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı şeklindedir.

2.3.1. Örnek Olay Veri Setinin Tanıtılması

Tartışılan problemin çözümü için geliştirilen matematiksel modelin örnek olay ve senaryo analizlerinde kullanılan parametreler için İngiltere’de bulunan, otomobil lastiği dağıtım faaliyetleri yürüten varsayımsal bir tedarikçi firmanın operasyonları esas alınmıştır. Ele alınan dağıtım ağı, 5 depo düğümü, 10 üst düzey müşteri, 15 orta düzey müşteri ve 25 temel düzey müşteri düğümünden meydana gelmektedir. Düğümler arasındaki mesafe verileri (bkz. Tablo 45), farklı boyutlarda rotalama problemleri için örnekler sunan bir

“The Pollution-Routing Problem Instance Library¹” kütüphanesinden alınmıştır (UK75_01).

Örnek olay kapsamında 4 periyottan meydana gelen bir planlama ufku belirlenmiştir. Her periyotta, depoların her birinde operasyona hazır 3'er adet homojen özelliklere sahip kamyon bulunduğu varsayılmıştır. Bu kamyonların her birinin 7,20 metre uzunluğa, 2,45 metre genişliğe ve 2,70 metre yüksekliğe sahip oldukları² varsayılmıştır. Problem kapsamında dağıtımı yapılan otomobil lastiklerin 2438x1143x1295 milimetrelik paletler³ ile taşındığı ve her palete 63 adet (1 parti) lastiğin yerleştirilebildiği göz önünde bulundurularak yapılan hesaplama sonucunda her kamyonun taşıma kapasitesinin 756 adet ürün (12 parti) olduğu varsayılmıştır. Depolardan hareket eden araçların yakıt tüketimi miktarlarının 24 litre/100 km olduğu ve İngiltere’de benzin fiyatının 2,16 €/litre olduğu varsayılmıştır. Bu veriler kullanılarak depodan üst ve orta düzey müşterilere hareket eden araçların yakıt maliyetleri gidiş ve dönüş yolculukları birlikte olarak hesaplanmıştır (bkz. Tablo 46). Ayrıca her aracın hareket ettiği her periyotta 100 € sabit araç maliyeti⁴ meydana getirdiği varsayılmıştır.

Problem kapsamında üst düzey müşterilerin taleplerinin önceden kesin olarak bilinmediği, taleplerin her dönem için bilinen bir ortalama ve standart sapma ile normal dağılıma sahip olduğu kabul edilmektedir. Üst düzey müşterilerin talep ortalamaları $U[100,250]$ olmak üzere rastgele belirlenmiş ve Tablo 7’de gösterilmiştir. Üst düzey müşterilerin ürün taleplerinin varyasyon katsayısının (*coefficient of variation*) her periyotta sabit ve 0,2 olduğu varsayılmıştır. Her periyotta, üst düzey müşterilerin taleplerinin en az 95% olasılıkla karşılanması gerekmektedir ($z_{\alpha} = 1,96$). Üst düzey müşterilerin dönem sonunda envanterlerinde kalan her bir adet ürün için ürünün ortalama satış fiyatının %10’u baz alınarak hesaplanan 1,53 € elde bulundurma maliyeti meydana gelmektedir. Üst düzey müşterilerin güvenlik stokları da dönem sonu envanter

¹ www.apollo.management.soton.ac.uk Erişim tarihi: Ekim 2022

² www.tirport.com Erişim tarihi: Ekim 2022

³ www.ctequipmentguide.ca Erişim tarihi: Ekim 2022

⁴ www.motortransport.co.uk Erişim tarihi: Ekim 2022

miktarlarına dahildir. Üst düzey müşterilerin depolarının planlama ufkunun başlangıcında boş olduğu varsayılmıştır.

Tablo 7

Üst Düzey Müşterilerin Ortalama Talep Miktarları (adet ürün)

Müşteriler	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	4. Periyot
HT6	237	157	247	180
HT7	162	127	126	141
HT8	101	140	181	206
HT9	158	133	235	118
HT10	163	233	216	227
HT11	157	216	115	103
HT12	184	105	208	149
HT13	121	244	210	206
HT14	137	208	242	155
HT15	117	237	120	140

Temel ve orta düzey müşterilerin ürün talepleri planlama ufkunun başlangıcından itibaren kesin olarak bilinmekte ve parti adedi boyutunda sırasıyla $U[1,2]$ ve $U[1,3]$ olarak rastgele dağılmaktadır. Temel ve orta düzey müşterilerin ürün talepleri, Tablo 8’de gösterilmiştir. Temel ve orta düzey müşterilerin karşılanamayan talepleri bir sonraki periyoda aktarılmamakta, her periyotta temel düzey müşterilerin karşılanamayan her bir parti talebi için 18,9 €, orta düzey müşterilerin karşılanamayan her bir parti talebi için ise 50,4 € kayıp satış maliyeti meydana gelmektedir.

Tablo 8*Orta ve Temel Düzey Müşterilerin Ürün Talep Miktarları (parti ürün)*

Müşteriler	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	4. Periyot
MT16	3	2	3	3
MT17	1	1	1	3
MT18	3	2	1	3
MT19	2	1	3	2
MT20	2	1	1	3
MT21	3	2	3	2
MT22	3	2	2	1
MT23	2	1	3	1
MT24	1	2	2	3
MT25	1	1	3	1
MT26	1	2	1	2
MT27	1	2	2	2
MT28	1	2	2	3
MT29	2	1	3	2
MT30	3	2	1	1
BT31	1	1	2	1
BT32	1	2	1	1
BT33	2	1	1	1
BT34	1	2	2	1
BT35	1	2	2	2
BT36	1	2	1	2
BT37	2	2	2	1
BT38	1	2	2	1
BT39	1	2	1	1
BT40	1	2	2	2
BT41	2	1	1	2
BT42	1	1	2	2
BT43	2	2	1	2
BT44	1	1	1	2
BT45	1	1	1	1
BT46	1	1	2	2
BT47	2	2	2	1
BT48	2	1	2	1
BT49	2	1	1	1
BT50	1	1	2	1
BT51	1	2	2	1
BT52	2	1	1	1
BT53	2	1	2	2
BT54	1	2	2	2
BT55	2	1	2	2

Temel düzey müşteriler, taleplerini karşılamak için ihtiyaç duydukları ürünleri yalnızca üst düzey müşterilerden teslim alabilmektedirler. Örnek olay kapsamında temel düzey müşterilerin üst düzey müşterileri ürün alma noktası olarak kullanabilme mesafesinin üst limiti 100 km olarak belirlenmiştir. Başka bir deyişle, herhangi bir temel düzey müşteri, kendisine 100 km mesafeden daha yakında bulunan bütün üst düzey müşterileri ürün alma noktası olarak kullanabiliyorken, bu mesafeden daha uzaktaki üst düzey müşterileri ise ürün alma noktası olarak kullanamamaktadır. Orta düzey müşteriler ise, ürünleri direkt olarak depolardan tedarik edebildikleri gibi, üst düzey müşterilerden aktarma yoluyla da ürün temini sağlayabilmektedirler. Benzer şekilde, üst düzey müşteriler de ürünleri hem depolardan tedarik edebilmekte hem de başka üst düzey müşterilerden aktarım yoluyla ürün tedariki sağlayabilmektedirler. Müşteriler arasında gerçekleşen ürün aktarımı işlemlerinde yakıt tüketimi 19 litre/100 km olan homojen kamyonlar kullanılmaktadır. Aktarım maliyetleri, düğümler arasındaki mesafeye bağlı olmak üzere gönderilen her bir parti ürün için gidiş ve dönüş yolculukları birlikte olarak hesaplanmıştır (bkz. Tablo 47). Tablo 9’da örnek olayda kullanılan problem parametreleri özetlenmektedir.

Tablo 9*Kullanılan Parametrelerin Özeti (ağ tasarımı problemi)*

Parametre	Değer	Kaynak
cap	756 adet	Canadian Tire
π	100 € / periyot	MotorTransport
$f_{i,j}$	Tablo 47	Varsayımsal
$f'_{i,j}$	Tablo 47	Varsayımsal
h	1,53 €/adet	(Soysal vd., 2018)
$t_{d,i}$	Tablo 46	Varsayımsal
p	50,4 € / parti	(Chen vd., 2017)
v	18,9 € / parti	(Chen vd., 2017)
$d_{i,t}$	-	Varsayımsal
$\mu_{i,t}$	Tablo 7	Varsayımsal
$d'_{i,t}$	Tablo 8	Varsayımsal
z_α	1,96	Varsayımsal
$l_{i,j}$	-	Varsayımsal
b	63 adet	Canadian Tire
k	3 adet	Varsayımsal
cv	0,2	Varsayımsal
M	9999999	Varsayımsal

2.3.2. Örnek Olay Çözümü

Geliştirilen matematiksel model, bir önceki bölümde anlatılan örnek olay parametreleri ile CPLEX yazılımında çözülmüştür. Tablo 10'da örnek olayın temel performans kriterleri özetlenmiştir.

Tablo 10*Örnek Olay Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri (ağ tasarımı problemi)*

TPK	Örnek Olay
Sabit araç maliyeti (€)	3.400,0
Elde bulundurma maliyeti (€)	6.494,8
Ceza maliyeti (€)	113,4
Depodan müşterilere ürün taşıma maliyeti (€)	1.386,1
Ürün aktarma maliyeti (€)	428,0
Toplam maliyet (€)	11.822,3
Üst düzey müşteriler arasında aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	20
Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	116
Depolardan orta düzey müşterilere gönderilen ürün miktarı (parti adedi)	0
Orta düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	0
Temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı (parti adedi)	142
Temel düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	6

Örnek olay çözümünde toplam maliyet 11.822,3 € olmuştur. Toplam maliyetin yaklaşık %54'ünü üst düzey müşterilerin envanter elde bulundurma maliyeti oluşturmaktadır. Depodan hareket eden 34 araç için 3.400 € sabit araç kullanım maliyeti meydana gelmiş ve araçların düğümler arasındaki hareketleri 1.386,1 € maliyet oluşturmuştur. Depolardan hareket eden araç verileri Tablo 11'de gösterilmiştir. Üst düzey müşteriler arasında 20 parti ürün, üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere ise 116 parti ürün aktarılmış, bu aktarımlar sonucunda 428 € ürün aktarım maliyeti meydana gelmiştir. Üst düzey müşterilerin ürün akışlarına ve dönem sonu envanter miktarlarına dair detaylı veriler Tablo 12'de gösterilmiştir. Depolardan yalnızca üst düzey müşterilere ürün taşınmış, orta düzey müşteriler ise ürün taleplerini üst düzey müşterilerden aktarılan ürünler ile karşılamışlardır. Orta düzey müşterilerin üst düzey müşterilerden ürün temin etmeleri, direkt olarak depodan ürün gönderiminden daha az maliyetli olduğu için bu yolun tercih edildiği anlaşılmaktadır. Temel düzey müşterilerin 6 parti ürün talebi karşılanamamış ve 113,4 € ceza maliyeti meydana gelmiştir. Orta düzey müşterilerin ise bütün taleplerini karşılanmıştır. Karşılanamayan taleplere dair veriler Tablo 13'te gösterilmiştir.

Tablo 11

Örnek Olay Çözümünde Depolardan Hareket Eden Araç Sayıları (adet)

Depolar	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	4. Periyot
Depo1	3	2	3	2
Depo2	-	-	-	-
Depo3	3	3	3	3
Depo4	3	3	3	3
Depo5	-	-	-	-

Tablo 11'den görüldüğü üzere 1, 3 ve 4 numaralı depolardan ürün transferi sağlanmış, 2 ve 5 numaralı depolardan ise herhangi bir ürün akışı gerçekleşmemiştir. Her depoda her periyotta hazır halde 3 araç bulunması göz önünde bulundurularak 3 ve 4 numaralı depolarda bütün periyotlarda bütün araçların kullanıldığı, 1 numaralı depoda ise 1 ve 3. Periyotlarda bütün araçların kullanıldığı görülmektedir.

Tablo 12

Örnek Olay Çözümünde Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Dönem Sonu Envanter Miktarları (ağ tasarımı problemi, adet)

Üst düzey müşteriler	1. Periyot						2. Periyot					
	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I
HT6	582	-	-	-	4	93	743	-	-	7	2	112
HT7	730	-	-	2	6	64	711	-	-	4	5	81
HT8	708	-	-	8	1	40	735	-	-	7	2	68
HT9	724	-	-	2	6	62	719	-	-	5	4	81
HT10	731	-	-	-	8	64	722	-	-	-	7	112
HT11	667	-	-	7	-	69	-	4	-	-	-	105
HT12	698	-	-	7	-	73	746	-	-	10	-	84
HT13	736	-	3	6	-	48	-	5	-	-	-	119
HT14	632	-	-	3	4	54	756	-	4	-	4	98
HT15	-	3	-	-	-	72	714	-	5	2	-	108

Üst düzey müşteriler	3. Periyot						4. Periyot					
	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I
HT6	731	-	-	3	4	155	756	-	2	2	5	164
HT7	707	-	-	2	7	95	723	-	-	3	6	110
HT8	716	-	-	7	1	99	739	-	-	2	6	128
HT9	719	-	-	3	4	124	-	2	-	-	-	132
HT10	749	-	-	1	7	141	756	-	-	-	8	166
HT11	-	2	-	-	-	116	-	2	-	-	-	139
HT12	1501	-	-	20	-	117	730	-	-	7	2	131
HT13	730	-	2	3	3	135	733	-	-	8	-	158
HT14	722	-	2	-	5	137	735	-	2	2	5	150
HT15	-	2	-	-	-	114	720	-	-	9	-	127

Q: Müşteriye depolardan aktarılan ürün miktarı, L⁺: müşteriye diğer müşterilerden parti boyutunda aktarılan ürün miktarı, L⁻: müşteriden diğer müşterilere parti boyutunda aktarılan ürün miktarı, Y: temel düzey müşterilerin parti boyutunda teslim aldığı ürün miktarı, Z: müşteriden orta düzey müşterilere parti boyutunda aktarılan ürün miktarı, I: müşterinin dönem sonu envanter miktarı.

Tablo 12’ye bakıldığında üst düzey müşteriler pek çok durumda depolardan direkt olarak ürün temin etmişler, bazı durumlarda ise depodan ürün almayıp başka üst düzey müşterilerden ürün aktarımı yoluyla operasyonlarını sürdürmüşlerdir. Örneğin HT15 numaralı üst düzey müşteriye ilk periyotta depolardan ürün gönderimi olmamış, müşteri HT13 numaralı üst düzey müşteriden aktarılan 3 parti ürün ile ilk periyot sonunda envanterinde 72 adet ürün depolamıştır. Aynı müşteriye ikinci periyotta ise depolardan 714 adet ürün gönderimi sağlanmış, müşteri diğer üst düzey müşterilere bu periyotta 5 parti ürün göndermiştir. Tablodan görüldüğü gibi, temel düzey ve orta düzey müşterilere üst düzey müşterilerden ürün aktarımları gerçekleşmiştir. Örneğin HT9 numaralı üst düzey müşteri, ikinci periyot sonunda kendi deposunda 81 adet ürün stoklamış, üçüncü periyotta depolardan 719 adet ürün müşteriye teslim edilmiş, müşteri ise 3 parti ürünü temel düzey müşterilere teslim etmiş, 4 parti ürünü ise orta düzey müşterilere aktarmıştır.

Tablo 13

Örnek Olay Çözümünde Karşılanamayan Talep Verileri (parti ürün)

Müşteriler	Periyot	Talep miktarı	Karşılanamayan talep miktarı
BT38	3	2	1
BT39	4	1	1
BT44	2	1	1
BT44	4	2	2
BT52	2	1	1

Tablo 13’te örnek olay çözümünde yalnızca temel düzey müşterilerde karşılanamayan talepler meydana geldiği ve orta düzey müşterilerin ise bütün talepleri karşılanabildiği görülmektedir. Temel düzey müşterilerin 4 periyottaki toplam ürün talepleri 148 parti ürün iken bu taleplerin yaklaşık %96’sı karşılanabilmiş, toplam talebin yaklaşık %4’üne tekabül eden 6 parti ürün ise ceza maliyeti olarak toplam maliyete yansımıştır.

2.3.3. Örnek Olay Üzerinde Senaryo Analizleri

Bu bölümde, tartışılan probleme dair farklı senaryolar oluşturulmuş, geliştirilen matematiksel model ile bu senaryoların çözümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen

çözümler detaylı olarak incelenmiştir. Senaryo çözümleri ile örnek olay çözümleri karşılaştırılmış ve çözümlerin farklı problem parametreleri altındaki değişimleri hakkında yorumlara yer verilmiştir.

İncelenen senaryolar oluşturulurken dağıtım sürecinde meydana gelebilecek değişiklikler önemsenmiş, bu değişiklikleri yansıtacak dört senaryo üzerinde durulmuştur. İlk senaryoda üst düzey müşteriler arasındaki ürün aktarımına izin verilmemiş, böylece üst düzey müşterilere ürün akışının direkt olarak yalnızca depolardan sağlandığı durumda temel performans kriterlerinin örnek olaya göre değişimleri ve üst düzey müşterilerin ürün akışlarındaki farklar incelenmiştir. İkinci senaryoda temel düzey müşterilerin ürün teslim alabildikleri üst düzey müşterileri belirleyen maksimum mesafe kısıtı 100 km'den 75 km'ye düşürülmüş, bu şekilde temel düzey müşterilerin daha kısıtlı seçenekler arasından ürün tedarik edebilmeleri durumunda kayıp satışlarda meydana gelen değişim incelenmiştir. Üçüncü senaryoda depolarda her periyot başında 3 araç bulunması kısıtı ortadan kaldırılmış, böylece depolardan daha fazla aracın hareket edebilmesi durumunda temel performans kriterlerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Dördüncü senaryoda ise orta düzey müşterilerin üst düzey müşterilerden aktarma yoluyla ürün temin etmelerine izin verilmemiş, bu şekilde orta düzey müşterilere yalnızca depolardan ürün aktarımı gerçekleştiği durumlarda temel performans kriterlerinin, kayıp satış miktarlarının ve ürün akışlarının örnek olaya göre değişimleri incelenmiştir. Bahsedilen dört senaryo sırasıyla S1, S2, S3 ve S4 olarak kısaltılmış ve senaryoların özetleri Tablo 14'te gösterilmiştir.

Tablo 14

İncelenen Senaryoların Özeti

S1	Üst düzey müşteriler arasında ürün aktarımı yok.
S2	Temel düzey müşteriler en fazla 75 km uzaklıktaki üst düzey müşterilerden ürün temin edebilirler.
S3	Depolarda hazır halde bulunan araçların sayısında sınır yok.
S4	Orta düzey müşteriler üst düzey müşterilerden aktarım yoluyla ürün temin edemezler.

2.3.3.1.S1 Senaryosunun Çözümü

Matematiksel modeli S1 senaryosuna uygun hale getirebilmek için (16) numaralı kısıt seti modele eklenmiştir. Bu kısıt kümesi, üst düzey müşteriler arasında ürün aktarımını sağlayan karar değişkenlerinin değerini bütün periyotlarda sıfıra eşitleyerek aktarım yapılmamasını sağlamaktadır.

$$L_{i,j,t} = 0 \forall i, j \in V_1: i \neq j, t \in T \quad (16)$$

Üst düzey müşteriler arasında ürün aktarımının gerçekleşmediği durumda elde edilen çözümü özetleyen temel performans kriterleri Tablo 15'te, bu senaryoda depolardan hareket eden araç sayılarına dair veriler Tablo 16'da ve üst düzey müşterilerin ürün akışlarına ve dönem sonu envanter miktarlarına dair detaylar Tablo 17'de gösterilmiştir.

Tablo 15

S1 Senaryosunun Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri

TPK	Örnek Olay	S1	% Fark*
Sabit araç maliyeti (€)	3.400,0	3.900,0	% 15
Elde bulundurma maliyeti (€)	6.494,8	6.543,8	% 1
Ceza maliyeti (€)	113,4	0	-% 100
Depodan müşterilere ürün taşıma maliyeti (€)	1.386,1	1.802,0	% 30
Ürün aktarma maliyeti (€)	428,0	389,4	-% 9
Toplam maliyet (€)	11.822,3	12.635,2	% 7
Üst düzey müşteriler arasında aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	20	0	-
Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	116	116	-
Depolardan orta düzey müşterilere gönderilen ürün miktarı (parti adedi)	0	0	-
Orta düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	0	0	-
Temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı (parti adedi)	142	148	-
Temel düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	6	0	-

* Örnek olay ve senaryo analizi arasındaki yüzdelik fark gösterilmektedir.

Tablo 15’te üst düzey müşteriler arasında ürün akışı olmadığı durumda toplam maliyetin, örnek olay çözümüyle karşılaştırıldığında yaklaşık %7 artarak 12.635,2 € olduğu görülmektedir. Depolardan müşterilere ürün gönderiminin maliyeti örnek olaya oranla %30 artmış ve 1.802 €’ya yükselmiştir. Buna karşın, örnek olayın çözümünde temel düzey müşterilerin 6 parti ürün talebi karşılanamadığı için 113,4 € ceza maliyeti meydana gelirken, incelenen senaryoda temel ve orta düzey müşterilerin taleplerinin tamamı karşılanabilmiş ve herhangi bir ceza maliyeti oluşmamıştır. Üst düzey müşteriler arasında herhangi bir aktarım olmaması ve üst düzey müşterilerden yalnızca orta düzey müşterilere ürün aktarımına izin verilmesi nedeniyle ürün aktarma maliyetleri örnek olaya oranla %9 azalarak 389,4 € olmuştur.

Tablo 16

S1 Senaryosunun Çözümünde Depolardan Hareket Eden Araç Sayıları (adet)

Depolar	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	4. Periyot
Depo1	3	3	3	3
Depo2	-	-	-	-
Depo3	3	3	3	3
Depo4	3	3	3	3
Depo5	1	1	1	-

Tablo 16’ya bakıldığında depolardan 4 periyotta toplam 39 araç müşterilere hareket etmiş, bu nedenle araç kullanımı maliyeti örnek olaya oranla yaklaşık %14 artarak 3.900,0 € olmuştur. Bu artışın nedeni üst düzey müşteriler arasında ürün aktarımı yapılamaması ve bütün üst düzey müşterilerin ürünleri yalnızca depolardan tedarik edebilmesidir. Örnek olayda herhangi bir ürün gönderimi yapmayan 5 numaralı deponun ilk 3 periyotta birer üst düzey müşteriye ürün gönderimi sağlamış olması da üst düzey müşteriler arasında ürün aktarımı olmayan durumlarda müşterilerin depoları daha aktif kullandıklarını göstermektedir.

Tablo 17

S1 Senaryosunun Çözümünde Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Dönem Sonu Envanter Miktarları (adet)

Üst düzey müşteriler	1. Periyot						2. Periyot					
	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I
HT6	582	-	-	-	4	93	365	-	-	1	2	112
HT7	730	-	-	2	6	64	711	-	-	4	5	81
HT8	708	-	-	8	1	40	735	-	-	7	2	68
HT9	661	-	-	1	6	62	656	-	-	4	4	81
HT10	731	-	-	-	8	64	722	-	-	-	7	112
HT11	219	-	-	-	-	62	574	-	-	5	-	105
HT12	698	-	-	7	-	73	683	-	-	9	-	84
HT13	673	-	-	8	-	48	429	-	-	2	-	107
HT14	695	-	-	4	4	54	630	-	-	2	4	98
HT15	478	-	-	5	-	46	484	-	-	3	-	104

Üst düzey müşteriler	3. Periyot						4. Periyot					
	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I
HT6	535	-	-	-	4	148	637	-	-	3	4	164
HT7	707	-	-	2	7	95	723	-	-	3	6	110
HT8	590	-	-	5	1	99	676	-	-	-	7	128
HT9	718	-	-	3	4	123	505	-	-	3	3	132
HT10	748	-	-	1	7	140	694	-	-	-	7	166
HT11	738	-	-	7	1	224	-	-	-	-	-	121
HT12	682	-	-	7	-	117	541	-	-	6	-	131
HT13	742	-	-	8	-	135	733	-	-	8	-	158
HT14	722	-	-	-	7	137	735	-	-	4	5	150
HT15	571	-	-	7	-	114	720	-	-	9	-	127

Q: Müşteriye depolardan aktarılan ürün miktarı, L⁺: müşteriye diğer müşterilerden parti boyutunda aktarılan ürün miktarı, L⁻: müşteriden diğer müşterilere parti boyutunda aktarılan ürün miktarı, Y: temel düzey müşterilerin parti boyutunda teslim aldığı ürün miktarı, Z: müşteriden orta düzey müşterilere parti boyutunda aktarılan ürün miktarı, I: müşterinin dönem sonu envanter miktarı.

Tablo 17’den görüldüğü üzere L^+ ve L^- sütunları bütün müşterilerde ve bütün dönemlerde boştur, bu durum da üst düzey müşteriler arasında herhangi bir ürün aktarımı gerçekleşmediğini göstermektedir. Tablo 17, örnek olay çözümünde üst düzey müşteri ürün akışları ve dönem sonu envanter miktarları tablosu (bkz. Tablo 12) ile karşılaştırıldığında, S1 senaryosunda depolardan daha fazla sayıda müşteriye ürün gönderildiği görülmektedir. Bu durum, müşterilerin ürünleri yalnızca depolardan tedarik edebilme imkânlarının olmasından kaynaklanmaktadır. Buna karşın, üst düzey müşteri HT11’in ürün akışları incelendiğinde üçüncü periyot sonunda müşterinin deposunda 224 adet ürün stokladığı, dördüncü periyotta ise depolardan ürün teslim almadığı ve stokladığı ürünleri bu dönemde kullandığı görülmektedir.

Özetle, bu senaryoda eğer üst düzey müşteriler arasında ürün aktarımı yapılabilme imkânı kısıtlanırsa, bu durumun toplam maliyeti artırdığı, özellikle depolardan hareket eden araç sayılarında ve dolayısıyla sabit araç maliyetlerinde ve depolardan müşterilere ürün taşıma maliyetlerinde ciddi yükselişlere neden olduğu gösterilmiştir.

2.3.3.2.S2 Senaryosunun Çözümü

Matematiksel modeli S2 senaryosuna uygun hale getirebilmek için l_{ij} ($i \in V_1, j \in V_3$) parametresinin değerleri, temel düzey müşterilerin üst düzey müşterilere mesafeleri 75 km’den küçükse 1, değilse 0 olacak şekilde güncellenmiştir. Güncellenmenin ardından (5) numaralı kısıt seti, temel düzey müşterilerin 75 km’den daha uzakta konumlanmış üst düzey müşterilerden ürün teslim almalarını engellemektedir. S2 senaryosunun çözümünü özetleyen temel performans kriterleri Tablo 18’de, bu senaryoda gerçekleşen kayıp satışların detayları ise Tablo 19’da gösterilmiştir.

Tablo 18*S2 Senaryosunun Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri*

TPK	Örnek Olay	S2	% Fark*
Sabit araç maliyeti (€)	3.400,0	3.300,0	-%3
Elde bulundurma maliyeti (€)	6.494,8	6.499,4	%0
Ceza maliyeti (€)	113,4	321,3	%183
Depodan müşterilere ürün taşıma maliyeti (€)	1.386,1	1.334,5	-%4
Ürün aktarma maliyeti (€)	428,0	455,5	%6
Toplam maliyet (€)	11.822,3	11.910,7	%1
Üst düzey müşteriler arasında aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	20	19	-
Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	116	116	-
Depolardan orta düzey müşterilere gönderilen ürün miktarı (parti adedi)	0	0	-
Orta düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	0	0	-
Temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı (parti adedi)	142	131	-
Temel düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	6	17	-

*Örnek olay ve senaryo analizi arasındaki yüzdelik fark gösterilmektedir.

Tablo 18’de temel düzey müşterilerin üst düzey müşterilerden ürün teslim alabilmeleri için belirlenen maksimum mesafe 100 km’den 75 km’ye düştüğünde, toplam maliyet 11.910,7 € olduğu görülmektedir. S2 senaryosunun çözümü, örnek olay çözümü ile karşılaştırıldığında maliyet kalemlerindeki en ciddi farkın ceza maliyetlerinde meydana geldiği ve örnek olay çözümünde 113,4 € olan kayıp satış maliyetinin S2 senaryosunda %183 artarak 321,3 €’ya yükseldiği görülmektedir. Örnek olay çözümünde temel düzey müşterilerin karşılanamayan talepleri toplamda 6 parti ürünken, S2 senaryosunda temel düzey müşterilerin 17 parti ürün talebi karşılanamamış, bu durum da ceza maliyetlerini ciddi oranda artırmıştır.

Tablo 19*S2 Senaryosunun Çözümünde Karşılanamayan Talep Verileri (parti ürün)*

Müşteriler	Periyot	Talep Miktarı	Karşılanamayan talep miktarı
BT31	1	1	1
BT33	1	2	1
BT37	1	2	2
BT41	1	2	2
BT41	2	1	1
BT41	3	1	1
BT41	4	2	2
BT43	1	2	2
BT43	2	2	2
BT43	3	1	1
BT43	4	2	2

Tablo 19 incelendiğinde BT31, BT33 ve BT37 numaralı temel düzey müşterilerin birinci periyottaki taleplerinin tamamının ya da bir kısmının karşılanamadığı, BT41 ve BT43 numaralı temel düzey müşterilerin taleplerinin tamamının ise hiçbir periyotta karşılanamadığı görülmektedir. Dğümler arasındaki mesafeler incelendiğinde ise (bkz. Tablo 45) BT41 ve BT43 numaralı temel düzey müşterilere 75 km'den daha yakın konumda bulunan herhangi bir üst düzey müşteri olmadığı, fakat 100 km'den daha yakında üst düzey müşteriler bulunduğu görülmektedir. Bu nedenle örnek olay çözümünde müşteriler taleplerini karşılayabilmek için 100 km'den daha yakında yer alan üst düzey müşterilerden ürün tedarik edebilmişler, fakat mesafe limiti 75 km'ye düştüğünde taleplerini karşılayacak ürün tedarik edebilmeleri mümkün olmamıştır. Bu durum da karşılanamayan taleplerin bu senaryoda yükselmesine sebep olmuştur.

Özetle, bu senaryoda taleplerini üst düzey müşterilere bırakılan ürünleri tedarik ederek karşılamak durumunda olan temel düzey müşterilerin ürünleri teslim alabilecekleri üst düzey müşteriler ile aralarında bulunan mesafe kısıtının, ceza miktarlarında yükselmeye sebep olabileceği ve bu durumun maliyet unsurlarını ciddi oranda artırabileceği gösterilmiştir.

2.3.3.3.S3 Senaryosunun Çözümü

S3 senaryosunun çözümünü alabilmek için matematiksel modelde bulunan (8) numaralı kısıt seti olmadan çalıştırılmıştır. İlgili kısıt kümesi depolardan her periyotta hareket edebilecek araçların sayısını düzenlemekte, dolayısıyla model bu kısıt kümesi olmadan çalıştırıldığında depolardan hareket edebilecek araçların sayısında herhangi bir sınır olmamaktadır.

S3 senaryosunun çözümü özetleyen temel performans kriterleri Tablo 20’de, bu senaryoda depolardan hareket eden araç sayılarına dair veriler Tablo 21’de ve gerçekleşen kayıp satışların detayları ise Tablo 22’de gösterilmiştir.

Tablo 20

S3 Senaryosunun Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri

TPK	Örnek Olay	S3	% Fark*
Sabit araç maliyeti (€)	3.400,0	3.400,0	%0
Elde bulundurma maliyeti (€)	6.494,8	6.534,6	%1
Ceza maliyeti (€)	113,4	94,5	-%17
Depodan müşterilere ürün taşıma maliyeti (€)	1.386,1	1.184,6	-%15
Ürün aktarma maliyeti (€)	428,0	464,4	%9
Toplam maliyet (€)	11.822,3	11.678,1**	-%1
Üst düzey müşteriler arasında aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	20	25	-
Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	116	116	-
Depolardan orta düzey müşterilere gönderilen ürün miktarı (parti adedi)	0	0	-
Orta düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	0	0	-
Temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı (parti adedi)	142	143	-
Temel düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	6	5	-

* Örnek olay ve senaryo analizi arasındaki yüzdelik fark gösterilmektedir.

**12 saatlik çözüm süresi limitinde %0,23 tolerans seviyesinde bulunan çözümün amaç fonksiyonu değeri, elde edilen en iyi alt sınır: 11.650,7

Tablo 20’de S3 senaryosunun toplam maliyeti, örnek olay çözümünün toplam maliyetine oranla yaklaşık %1 azalarak 11.678,1 € olmuştur. Araç kullanımının sabit maliyeti bu senaryoda değişmemiş, fakat depolardan müşterilere ürün taşıma maliyeti yaklaşık %15 azalarak 1.184,6 € olmuştur. Bu durum, depolarda hazır bulunan araçların sayısında bir kısıtlama olmadığı durumda, toplamda aynı sayıda araç kullanılmasına rağmen müşterilere mesafe olarak daha yakın depolardan ürün dağıtımının gerçekleştirilmesi yoluyla dağıtım maliyetlerinin düşürülebileceğini göstermektedir. Üst düzey müşteriler arasında aktarımı yapılan parti ürün miktarı, örnek olaya oranla %25 artarak 25 partiye yükselmiştir. Depolarda bulunan araç sayılarındaki kısıtlamadan kaynaklı olarak daha uzaktaki depolardan müşterilere ürün teslimatı yapmak yerine, ürünlerin depolardan yakın üst düzey müşterilere gönderilip bu müşterilerden diğer müşterilere ürün aktarımının yapılmasına yönelik eğilim bu senaryoda artmıştır.

Tablo 21

S3 Senaryosunun Çözümünde Depolardan Hareket Eden Araç Sayıları (adet)

Depolar	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	4. Periyot
Depo1	-	-	-	-
Depo2	-	-	-	-
Depo3	4	5	5	4
Depo4	5	3	4	4
Depo5	-	-	-	-

Tablo 21, S3 senaryosunun çözümünde yalnızca 3 ve 4 numaralı depoların kullanıldığını göstermektedir. Örnek olay çözümünde her depoda her periyotta hazır bulunan 3 araç bulunması nedeniyle 1 numaralı depodan da ürün gönderimi yapılmış, S3 senaryosunda ise araç kısıtı bulunmaması nedeniyle 3 ve 4 numaralı depolar kullanılarak toplamda aynı sayıda araç ile ürün gönderim işlemleri daha az maliyetli olarak gerçekleştirilebilmiştir.

Tablo 22

S3 Senaryosu Çözümünde Karşılanamayan Talep Verileri (parti ürün)

Müşteriler	Periyot	Talep Miktarı	Karşılanamayan talep miktarı
BT31	2	1	1
BT34	4	1	1
BT41	4	2	2
BT55	3	2	1

Tablo 22'den görüldüğü üzere, S3 senaryosu çözümünde dört farklı temel düzey müşterinin toplamda 5 parti ürün talebi karşılanamamıştır. Bu durum, toplam maliyete 94,5 € ceza maliyeti olarak yansımıştır. Orta düzey müşterilerin taleplerinin tamamının karşılanabildiği görülmektedir.

Özetle, bu senaryoda depolardan üst düzey ve orta düzey müşterilere ürün taşıyan araçların sayısında herhangi bir sınırlama bulunmadığı durum incelenmiştir. Müşteriler arasında ürün aktarımı opsiyonunun olması durumunda, depolardan direkt olarak müşterilere ürün taşınması yerine, depolara daha yakın konumda yer alan müşterilere taşınan ürünlerin bu noktalardan diğer müşterilere dağıtılmasının daha avantajlı olabileceği görülmüştür.

2.3.3.4.S4 Senaryosunun Çözümü

Matematiksel modeli S4 senaryosuna uygun hale getirebilmek için (17) numaralı kısıt seti modele eklenmiştir. Eklenen kısıt kümesi, bütün periyotlarda orta düzey müşterilerin üst düzey müşterilerden teslim aldıkları ürün miktarını kontrol eden karar değişkenlerini sıfıra eşitleyerek üst düzey müşterilerin orta düzey müşterilere ürün aktarmalarını engellemektedir.

$$Z_{i,j,t} = 0 \forall i \in V_1, j \in V_2, t \in T \quad (17)$$

Üst düzey müşteriler ile orta düzey müşteriler arasında ürün akışına izin verilmediği durumda elde edilen çözümü özetleyen temel performans kriterleri Tablo 23'te, üst düzey

müşterilerin ürün akışlarına ve dönem sonu envanter miktarlarına dair detaylar Tablo 24’te ve bu senaryoda meydana gelen kayıp satışların detayları Tablo 25’te gösterilmiştir.

Tablo 23

S4 Senaryosunun Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri

TPK	Örnek Olay	S4	% Fark*
Sabit araç maliyeti (€)	3.400,0	3.100,0	-%9
Elde bulundurma maliyeti (€)	6.494,8	6.666,2	%3
Ceza maliyeti (€)	113,4	4.958,1	%4272
Depodan müşterilere ürün taşıma maliyeti (€)	1.386,1	1.081,0	-%22
Ürün aktarma maliyeti (€)	428,0	133,1	-%69
Toplam maliyet (€)	11.822,3	15.938,4	%35
Üst düzey müşteriler arasında aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	20	48	-
Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	116	0	-
Depolardan orta düzey müşterilere gönderilen ürün miktarı (parti adedi)	0	21	-
Orta düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	0	95	-
Temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı (parti adedi)	142	139	-
Temel düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	6	9	-

* Örnek olay ve senaryo analizi arasındaki yüzdelik fark gösterilmektedir.
**12 saatlik çözüm süresi limitinde %0,31 tolerans seviyesinde bulunan çözümün amaç fonksiyonu değeri, elde edilen en iyi alt sınır: 15.888,9

Tablo 23’e bakıldığında, S4 senaryosunun toplam maliyeti, örnek olay çözümünün toplam maliyetine oranla yaklaşık %35 artarak 15.938,4 € olmuştur. Bu değer aynı zamanda incelenen senaryolar arasındaki en yüksek toplam maliyet miktarıdır. Orta düzey müşterilerin üst düzey müşterilerden ürün aktarımı yapamadığı durumda meydana gelen en büyük değişim, ceza maliyetlerindeki ciddi yükseliştir. Örnek olay çözümünde 113,4 € olan kayıp satış maliyeti, S4 senaryosunda 4.958,1 €’ya yükselmiştir. Orta düzey müşteriler ürün taleplerini yalnızca depolardan karşılayabildikleri için, pek çok durumda araçların depolardan müşterilere olan hareketleri, sabit araç maliyetinin de etkisiyle ceza maliyetlerini aşmakta, dolayısıyla model ceza maliyetine katlanmayı sıklıkla tercih etmektedir. Öyle ki, orta düzey müşterilerin planlama ufku boyunca toplam ürün talepleri 116 parti iken, bu taleplerin yalnızca %18’i karşılanabilmiş ve orta düzey müşterilere

depolardan 21 parti ürün teslim edilmiştir. Karşılanamayan 95 parti talep 4788,0 € kayıp satış maliyetine yol açmış, temel düzey müşterilerin karşılanamayan 9 parti talebinden kaynaklanan 170,1 € ile S4 senaryosunda toplamda 4958,1 € ceza maliyetine neden olmuştur.

Tablo 24

S4 Senaryosunun Çözümünde Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Dönem Sonu Envanter Miktarları (adet)

Üst düzey müşteriler	1. Periyot						2. Periyot					
	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I
HT6	708	-	4	2	-	93	-	3	-	-	-	125
HT7	730	-	-	8	-	64	725	-	-	9	-	95
HT8	708	-	4	5	-	40	735	-	-	9	-	68
HT9	-	4	-	-	-	94	-	2	-	-	-	87
HT10	-	4	-	-	-	89	697	-	5	2	-	112
HT11	730	-	6	2	-	69	-	4	-	-	-	105
HT12	698	-	-	7	-	73	746	-	1	9	-	84
HT13	-	3	-	-	-	68	724	-	7	-	-	107
HT14	695	-	-	8	-	54	-	4	-	-	-	98
HT15	-	3	-	-	-	72	714	-	-	7	-	108

Üst düzey müşteriler	3. Periyot						4. Periyot					
	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I
HT6	718	-	-	7	-	155	-	3	-	-	-	164
HT7	-	2	-	-	-	95	723	-	-	9	-	110
HT8	716	-	2	6	-	99	739	-	8	-	-	128
HT9	713	-	-	7	-	124	-	2	-	-	-	132
HT10	749	-	-	8	-	141	-	4	-	-	-	166
HT11	-	2	-	-	-	116	-	2	-	-	-	139
HT12	745	-	2	6	-	117	730	-	1	8	-	131
HT13	-	4	-	-	-	149	593	-	-	6	-	158
HT14	722	-	6	1	-	137	735	-	2	7	-	150
HT15	-	2	-	-	-	114	531	-	-	6	-	127

Q: Müşteriye depolardan aktarılan ürün miktarı, L⁺: müşteriye diğer müşterilerden parti boyutunda aktarılan ürün miktarı, L⁻: müşteriden diğer müşterilere parti boyutunda aktarılan ürün miktarı, Y: temel düzey müşterilerin parti boyutunda teslim aldığı ürün miktarı, Z: müşteriden orta düzey müşterilere parti boyutunda aktarılan ürün miktarı, I: müşterinin dönem sonu envanter miktarı.

Tablo 25*S4 Senaryosu Çözümünde Karşılanamayan Talep Verileri (parti ürün)*

Müşteriler	1. Periyot		2. Periyot		3. Periyot		4. Periyot	
	TM	KTM	TM	KTM	TM	KTM	TM	KTM
MT16	3	3	2	2	3	-	3	-
MT17	1	1	1	1	1	1	3	3
MT18	3	3	2	2	1	1	3	3
MT19	2	2	1	1	3	3	2	2
MT20	2	2	1	1	1	1	3	-
MT21	3	3	2	2	3	3	2	2
MT22	3	-	2	2	2	2	1	1
MT23	2	2	1	1	3	-	1	1
MT24	1	1	2	2	2	2	3	3
MT25	1	1	1	1	3	-	1	1
MT26	1	1	2	2	1	1	2	2
MT27	1	1	2	2	2	2	2	2
MT28	1	1	2	2	2	2	3	3
MT29	2	2	1	1	3	3	2	2
MT30	3	-	2	2	1	1	1	1
BT31	1	-	1	-	2	2	1	-
BT37	2	2	2	-	2	-	1	-
BT39	1	-	2	-	1	1	1	-
BT48	2	1	1	-	2	-	1	-
BT51	1	-	2	1	2	-	1	-
BT54	1	-	2	-	2	2	2	-

TM: Talep miktarı, KTM: Karşılanmayan talep miktarı

Tablo 24 incelendiğinde, bütün periyotlarda orta düzey müşterilere üst düzey müşterilerden teslim edilen ürünlerin miktarını belirten Z sütunlarının boş olduğu görülmektedir. Ayrıca S4 senaryosunda, üst düzey müşteriler arasında aktarılan ürün miktarının diğer senaryolara ve örnek olaya oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, depolardan hareket eden araçların daha çok orta düzey müşteri taleplerini karşılamak için kullanılması, üst düzey müşterilerin ise sıklıkla kendi aralarında aktarım yoluyla taleplerini karşılamalarından kaynaklanmaktadır.

Özetle, bu senaryoda orta düzey müşterilerin üst düzey müşterilerden ürün aktarımı yapamadıkları durum incelenmiştir. Bu durum orta düzey müşterilerin taleplerinin büyük kısmının karşılanamamasına, dolayısıyla ceza maliyetlerinin yükselmesine neden

olmuştur. Ayrıca bu senaryoda üst düzey müşterilerin kendi aralarında gerçekleştirdikleri ürün aktarım miktarlarında da artış olduğu görülmüştür.

3. BÖLÜM

LOJİSTİK İŞ BİRLİĞİ VE HETEROJEN MÜŞTERİ SEGMENTLERİ VARSAYIMLARIYLA ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ

Bu bölümde, daha önceki bölüm kapsamında ele alınan ağ tasarımı probleminde yer alan belirli varsayımları da içeren ve ağ tasarımı probleminden farklı olarak doğrudan dağıtım kararları yerine rotalama kararlarının ele alındığı IRP tanımı yapılmaktadır. Problemin tanımından sonra, lojistik iş birliği ve heterojen müşteri segmentleri varsayımlarıyla IRP için önerilen matematiksel model açıklanmaktadır. Ardından büyük ölçekli problemlerin çözümü için önerilen sezgisel yaklaşım tanıtılmaktadır. Daha sonra problem üzerinde yapılan numerik analizlerin sonuçları ve farklı senaryolar için elde edilen çözümler detaylı olarak incelenmektedir.

3.1. PROBLEM TANIMI

Çalışma kapsamında ele alınan IRP, $G = \{V, A\}$ grafiğinde tanımlanmaktadır. Gösterimde $V = V_1 \cup V_2 \cup V_3 \cup \{0\}$ tedarik zincirinde yer alan düğümleri ve $A = \{(i, j) : i, j \in V \setminus V_3, i \neq j\}$ ise düğümler arası yolları (yayları) temsil etmektedir. Düğümler kümesinde yer alan V_1 üst düzey müşterileri, V_2 orta düzey müşterileri, V_3 temel düzey müşterileri ve $\{0\}$ depoyu göstermektedir. Problem çerçevesinde $T = \{1, 2, \dots, |T|\}$ sonlu planlama ufku belirlenmiştir.

Depo konumunda bulunan tedarikçi, müşterilere ürünün dağıtımından ve stok yönetiminden sorumludur. Tedarikçi, müşterilerini değer bazlı segmentasyona göre gruplamaktadır ve gelir ve maliyete ilişkin girdiler kullanarak müşteriler segmentlerine ayrılmaktadır (Tsipsis & Chorianopoulos, 2011). Tedarikçi için müşteriler arasında en değerli grup olan üst düzey müşteriler, tedarikçinin gelirini büyük ölçüde etkileyen müşteri grubu olarak varsayılmaktadır. Bu müşteri grubu genellikle yüksek değerli alımlar yaparak tedarikçi ile uzun vadeli ve sağlam ilişkiler kurma eğilimindedir. Üst düzey müşterilere özel hizmetler ve avantajlar sunmak, tedarikçinin bu müşterilerin

memnuniyetini artırmasına yardımcı olabilir. Orta düzey müşteriler, üst düzey müşterilerden sonra gelen ikinci önemli müşteri grubunu temsil eder. Bu müşteri segmenti, tedarikçinin orta ölçekli gelirlerini oluşturan müşterilerden oluşmaktadır. Üst düzey müşterilere sağlanan özel avantajların tamamı orta düzey müşterilere sunulmasa da tedarikçi, bu müşteri segmenti için çeşitli özel hizmetler sunarak güçlü bir ilişki kurmayı ve müşteri memnuniyetini artırmayı hedefler. Temel düzey müşteriler, tedarikçinin müşteri tabanının en geniş kesimini temsil eder. Bu müşteri segmenti, genellikle düşük miktarda ve düşük değerde gelir getiren müşterileri içerir.

Tedarikçi tarafından, değer bazlı segmentasyona göre gruplanan heterojen müşteri segmentlerine, önem derecesi göz önüne alınarak farklı hizmetler sunulmaktadır. Tedarikçinin, farklı müşteri segmentleri için hizmetleri nasıl farklılaştırdığı aşağıda özetlenmiştir.

- Tedarikçi, üst düzey müşterilere yönelik olarak ürünlerin doğrudan teslim edilmesi ve müşteri ile birlikte yönetilen envanter hizmetlerini sunmaktadır. Üst düzey müşterilerin envanter yönetimi, tedarikçi tarafından planlama ufkunun başında her dönem için müşterinin envanterinin ulaşacağı hedef seviyeye ve sipariş zamanına yönelik kararların belirlendiği bir statik-dinamik belirsizlik stratejisiyle gerçekleştirilmektedir. Ek olarak, tedarikçi ve üst düzey müşteri arasındaki anlaşma çerçevesinde, üst düzey müşterilerin konumu, tedarikçi tarafından, orta düzey müşteriler için envanter havuzlama ve orta düzey ve temel düzey müşteriler için aktarma merkezi hizmetleri sağlamak üzere kullanılmaktadır.
- Tedarikçi tarafından, orta düzey müşterilere, doğrudan teslimat ve aktarma merkezi olarak kullanılan bir üst düzey müşteriden ürünü dış kaynaklı taşıyıcı yoluyla aktarma şeklinde iki ayrı dağıtım kanalından ürün teslimi hizmeti verilmektedir. Orta düzey müşterilerin envanter yönetimi, planlama ufkunun başında her dönem için sipariş zamanlarına ve sipariş miktarlarına tedarikçi tarafından karar verilen bir statik belirsizlik stratejisi yoluyla gerçekleştirilmektedir.

- Temel düzey müşteriler için ise, müşteri tarafından ürünün alınması yoluyla müşteri talebinin karşılanması (ürün alma noktası olarak kullanılan bir üst düzey müşteriden ürünü direkt olarak teslim alma) hizmeti tedarikçi tarafından verilmektedir.

Envanter havuzlama hizmeti, her orta düzey müşterinin önceden belirlenmiş bir mesafeden daha yakın olan aday bir üst düzey müşteri konuma atanması yoluyla uygulanmaktadır. Bu hizmette, orta düzey müşteriler için atandıkları üst düzey müşterilerin konumlarında güvenlik stoku tutulmaktadır. Aktarma merkezi hizmeti kapsamında ise, tedarikçi tarafından, orta düzey müşterilere dış kaynaklı taşıyıcı aracılığıyla aktarılacak ürünler ve temel düzey müşterilerin üst düzey müşterinin konumundan teslim alabileceği ürünler önceden belirlenmiş bir mesafeden daha yakın olan aday üst düzey müşterinin konumunda tutulmaktadır. Dış kaynaklı taşıyıcı yolu ile ürünlerin aktarılması, tedarikçinin kontrolünde yürütülen bir hizmettir. Tedarikçi tarafından dış kaynaklı taşıyıcı kullanılması ile orta düzey müşterilere sağlanan ürün aktarma hizmeti için bir birim ürün aktarmanın maliyeti f'_{ij} ($i \in V_1, j \in V_2$) aktarma maliyeti şeklinde oluşmaktadır. Temel düzey müşteriler için ise ürün alma noktası olarak belirlenen üst düzey müşterilerden ürünleri teslim almanın maliyetine tedarikçi tarafından katlanılmadığı varsayılmaktadır.

Depodan temin edilen ürünlerin birim başına c maliyet ile satın alındığı veya üretildiği ve sonrasında bu ürünlerin tedarikçi tarafından dağıtılarak müşterilerin taleplerinin karşılandığı varsayılmaktadır. Üst düzey ve orta düzey müşterilerin talepleri belirsizlik içermektedir ve bu taleplerin her dönem için bilinen bir ortalama ($\mu_{i,t}, t \in T, i \in V_1 \cup V_2$) ve standart sapma ($\sigma_{i,t}, t \in T, i \in V_1 \cup V_2$) ile normal dağılıma sahip olduğu varsayılmaktadır. Tedarikçi üst düzey ve orta düzey müşteriler için üzerinde anlaşmaya varılan bir hizmet düzeyini (α) garanti eder ve müşteriler bu hizmet düzeyi kapsamında envanterlerinin yönetimini tedarikçiye bırakır. Temel düzey müşterilerinin ($i \in V_3$) talepleri ise planlama ufkunun başında kesin olarak bilinmektedir ve bu müşterilerin karşılanmayan talepleri için v_i ceza (kayıp satış) maliyeti oluşmaktadır.

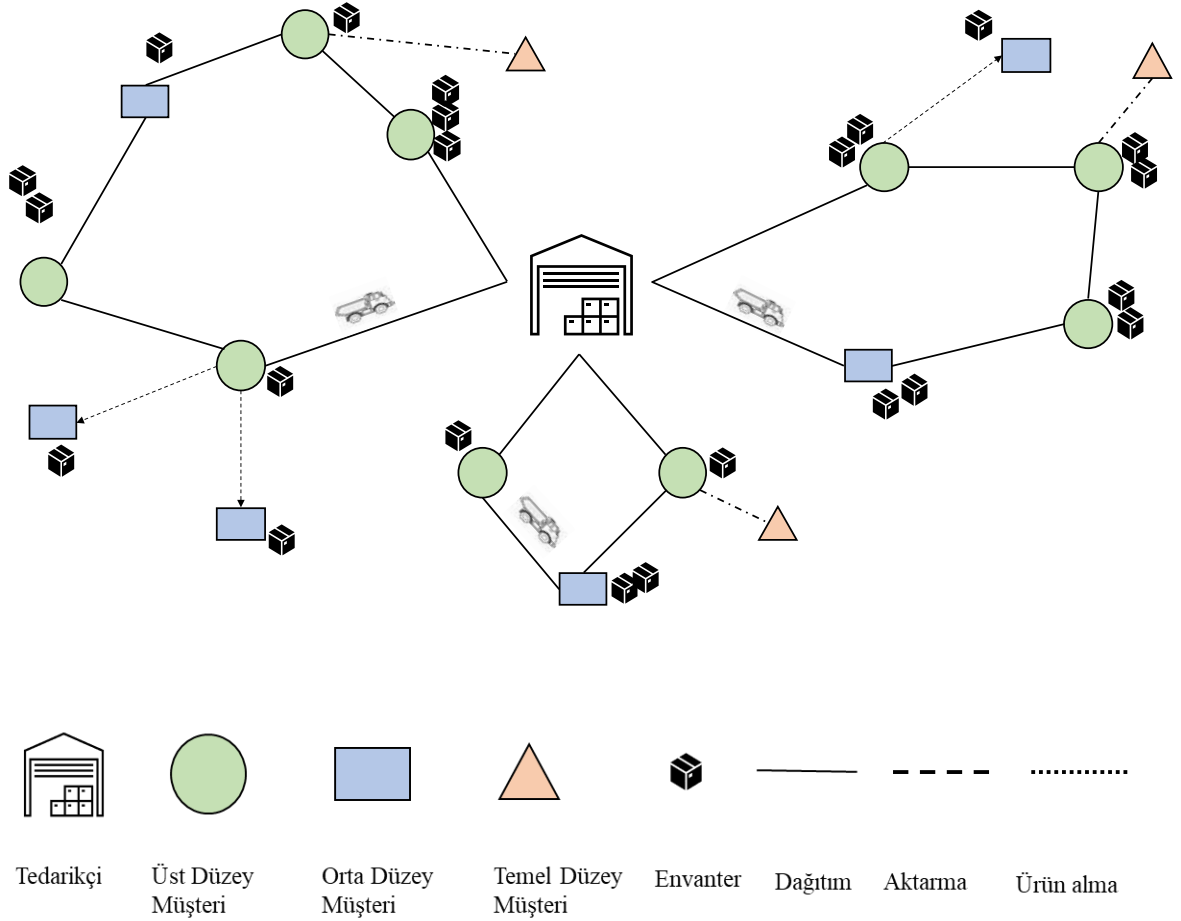
Her biri *cap* adet kapasiteye ve π sabit maliyete sahip homojen araç seti ($K = \{1, 2, \dots, |K_n|\}$) ile ürün dağıtımını gerçekleştirilmektedir. Araçlar, kilometrede θ litre miktarda yakıt harcayarak, her zaman periyodunda depoda başlayan ve depoda biten en fazla bir rota gerçekleştirebilir. Üst düzey ve orta düzey müşterilere birden fazla araç hizmet verebilir, bu nedenle müşteri talepleri bölünebilir. Üst düzey ve orta düzey müşterilere yapılan ürün teslimleri sırasında bir elleçleme (yükleme-boşaltma) süresi ve bu süreye bağlı olarak bir elleçleme maliyeti ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, üst ve orta düzey müşterilere ürün tesliminden sorumlu araçların sürücülerine toplam seyahat sürelerine ve elleçleme sırasındaki bekleme sürelerine göre ödeme yapılmaktadır.

Tedarikçi, üst ve orta düzey müşterilerin stok yönetimini müşterilerin önem sıralarını göz önünde bulundurarak yapmaktadır. Üst düzey müşteriler tedarikçi için en önemli müşteri segmenti olduğundan bu müşterilerin stok yönetiminde performansı diğer envanter kontrol politikalarına göre daha yüksek olan statik dinamik belirsizlik stratejisi yoluyla gerçekleştirilmektedir. Üst düzey müşteriler için, tedarikçi müşterinin envanterini yönetmek adına planlama ufkunun başında, envanterin ulaşacağı seviyeye ve sipariş zamanına karar verir. Üst düzey müşterilere ait güvenlik stokları, müşterinin kendi konumunda tutulur ve üst düzey müşterilerin elde bulundurma maliyeti kapsamında değerlendirilir. Orta düzey müşteriler tedarikçi için, ikinci önemli müşteri segmenti olduğundan bu müşterilerin stok yönetimi statik belirsizlik kontrol stratejisi ile yapılmaktadır. Statik belirsizlik stratejisi kapsamında tedarikçi, orta düzey müşteriler için planlama ufkunun başında her dönem için sipariş zamanlarına ve sipariş miktarlarına karar verir. Bunun yanı sıra, orta düzey müşterilere envanter havuzlama hizmeti sunulmaktadır. Bu kapsamda, orta düzey müşterilere ait güvenlik stokları, belirli bir mesafe uzaklığındaki üst düzey müşterilerin bulunduğu konumlarda depolanmaktadır ve bu yöntemle envanter havuzlaması gerçekleştirilmektedir. Elde bulunan bu stoklar için h_i elde bulundurma maliyeti oluşmaktadır.

Şekil 5'te ilgili problemin genel bir gösterimi verilmiştir.

Şekil 5

IRP Genel Gösterimi



Bu çalışmada tedarikçinin temel amacı, her periyotta müşteri taleplerini optimal bir şekilde karşılamaya olanak tanıyan sevkiyat rotalarını ve miktarlarını belirleyerek, dağıtım, envanter ve diğer maliyetleri en aza indirmektir. Problemden maliyetler; satın alma veya üretim maliyeti, envanterin elde bulundurma maliyeti, araçların kullanımının sabit maliyeti, yakıt maliyeti, aktarma sonucu oluşan taşıma maliyeti, kayıp satışta ortaya çıkan ceza maliyeti, araçların elleçleme maliyeti ve sürücü ücretleri olarak tanımlanmaktadır.

3.2. MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde tanıtılan problemin karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama formülasyonu sunulmaktadır. Matematiksel modelin ifade edilmesinde kullanılan kümeler, parametreler ve karar değişkenleri Tablo 26'da yer almaktadır.

Tablo 26

Notasyon Tablosu

Sembol	Açıklama	Birim
Kümeler		
V_i	Müşteri kümesi $i \in \{\text{Üst düzey müşteriler, Orta düzey müşteriler, Temel düzey müşteriler}\}$	
V	$V = V_1 \cup V_2 \cup V_3 \cup \{0\}$, $\{0\}$ depoyu temsil etmektedir.	
A	Düğümler arası yollar kümesi $A = \{(i, j): i, j \in V \setminus V_3, i \neq j\}$	
K	Araçlar kümesi $K = \{1, 2, \dots, K_n \}$	
T	Planlama ufkunda yer alan periyotların kümesi $\{1, 2, \dots, T \}$	
Parametreler		
cap	Araçların ürün taşıma kapasitesi	Adet
π	Araç kullanmanın sabit maliyeti	€
ρ	Elleçleme maliyeti	€
∂	Saat başına sürücü ücreti	€/saat
β	Ürün teslimi sırasındaki elleçleme süresi	saat
$\varphi_{i,j}$	i ve j $(i, j) \in A$ düğümleri arasındaki seyahat hızı	km/saat
$dis_{i,j}$	i ve j $(i, j) \in A$ düğümleri arasındaki mesafe	km
θ	Seyahat etmek için kilometre başı harcanan yakıt miktarı	lt/km

ϑ	Yakıtın litre fiyatı	lt/€
$f'_{i,j}$	$i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_2$ orta düzey müşterisine bir birim ürün aktarmanın maliyeti	€/adet
c	Bir birim ürün üretme veya satın alma maliyeti	€/adet
h_i	$i \in V_1$ üst düzey müşterisinde dönem sonunda kalan ürünler için elde bulundurma maliyeti	€/adet
v_i	$i \in V_3$ temel düzey müşterisinde kayıp satışın maliyeti	€/adet
$d_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_1 \cup V_2$ üst düzey ve orta düzey müşterisi için $\mu_{i,t}$ ortalama ve $\sigma_{i,t}$ standart sapma ile normal dağılım gösteren belirsiz talep miktarı	Adet
$d'_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_3$ temel düzey müşterisi için talep miktarı	Adet
z_α	$i \in V_1 \cup V_2$ üst düzey ve orta düzey müşterisi için belirlenen müşteri hizmet düzeyi	
$l_{i,j}$	$j \in V_3$ temel düzey müşterisi mesafeye bağlı olarak $i \in V_1$ üst düzey müşterisinin konumunu ürün alma noktası olarak kullanabilme imkânına sahipse 1, değilse 0	(0,1)
$l''_{i,j}$	$j \in V_2$ orta düzey müşterisi için mesafeye bağlı olarak $i \in V_1$ üst düzey müşterisinin konumunda güvenlik stoku tutma imkânı varsa 1, değilse 0	(0,1)
cov	Varyasyon katsayısı (<i>coefficient of variation</i>)	
M	Yeterince büyük bir sayı	
$E\{. \}$	Beklenen değer operatörü (<i>expected value operator</i>)	
Karar değişkenleri		
$I_{i,t}$	$t \in T$ periyodunun sonunda $i \in V_1$ üst düzey müşterisinin envanter seviyesi, $I_{i,0} = b_i \forall i \in V_1$	Adet
$X_{i,j,k,t}$	$t \in T$ periyodunda $k \in K$ aracı $i \in V \setminus V_3$ 'den $j \in V \setminus V_3$ 'e hareket ederse 1, etmezse 0	(0,1)
$R_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_1$ üst düzey müşterisinin hedeflenen stok düzeyi	Adet
$\delta_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_1$ üst düzey müşterisi tarafından stok yenileme siparişi verilirse 1, verilmezse 0	(0,1)
$p^i_{t,j}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_1$ üst düzey müşterisi için verilen en son sipariş t-j+1 döneminde ise 1, değilse 0	(0,1)
$Y_{i,j,t}$	$t \in T$ periyodunda $j \in V_3$ temel düzey müşterisinin talebini karşılamak için $i \in V_1$ üst düzey müşterisinin konumuna gönderilen miktar	Adet
$Z_{i,j,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_2$ orta düzey müşterisine aktarılan miktar	Adet
$B_{i,j}$	$j \in V_2$ orta düzey müşterisi için $i \in V_1$ üst düzey müşterisinin konumuna güvenlik stoku bulundurulursa 1, bulundurulmazsa 0	(0,1)

$Y_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda orta düzey müşteriler için $i \in V_1$ üst düzey müşterisinde tutulan güvenlik stokunun miktarı	Adet
$U_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_3$ temel düzey müşterisinin karşılanmayan talep miktarı	Adet
$Q_{i,k,t}$	$t \in T$ periyodunda $k \in K$ aracının $i \in V_1 \cup V_2$ üst düzey ve orta düzey müşterisine teslim ettiği ürün miktarı	Adet
$F_{i,j,k,t}$	$t \in T$ periyodunda $k \in K$ aracının $i \in V \setminus V_3$ 'den $j \in V \setminus V_3$ 'e taşıdığı miktar	Adet
$Binary_i$	$i \in V_1$ üst düzey müşterisinin güvenlik stoku için gereken doğrusallaştırma işlemi değişkeni	(0,1)

En küçükke (Minimize)

$$\sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} c Q_{i,k,t} \quad (1.i)$$

$$+ \sum_{i \in V_1} \sum_{t \in T} h_i E\{I_{i,t}\} \quad (1.ii)$$

$$+ \sum_{j \in V_1 \cup V_2, 0, j) \in A} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \pi X_{0,j,k,t} \quad (1.iii)$$

$$+ \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} dis_{i,j} \theta \vartheta X_{i,j,k,t} \quad (1.iv)$$

$$+ \sum_{i \in V_1} \sum_{j \in V_2} \sum_{t \in T} f'_{i,j} Z_{i,j,t} \quad (1.v)$$

$$+ \sum_{i \in V_3} \sum_{t \in T} v_i U_{i,t} \quad (1.vi)$$

$$+ \sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{j \in V \setminus V_3: (i,j) \in A} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \rho X_{i,j,k,t} \quad (1.vii)$$

$$+ \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \partial \left(\frac{dis_{i,j}}{\varphi_{i,j}} \right) X_{i,j,k,t} + \sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{j \in V \setminus V_3: (i,j) \in A} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \beta \partial X_{i,j,k,t} \quad (1.viii)$$

Amaç fonksiyonu (1.i), (1.ii), (1.iii), (1.iv), (1.v), (1.vi), (1.vii) ve (1.viii) şeklinde sekiz bölümden oluşmaktadır. (1.i) üst düzey ve orta düzey müşteriler için satın alma veya üretim maliyetini, (1.ii) üst düzey müşteriler için envanterin elde bulundurma maliyetini, (1.iii) araçların kullanımının sabit maliyetini, (1.iv) araçların hareketi sonucu oluşan yakıt maliyetini, (1.v) üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarma sonucu oluşan taşıma maliyetini, (1.vi) temel düzey müşteriler için kayıp satışta ortaya çıkan ceza maliyetini, (1.vii) üst düzey ve orta düzey müşteriler için dağıtım sırasında oluşan elleçleme maliyetini, (1.viii) sürücü ücretlerinin toplam maliyetini içermektedir.

Modelde (2)-(7) arasında yer alan kısıt setleri, Tarım & Kingsman (2004) çalışmasında benzer bir yaklaşımla ele alınmıştır. Tez kapsamında, üst düzey müşteriler için statik-dinamik belirsizlik stratejisi kullanıldığı varsayılmaktadır. Bu strateji, siparişlerin zamanlamasının planlama ufkunun başında belirlendiği, ancak sipariş büyüklüklerine her dönemin başında dinamik olarak karar verildiği bir yaklaşımı içermektedir.

$$E\{I_{i,t}\} = E\{R_{i,t}\} - E\{d_{i,t}\} - \sum_{j \in V_3} Y_{i,j,t} - \sum_{j \in V_2} Z_{i,j,t} \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (2)$$

$$E\{R_{i,t}\} \geq E\{I_{i,t-1}\} \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (3)$$

$$E\{R_{i,t}\} - E\{I_{i,t-1}\} \leq M\delta_{i,t} \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (4)$$

Kısıt setleri (2), (3) ve (4) üst düzey müşterilerde verilmesi gereken envanter kararları ile ilişkilidir. Kısıt seti (2) ile her periyotta üst düzey müşterilerin beklenen hedef stok düzeyinden; beklenen talebin, her periyotta üst düzey müşterilere temel düzey müşteri için gönderilen ürün miktarının ve her periyotta üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan miktarın çıkarılmasıyla, her periyodun sonundaki üst düzey müşterilerin beklenen dönem sonu envanteri elde edilir. Kısıt seti (3) her periyot için üst düzey müşterilerin beklenen hedef stok düzeyinin, üst düzey müşterilerin beklenen bir önceki dönem kapanış envanterine eşit olmasını sağlar. Kısıt seti (4) ile; eğer t periyodunda üst düzey müşteri tarafından yenileme siparişi verilmezse ($\delta_{i,t} = 0$), üst düzey müşterilerin beklenen hedef stok düzeyinin bir önceki dönemin beklenen kapanış

envanter düzeyine eşit olması sağlanır. Eğer t periyodunda üst düzey müşteri tarafından yenileme siparişi verilirse ($\delta_{i,t} = 1$), üst düzey müşterilerin beklenen hedef stok düzeyinin; yeterince büyük bir sayı ile bir önceki dönemin beklenen kapanış envanter düzeyi arasında yer alması sağlanır.

$$E\{I_{i,t}\} \geq \left(\left(\sum_{j=1}^t G_{d_{i,t-j+1}+d_{i,t-j+2}+\dots+d_{i,t}}^{-1}(\alpha) - \sum_{k=t-j+1}^t E\{d_{i,k}\} \right) P_{t,j}^i \right) + \gamma_{i,t} \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (5)$$

Kısıt seti (5)'te yer alan $G_{d_{i,1}+d_{i,2}+\dots+d_{i,t}}(\alpha)$ fonksiyonu $d_{i,1} + d_{i,2} + \dots + d_{i,t}$ toplamının kümülatif dağılımını gösterir. (α) ise belirlenen hizmet düzeyini ifade etmektedir. Bu durumda $G_{d_{i,1}+d_{i,2}+\dots+d_{i,t}}^{-1}(\alpha)$ toplam talebin belirlenen hizmet düzeyinin (α olasılığının) envanter miktarı cinsinden karşılığı şeklinde tanımlanabilir. Kısıt seti (5) üst düzey müşteriler için verilen en son sipariş $t - j + 1$ döneminde ise ($P_{t,j}^i = 1$); belirlenen hizmet düzeyi için gerekli olan talep miktarından üst düzey müşterilerin beklenen talebinin çıkarılması ve her periyotta orta düzey müşteriler için üst düzey müşterilerde tutulan güvenlik stokunun miktarının eklenmesi ile üst düzey müşterilerin beklenen dönem sonu envanter miktarının ilişkilendirilmesini sağlar.

$$\sum_{j=1}^t P_{t,j}^i = 1 \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (6)$$

$$P_{t,j}^i \geq \delta_{i,t-j+1} - \sum_{k=t-j+2}^t \delta_{i,k} \quad \forall i \in V_1, t \in T, j = 1..t \quad (7)$$

Kısıt seti (6) ve (7) üst düzey müşterilerin en son sipariş dönemini ve stok yenileme koşullarının sağlanmasını amaçlamaktadır. $t = j$ durumunda $P_{t,j}^i = 1$ ise, stokun gözden geçirilmesinin planlama ufkunun başlangıcı olan 1. Periyotta olduğu ve bu nedenle en son siparişin 1. Periyotta alındığı gösterilmektedir. $t > j$ durumunda $P_{t,1}^i = 1$ ise, stokun gözden geçirilmesinin t periyodunun başlangıcında olduğu ve en son siparişin t periyodunda alındığı gösterilmektedir. $\delta_{i,t-j+1} = 1$ ve $\sum_{k=t-j+2}^t \delta_{i,k} = 0$ olduğu

durumda, $P_{t,j}^i = 1$ olmak zorundadır. Bu durumda, üst düzey müşteriler için en son $t - j + 1$ 'de sipariş verilmiş demektir. $\delta_{i,t-j+1} = 0$ ve $\sum_{k=t-j+2}^t \delta_{i,k} = 0$ olduğu durumda, $P_{t,j}^i = 0$ olmak zorundadır. Bu durumda, üst düzey müşteriler için en son $t - j + 1$ 'den önce sipariş verilmiş demektir. Yani t periyodu ile $t - j + 1$ periyodu arasında herhangi bir stok yenileme siparişi yoktur anlamına gelir. $\delta_{i,t-j+1} = 1$ ve $\sum_{k=t-j+2}^t \delta_{i,k} \geq 1$ olduğu durumda, $P_{t,j}^i = 0$ olmak zorundadır. Bu durumda, üst düzey müşteriler için verilen en son sipariş $t + j - 1$ 'den sonra gerçekleşmiş demektir. Kısıtlar (6) ve (7) tüm bu koşulların sağlanmasını garanti eder.

$$\sum_{k \in K} Q_{i,k,t} = E\{R_{i,t}\} - E\{I_{i,t-1}\} \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (8)$$

Kısıt seti (8) her periyotta her üst düzey müşteriye teslim edilen miktarın; her periyottaki üst düzey müşterilerin beklenen hedef stok düzeyinden bir önceki dönemin beklenen kapanış envanter düzeyinin çıkarılması ile elde edilmesini sağlar.

$$\sum_{i \in V_1} Y_{i,j,t} l_{i,j} = d'_{j,t} - U_{j,t} \quad \forall j \in V_3, t \in T \quad (9)$$

$$Y_{i,j,t} \leq M l_{i,j} \quad \forall i \in V_1, j \in V_3, t \in T \quad (10)$$

Kısıt seti (9) her periyotta üst düzey müşterilere her temel düzey müşteri için gönderilen ürün miktarının, temel düzey müşterilerin talebi ile ilişkilendirilmesini sağlar. Kısıt seti (10) temel düzey müşterinin önceden belirlenmiş bir mesafeden daha yakın olan üst düzey müşterilerin buldukları konumu ürün alma noktası olarak kullanmasına imkânı yoksa ($l_{i,j} = 0$); üst düzey müşterilerin konumuna ürün gönderilmemesini sağlar.

$$\sum_{i \in V_1} B_{i,j} l''_{i,j} = 1 \quad \forall j \in V_2 \quad (11)$$

Kısıt seti (11) her orta düzey müşteri için uygun olan üst düzey müşteri konumları arasından bir tane güvenlik stoku yerinin belirlenmesini sağlar.

$$\gamma_{i,t} \geq \sum_{j \in V_2} B_{i,j} l''_{i,j} \left(\sum_{k=1}^t G_{d_{j,k}+d_{j,k+1}+\dots+d_{j,t}}^{-1}(\alpha) - \sum_{k=1}^t E\{d_{j,k}\} \right) \forall i \in V_1, t \in T \quad (12)$$

Kısıt seti (5) ile benzer olarak, $G_{d_{i,1}+d_{i,2}+\dots+d_{i,t}}^{-1}(\alpha)$ toplam talebin belirlenen hizmet düzeyinin (α olasılığının) envanter miktarı cinsinden karşılığı şeklinde tanımlanabilir. Kısıt seti (12) orta düzey müşteriler için üst düzey müşterilerin konumuna güvenlik stoku atanmış ($B_{i,j} l''_{i,j} = 1$) ise; belirlenen hizmet düzeyi için gerekli olan talep miktarından, üst düzey müşterilerin beklenen talebinin çıkarılması ile her periyotta orta düzey müşteriler için üst düzey müşterilerde tutulan güvenlik stokunun miktarının ilişkilendirilmesini sağlar.

$$\sum_{k \in K} Q_{i,k,t} + \sum_{j \in V_1} Z_{j,i,t} = E\{d_{i,t}\} \forall i \in V_2, t \in T \quad (13)$$

Kısıt seti (13) her periyotta her orta düzey müşterilerinin beklenen talebinin; orta düzey müşterilere teslim edilen miktar ve üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan miktar yoluyla karşılanmasını sağlar.

$$\sum_{i \in V \setminus V_3: (i,j) \in A} X_{i,j,k,t} = \sum_{i \in V \setminus V_3: (j,i) \in A} X_{j,i,k,t} \quad \forall j \in V_1 \cup V_2, k \in K, t \in T \quad (14)$$

$$\sum_{j \in V \setminus V_3: (i,j) \in A} X_{i,j,k,t} \leq 1 \quad \forall i \in V \setminus V_3, k \in K, t \in T \quad (15)$$

$$\sum_{j \in V \setminus V_3: (i,j) \in A} F_{i,j,k,t} = \sum_{j \in V \setminus V_3: (j,i) \in A} F_{j,i,k,t} - Q_{i,k,t} \quad \forall i \in V_1 \cup V_2, k \in K, t \in T \quad (16)$$

$$F_{i,j,k,t} \leq cap X_{i,j,k,t} \quad \forall (i,j) \in A, k \in K, t \in T \quad (17)$$

Kısıt setleri (14) – (17) rotalama kararlarıyla ilgilidir. Kısıt seti (14) her periyotta, ilgili düğümlerde ve her araç için akışın korunmasını sağlar. (15) numaralı kısıt seti her aracın her üst düzey ve orta düzey müşteri noktasını en fazla bir kez ziyaret edebileceğini

göstermektedir. Kısıt setleri (16) ve (17) kapasite kısıtlarıdır. (16) numaralı kısıt seti aracın yükünü takip etmektedir. (17) numaralı kısıt setine göre, araç müşteriler arasında hareket etmiyorsa, bu iki nokta arasında yük taşımamaktadır. Bu nedenle üst düzey ve orta düzey müşteriler için her aracın taşıdığı yük miktarı en fazla o aracın kapasitesi kadardır.

$$I_{i,t} \in Z^+ \cup 0 \quad i \in V_1, t \in T \quad (18)$$

$$\gamma_{i,t} \in Z^+ \cup 0 \quad i \in V_1, t \in T \quad (19)$$

$$X_{i,j,k,t} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A, k \in K, t \in T \quad (20)$$

$$Y_{i,j,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_1, j \in V_3, t \in T \quad (21)$$

$$U_{i,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_3, t \in T \quad (22)$$

$$Z_{i,j,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_1, j \in V_2, t \in T \quad (23)$$

$$B_{i,j} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V_1, j \in V_2 \quad (24)$$

$$Q_{i,k,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_1 \cup V_2, k \in K, t \in T \quad (25)$$

$$F_{i,j,k,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall (i,j) \in A, k \in K, t \in T \quad (26)$$

$$R_{i,t} \in Z^+ \cup 0 \quad i \in V_1, t \in T \quad (27)$$

$$\delta_{i,t} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (28)$$

$$P_{t,j}^i \in \{0,1\} \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (29)$$

Modelde yer alan karar değişkenlerinin üzerindeki değersel kısıtlar, kısıt seti (18) – (29) arasında verilmiştir.

Talep belirsizliği varsayımı ile karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli (1.i) – (1.viii) amaç fonksiyonu ve (2) – (29) numaralı kısıt setleri ile tanımlanır.

Modelde bulunan kısıt seti (5) ve kısıt seti (12)'de toplam talebin kümülatif dağılım fonksiyonu yer almaktadır. Bu nedenle ilgili kısıt setleri yeniden yazılarak ifade edilir.

(5) numaralı kısıt seti yeniden yazılarak kısıt seti (30) şeklinde ifade edilebilir.

$$E\{I_{i,t}\} \geq \left(\sum_{j=1}^t \sqrt{\sum_{k=t-j+1}^t \mu_{i,k}^2 cov^2 z_\alpha P_{t,j}^i} \right) + \gamma_{i,t} \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (30)$$

Toplam talebin belirlenen hizmet düzeyinde karşılanmasını sağlayan $G_{d_{i,t-j+1}+d_{i,t-j+2}+..+d_{i,t}}^{-1}(\alpha)$ fonksiyonundan, üst düzey müşterilerin beklenen talebinin çıkarılması talebin standart sapması olarak tanımlanabilir. Kısıt seti (30) üst düzey müşteriler için verilen en son sipariş $t - j + 1$ döneminde ($P_{t,j}^i = 1$) ise; talebin standart sapması ve belirlenen hizmet düzeyi kullanılarak hesaplanan talep miktarı ve üst düzey müşterilerin beklenen dönem sonu envanter miktarının ilişkilendirilmesini sağlar.

Talebin normal dağıldığı varsayımı altında kısıt seti (12), kısıt seti (31) şeklinde ifade edilebilir.

$$\gamma_{i,t} \geq \sqrt{\sum_{j \in V_2} \sum_{k=1}^t B_{i,j} l''_{i,j} \mu_{j,k}^2 cov^2 z_\alpha} \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (31)$$

Kısıt seti (31) orta düzey müşteriler için üst düzey müşterilerin konumuna güvenlik stoku atanmış ($B_{i,j} l''_{i,j} = 1$) ise; talebin standart sapması ve belirlenen hizmet düzeyi kullanılarak hesaplanan talep miktarı ile her periyotta orta düzey müşteriler için üst düzey müşterilerde tutulan güvenlik stokunun miktarının ilişkilendirilmesini sağlar.

Kısıt seti (31)'de bulunan karar değişkeni $B_{i,j}$ karekök içinde yer aldığından ilgili kısıt seti doğrusal formda değildir. Bu nedenle kısıt seti (31) doğrusal forma getirilerek kısıt seti (31.1) ve kısıt seti (31.2) şeklinde ifade edilir.

$$A_{i,t} = \frac{\left(Binary_i \sum_{j \in V_2} \sqrt{\sum_{k=1}^t \mu_{j,k}^2 cov^2} - \sum_{j \in V_2} B_{i,j} l''_{i,j} \sqrt{\sum_{k=1}^t \mu_{j,k}^2 cov^2} \right)}{2} \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (31.a)$$

$$\gamma_{i,t} \geq \frac{\sum_{j \in V_2} B_{i,j} l''_{i,j} \sqrt{\sum_{k=1}^t \mu_{j,k}^2 cov^2 + A_{i,t}}}{\sum_{j \in V_2} \sqrt{\sum_{k=1}^t \mu_{j,k}^2 cov^2}} * \sqrt{\sum_{j \in V_2} \sum_{k=1}^t \mu_{j,k}^2 cov^2} z_\alpha \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (31.1)$$

$$\sum_{j \in V_2} B_{i,j} l''_{i,j} \leq M Binary_i \quad \forall i \in V_1 \quad (31.2)$$

Sonuç olarak, kısıt seti (5) yerine kısıt seti (30) ve kısıt seti (12) yerine kısıt setleri (31.1) ve (31.2) getirilerek model yeniden yazılır. MILP modeli formülasyonu (1.i) – (1.viii) bileşenlerinden oluşan amaç fonksiyonu, ve (2) –(4), (6) –(11), (13) –(30) ve (31.1) – (31.2) numaralı kısıt setleri ile tanımlanır.

3.2.1. Geliştirilen Matematiksel Formülasyonun Güçlendirilmesi

Bu bölüm, geliştirilen matematiksel formülasyonu sıkılaştırmak ve optimal çözüme yakınsamayı hızlandırmak için dört geçerli eşitsizliği sunmaktadır.

$$\sum_{j \in V_1 \cup V_2} X_{0,j,k,t} \geq \sum_{j \in V_1 \cup V_2} X_{0,j,k+1,t} \quad \forall k \in K \setminus K_n, t \in T \quad (32)$$

$$\sum_{j \in V \setminus V_3: (j,i) \in A} X_{j,i,k,t} * cap \geq Q_{i,k,t} \quad \forall i \in V_1 \cup V_2, k \in K, t \in T \quad (33)$$

$$\delta_{i,t} \leq \sum_{j \in V \setminus V_3: (j,i) \in A} \sum_{k \in K} X_{j,i,k,t} \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (34)$$

$$\sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{k \in K} X_{i,0,k,t} \geq \sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{k \in K} Q_{i,k,t} / cap \quad \forall t \in T \quad (35)$$

Kısıt seti (32) ile homojen özelliklere sahip $k \in K$ araç setinde yer alan araçların sıra ile kullanılması garanti edilmektedir (Fahle vd., 2001). (33)-(35) numaralı geçerli eşitsizlik kısıt setleri için Coelho & Laporte (2014) ve Soysal vd., (2018) çalışmalarından esinlenilmiştir. Kısıt seti (33) ile üst düzey ve orta düzey müşterilere doğrudan teslimat varsa bu müşterilere yük bırakılması garanti edilir. Kısıt seti (34) ile üst düzey müşterilere doğrudan teslimat yapılmadığı durumda stok yenileme yapılmaması garanti edilir. Kısıt

seti (35) ile üst düzey ve orta düzey müşteriler için bırakılan yük ve ihtiyaç duyulan araç sayısı arasındaki ilişki garanti edilir.

3.3. SEZGİSEL ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Bu bölümde, pratikte karşılaşılan büyük ölçekli envanter rotalama problemlerini uygun süreler içinde çözebilmek amacıyla bir MILP tabanlı sezgisel yaklaşım önerisi sunulmaktadır. Önerilen yaklaşım, üç adımdan oluşmaktadır.

Adım 1: Doğrudan dağıtım varsayımı ile modelleme

Tez çalışması kapsamında ele alınan problem rotalama kararları içermektedir. Bu bölümde, ilk olarak araçların *milk-run* (döngüsel sefer) dağıtım şekli yerine doğrudan dağıtım yaptığı varsayımı kabul edilmektedir. Bu bağlamda depodan hareket eden araçlar doğrudan tek bir müşterinin talebini karşılamakta ve depoya geri dönüş yapmaktadırlar. Bu kapsamda, önceki bölümde tanıtılan M modelinin amaç fonksiyonu revize edilmiş ve modele ek kısıtlar eklenmiştir. M modelinin amaç fonksiyonunda yapılan değişiklikler aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

$$\sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \pi(Q_{i,k,t}/cap) \quad (40.1)$$

$$\sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} dis_{0,i} \theta \vartheta(Q_{i,k,t}/cap) + \sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} dis_{i,0} \theta \vartheta(Q_{i,k,t}/cap) \quad (40.2)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \partial \left(\frac{dis_{0,i}}{\varphi_{0,i}} \right) (Q_{i,k,t}/cap) + \sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \partial \left(\frac{dis_{i,0}}{\varphi_{i,0}} \right) (Q_{i,k,t}/cap) \\ & + \sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{j \in V \setminus V_3: (i,j) \in A} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \beta \partial X_{i,j,k,t} \end{aligned} \quad (40.3)$$

Doğrudan dağıtım varsayımı altında yapılan teslimatların maliyetlerini rotalama yapıldığı duruma yakınsamak için, M modelinin amaç fonksiyonunda yer alan (1.i), (1.iv) ve (1.viii) bileşenlerinin yerine sırasıyla (40.1), (40.2) ve (40.3) bileşenleri eklenir. (40.1)

üst düzey ve orta düzey müşteriler için satın alma veya üretim maliyetini, (40.2) araçların hareketi sonucu oluşan yakıt maliyetini ve (40.3) sürücü ücretlerinin toplam maliyetini içermektedir. Bu maliyetler üst ve orta düzey müşterilere periyotlarda taşınan yük miktarlarını ve ilgili araç kapasitesini dikkate alarak hesaplanmaktadır. Ayrıca, doğrudan dağıtımda araçların depodan çıkıp depoya geri dönmesi gerektiği için yakıt maliyeti ve sürücü ücretleri depoya gidiş-dönüş mesafesini göz önünde bulunduracak şekilde güncellenmektedir (Aksen vd., 2014).

Doğrudan dağıtım yapıldığı durumu ele almak için M modeline eklenen kısıt setleri aşağıda tanımlanmaktadır.

$$X_{0,j,k,t} = X_{j,0,k,t} \quad \forall j \in V_1 \cup V_2, k \in K, t \in T \quad (41)$$

$$\sum_{j \in V_1 \cup V_2} \sum_{k \in K} F_{0,j,k,t} \leq cap * num \quad \forall t \in T \quad (42)$$

Doğrudan dağıtım yapılabilmesi amacı ile M modeline (41) numaralı kısıt seti eklenmektedir. (41) numaralı kısıt seti ile her periyotta depo konumundan üst veya orta düzey müşteriye hareket eden araç yine depo konumuna dönüş yapması sağlanmaktadır. (42) numaralı kısıt seti ile her periyotta doğrudan dağıtım ve rotalama kararı bulunan model arasındaki araç kapasitesi ilişkilendirilmektedir. İlgili kısıt kümesinde *num* parametresi rotalama yapıldığı durumdaki araç sayısını ifade etmektedir.

Son olarak, doğrudan dağıtım varsayımı her aracın sadece tek bir müşteriyi ziyaret edebilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, rotalama durumuna göre daha fazla araca ihtiyaç duyulmakta ve tanımlanan tüm araçlar kümesi $K = \{1, 2, \dots, |K_d|\}$, ($|K_d| > |K_n|$) şeklinde güncellenmektedir.

Doğrudan dağıtım varsayımı altında problem için oluşturulan MILP modeli (M^d) (1.ii), (1.iii), (1.v) – (1.viii), (40.1) – (40.3) bileşenlerinden oluşan amaç fonksiyonu, ve (2) – (4), (6) – (11), (13) – (30), (31.1) – (31.2), (32) – (35), (41) ve (42) numaralı kısıt setleri ile tanımlanır.

Model M^d 'den elde edilen çözüm ile sezgisel yaklaşımın ikinci adımına geçilmektedir.

Adım 2: Uygulanabilir bir çözüm alma

Bu bölümde, üzerinde durulan envanter rotalama problemi için uygulanabilir bir çözüm alma amacı ile daha önce tanıtilen rotalama kararlarının yer aldığı M modeline doğrudan dağıtım modelinin (M^d) çözümünden elde edilen $R_{i,t}^d$ ve $Q_{i,k,t}^d$ karar değişkenleri değerleri aktarılmaktadır.

$$0,8 \sum_{i \in V_1} R_{i,t}^d \leq \sum_{i \in V_1} R_{i,t} \leq 1,2 \sum_{i \in V_1} R_{i,t}^d \quad \forall t \in T \quad (43)$$

$$\sum_{k \in K} Q_{i,k,t} = \sum_{k \in K_d} Q_{i,k,t}^d \quad \forall i \in V_1 \cup V_2, \forall t \in T \quad (44)$$

Doğrudan dağıtım modelinden elde edilen sipariş düzeyleri ve teslim edilen ürün miktarları ile M modelinde yer alan sipariş düzeyleri ve teslim edilen ürün miktarlarının ilişkilendirilmesi için M modeline kısıt seti (43) ve kısıt seti (44) eklenmektedir. Kısıt seti (43) ile her periyotta üst düzey müşterilerin sipariş düzeylerinin belirlenen aralıkta olması sağlanmaktadır. Kısıt seti (44) ise her üst ve orta düzey müşteriye her periyotta teslim edilen ürün miktarlarının doğrudan dağıtım modelindeki ürün miktarları ile bağdaştırılmasını sağlamaktadır. Eklenen kısıtlar (43 ve 44) makul sürelerde problem için uygulanabilir bir çözüm almaya imkân tanımaktadır.

Uygulanabilir bir çözüm alma amacı ile oluşturulan için MILP modeli (M^r) (1.i) – (1.viii) amaç fonksiyonu ve, (2) – (4), (6) – (11), (13) – (30) ve (31.1) – (31.2), (32)-(35), (43) ve (44) numaralı kısıt setleri ile tanımlanır.

Model M^r 'den elde edilen uygulanabilir çözüm ile sezgisel yaklaşımın üçüncü adımına geçilmektedir.

Adım 3: Başlangıç çözümü

Modele bir başlangıç çözümü sağlamak, optimal çözüme daha hızlı bir şekilde yakınsamayı sağlar ve yineleme sürelerini önemli ölçüde azaltır (Venzke vd., 2020).

Uygun bir başlangıç çözümü çözme sürecine hızlandırarak daha iyi çözümlere daha kısa sürede ulaşılmasına imkân sağlanmaktadır (Adulyasak vd., 2015; De Abreu & Fuchigami, 2022; Cao vd., 2023; Zhou vd., 2023). Bu nedenle modele bir başlangıç çözümü sağlanması ile modelin çözüm süresi ve elde edilen sonuçlar iyileştirilebilir.

Çözüm yaklaşımının bu bölümünde başlangıç çözümü (sıcak başlangıç-*warm start*) prosedürü kullanılmaktadır. Daha önce tanıtılan M modeline bir önceki bölümde tanıtılan M^r modelinin çözümü sonucu elde edilen karar değişkenleri değerlerinin tamamı aktarılmaktadır.

Başlangıç çözümü için MILP modeli (M) (1.i) – (1.viii) amaç fonksiyonu ve, (2) – (4), (6) – (11), (13) – (30) ve (31.1) – (31.2), (32) – (35) numaralı kısıt setleri ile tanımlanır.

Sezgisel çözüm yaklaşımının adımları tamamlandığında elde edilen en iyi sonuç, sezgisel yaklaşımın sonucu olarak kabul edilir.

3.4. NÜMERİK ANALİZLER

Çalışmanın bu bölümünde problem kapsamında geliştirilen matematiksel modelin uygulanabilirliğinin gösterilebilmesi amacıyla yapılan numerik analizlerin sonuçlarına ve geliştirilen sezgisel yaklaşımın performansına yer verilmiştir. Bu bağlamda, bir örnek olay ve bu örnek olay üzerinde farklı senaryolar oluşturulmuş ve elde edilen çözümler detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Ayrıca, orta ve büyük ölçekli problemlerin çözümü için önerilen sezgisel çözüm yaklaşımının performans değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi adına (i) satın alma veya üretim maliyeti, (ii) elde bulundurma maliyeti, (iii) araçların kullanımının sabit maliyeti, (iv) araçların hareketi sonucu oluşan yakıt maliyeti, (v) aktarma sonucu oluşan taşıma maliyeti, (vi) kayıp satışta ortaya çıkan ceza maliyeti, (vii) dağıtım sırasında oluşan elleçleme maliyeti ve (viii) sürücü ücretlerinin toplam maliyeti şeklinde belirlenen temel performans kriterleri kapsamında çeşitli karşılaştırmalar yapılmıştır.

Nümerik analizler kapsamında, problem için geliştiren matematiksel modelin çözümünde ve sezgisel çözüm yaklaşımında Python dili ile GUROBI çözücüsü kullanılmıştır. Geliştirilen matematiksel yaklaşımlar için çözümler, 64 GB belleğe ve 64 bit işletim sistemine sahip, Intel® Xeon® Silver 4216 CPU 2.10 GHz işlemcili bir bilgisayar kullanılarak elde edilmiştir.

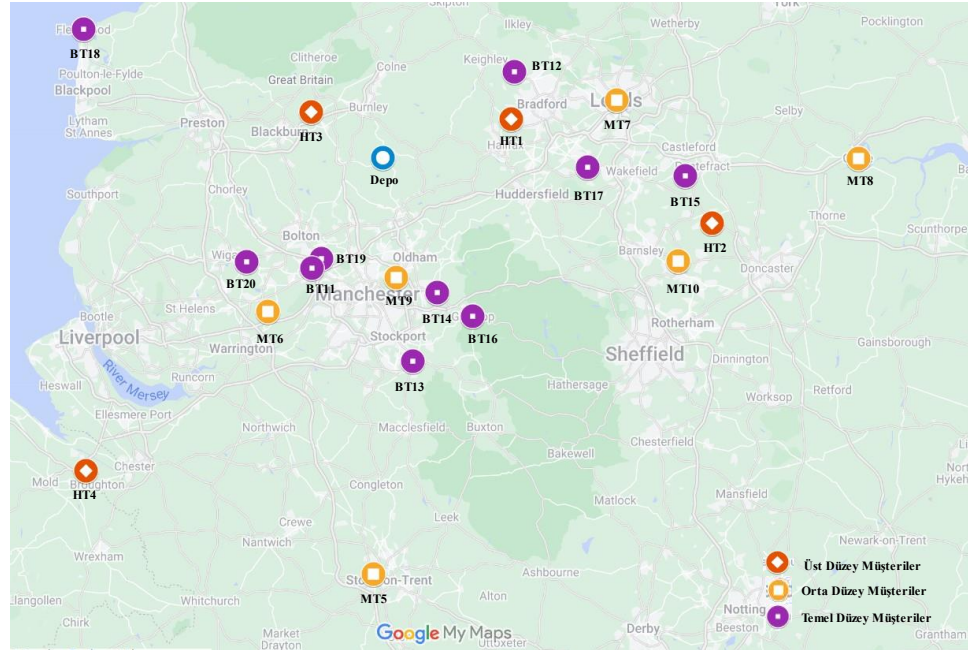
3.4.1. Örnek Olay Veri Setinin Tanıtılması

Bu bölümde öncelikle, geliştirilen örnek olayın veri seti tanıtılmakta, daha sonra belirlenen temel performans kriterleri çerçevesinde örnek olayın değerlendirilmesi yapılmaktadır. Önerilen matematiksel model kapsamında kullanılan veriler için, İngiltere’de bulunan otomobil lastiği dağıtım ve envanter faaliyetleri yürüten varsayımsal bir tedarikçi firma ele alınmaktadır. Dağıtım faaliyetleri için homojen özelliklere sahip 2 aracın kullanıldığı varsayılmaktadır. Örnek olayda kullanılan lojistik ağı için “The Pollution-Routing Problem Instance Library⁵” kütüphanesinde yer alan 1 depo ve 20 noktadan oluşan örnek veri seti (UK20_06) kullanılmıştır. Üst düzey müşteriler 4 adet, orta düzey müşteriler 6 adet ve temel düzey müşteriler 10 adet olmak üzere üç ayrı müşteri düzeyinden toplam 20 adet müşteri bulunmaktadır. Şekil 6’da Google Haritalar aracılığıyla müşterilerin konumları gösterilmektedir. Planlama ufkunun uzunluğu 4 periyot (ay) olarak belirlenmiştir.

⁵ www.apollo.management.soton.ac.uk Erişim tarihi: Ekim 2022

Şekil 6

Veri Setinde Kullanılan Noktaların Harita Üzerinde Gösterimi



Problem kapsamında kullanılan her aracın 2268 adetlik taşıma kapasitesine sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayım dorse büyüklüğü 8,10 metre uzunluğa, 2,45 metre genişliğe ve 3 metre yüksekliğe sahip ve römork büyüklüğü 7,50 metre uzunluğa, 2,45 metre genişliğe ve 3 metre yüksekliğe sahip tenteli kamyon ile taşımacılık yapıldığı düşünülerek planlanmıştır⁶. Kamyona ek 2 adet römork olduğu düşünülmektedir. Bu büyüklükteki bir kamyonu her birinde 63 adet otomobil lastiği taşıyabilen 2438x1143x1295 milimetrelik paletler⁷ yoluyla sığan miktar hesaplanarak ulaşılmıştır. Şekil 7’de taşımacılık yapılan palet için bir örnek gösterilmektedir. Ek olarak, araç kullanmanın sabit maliyeti yaklaşık 201 Euro⁸, araçların elleçleme maliyetinin ise 35 Euro olduğu varsayılmaktadır. Tedarikçi, müşterilere ürünün dağıtımını ve stok yönetimini faaliyetlerini yürütmekten sorumludur. Bu nedenle, ürün üretme veya satın alma maliyeti göz ardı edilmiştir.

⁶ www.veralog.com Erişim tarihi: Ekim 2022

⁷ www.ctequipmentguide.ca Erişim tarihi: Ekim 2022

⁸ www.motortransport.co.uk Erişim tarihi: Ekim 2022

Şekil 7

2438x1143x1295 Milimetrelık Palet Gösterimi



Sürücü ücretleri hesaplanırken, sürücülerin toplam seyahat süresi ve elleçleme sırasındaki bekleme süresi göz önünde bulundurulmuştur. Sürücülerin toplam seyahat süresi, araçların ortalama saatte 60 km hızla hareket ettiği varsayımıyla belirlenmiştir. Ayrıca, sürücülerin elleçleme sırasındaki bekleme süresi olarak 0,4 saat tahmin edilmiştir. Sürücülere saat başına 18 Euro ücret ödenmektedir.

Mesafe verileri Tablo 27’de sunulmaktadır. Yakıt maliyeti hesaplanırken, taşımacılık için kullanılan araçların kilometredeki yakıt tüketimi 0,35⁹ litre olarak varsayılmıştır. Bu tüketim miktarıyla İngiltere’deki dizel yakıtın satış fiyatı 2,16 €¹⁰ çarpılarak mesafelere göre yakıt maliyeti hesaplanmıştır.

⁹ www.webfleet.com Erişim tarihi: Ekim 2022

¹⁰ www.globalpetrolprices.com Erişim tarihi: Ekim 2022

Tablo 27*Üst ve Orta Düzey Müşteriler Arası Mesafeler (km)*

	Depo	HT1	HT2	HT3	HT4	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10
Depo	0	27,75	72,72	22,79	95,57	88,8	44,6	51,61	98,92	24,52	70,78
HT1	27,75	0	52,19	45,5	113,9	103,06	63,89	29,44	78,34	38,07	51,35
HT2	72,56	51,98	0	90,5	139,4	109,56	97,47	33,62	38,36	66,62	14,59
HT3	22,84	45,82	91,03	0	96,45	100,13	47,72	67,6	117,23	41,96	88,85
HT4	95,39	11,447	139,491	96,55	0	67,15	51,68	133,611	181,791	78,861	130,081
MT5	88,66	10,316	109,47	99,83	67,12	0	60,681	116,76	139,61	65,68	97,73
MT6	44,63	63,29	97,22	47,6	51,85	61,471	0	82,22	128,411	32,66	88,54
MT7	51,2	29,42	34,7	68,31	131,9	116,71	81,861	0	52,79	55,521	38,4
MT8	99	77,98	37,981	116,7	181,9	139,88	128,05	52,35	0	98,961	49,32
MT9	24,4	38,29	66,75	41,92	77,93	65,75	32,67	55,96	99,72	0	59,04
MT10	70,6	51,51	14,62	88,45	129,8	97,86	88,58	37,42	49,23	58,73	0

Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere, dış kaynaklı taşıyıcı aracılığıyla gerçekleştirilen aktarma maliyetinin, mesafeye ve dış kaynaklı taşıyıcının belirlediği şartlara bağlı olarak değiştiği varsayılmaktadır. Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarma maliyeti Tablo 28’de gösterilmektedir.

Tablo 28*Üst Düzey Müşterilerden Orta Düzey Müşterilere Aktarma Maliyeti (€/adet)*

Müşteriler	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10
HT1	0,90	0,56	0,26	0,69	0,33	0,45
HT2	0,96	0,85	0,29	0,34	0,58	0,13
HT3	0,88	0,42	0,59	1,03	0,37	0,78
HT4	0,59	0,45	1,17	1,59	0,69	1,14

Problem kapsamında, üst ve orta düzey müşterilerin taleplerinin önceden kesin olarak bilinmediği kabul edilmektedir. Üst ve orta düzey müşterilerin ürün taleplerinin varyasyon katsayısının her periyotta sabit ve 0,2 olduğu varsayılmıştır. Her periyotta üst düzey ve orta düzey müşterilerin 95% olasılıkla hizmet düzeyinin sağlanması gerekmektedir. Temel düzey müşterilerin talepleri ise önceden bilinmektedir ve bu talep verileri Tablo 29’da yer almaktadır.

Tablo 29*Temel Düzey Müşterilerin Talepleri (adet)*

Müşteriler	1.Periyot	2.Periyot	3.Periyot	4.Periyot
BT11	90	75	110	80
BT12	18	95	100	144
BT13	60	65	90	90
BT14	70	55	124	126
BT15	90	55	100	104
BT16	50	50	70	76
BT17	20	82	90	84
BT18	80	55	67	80
BT19	80	78	126	70
BT20	120	55	120	100

Üst düzey müşterilerde bulunan stoklar için yıllık elde bulundurma maliyeti, ürünün ortalama piyasa satış fiyatının 20%'si olarak belirlenmiştir. Dönem başında envanter seviyesinin 0 olduğu varsayılmıştır. Temel düzey müşteriler için ortaya çıkan kayıp satışların maliyeti ise her bir ürün için yaklaşık 22 Euro olarak ele alınmaktadır.

Örnek olayda, üst düzey müşterilerin buldukları konumda orta düzey müşteriler için mesafeye bağlı olarak güvenlik stoku tutulmaktadır. Üst düzey ve orta düzey müşterinin arasında 100 kilometreden daha az bir mesafe varsa güvenlik stoku ilgili üst düzey müşteride tutulabilmektedir. Tablo 30'da her bir orta düzey müşteri için hangi orta düzey müşterilerde güvenlik stoku tutulabileceği gösterilmektedir.

Tablo 30

*Orta Düzey Müşteriler için Üst Düzey Müşterilerde Güvenlik Stoku Tutulabilecek Konumlar**

Müşteriler	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10
HT1	0	1	1	1	1	1
HT2	0	1	1	1	1	1
HT3	0	1	1	0	1	1
HT4	1	1	0	0	1	0

*İlgili üst düzey müşteride ilgili orta düzey müşteri için stok tutulamayacağı 0 ile, stok tutulabileceği 1 ile ifade edilir.

Temel düzey müşteriler, üst düzey müşterilerin buldukları konumları ürün alma noktası olarak kullanabilmektedirler. Temel düzey ve üst düzey müşterinin arasında 100 kilometreden daha az bir mesafe varsa temel düzey müşteri ilgili üst düzey müşteriden ürün alabilmektedir. Tablo 31’de hangi temel düzey müşterinin hangi üst düzey müşterinin konumunu ürün alma noktası olarak kullanabileceği gösterilmektedir.

Tablo 31

*Temel Düzey Müşterilerin Ürün Alma Noktası Olarak Kullanabildiği Üst Düzey Müşteri Konumları**

Müşteriler	BT11	BT12	BT13	BT14	BT15	BT16	BT17	BT18	BT19	BT20
HT1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HT2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
HT3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
HT4	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1

*İlgili temel düzey müşterinin ilgili üst düzey müşteriden ürün alamayacağı 0 ile, ürün alabileceği 1 ile ifade edilir.

Matematiksel modelde kullanılan parametre değerleri özet halinde Tablo 32’de gösterilmektedir.

Tablo 32*Kullanılan Parametrelerin Özeti*

Parametre	Değer	Kaynak
cap	2268	Canadian Tire
π	201,39 €	MotorTransport
ρ	35 €	Varsayımsal
∂	18 €/saat	(Soysal vd., 2021)
β	0,4 saat	Canadian Tire
$\varphi_{i,j}$	60 km/saat	Varsayımsal
$dis_{i,j}$	Tablo 26	Google Haritalar
θ	0,35 lt/km	Webfleet
ϑ	2,16 € (18.11.22)	GlobalPetrolPrices
$f'_{i,j}$	Tablo 27	Varsayımsal
c	0 €	Varsayımsal
h_i	1,53 €/adet	(Soysal vd., 2018)
v_i	22,8 €	(Chen vd., 2017)
$d_{i,t}$	-	Varsayımsal
$\mu_{i,t}$	-	Varsayımsal
$\sigma_{i,t}$	-	Varsayımsal
cov	0,2	Varsayımsal
$d'_{i,t}$	Tablo 28	Varsayımsal
z_α	1,96	Varsayımsal
$l_{i,j}$	Tablo 29	Google Haritalar
$l'_{i,j}$	Tablo 30	Google Haritalar
b_i	0 adet	Varsayımsal

3.4.2. Örnek Olay Çözümü

Geliştirilen matematiksel model, bir önceki bölümde anlatılan örnek olay parametreleri ile çözülmüştür. Tablo 33'te örnek olayın çözümü sonucunda elde edilen envanter ve dağıtım planı için ilgili temel performans kriterleri ve Tablo 34'te, örnek olayın çözümü sonucunda elde edilen dağıtım planında oluşan rotaları gösterilmektedir.

Tablo 33*Örnek Olay Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri*

TPK	Örnek Olay
Elde bulundurma maliyeti (€)-üst düzey müşteriler	3.904,6
Envanter havuzlama maliyeti (€)-orta düzey müşteriler	2.350,0
Sabit araç maliyeti (€)	1.409,7
Araçların yakıt maliyeti (€)	927,0
Aktarma maliyeti (€)- üst düzey müşteriden orta düzey müşteriye	750,0
Ceza maliyeti (€)- temel düzey müşteriler	4.788
Elleçleme maliyeti (€)- üst düzey ve orta düzey müşteriler	770,0
Sürücü maliyeti (€)	526,2
Toplam maliyet	15.425,6

Örnek olayın çözümüne ilişkin olarak elde edilen envanter ve dağıtım planının toplam maliyeti, yaklaşık 15.425 € şeklindedir. Toplam maliyetin yaklaşık %40'ını elde bulundurma ve envanter havuzlama maliyetlerini içeren envanter maliyeti oluşturduğu görülmektedir. Üst düzey müşteriler için tutulan envanterin maliyeti toplam maliyetin %25'ini oluştururken, üst düzey müşterilerin konumunda orta düzey müşteriler için tutulan güvenlik stoklarının envanter havuzlama maliyeti toplam maliyetin %15'i oluşturmaktadır. Depodan hareket eden üst düzey ve orta düzey müşterilere ürün teslim edilmesinden sorumlu araçların sabit maliyeti, toplam maliyetin %9'u iken, araçların yakıt maliyeti toplam maliyetin %6'sını oluşturmaktadır. Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere tüm periyotlarda toplam 2.119 adet ürün aktarımı gerçekleştirilmiştir. Bu ürünlerin aktarımı sonucunda 750 € aktarma maliyeti ortaya çıkmıştır. Temel müşterilerin toplamda 210 adet talebi karşılanamamıştır ve bu karşılanamayan talep sonucunda ortaya ceza maliyeti 4.788 €'dur. Ceza maliyeti toplam maliyetin %31'ini oluşturmaktadır. Üst düzey ve orta düzey müşterilere yapılan doğrudan teslimatlar sırasında ortaya çıkan elleçleme maliyeti toplam maliyetin yaklaşık %5'i olurken, sürücülere toplam seyahat süresi ve elleçleme sırasındaki bekleme süresi sonucunda ödenen ücret olan sürücü maliyeti ise toplam maliyetin yaklaşık %4'ünü oluşturmaktadır.

Tablo 34*Örnek Olay Çözümünde Oluşan Rotalar*

Periyotlar	Araç 1	Araç 2
1	Depo-MT6-HT4-MT5-HT1-Depo	Depo-HT2-MT7-HT3-Depo
2	Depo-HT3-MT6-HT4-HT1-HT2-Depo	-
3	Depo-HT3-Depo	Depo-MT9-HT4-HT1-HT2-Depo
4	Depo-MT9-HT4-HT1-HT2-Depo	Depo-HT3-Depo

Tablo 34’te yer alan dağıtım planı incelendiğinde, rotalarda her periyotta en az bir üst düzey müşterinin yer aldığı görülmektedir. Her periyotta üst düzey müşterilerin rotalarda yer alması; üst düzey müşteriler tarafından orta düzey müşteriler için güvenlik stoku tutulması, üst düzey müşterilerin temel düzey müşteriler için ürün alma noktası olarak kullanılması ve üst düzey müşteriler için hizmet düzeyinin sağlanması ile açıklanmaktadır. Bununla birlikte, dağıtım planı incelendiğinde, orta düzey müşterilerin belirli periyotlarda (araç 1 için 1., 2. ve 4. Periyotlar, araç 2 için 1. ve 3. Periyotlar) rotalarda yer aldığı gözlemlenmektedir. Bu periyotlarda, orta düzey müşterilere doğrudan teslimat yoluyla ürünlerin gönderildiği anlaşılmaktadır.

Tablo 35’te üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere dış kaynaklı taşıyıcı ile yapılan aktarmalar gösterilmektedir.

Tablo 35*Örnek Olay Çözümünde Oluşan Aktarmalar (adet)*

Üst Düzey Müşteriler	Orta Düzey Müşteriler	1.Periyot	2.Periyot	3.Periyot	4.Periyot
HT2	MT8	134	-	-	-
HT2	MT10	130	-	-	-
HT1	MT9	130	-	-	-
HT4	MT5	-	120	-	-
HT1	MT9	-	90	-	-
HT2	MT8	-	80	-	-
HT1	MT7	-	55	-	-
HT2	MT10	-	42	-	-
HT2	MT8	-	-	302	-
HT3	MT6	-	-	150	-
HT4	MT5	-	-	130	-
HT1	MT7	-	-	126	-
HT2	MT10	-	-	48	-
HT1	MT7	-	-	-	195
HT3	MT6	-	-	-	147
HT2	MT8	-	-	-	76
HT2	MT10	-	-	-	64
HT4	MT5	-	-	-	53
HT3	MT5	-	-	-	47

Tablo 34 yer alan rotalar ve Tablo 35’te yer alan aktarmalar beraber değerlendirildiğinde örneğin, 2.periyotta rotada yer alan MT7 numaralı orta düzey müşteriye hem doğrudan ürün teslimi yapıldığı hem de HT1 numaralı üst düzey müşteriden aktarma yoluyla ürün aktarıldığı görülmektedir. Bundan farklı olarak, MT8 ve MT10 numaralı orta düzey müşterilerin rotalarda yer almadığı; bu müşterilerin taleplerinin ise yalnızca üst düzey müşterilerden aktarma yapılması yoluyla karşılandığı görülmektedir.

Tablo 36’ya bakıldığında, üst düzey müşterilerden yapılan ürün akışları (orta düzey müşterilere yapılan aktarmalar ve temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürünler) ve envanter miktarları (dönem sonu envanteri ve orta düzey müşterilerin güvenlik stokları) görülmektedir.

Tablo 36

Örnek Olay Çözümünde Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Envanter Miktarları (adet)

Üst düzey müşteriler	1. Periyot					2. Periyot				
	Y	Z	I	S	R	Y	Z	I	S	R
HT1	156	130	206	-	1015	82	145	196	-	923
HT2	321	264	187	168	1415	453	122	103	183	1123
HT3	-	-	153	-	543	121	-	141	-	620
HT4	-	-	182	133	779	-	120	66	146	500

Üst düzey müşteriler	3. Periyot					4. Periyot				
	Y	Z	I	S	R	Y	Z	I	S	R
HT1	-	126	153	-	669	90	195	247	-	1162
HT2	90	350	229	232	1483	-	140	182	264	1050
HT3	907	150	179	-	1692	864	194	187	-	1720
HT4	-	130	53	186	503	-	53	88	224	589

Y: temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı, Z: müşteriden orta düzey müşteriler aktarılan ürün miktarı, I: müşterinin dönem sonu envanter miktarı, S: orta düzey müşteriler için tutulan güvenlik stoku miktarı, R: üst düzey müşterinin hedeflenen stok düzeyi.

Temel düzey müşterilerin HT4 numaralı üst düzey müşteri dışında diğer tüm üst düzey müşterilerin konumunu ürün alma noktası olarak kullandığı (Y) ve bu konumlardan farklı periyotlarda ürün teslim aldığı görülmektedir. Örneğin 1.periyotta temel düzey müşteriler HT1 ve HT2 numaralı üst düzey müşteriden ürün teslim almaktadır. BT11, BT15, BT17 numaralı temel düzey müşteriler HT1 numaralı üst düzey müşteriden ürün teslim alırken; BT12, BT13, BT14, BT16, BT19, BT20 numaralı temel düzey müşteriler HT2 numaralı üst düzey müşteriden ürün teslim almaktadır. Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere yapılan aktarmalara (Z) bakıldığında, periyotlarda farklı üst düzey müşterilerden aktarmaların gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Örneğin 3.periyotta tüm üst düzey müşterilerden orta düzeye aktarma yapılmaktadır. Üst düzey müşteriler tarafından orta düzey müşteriler için tutulan güvenlik stoklarının (S) her periyotta HT2 ve HT4 numaralı üst düzey müşteriler tarafından tutulduğu görülmektedir. Üst düzey müşterilerde orta düzey müşteriler için toplam 1.536 adet güvenlik stoku tutulmaktadır. HT2 numaralı üst düzey müşteri tarafından MT6, MT7, MT8, MT10 numaralı orta düzey

müşterilerin güvenlik stoku tutulurken; HT4 numaralı üst düzey müşteri tarafından MT5 ve MT9 numaralı orta düzey müşterilerin güvenlik stoku tutulmaktadır.

3.4.3. Örnek Olay Üzerinde Senaryo Analizleri

Bu bölümde, örnek olayın çeşitli senaryolar açısından incelemesi yapılacaktır. Örnek olay için elde edilen çözüm ve farklı senaryolar altında elde edilen çözümlerin karşılaştırılması temel performans kriterleri açısından değerlendirilecektir. İncelenen senaryolardaki amaç yapılan değişikliklerin performans kriterleri üzerindeki etkisini gözlemlemektir.

Örnek olay üzerinde senaryo analizi yapılırken geliştirilen matematiksel modelde bazı değişiklikler yapılmış ve ilgili değişiklikler her bölümde detaylı bir şekilde tanıtılmıştır. Senaryo analizleri gerçekleştirilirken, örnek olayda tanıtılan veri seti bu analizlerin de veri seti olarak kullanılmıştır.

3.4.3.1.Orta Düzey Müşteriler için Birden Fazla Dağıtım Kanalı Kullanmanın Fayda Analizi

Geliştirilen matematiksel modelde, tedarikçi, üst ve orta düzey müşterilere doğrudan ürün teslim edilmesinden sorumludur. Ek olarak, modelde, üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere dış kaynaklı taşıyıcı yoluyla aktarma yapılabilmesine olanak tanınmaktadır. Bu bölümde gerçekleştirilen analizde, orta düzey müşterilere yalnızca üst düzey müşterilerden aktarma yapılması yoluyla orta düzey müşterilerin talebinin karşılanması durumu incelenmektedir.

$$Q_{i,k,t} = 0 \quad \forall i \in V_2, k \in K, t \in T \quad (45)$$

Matematiksel modeli, oluşturulan senaryoya uygun hale getirmek için, modele kısıt seti (36) eklenmiştir. Bu kısıt seti ile her periyotta her orta düzey müşterinin beklenen talebinin sadece üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan ürünler aracılığıyla karşılanması sağlanır.

Modelin son hali (1.i) – (1.viii) bileşenlerinden oluşan amaç fonksiyonu, ve (2) – (4), (6) – (11), (13) – (30), (31.1) – (31.2) ve (45) numaralı kısıt setleri ile tanımlanır.

Tablo 37’de orta düzey müşterilerin taleplerinin; yalnızca aktarma merkezi olarak hizmet veren bir üst düzey müşteriden ürün temin edilmesi yoluyla karşılanması durumunda oluşan temel performans kriterleri ve Tablo 38’de, ilgili senaryo kapsamında oluşan üst düzey müşterilerden yapılan ürün akışları ve envanter miktarları yer almaktadır.

Tablo 37

Orta Düzey Müşteriler için Yalnızca Aktarma Dağıtım Kanalı Yoluyla Ürün Teslimi Sonucu Oluşan Temel Performans Kriterleri

TPK	Örnek Olay	Yalnızca Aktarma	% Fark*
Elde bulundurma maliyeti (€)-üst düzey müşteriler	3.904,6	3.904,6	%0
Envanter havuzlama maliyeti (€)-orta düzey müşteriler	2.350,0	2.350,0	%0
Sabit araç maliyeti (€)	1.409,7	1.409,7	%0
Araçların yakıt maliyeti (€)	927,0	855,0	-%8
Aktarma maliyeti (€)- üst düzey müşteriden orta düzey müşteriye	750,0	1.290,8	%72
Ceza maliyeti (€)- temel düzey müşteriler	4.788,0	4.788,0	%0
Elleçleme maliyeti (€)- üst düzey ve orta düzey müşteriler	770,0	560,0	-%27
Sürücü maliyeti (€)	526,2	454,5	-%14
Toplam maliyet (€)	15.425,6	15.612,7	%1

* Örnek olay ve senaryo analizi arasındaki yüzdelik fark gösterilmektedir.

Orta düzey müşterilere yalnızca aktarma yoluyla ürün teslimi yapıldığında toplam maliyet örnek olaya göre %1 artarak yaklaşık 15.612 € olmaktadır. Toplam envanter maliyeti, sabit araç maliyeti ve ceza maliyetinin ise ilgili senaryoda örnek olaya göre değişim göstermediği görülmektedir. Orta düzey müşterilerin talepleri yalnızca aktarma yolu ile ürün teslimi şeklinde karşılandığından aktarma maliyeti örnek olaya göre %72 artmıştır, araçların yakıt maliyeti ise örnek olaya göre %8 azalmıştır. Doğrudan teslimatlar sonucunda oluşan elleçleme maliyeti ve sürücü maliyetinin ise orta düzeye tek bir dağıtım kanalıyla ürün dağıtımını yapıldığında sırasıyla örnek olaya göre %27 ve %14 azaldığı görülmektedir.

Tablo 38

Orta Düzey Müşteriler için Yalnızca Aktarma Dağıtım Kanalı Yoluyla Ürün Teslimi Senaryosunda Oluşan Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Envanter Miktarları (adet)

Üst düzey müşteriler	1. Periyot					2. Periyot				
	Y	Z	I	S	R	Y	Z	I	S	R
HT1	51	440	206	-	1220	292	145	196	-	1133
HT2	238	264	187	149	1313	-	122	103	161	648
HT3	188	224	153	-	955	55	131	141	-	685
HT4	-	250	182	152	1048	309	120	66	168	831

Üst düzey müşteriler	3. Periyot					4. Periyot				
	Y	Z	I	S	R	Y	Z	I	S	R
HT1	90	336	153	-	969	-	468	247	-	1345
HT2	-	350	229	207	1368	90	140	182	237	1113
HT3	907	150	179	-	1692	864	194	187	-	1720
HT4	-	130	53	211	528	-	100	88	251	663

Y: temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı, Z: müşteriden orta düzey müşteriler aktarılan ürün miktarı, I: müşterinin dönem sonu envanter miktarı, S: orta düzey müşteriler için tutulan güvenlik stoku miktarı, R: üst düzey müşterinin hedeflenen stok düzeyi.

Tablo 38'e bakıldığında, temel düzey müşterilerin üst düzey müşterilerden teslim aldığı ürün miktarının toplamı örnek olaya göre değişmezken, ürün teslim alınan üst düzey müşterilerin değiştiği görülmektedir. Örnek olayda, temel düzey müşteriler tarafından ilk periyotta HT3 numaralı üst düzey müşteri ürün alma noktası olarak kullanılmazken (bkz. Tablo 36), ilgili senaryoda ilk periyotta HT3 numaralı üst düzey müşteri, ürün alımı için BT11 ve BT20 numaralı temel düzey müşteriler tarafından ürün alma noktası olarak kullanılmaktadır. İlgili senaryo kapsamında, üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere yapılan aktarmalara bakıldığında, örnek olaydan farklı olarak her periyotta her üst düzey müşteriden her orta düzey müşteriye aktarma yapıldığı görülür. Üst düzey müşterilerin dönem sonu envanterleri ve orta düzey müşteriler için üst düzey müşteriler tarafından tutulan güvenlik stoklarının toplamı değişmezken periyotlar arası bazı farklılıklar bulunmaktadır.

Senaryo analizi kapsamında, orta düzey müşteriler için birden fazla dağıtım kanalı kullanmanın, tedarikçi için çeşitli avantajları beraberinde getirdiği görülmektedir. Birden fazla dağıtım kanalı kullanmak, tedarikçi açısından maliyet avantajı sağlar. Ayrıca, ürün teslimatı sırasında daha esnek bir teslimat planı oluşturulmasına olanak tanınırken aynı zamanda müşteri memnuniyetinin artması ile hizmet kalitesinin yükseltilmesi sağlanabilir. Bu değerlendirme, önerilen modelin karar verme süreçlerinde kullanımının sağladığı faydaları vurgulamaktadır.

3.4.3.2. Envanter Havuzlama Stratejisi Uygulamanın Fayda Analizi

Geliştirilen model kapsamında, orta düzey müşteriler için tutulan güvenlik stoklarının üst düzey müşterilerin konumunda tutulmasına imkân tanınmaktadır. Bu bölümde yapılan analizde, orta düzey müşterilerin güvenlik stoklarını kendi konumlarında tutma durumu detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Matematiksel modeli oluşturulan senaryoya uyumlu hale getirmek için, orta düzey müşterilerin üst düzey müşterilerdeki güvenlik stoku yerini belirlemeyi sağlayan kısıt seti (11) modelden çıkarılmaktadır.

Modele, yeni bir karar değişkeni olan $S_{i,t}$ karar değişkeni eklenmektedir. $S_{i,t}$ karar değişkeni $t \in T$ periyodunda $i \in V_2$ orta düzey müşterileri için tutulan güvenlik stokunun adet olarak miktarını temsil etmektedir.

$$\sum_{i \in V_2} \sum_{t \in T} h_i S_{i,t} \quad (1.ix)$$

(1.ix) ile orta düzey müşterilerin kendi konumlarında tutulan güvenlik stoklarının elde bulundurma maliyeti hesaplanmaktadır. Modelin amaç fonksiyonu olan (1.i), (1.ii), (1.iii), (1.iv), (1.v), (1.vi), (1.vii) ve (1.viii) bölümlerine ek olarak, amaç fonksiyonuna (1.ix) orta düzey müşteriler için kendi konumlarında tutulan güvenlik stokunun elde bulundurma maliyeti de dahil edilmiştir.

$$\sum_{k \in K} Q_{i,k,t} + \sum_{j \in V_1} Z_{j,i,t} = E\{d_{i,t}\} + S_{i,t} \quad \forall i \in V_2, t \in T \quad (46)$$

Modelde yer alan kısıt seti (13) yerine, her periyotta her orta düzey müşterisinin beklenen talebinin ve her orta düzey müşterinin güvenlik stoku miktarı toplamının; orta düzey müşterilere teslim edilen miktar ve üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan miktar yoluyla karşılanmasını sağlayan kısıt seti olarak (46) eklenmiştir.

$$S_{i,t} \geq \left(\sum_{k=1}^t G_{d_{j,k}+d_{j,k+1}+\dots+d_{j,t}}^{-1}(\alpha) - \sum_{k=1}^t E\{d_{i,k}\} \right) \forall i \in V_2, t \in T \quad (47)$$

Kısıt seti (47), belirlenen hizmet düzeyi için gerekli olan talep miktarından, orta düzey müşterilerin beklenen talebinin çıkarılması ile her periyotta orta düzey müşteriler tutulan güvenlik stokunun miktarının ilişkilendirmektedir.

Modelde ilgili senaryo kapsamında eklenen kısıt seti (47) toplam talebin kümülatif dağılım fonksiyonunu içermektedir. Bu nedenle ilgili kısıt seti yeniden yazılarak kısıt seti (48) şeklinde ifade edilir.

$$S_{i,t} \geq \sqrt{\sum_{k=1}^t \mu_{i,k}^2 \text{cov}^2 z_\alpha} \quad \forall i \in V_2, t \in T \quad (48)$$

Modelin son hali (1.i) –(1.viii) ve (1.ix) bileşenlerinden oluşan amaç fonksiyonu, ve (2) –(4), (6) –(10), (14) –(30), (31.1), (31.2), (46) ve (48) numaralı kısıt setleri ile tanımlanır.

Tablo 39’da orta düzey müşterilerin kendi konumlarında güvenlik stoklarını tuttıkları durumda oluşan temel performans kriterleri gösterilmektedir.

Tablo 39

Orta Düzey Müşterilere Envanterlerini Kendi Konumlarında Tuttuğunda Oluşan Temel Performans Kriterleri

TPK	Örnek Olay	Orta Düzey Güvenlik Stoku	% Fark*
Elde bulundurma maliyeti (€)-üst düzey müşteriler	3.904,6	3.904,6	%0
Envanter havuzlama maliyeti (€)-orta düzey müşteriler	2.350,0	3.699,5	%57
Sabit araç maliyeti (€)	1.409,7	1.611,1	%14
Araçların yakıt maliyeti (€)	927,0	1.225,1	%32
Aktarma maliyeti (€)- üst düzey müşteriden orta düzey müşteriye	750,0	344,4	-%54
Ceza maliyeti (€)- temel düzey müşteriler	4.788,0	8.276,4	%73
Elleçleme maliyeti (€)- üst düzey ve orta düzey müşteriler	770,0	1.085,0	%41
Sürücü maliyeti (€)	526,2	709,3	%35
Toplam maliyet (€)	15.425,6	20.855,4	%35

* Örnek olay ve senaryo analizi arasındaki yüzdellik fark gösterilmektedir.

Orta düzey müşteriler güvenlik stoklarını kendi konumlarında tuttuklarında ve orta düzey müşteriler için envanter havuzlama uygulanmadığında, toplam maliyetin örnek olaya göre %35 arttığı ve 20.855 € olduğu görülmektedir. Üst düzey müşteriler için örnek olaya göre elde bulundurma maliyeti değişmezken, orta düzey müşterilerin güvenlik stoklarından kaynaklanan envanter maliyeti %57 artmıştır. Örnek olaya göre sabit araç maliyetinin %14, araçların yakıt maliyetinin %32, elleçleme maliyetinin %41 ve sürücü maliyetinin %35 arttığı görülmektedir. Aktarma maliyeti ise %54 azalmaktadır. Ayrıca temel müşterilerin karşılanamayan talebinin artışına bağlı olarak ceza maliyetinin de örnek olaya göre %73 arttığı görülmektedir.

Tedarikçi, orta düzey müşterilere ürünleri doğrudan dağıtım veya aktarma dağıtım kanalı yoluyla teslim edebilir. Bu nedenle, orta düzey müşterilerin kendi konumlarında tutacakları güvenlik stoklarının da bu iki dağıtım kanalından biri ile teslim edilmesi gerekmektedir. İlgili senaryo analizine göre, orta düzey müşterilere ürünlerin doğrudan dağıtım ile teslim edildiği görülmektedir. Bu durum, sabit araç maliyeti, yakıt maliyeti, elleçleme maliyeti ve sürücü maliyetinde artışa neden olmaktadır.

Tablo 40'ta ilgili senaryo analizi kapsamında orta düzey müşterilerde tutulan güvenlik stoku miktarları gösterilmektedir.

Tablo 40

Orta Düzey Müşterilerde Tutulan Güvenlik Stoku Miktarları (adet)

Müşteriler	1.Periyot	2.Periyot	3.Periyot	4.Periyot
MT5	98	109	121	127
MT6	88	102	118	131
MT7	122	124	133	154
MT8	53	62	134	137
MT9	51	62	104	163
MT10	51	54	57	63

Örnek olayda, HT2 ve HT4 numaralı üst düzey müşteriler tarafından tutulan güvenlik stokları ilgili senaryoda orta düzey müşterilerin kendi konumlarında tutulmaktadır. Tablo 40'tan görüldüğü üzere, örnek olaya göre tutulan güvenlik stoku adedi %57 artarak 2.418 adet olmuştur.

Orta düzey müşterilerin güvenlik stoklarını kendi konumlarında tutmalarının, toplam maliyette %35'lik bir artış yarattığı görülmektedir. Bu durum, depolama ve taşıma maliyetlerindeki potansiyel artışları da göstermektedir. Ele alınan model kapsamında uygulanan, envanter havuzlama stratejisi ile bu maliyet artışının önlenildiği görülmektedir. Üst düzey müşteri konumlarının envanter havuzu olarak kullanılması, ürün stoklarının merkezi bir konumda tutulmasını sağlayarak daha etkili stok yönetimi ve daha düşük depolama maliyetleri elde etmeyi mümkün kılar. Bu strateji sayesinde tedarikçi stoklarını daha etkili bir şekilde yönetebilmektedir.

3.4.3.3. Aktarma ve Ürün Alma Noktaları için Mesafe Sınırının Olmadığı Durumun Analizi

Örnek olayda üst düzey müşterilerin buldukları konum ile aralarında 100 kilometreden daha az bir mesafe olan orta düzey müşteriler için güvenlik stoku tutmasına imkân tanınmaktadır. Aynı şekilde, temel düzey müşterilerin üst düzey müşteri konumunu ürün

alma noktası olarak kullanabilmesi için de üst düzey müşteri ile temel düzey müşteri arasında 100 kilometreden daha az bir mesafe olması gerekmektedir.

Bu bölümde yapılan ilgili senaryo analizinde, herhangi bir mesafe sınırı olmadan üst düzey müşterilerin kendi konumlarında orta düzey müşteriler için güvenlik stoku tutmasına izin verilmektedir. Aynı şekilde, temel düzey müşterilerde mesafe sınırı olmadan tüm üst düzey müşterilerin konumunu ürün alma noktası olarak kullanabilmektedir.

Tablo 41’de, müşteriler arasında mesafe sınırı olmadığı durumda oluşan temel performans kriterleri gösterilmektedir.

Tablo 41

Mesafe Sınırı Olmadığı Durumda Oluşan Temel Performans Kriterleri

TPK	Örnek Olay	Mesafe Sınırı Olmadan	% Fark*
Elde bulundurma maliyeti (€)-üst düzey müşteriler	3.904,6	3.904,5	%0
Envanter havuzlama maliyeti (€)-orta düzey müşteriler	2.350,0	1.566,7	-%33
Sabit araç maliyeti (€)	1.409,7	1.409,7	%0
Araçların yakıt maliyeti (€)	927,0	937,0	%1
Aktarma maliyeti (€)- üst düzey müşteriden orta düzey müşteriye	750,0	621,9	-%17
Ceza maliyeti (€)- temel düzey müşteriler	4.788,0	2.302,8	-%52
Elleçleme maliyeti (€)- üst düzey ve orta düzey müşteriler	770,0	840,0	%9
Sürücü maliyeti (€)	526,2	544,6	%3
Toplam maliyet (€)	15.425,6	12.127,3	-%21

* Örnek olay ve senaryo analizi arasındaki yüzdelerlik fark gösterilmektedir.

Müşteriler arasında mesafe sınırı olmadığı durumda, örnek olaya göre toplam maliyetin %21 azaldığı ve 12.127 € olduğu görülmektedir. Üst düzey müşteriler için, örnek olaya göre elde bulundurma maliyetinde bir değişiklik olmazken, orta düzey müşterilerin güvenlik stoklarından kaynaklanan envanter maliyetinin %33 azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumda, daha önce farklı üst düzey müşterilerde tutulan güvenlik stoklarının bir üst düzey müşteride tutulmasından kaynaklanan maliyet azalışı olduğu söylenebilir. Örnek olaya göre; araçların yakıt maliyetinin %1, elleçleme maliyetinin %9 ve sürücü

maliyetinin ise %3 arttığı gözlemlenmektedir. Aktarma maliyeti örnek olaya göre %17 azalmıştır. Ayrıca temel düzey müşterilerin karşılanamayan talebinden kaynaklı olarak ortaya çıkan ceza maliyetinin örnek olaya göre %52 azaldığı görülmektedir. Her temel düzey müşteri her üst düzey müşteriden alım yapabildiği için, temel düzey müşterilerin talepleri daha iyi karşılanmaktadır.

Tablo 42’de, müşteriler arasında mesafe sınırı olmadığı durumda üst düzey müşterilerden yapılan ürün akışları ve envanter miktarları yer almaktadır.

Tablo 42

Mesafe Sınırı Olmadığı Durumda Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Envanter Miktarları (adet)

Üst düzey müşteriler	1. Periyot					2. Periyot				
	Y	Z	I	S	R	Y	Z	I	S	R
HT1	289	130	206	-	1148	-	145	196	-	841
HT2	288	264	187	-	1214	532	122	103	-	1019
HT3	-	-	153	201	744	133	-	141	219	851
HT4	-	-	182	-	646	-	120	66	-	354

Üst düzey müşteriler	3. Periyot					4. Periyot				
	Y	Z	I	S	R	Y	Z	I	S	R
HT1	-	126	153	-	669	-	195	247	-	1072
HT2	-	350	229	-	1161	-	140	182	-	786
HT3	997	-	179	279	1911	954	34	187	325	1975
HT4	-	130	53	-	317	-	66	88	-	378

Y: temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı, Z: müşteriden orta düzey müşteriler aktarılan ürün miktarı, I: müşterinin dönem sonu envanter miktarı, S: orta düzey müşteriler için tutulan güvenlik stoku miktarı, R: üst düzey müşterinin hedeflenen stok düzeyi.

Tablo 42’ye bakıldığında, örnek olaydan farklı olarak 3 ve 4. Periyotta temel düzey müşteriler tarafından yalnızca HT3 numaralı üst düzey müşteriden ürün alımı yapıldığı görülmektedir. Üst düzey ve temel düzey müşteriler arasında mesafe sınırının kalkması, ürün alma hizmetini tek bir üst düzey müşteri yoluyla verilmesine imkân tanımaktadır. Ayrıca, orta düzey müşteriler için üst düzey müşteri konumlarında tutulan güvenlik

stoklarının örnek olaydan farklı olarak yalnızca HT3 numaralı üst düzey müşteri konumunda tutulduğu görülmektedir. Üst düzey ve orta düzey müşteriler arasındaki mesafe sınırının kalkması ile yalnızca bir üst düzey müşteride güvenlik stoku tutularak envanter havuzlama maliyetinin düştüğü gözlemlenmektedir.

Bu analizde, mesafe sınırlamasının olmamasının etkisi değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, mesafe sınırlamasının olmamasıyla toplam maliyetlerin %21 oranında azaldığı görülmüştür. Ancak, bu durumun gerçek hayatta pratik uygulanabilirliği değerlendirilmelidir. Uzak mesafelerden ürünlerin alınması ve stokların gerektiğinde taşınması, lojistik zorluklar ve maliyetlere neden olabilir. Fiziksel mesafelerin ve lojistik karmaşıklıkların göz ardı edilmesi, operasyonel etkinlik ve müşteri memnuniyeti üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Bu bağlamda, mesafe sınırlamasının olmamasının sağladığı maliyet avantajları ile lojistik zorluklar arasında bir denge bulunmalıdır.

3.4.3.4. Geçerli Eşitsizliklerin Analizi

Bu bölümde, formülasyonu sıkılaştırmak ve optimal çözüme yakınsamayı hızlandırmak için matematiksel modele eklenen dört geçerli eşitsizliğin örnek olayın çözüm süresi üzerindeki performansı değerlendirilecektir. Tablo 43'te, geçerli eşitsizliklerin çözüm süreleri yer almaktadır.

Tablo 43

Geçerli Eşitsizliklerin Performansı (sn)

	Çözüm Süresi (sn)
Örnek Olay	79.200
Örnek Olay + Kısıt Seti (32)-(35)	80
Örnek Olay+ Kısıt Seti (32)	>79.200*
Örnek Olay+ Kısıt Seti (33)	13.600
Örnek Olay+ Kısıt Seti (34)	67.736
Örnek Olay+ Kısıt Seti (35)	>79.200*

*İlgili geçerli eşitsizliklerin çözüm süresi, örnek olayın çözüm süresini aştığı için optimal çözüm elde edilmesi beklenmemiştir.

Örnek olaya, kısıt seti (32)-(35) arasında yer alan eşitsizliklerin tümünün eklenmesi sonucu örnek olayın çözüm süresi yaklaşık 79.200 saniyeden yaklaşık 80 saniyeye düştüğü gözlemlenmektedir. Bu durum, eklenen eşitsizliklerin model formülasyonu üzerindeki etkisini göstermektedir. Kısıt seti (32) ve kısıt seti (35) ayrı ayrı modele eklendiğinde çözüm süresine etkileri olmadığı görülmektedir. Yalnızca kısıt seti (33) ün modele eklenmesi ile çözüm süresi 13.600 saniyeye düşerken; yalnızca kısıt seti (34) ün eklenmesi ile çözüm süresi 67.736 saniyeye düşmektedir.

3.4.4. Geliştirilen Sezgisel Yaklaşımın Performans Değerlendirmesi

Bu bölümde, sezgisel çözüm yaklaşımının nispeten daha büyük örnekler üzerindeki performansı, çözüm süresi ve toplam maliyet açısından incelenecektir. Kullanılacak örnekler için, “The Pollution-Routing Problem Instance Library¹¹” kütüphanesinden alınmıştır. 100 nokta (UK100_01-UK100_10) ve 150 nokta (UK150_01- UK150_10) veri setleri kullanılmıştır.

UK100 örnek veri setleri için, üst düzey müşteriler 20 adet, orta düzey müşteriler 30 adet ve temel düzey müşteriler 50 adet olmak üzere üç ayrı müşteri düzeyinden toplam 100 adet müşteri olduğu varsayılmaktadır. UK150 örnek veri setleri için, üst düzey müşteriler 30 adet, orta düzey müşteriler 50 adet ve temel düzey müşteriler 70 adet olmak üzere üç ayrı müşteri düzeyinden toplam 150 adet müşteri olduğu varsayılmaktadır. Araç sayısı ise, UK100 için 10 adet ve UK150 için 15 adet şeklindedir. Mesafeye bağlı olarak elde edilen verilerin tamamı UK100 ve UK150 veri setlerinde yer alan mesafe verileri kullanılarak güncellenmiştir. Tüm problemler için talep verileri rastgele şekilde oluşturulmuştur. Diğer parametrelerin ise örnek olayla aynı olduğu varsayılmaktadır. Belirli zaman sınırları altında geliştirilen sezgisel yaklaşım ve model ile elde edilen çözümler Tablo 44’te karşılaştırılmaktadır.

¹¹ www.apollo.management.soton.ac.uk Erişim tarihi: Ekim 2022

Tablo 44*MILP Modeli ve Sezgisel Çözüm Yaklaşımı Arasındaki Karşılaştırmalı Sonuçlar*

Problem	1 saat			2 saat			3 saat			
	Model	Sezgisel	% Fark**	Model	Sezgisel	% Fark**	Model	Sezgisel	% Fark**	
UK100_01	nsf*	39.540	-	39.609	39.534	-%0,19	39.575	39.534	-%0,10	
UK100_02	nsf	39.985	-	40.578	39.918	-%1,63	40.115	39.911	-%0,51	
UK100_03	nsf	40.144	-	51.859	40.134	-%22,61	42.165	40.043	-%5,03	
UK100_04	40.441	40.133	-%0,76	40.429	40.109	-%0,79	40.407	40.094	-%0,77	
UK100_05	38.034	36.712	-%3,48	36.566	36.655	%0,24	36.562	36.540	-%0,06	
UK100_06	nsf	122.972	-	121.702	121.922	%0,18	121.702	121.799	%0,08	
UK100_07	nsf	100.982	-	98.662	100.982	%2,35	98.662	100.982	%2,35	
UK100_08	42.358	45.023	%6,29	42.356	42.593	%0,56	42.324	42.565	%0,57	
UK100_09	42.901	43.650	%1,75	42.614	42.706	%0,22	42.505	42.465	-%0,09	
UK100_10	60.547	59.683	-%1,43	59.197	59.237	%0,07	59.181	59.217	%0,06	
UK150_01	nsf	nsf	-	nsf	57.308	-	nsf	55.858	-	
UK150_02	nsf	nsf	-	nsf	63.000	-	nsf	61.504	-	
UK150_04	nsf	nsf	-	nsf	60.864	-	nsf	58.945	-	
UK150_05	nsf	nsf	-	nsf	55.879	-	nsf	55.442	-	
UK150_06	nsf	58.951	-	nsf	58.470	-	nsf	57.386	-	
UK150_08	nsf	63.217	-	nsf	61.078	-	nsf	60.586	-	
UK150_09	nsf	66.616	-	nsf	64.638	-	nsf	63.395	-	
UK150_10	nsf	nsf	-	nsf	61.526	-	nsf	61.526	-	
		8 saat			16 saat			24 saat		
UK150_03***	nsf	57.211	-	nsf	56.644	-	56.618	55.835	-%1,38	
UK150_07***	nsf	58.708	-	56.213	57.721	%2,68	55.744	56.902	%2,08	

*nsf: çözüm bulunamadı

**Model ve sezgisel çözüm yaklaşımının sonuçları arasındaki yüzdelik fark.

***Problemlerde 3 saatte çözüm elde edilemediği için ana model ve sezgisel çözüm yaklaşımının 24 saatlik sonuçları karşılaştırılmıştır.

UK100 problemlerinde elde edilen sonuçlara bakıldığında, sezgisel çözüm yaklaşımının kısa hesaplama sürelerinde modele göre genellikle daha iyi çözümler sunduğu görülmektedir. Önerilen sezgisel yöntem ile 1 saatlik sürenin sonunda tüm problemlerde uygulanabilir çözümler elde edilmiştir. UK150 problemlerinde elde edilen sonuçlarda ise, tüm hesaplama sürelerinde sezgisel yaklaşımın daha iyi sonuçlar aldığı söylenebilmektedir. Model ile herhangi bir hesaplama süresinden sonuç alınamazken, sezgisel yaklaşım ile neredeyse tüm problemler ve hesaplama sürelerinde sonuç alınabildiği görülmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre, UK100 ve UK150 problemlerinde kullanılan sezgisel çözüm yaklaşımının genellikle kısa hesaplama sürelerinde etkili sonuçlar sağladığı görülmektedir. Özellikle, UK150 problemlerinde modelin uygulanabilir çözüm alma yönünden başarısız olmasına karşın, sezgisel çözüm yaklaşımının daha iyi performans göstermesi, sezgisel yaklaşımın problem boyutu arttıkça daha etkili hale geldiğini gösterir. Bu durum, sezgisel çözüm yaklaşımın genelleme yeteneği olduğunu ve farklı problem setlerinde kullanılabilirliğini vurgulamaktadır. Bu açıdan bakıldığında, büyük veri setleri veya karmaşık optimizasyon problemleri gibi alanlarda sezgisel çözüm yaklaşımının stratejik bir tercih olarak değerlendirilmesini destekler.

SONUÇ

Günümüzde işletmeler arasındaki rekabetin yükselmesi ve küresel ekonominin etkisiyle birlikte, tedarik zinciri faaliyetlerinde maliyetlerin azaltılması kritik hale gelmiştir. Rekabet avantajı elde etmeyi hedefleyen işletmeler, özellikle lojistik maliyetlerini etkin bir biçimde yönetme stratejileri benimsemektedirler. Bu noktada, lojistik faaliyetlerin koordinasyonunu sağlamak, işletmeler için büyük bir stratejik önem taşımaktadır. Aynı zamanda, işletmelerin farklı müşteri gruplarına hizmet vermesi ve bu müşterilerin beklentilerini karşılama gün geçtikçe karmaşık bir hal almaktadır. Çeşitli müşteri grupları arasında farklı özelliklere, ihtiyaçlara ve isteklere sahip olunması, işletmelerin tüm müşterileri için tek bir ortak dağıtım planı veya stratejisi oluşturmasını zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda, işletmelerin sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmeleri için hem tedarik zinciri maliyetlerini etkili bir şekilde yönetmeleri hem de müşteri segmentasyonu ve beklentilere uygun hizmet sunumunu başarıyla birleştirmeleri gerekmektedir.

Bu çalışmada, tedarik zinciri yönetimi ve lojistik kapsamında karşılaşılan ve heterojen müşteri segmentleri varsayımını içeren ağ tasarımı ve envanter rotalama problemleri için kullanılabilir karar destek modellerinin geliştirilmesine odaklanılmıştır. Çalışmada yapılan detaylı analizler, bu çalışmanın sunduğu yeni yaklaşımların uygulanabilirlik ve kullanılabilirliğini açıkça ortaya koymuştur. Çalışma, tedarik zinciri yönetimi pratiğinde yenilikçi ve değer yaratan bir bakış açısı sunmayı amaçlamakta; aynı zamanda ele alınan problemler ile tedarik zinciri süreçlerine önemli katkılarda bulunmayı hedeflemektedir.

Lojistik iş birliği ve heterojen müşteri segmentleri varsayımlarıyla ağ tasarımı problemi kapsamında yapılan çalışmalar ve analizler:

Bu bölümde tedarik zinciri ağ tasarımı problemine yönelik bir doğrusal tam sayılı programlama modeli formülasyonu geliştirilmiştir. Tedarik zincirinde sonlu planlama ufkuna sahip ve talep belirsizliği varsayımı altında aralarında yatay iş birliği bulunan üst düzey, orta düzey ve temel düzey müşteriler olacak şekilde heterojen müşteri segmentleri ele alınmıştır. Müşterilere tedarikçi tarafından sunulan dağıtım planlaması, dağıtım kanalı seçimi, aktarma, envanter ve atama hizmetlerinin farklılaştırılması amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında tedarikçi tarafından verilen tüm hizmetlerinin heterojen müşterileri segmentlerinde yer alan müşterilerin istek ve ihtiyaçlarına daha iyi cevap verecek şekilde sunulması sağlanmaktadır. Artan dağıtım sorunlarının önüne geçmek için tedarik zincirinde üst düzey ve orta düzey müşteriler arası yapılan aktarma yoluyla sağlanan yatay iş birliği ile maliyetlerin azaltılması hedeflenmektedir.

Model formülasyonunun ardından ele alınan problem genel amaçlı bir çözücü kullanılarak bir örnek olay ve bu örnek olaydan türetilen farklı senaryolar için çözülmüştür. Gerçekleştirilen nümerik analizler ile modelin işlevselliği gösterilmiştir. Benzer karar süreçlerini içeren durumlarla karşılaşan karar vericiler için önemli birtakım çıktılar, nümerik analizler yoluyla ortaya koyulmuştur. 5 depo düğümü, 10 üst düzey müşteri, 15 orta düzey müşteri ve 25 temel düzey müşteri düğümünden meydana gelen örnek olay belirlenen temel performans kriterlerinin değerlendirilebilmesi için toplam maliyeti minimize edecek şekilde optimal olarak çözülmüştür. Daha sonra üst düzey müşteriler arasında ve üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere ürün aktarımı opsiyonunun bulunmadığı durum senaryo analizlerinde değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, üst düzey müşteriler arasında ürün aktarımı opsiyonunun bulunmamasının toplam maliyeti yaklaşık olarak %1 oranında yükselttiği, bu durumun özellikle de depolardan hareket eden araç sayılarında ve araçların kullanımından kaynaklanan sabit maliyetlerde artışa neden olduğu gözlenmiştir. Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarım yapılamadığı durumda ise ortaya çıkan yüksek kayıp satış maliyeti dolayısıyla toplam maliyetin yaklaşık %35 oranında arttığı görülmüştür. Bu analize bakılarak, tedarik zinciri elemanları arasında kurulan yatay iş birliklerinin toplam ağ maliyetinde iyileşme sağladığı söylenebilmektedir. Temel düzey müşterilerin ürün teslim alabilecekleri konumlara olan uzaklığın değiştirilmesi ile yapılan analize bakıldığında toplam maliyetin yaklaşık %1 oranında arttığı görülmektedir. Bu analiz sonucunda müşterilerin ürün teslim alabilecekleri konumlara olan uzaklık kısıtlarının doğru belirlenmesinin önemi ortaya konmuştur. Bahsedilen kısıtların kayıp satış miktarlarında ve bunlardan kaynaklanan maliyet artışlarında ciddi rol oynadıkları görülmüştür. Ayrıca depolardan müşterilere ürün taşıyan araçların sayısında sınır olmadığı durumda, depolara yakın mesafede bulunan üst düzey müşterilere daha fazla miktarda ürün gönderildiği, diğer müşterilerin ise taleplerini aktarım yoluyla karşılama

eğilimlerinin arttığı görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile heterojen müşteri segmenti ve yatay iş birliğinin tedarik zinciri ağ tasarımı problemindeki öneminin ortaya koyulduğu düşünülmektedir.

Lojistik iş birliği ve heterojen müşteri segmentleri varsayımlarıyla IRP kapsamında yapılan çalışmalar ve analizler:

Bu bölüm kapsamında, talep belirsizliği varsayımı altında, aralarında iş birliği bulunan heterojen müşteri segmentlerine sahip olan bir IRP incelenmiştir. Problem, dağıtım kanalı seçimi, dağıtım planlaması, envanter ve aktarma kararları içermektedir. Tedarikçinin amacı, her periyotta müşteri taleplerini optimal seviyede karşılayarak dağıtım, envanter ve diğer maliyetleri minimize etmektir. Bu hedef doğrultusunda, sevkiyat rotalarının ve miktarlarının belirlenmesi, müşteri taleplerini optimal şekilde karşılayabilecek bir dağıtım ve envanter planı tedarikçi tarafından elde edilmektedir. İlgili problem bir karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama yaklaşımı ile matematiksel olarak modellenmiştir.

Ele alınan problem için geliştirilen model formülasyonu ve sezgisel çözüm yaklaşımının tanıtılmasının ardından bir örnek olay ve farklı senaryolar için problem çözülmüştür. Gerçekleştirilen nümerik analizler ile modelin işlevselliği ve uygulanabilirliği gösterilmiştir. Nümerik analizler, benzer karar süreçlerini içeren durumlarla karşı karşıya kalan karar vericiler için bazı önemli sonuçlar ortaya koymuştur. Üst düzey müşteriler 4 adet, orta düzey müşteriler 6 adet ve temel düzey müşteriler 10 adet olmak üzere üç ayrı müşteri düzeyinden toplam 20 adet müşteri düğümünden meydana gelen örnek olay belirlenen temel performans kriterlerinin değerlendirilebilmesi için toplam maliyeti minimize edecek şekilde optimal olarak çözülmüştür. Daha sonra orta düzey müşteriler için birden fazla dağıtım kanalı kullanmanın faydalarını analiz etmek amacı ile matematiksel modelde değişiklikler yapılmıştır. Yapılan değişiklikler ile oluşan modelden elde edilen sonuçlara bakıldığında, orta düzey müşterilerin taleplerinin; yalnızca aktarma merkezi olarak hizmet veren bir üst düzey müşteriden ürün temin edilmesi yoluyla karşılanması durumunda toplam maliyetin örnek olaya göre %1 arttığı gözlemlenmiştir. İlgili senaryo analizin sonucu olarak orta düzey müşterilere yönelik birden fazla dağıtım kanalı kullanmanın tedarikçiler için çeşitli avantajlar sunduğu

görülmüştür. Bu strateji sadece maliyet avantajı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda esnek teslimat planları oluşturarak müşteri memnuniyetini artırabilir ve hizmet kalitesini yükseltebilir. Bu bağlamda, önerilen modelin uygulanmasıyla tedarikçilerin daha etkili ve müşteri odaklı bir dağıtım ağı kurma fırsatı bulabileceği ve bu sayede rekabet avantajı elde edebileceği düşünülmektedir. Yapılan ikinci senaryo analizinde envanter havuzlama stratejisi uygulamanın faydaları ele alınmıştır. Matematiksel model oluşturulan senaryoya uygun hale getirildikten sonra problem yeniden çözülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, orta düzey müşterilerin kendi konumlarında güvenlik stoklarını tuttukları durumda toplam maliyetin örnek olaya göre %35 arttığı görülmektedir. Bu bağlamda, envanter havuzlama stratejisinin tedarik zincirinde bulunan paydaşlar için sağladığı fayda ortaya koyulmaktadır. Farklı düzeylerdeki müşterilerin envanterlerinin birleştirilmesi, toplam envanter miktarını azaltarak maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Bu durum, depolama ve taşıma maliyetlerinde potansiyel artışları engelleyerek daha etkili bir envanter yönetimini beraberinde getirmektedir. Özellikle, üst düzey müşteri konumlarının envanter havuzlama stratejisi için kullanılması, ürün stoklarını merkezi bir konumda tutarak daha düşük depolama maliyetleri ve daha etkili stok yönetimi imkânı sunmaktadır. Diğer bir senaryo analizinde, aktarma ve ürün alma noktaları için mesafe sınırının olmadığı durum ele alınmıştır. Müşteriler arasında mesafe sınırı olmadığı durumda oluşan örnek olaya göre toplam maliyetin %21 azaldığı görülmektedir. Mesafe sınırı olmadığı durumda, güvenlik stoklarının tek bir üst düzey müşteride tutulması ve temel düzey müşterilerin taleplerinin daha çok karşılanması nedeni ile toplam maliyetin azaldığı ortaya koyulmaktadır. Ancak, ürünlerin uzak mesafelerden temini ve stokların taşınması, potansiyel lojistik zorluklara ve ek maliyetlere sebep olabilir. Fiziksel mesafelerin ve lojistik karmaşıklıkların göz ardı edilmesi, operasyonel etkinlikleri ve müşteri memnuniyetini olumsuz etkileyebilir. Bu bağlamda, mesafe sınırlamasının olmamasının sağladığı maliyet avantajları ile lojistik zorluklar arasında bir denge kurulması kritik bir öneme sahiptir. Son olarak, geliştirilen sezgisel çözüm yaklaşımının işlevselliğini gösterebilmek için değişik büyüklüklerde 20 problem seçilmiş ve önerilen sezgisel çözüm yaklaşımının performansı farklı süreler için değerlendirilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, elde edilen 60 sonuçtan 45 tanesinde sezgisel çözüm yaklaşımının daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Sezgisel çözüm yaklaşımının sonuçlarına bakıldığında farklı problem setlerindeki kullanılabilirliği ön plana çıkmaktadır. Bu

perspektifle değerlendirildiğinde, büyük veri setleri veya karmaşık optimizasyon problemleri gibi alanlarda, sezgisel çözüm yaklaşımının tercih edilebileceği görülmektedir.

Müşteri segmentlerini anlamak ve bu segmentlere özgü hizmet ve lojistik stratejilerini belirlemek, müşteri memnuniyetini önemli ölçüde artırabilir. Heterojen müşteri segmentlerine yönelik farklılaştırılmış hizmet yaklaşımları, müşteri ihtiyaçlarına daha iyi yanıt verilebilmesine olanak sağlayabilir ve aynı zamanda stok seviyelerini optimize etme, teslimat süreçlerini hızlandırma ve müşteri sadakatini artırma konusunda çeşitli fırsatlar sunabilir. Öte yandan, yatay iş birliği stratejileri, tedarik zinciri içindeki paydaşlar arasında koordinasyonu artırarak, tedarik zinciri süreçlerini daha verimli ve esnek hale getirilebilir.

Sonuç olarak, bu çalışma, tedarik zinciri alanındaki karar vericilere stratejik adımlar atmalarına yardımcı olacak önemli öneriler sunmaktadır. Heterojen müşteri segmentlerine yönelik farklılaştırılmış hizmet sunma ve lojistikte iş birliği stratejilerinin entegrasyonu, işletmelerin rekabet avantajı elde etmelerine ve sürdürülebilir başarıya ulaşmalarına yönelik önemli bir adım olarak düşünülmektedir.

Gelecek dönemlerde, ağ tasarımı ve envanter rotalama problemi kapsamında geliştirilen modele, teslimatlar için kullanılan araç filosunun heterojen olması ve dış kaynaklı taşıyıcı yoluyla yapılan aktarmaların tedarikçi bünyesinde bulunan araç filosu ile yapılması gibi kısıtlar eklenerek yeni modeller geliştirilebilir. Ek olarak problemler kapsamında, pratikte sıkça karşılaşılan arz belirsizliğinin dikkate alınması eklenebilir. Envanter rotalama probleminin çözümü kapsamında geliştirilen sezgisel çözüm yaklaşımı diğer sezgisel çözüm yaklaşımları ile karşılaştırılabilir. Bu tez çalışmasının kısıtı olarak, ağ tasarımı ve envanter rotalama problemleri kapsamında ele alınan örnek olaylarda kullanılan verilerin bazılarının varsayımsal olması ve önceden kesin olarak bilindiğinin kabul edilmesi gösterilebilir. Gelecekteki çalışmalar için tüm veriler gerçek veri şeklinde kullanılabilir. İlerleyen çalışmalarda, ele alınan örnek olaylarda kullanılan belirsiz müşteri taleplerinin normal dağılıma sahip olduğu varsayımı yerine farklı olasılık dağılımları dikkate alınarak talep verisi problemlere dahil edilebilir.

KAYNAKÇA

- Abdelgawad, H., & Abdulhai, B. (2009). Emergency evacuation planning as a network design problem: a critical review. *Transportation Letters*, 1(1), 41-58.
- Achamrah, F. E., Riane, F., & Limbourg, S. (2022a). Solving inventory routing with transshipment and substitution under dynamic and stochastic demands using genetic algorithm and deep reinforcement learning. *International Journal of Production Research*, 1-18.
- Achamrah, F. E., Riane, F., & Limbourg, S. (2022b). Spare parts inventory routing problem with transshipment and substitutions under stochastic demands. *Applied Mathematical Modelling*, 101, 309-331.
- Achamrah, F. E., Riane, F., Di Martinelly, C., & Limbourg, S. (2022c). A matheuristic for solving inventory sharing problems. *Computers & Operations Research*, 138, 105605.
- Adams, F. G., Richey Jr, R. G., Autry, C. W., Morgan, T. R., & Gabler, C. B. (2014). Supply chain collaboration, integration, and relational technology: How complex operant resources increase performance outcomes. *Journal of Business Logistics*, 35(4), 299-317.
- Adulyasak, Y., Cordeau, J. F., & Jans, R. (2015). Benders decomposition for production routing under demand uncertainty. *Operations Research*, 63(4), 851-867.
- Aghalari, A., Nur, F., & Marufuzzaman, M. (2020). A Bender's based nested decomposition algorithm to solve a stochastic inland waterway port management problem considering perishable product. *International Journal of Production Economics*, 229, 107863.
- Aghdaie, M. H., Tafreshi, P. F., & Behzadian, M. (2014). Customer-oriented benefit segmentation: an integrated approach. *International Journal of Business Innovation and Research*, 8(2), 168-189.
- Aksen, D., Kaya, O., Salman, F. S., & Tüncel, Ö. (2014). An adaptive large neighborhood search algorithm for a selective and periodic inventory routing problem. *European Journal of Operational Research*, 239(2), 413-426.
- Alamdari, N. E., & Savard, G. (2021). Deep reinforcement learning in seat inventory control problem: an action generation approach. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 1-14.
- Alavidooost, M. H., Tarimoradi, M., & Zarandi, M. F. (2018). Bi-objective mixed-integer nonlinear programming for multi-commodity tri-echelon supply chain networks. *Journal of intelligent manufacturing*, 29, 809-826.
- Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., & Karaoglan, I. (2009). A steady-state genetic algorithm for multi-product supply chain network design. *Computers & industrial engineering*, 56(2), 521-537.

- Andersson, H., Hoff, A., Christiansen, M., Hasle, G., & Løkketangen, A. (2010). Industrial aspects and 133ort he133re survey: Combined inventory management and routing. *Computers & Operations Research*, *37*(9), 1515-1536.
- Aouam, T., Ghadimi, F., & Vanhoucke, M. (2021). Finite inventory budgets in production capacity and safety stock placement under the guaranteed service approach. *Computers & Operations Research*, *131*, 105266.
- Apte, A., Heath, S. K., Pico, A., & Ronny Tan, Y. H. (2015). Evacuating People with Mobility-Challenges in a Short-Notice Disaster. *Decision Sciences*, *46*(4), 731-754.
- Azadeh, A., Elahi, S., Farahani, M. H., & Nasirian, B. (2017). A genetic algorithm-Taguchi based approach to inventory routing problem of a single perishable product with transshipment. *Computers & Industrial Engineering*, *104*, 124-133.
- Basso, F., D'Amours, S., Rönnqvist, M., & Weintraub, A. (2019). A survey on obstacles and difficulties of practical implementation of horizontal collaboration in logistics. *International Transactions in Operational Research*, *26*(3), 775-793.
- Battarra, M., Balcik, B., & Xu, H. (2018). Disaster preparedness using risk-assessment methods from earthquake engineering. *European journal of operational research*, *269*(2), 423-435.
- Bayram, V., Gzara, F., & Elhedhli, S. (2019). Joint capacity, inventory, and demand allocation decisions in manufacturing systems. *IIE Transactions*, *51*(3), 248-265.
- Bertazzi, L., Bosco, A., Guerriero, F., & Lagana, D. (2013). A stochastic inventory routing problem with stock-out. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *27*, 89-107.
- Bertazzi, L., Bosco, A., & Laganà, D. (2015). Managing stochastic demand in an inventory routing problem with transportation procurement. *Omega*, *56*, 112-121.
- Bookbinder, J. H., & Tan, J. Y. (1988). Strategies 133ort he probabilistic lot-sizing problem with service-level constraints. *Management Science*, *34*(9), 1096-1108.
- Bošnjak, Z., & Grljevic, O. (2011). Credit users segmentation for improved customer relationship management in banking. In *2011 6th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI)* (pp. 379-384).
- Bosse, A., Ulmer, M. W., Manni, E., & Mattfeld, D. C. (2023). Dynamic priority rules for combining on-demand passenger transportation and transportation of goods. *European Journal of Operational Research*, *309*(1), 399-408.
- Bulhoes, T., Ha, M. H., Martinelli, R., & Vidal, T. (2018). The vehicle routing problem with service level constraints. *European Journal of Operational Research*, *265*(2), 544-558.
- Cao, Y., Zhao, H., Liang, G., Zhao, J., Liao, H., & Yang, C. (2023). Fast and explainable warm-start point learning for AC Optimal Power Flow using decision tree. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *153*, 109369.

- Chen, J., & Shi, J. (2019). A multi-compartment vehicle routing problem with time 134ort he for urban distribution–A comparison study on particle swarm optimization algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, *133*, 95-106.
- Chen, Z., Rossi, R., & Zhang, R. (2017). Single item stochastic lot sizing problem considering capital flow and business overdraft. *8th International Workshop on Lot Sizing*, Glasgow, United Kingdom, pp. 69-73.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2001). Strategy, planning, and operation. *Supply Chain Management*, *15*(5), 71-85, Pearson Education.
- Coelho, L. C., & Laporte, G. (2014). Optimal joint replenishment, delivery and inventory management policies for perishable products. *Computers & Operations Research*, *47*, 42-52.
- Coelho, L. C., Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2012a). Consistency in multi-vehicle inventory-routing. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *24*, 270-287.
- Coelho, L. C., Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2012b). The inventory-routing problem with transshipment. *Computers & Operations Research*, *39*(11), 2537-2548.
- Coelho, L. C., Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2014a). Heuristics for dynamic and stochastic inventory-routing. *Computers & Operations Research*, *52*, 55-67.
- Coelho, L. C., Coreau, J. F., & Laporte, G. (2014b). Thirty years of inventory routing. *Transportation Science*, *48*(1), 1-19.
- Correia, I., & Melo, T. (2016). Multi-period capacitated facility location under delayed demand satisfaction. *European Journal of Operational Research*, *255*(3), 729-746.
- Crainic, T. G., & Laporte, G. (Eds.). (2012). *Fleet management and logistics*. Springer Science & Business Media.
- Crujssen, F., Cools, M., & Dullaert, W. (2007). Horizontal cooperation in logistics: opportunities and impediments. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *43*(2), 129-142.
- Cruz, S. M. (2020). Customer Segmentation and Distribution Network Optimization: A case study in the Automotive Industry.
- Çetinkaya, S., & Lee, C. Y. (2000). Stock replenishment and shipment scheduling for vendor-managed inventory systems. *Management Science*, *46*(2), 217-232.
- Dai, Y., Chao, X., Fang, S. C., & Nuttle, H. L. (2005). Game theoretic analysis of a distribution system with customer market search. *Annals of Operations Research*, *135*(1), 223-228.
- Daneshvar, A., Radfar, R., Ghasemi, P., Bayanati, M., & Pourghader Chobar, A. (2023). Design of an Optimal Robust Possibilistic Model in the Distribution Chain Network of

- Agricultural Products with High Perishability under Uncertainty. *Sustainability*, 15(15), 11669.
- Darwish, M. A., & Odah, O. M. (2010). Vendor managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply chains. *European Journal of Operational Research*, 204(3), 473-484.
- Davila, S., Alfaro, M., Fuertes, G., Vargas, M., & Camargo, M. (2021). Vehicle Routing Problem with Deadline and Stochastic Service Times: Case of the Ice Cream Industry in Santiago City of Chile. *Mathematics*, 9(21), 27
- De Abreu, A. P., & Fuchigami, H. Y. (2022). An efficiency and robustness analysis of warm-start mathematical models for idle and waiting times optimization in the flow shop. *Computers & Industrial Engineering*, 166, 107976.
- De Kok, T., & Inderfurth, K. (1997). Nervousness in inventory management: comparison of basic control rules. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 55-82.
- De Vos, B., & Raa, B. (2018). Stability analysis of cost allocation methods for Inventory routing. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1682-1688.
- De Vos, B., Raa, B., & De Vuyst, S. (2019). A savings analysis of horizontal collaboration among VMI suppliers. *Journal of Industrial & Management Optimization*, 15(4), 1733.
- Deveshwar, A., & Dhawal, M. (2013). Inventory management delivering profits through stock management. *World Trade Centre, Dubai: Ram University of Science and Technology*.
- Dong, J. X., & Song, D. P. (2009). Container fleet sizing and empty repositioning in liner shipping systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(6), 860-877.
- Ehsani, B., Karimi, H., Bakhshi, A., Aghsami, A., & Rabbani, M. (2023). Designing humanitarian logistics network for managing epidemic outbreaks in disasters using Internet-of-Things. A case study: An earthquake in Salas-e-Babajani city. *Computers & industrial engineering*, 175, 108821.
- Ekren, B. Y., & Arslan, B. (2020). Simulation-based lateral transshipment policy optimization for s, S inventory control problem in a single-echelon supply chain network. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA)*, 10(1), 9-16.
- Eppen, G. D. (1979). Effects of centralization on expected costs in a multi-location newsboy problem. *Management science*, 25(5), 498-501.
- Esfandiari, N., & Seifbarghy, M. (2013). Modeling a stochastic multi-objective supplier quota allocation problem with price-dependent ordering. *Applied Mathematical Modelling*, 37(8), 5790-5800.

- Esmaeili, S., Bashiri, M., & Amiri, A. (2023). An exact criterion space search algorithm for a bi-objective blood collection problem. *European Journal of Operational Research*, *311*(1) 210–232.
- Fahle, T., Schamberger, S., & Sellmann, M. (2001). Symmetry breaking. In *Principles and Practice of Constraint Programming—CP 2001: 7th International Conference, CP 2001 Paphos, Cyprus, November 26–December 1, 2001 Proceedings 7* (pp. 93-107). Springer Berlin Heidelberg.
- Fakhrzad, M. B., & Goodarzian, F. (2019). A fuzzy multi-objective programming approach to develop a green closed-loop supply chain network design problem under uncertainty: modifications of imperialist competitive algorithm. *RAIRO-Operations Research*, *53*(3), 963-990
- Fardi, K., Jafarzadeh_Ghoushchi, S., & Hafezalkotob, A. (2019). An extended robust approach for a cooperative inventory routing problem. *Expert Systems with Applications*, *116*, 310-327.
- Fattahi, P., Bashiri, M., & Tanhatalab, M. (2017). Bi-objectives approach for a multi-period two echelons perishable product inventory-routing problem with production and lateral transshipment. *International Journal of Engineering*, *30*(6), 876-886.
- Fattahi, P., & Tanhatalab, M. (2022). Stochastic inventory-routing problem with lateral transshipment for perishable product. *Journal of Modelling in Management*, *17*(2), 539-568.
- Franco, C. A. F., Guzmán-Cortés, D. C., & Figueroa-Garcia, J. C. (2012). Mathematical model for centralized supply chains with sharing resources decisions. *Ingenieria*, *25*(3), 1-12.
- Garcia Marquez, F. P., García Pardo, I. P., & Nieto, M. R. M. (2015). Competitiveness based on logistic management: a real case study. *Annals of Operations Research*, *233*(1), 157-169.
- Gebennini, E., Gamberini, R., & Manzini, R. (2009). An integrated production–distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization. *International Journal of Production Economics*, *122*(1), 286-304.
- Ghezavati, V. R., Jabal-Ameli, M. S., & Makui, A. (2009). A new heuristic method for distribution networks considering service level constraint and coverage. *Expert Systems with Applications*, *36*(3), 5620-5629.
- Giesen, R., Mahmassani, H. S., & Jaillet, P. (2005). Strategies for online inventory routing problem under real-time information. *Transportation research record*, *1923*(1), 164-179.
- Gou, Q., Zhang, J., Liang, L., Huang, Z., & Ashley, A. (2014). Horizontal cooperative programmes and cooperative advertising. *International Journal of Production Research*, *52*(3), 691-712.

- Guo, P., Liu, F., & Wang, Y. (2020). Pre-positioning and Deployment of Reserved Inventories in a Supply Network: Structural Properties. *Production and Operations Management*, 29(4), 893-906.
- Han, C., & Damrongwongsiri, M. (2005). Stochastic modeling of a two-echelon multiple sourcing supply chain system with genetic algorithm. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(1), 87-108.
- Han, G., Dong, M., & Shao, X. (2011). A stochastic dynamic programming approach-based yield management with substitution and uncertainty in semiconductor manufacturing. *Computers & Mathematics with Applications*, 61(4), 1241-1253.
- Han, G., Dong, M., & Shao, X. (2012). Yield management with downward substitution and uncertainty demand in semiconductor manufacturing. *International Journal of Production Research*, 50(3), 743-756.
- Hemmati, M., & Pasandideh, S. H. R. (2021). A bi-objective supplier location, supplier selection and order allocation problem with green constraints: scenario-based approach. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12, 8205-8228.
- Hsieh, C. L., Liao, S. H., & Ho, W. C. (2013, December). Incorporating location, routing and inventory decisions in dual sales channel—A hybrid genetic approach. In *2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 452-456). IEEE.
- Hwang, H., Jung, T., & Suh, E. (2004). An LTV model and customer segmentation based on customer value: a case study on the wireless telecommunication industry. *Expert systems with applications*, 26(2), 181-188.
- Irungu, B. K., & Wanjau, K. (2011). Effectiveness of vendor managed inventory systems in retail supermarkets in Kenya. *International journal of business and public management*, 1(1), 194-205.
- Jachimowski, R., & Zak, J. (2013). Vehicle routing problem with heterogeneous customers demand and external transportation costs. *Journal of Traffic and Logistics Engineering*, 1(1), 46-50.
- Jackson, P. L., Muckstadt, J. A., & Li, Y. (2019). Multiperiod stock allocation via robust optimization. *Management Science*, 65(2), 794-818.
- Jacobs, F. R., & Chase, R. B. (2018). *Operations and supply chain management*. McGraw-Hill.
- Jafarkhan, F., & Yaghoubi, S. (2018). An efficient solution method for the flexible and robust inventory-routing of red blood cells. *Computers & Industrial Engineering*, 117, 191-206.
- Jayaswal, S., & Vidyarthi, N. (2017). Facility location under service level constraints for heterogeneous customers. *Annals of Operations Research*, 253(1), 275-305.

- Jemai, Z., Rekik, Y., & Kalai, R. (2013). Inventory routing problems in a context of vendor-managed inventory system with consignment stock and transshipment. *Production Planning & Control*, 24(8-9), 671-683.
- Kahraman, Ö. U., & Aydemir, E. (2020). A bi-objective inventory routing problem with interval grey demand data. *Grey Systems: Theory and Application*, 10(2), 193-214.
- Kauremaa, J., Småros, J., & Holmström, J. (2009). Patterns of vendor-managed inventory: findings from a multiple-case study. *International Journal of Operations & Production Management*, 29(11), 1109-1139.
- Kazemi, S. M., Rabbani, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Shahreza, F. A. (2017). Blood inventory-routing problem under uncertainty. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 32(1), 467-481.
- Kim, J. S., Jeon, E., Noh, J., & Park, J. H. (2019). A model and an algorithm for a large-scale sustainable supplier selection and order allocation problem. *Mathematics*, 6(12), 325.
- Klosterhalfen, S. T., Kallrath, J., & Fischer, G. (2014). Rail car fleet design: Optimization of structure and size. *International Journal of Production Economics*, 157, 112-119.
- Kurata, H. (2014). How does inventory pooling work when product availability influences customers' purchasing decisions?. *International journal of production research*, 52(22), 6739-6759.
- Lefever, W., Aghezzaf, E. H., Hadj-Hamou, K., & Penz, B. (2018). Analysis of an improved branch-and-cut formulation for the inventory-routing problem with transshipment. *Computers & Operations Research*, 98, 137-148.
- Li, M., Wang, Z., & Chan, F. T. (2016). An inventory routing policy under replenishment lead time. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 47(12), 3150-3164.
- Li, R., Cui, Z., Kuo, Y. H., & Zhang, L. (2023). Scenario-based Distributionally Robust Optimization for the Stochastic Inventory Routing Problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 176, 103193.
- Li, X. (2013). An integrated modeling framework for design of logistics networks with expedited shipment services. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 56, 46-63.
- Lin, R. (2019). The importance of successful inventory management to enterprises: A case study of Wal-Mart. In *2019 International Conference on Management, Finance and Social Sciences Research (MFSSR 2019)*. London: Francis Academic Press.
- Lin, Y. S., & Wang, K. J. (2018). A two-stage stochastic optimization model for the configuration and inventory policy of deteriorating items. *Computers & Industrial Engineering*, 120, 83-93.

- Liu, P., Hendalianpour, A., Razmi, J., & Sangari, M. S. (2021). A solution algorithm for integrated production-inventory-routing of perishable goods with transshipment and uncertain demand. *Complex & Intelligent Systems*, 7(3), 1349-1365.
- Lv, Y., Wang, G., & Tang, L. (2014). Scenario-based modeling approach and scatter search algorithm for the stochastic slab allocation problem in steel industry. *ISIJ international*, 54(6), 1324-1333.
- Ma, X., Rossi, R., & Archibald, T. (2019). Stochastic inventory control: A review. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1490-1495.
- Maji, A., Bhunia, A. K., & Mondal, S. K. (2022). A production-reliability-inventory model for a series-parallel system with mixed strategy considering shortage, warranty period, credit period in crisp and stochastic sense. *OPSEARCH*, 59(3), 862-907.
- Manupati, V. K., Schoenherr, T., Wagner, S. M., Soni, B., Panigrahi, S., & Ramkumar, M. (2021). Convalescent plasma bank facility location-allocation problem for COVID-19. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 156, 102517.
- Martins, S., Ostermeier, M., Amorim, P., Hübner, A., & Almada-Lobo, B. (2019). Product-oriented time window assignment for a multi-compartment vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 276(3), 893-909.
- McDonald, M. (2012). *Market segmentation: How to do it and how to profit from it*. John Wiley & Sons.
- Memari, A., Ahmad, R., Rahim, A. R. A., & Hassan, A. (2018). Optimizing a Just-In-Time logistics network problem under fuzzy supply and demand: two parameter-tuned metaheuristics algorithms. *Neural Computing and Applications*, 30, 3221-3233.
- Mirzapour Al-e-hashem, S. M. J., & Rekik, Y. (2014). Multi-product multi-period Inventory Routing Problem with a transshipment option: A green approach. *International Journal of Production Economics*, 157, 80-88.
- Mirzapour Al-e-hashem, S. M., Rekik, Y., & Hoseinhajlou, E. M. (2019). A hybrid L-shaped method to solve a bi-objective stochastic transshipment-enabled inventory routing problem. *International Journal of Production Economics*, 209, 381-398.
- Mousavi, S. M., Pardalos, P. M., Niaki, S. T. A., Fügenschuh, A., & Fathi, M. (2019). Solving a continuous periodic review inventory-location allocation problem in vendor-buyer supply chain under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 541-552.
- Müller, J. M., Pommeranz, B., Weisser, J., & Voigt, K. I. (2018). Digital, Social Media, and Mobile Marketing in industrial buying: Still in need of customer segmentation? Empirical evidence from Poland and Germany. *Industrial Marketing Management*, 73, 70-83.
- Nahmias, S. Ve Olsen, T. L. (2015). *Production and operations analysis*. Waveland Press.

- Natarajan, K. V., & Swaminathan, J. M. (2017). Multi-treatment inventory allocation in humanitarian health settings under funding constraints. *Production and Operations Management*, 26(6), 1015-1034.
- Neves-Moreira, F., Almada-Lobo, B., Guimarães, L., & Amorim, P. (2022). The multi-product inventory-routing problem with pickups and deliveries: Mitigating fluctuating demand via rolling horizon heuristics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 164, 102791.
- Nonas, L. M., & Jörnsten, K. (2005). Heuristics in the multi-location inventory system with transshipments. In *Research methodologies in supply chain management* (pp. 509-524). Physica-Verlag HD.
- Orlis, C., Laganá, D., Dullaert, W., & Vigo, D. (2020). Distribution with quality of service considerations: The capacitated routing problem with profits and service level requirements. *Omega*, 93, 102034.
- Paksoy, T., Pehlivan, N., & Ozceylan, E. (2010). Application of Fuzzy mathematical programming approach to the aggregate production/distribution planning in a supply chain network problem. *Scientific research and Essays*, 5(22), 3384-3397.
- Pan, S., Nigrelli, M., Ballot, E., Sarraj, R., & Yang, Y. (2015). Perspectives of inventory control models in the Physical Internet: A simulation study. *Computers & Industrial Engineering*, 84, 122-132.
- Papadopoulos, H. T., & Vidalis, M. I. (2001). Minimizing WIP inventory in reliable production lines. *International Journal of Production Economics*, 70(2), 185-197.
- Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Asadi, K. (2015). Bi-objective optimization of a multi-product multi-period three-echelon supply chain problem under uncertain environments: NSGA-II and NREGA. *Information Sciences*, 292, 57-74.
- Paterson, C., Kiesmüller, G., Teunter, R., & Glazebrook, K. (2011). Inventory models with lateral transshipments: A review. *European Journal of Operational Research*, 210(2), 125-136.
- Patne, K., Shukla, N., Kiridena, S., & Tiwari, M. K. (2018). Solving closed-loop supply chain problems using game theoretic particle swarm optimisation. *International Journal of Production Research*, 56(17), 5836-5853.
- Peres, I. T., Repolho, H. M., Martinelli, R., & Monteiro, N. J. (2017). Optimization in inventory-routing problem with planned transshipment: A case study in the retail industry. *International Journal of Production Economics*, 193, 748-756.
- Rabbani, M., Baghersad, M., & Jafari, R. (2013). A new hybrid GA-PSO method for solving multi-period inventory routing problem with considering financial decisions. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 6(4), 909-929.
- Radzuan, K., Othman, S. N., & Udin, Z. M. (2012). The impact of VMI on performance in manufacturing company. *Journal of Technology and Operations Management*, 7(1), 79-92.

- Rahbari, M., Naderi, B., & Mohammadi, M. (2018). Modelling and solving the inventory routing problem with CO2 emissions consideration and transshipment option. *Environmental Processes*, 5(3), 649-665.
- Ramezani, M., Kimiagari, A. M., & Karimi, B. (2015). Interrelating physical and financial flows in a bi-objective closed-loop supply chain network problem with uncertainty. *Scientia Iranica E*, 22(3), 1278-1293.
- Renko, S. (2011). Vertical collaboration in the supply chain. In *Supply Chain Management-New Perspectives*. IntechOpen.
- Rezaei, A., Shahedi, T., Aghsami, A., Jolai, F., & Feili, H. (2021). Optimizing a bi-objective location-allocation-inventory problem in a dual-channel supply chain network with stochastic demands. *RAIRO-Operations Research*, 55(5), 3245-3279.
- Rivas, O., & Greene, K. (2019). Last-Mile Distribution Network Optimization in Emerging Markets: A Case Study in São Paulo, Brazil.
- Roldan, R. F., Basagoiti, R., & Coelho, L. C. (2016). Robustness of inventory replenishment and customer selection policies in the dynamic and stochastic inventory-routing problem. *Computers & Operations Research*, 74, 14-20.
- Roostaei, A., & Nakhai Kamal Abadi, I. (2018). Considering Production Planning in the Multi-period Inventory Routing Problem with Transshipment between Retailers. *International Journal of Engineering*, 31(9), 1568-1574.
- Rushton, A., Croucher, P. & Baker, P. (2021). *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain*. Kogan Page Publishers.
- Salari, S. A. S., Mahmoudi, H., Aghsami, A., Jolai, F., Jolai, S., & Yazdani, M. (2022). Off-Site construction Three-Echelon supply chain management with stochastic constraints: a modelling approach. *Buildings*, 12(2), 119.
- Sarpola, S. (2008). Evaluation Framework for VMI Systems, *Helsinki School of Economics, Finland .Sprouts: Working Papers on Information Systems*, 7(16)
- Schulz, S. F., & Blecken, A. (2010). Horizontal cooperation in disaster relief logistics: benefits and impediments. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(8/9), 636-656.
- Shi, X., Liu, W., & Lim, M. K. (2023). Supply chain resilience: new challenges and opportunities. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1-28.
- Silver, E. A. (1981). Operations research in inventory management: A review and critique. *Operations Research*, 29(4), 628-645.
- Simatupang, T. M., & Sridharan, R. (2002). The collaborative supply chain. *The international journal of logistics management*, 13(1), 15-30.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. & Simchi-Levi, E., (2000). "Designing And Managing The Supply Chain", Irvin McGraw-Hill, United States of America.

- Song, X., Chang, D., & Luo, T. (2023). A Single-Product Multi-Period Inventory Routing Problem under Intermittent Demand. *Information*, 14(6), 331.
- Sonntag, D. R., Schrottenboer, A. H., & Kiesmüller, G. P. (2023). Stochastic inventory routing with time-based shipment consolidation. *European Journal of Operational Research*, 306(3), 1186-1201.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & Van Der Vorst, J. G. (2014). Modelling food logistics networks with emission considerations: The case of an international beef supply chain. *International Journal of Production Economics*, 152, 57-70.
- 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. (2016). A research on non-stationary stochastic demand inventory systems. *International Journal of Business and Social Science*, 7(3), 153-158.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., & van der Vorst, J. G. (2018). Modeling a green inventory routing problem for perishable products with horizontal collaboration. *Computers & Operations Research*, 89, 168-182.
- Soysal, M., Çimen, M., Belbağ, S., & Toğrul, E. (2019). A review on sustainable inventory routing. *Computers & Industrial Engineering*, 132, 395-411.
- Soysal, M., Koç, Ç., Çimen, M., & İbiş, M. (2023). Managing returnable transport items in a vendor managed inventory system. *Socio-Economic Planning Sciences*, 86, 101504.
- Sun, Z. H., & Ming, X. (2021). Multicriteria decision-making framework for supplier selection: A customer community-driven approach. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 70(10), 3434-3450.
- Swaminathan, J. M., & Srinivasan, R. (1999). Managing individual customer service constraints under stochastic demand. *Operations research letters*, 24(3), 115-125.
- Swinney, R. (2012). Inventory pooling with strategic consumers: Operational and behavioral benefits. In *Stanford University Stanford CA Working Paper*.
- Syarif, A., Yun, Y., & Gen, M. (2002). Study on multi-stage logistic chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach. *Computers & Industrial Engineering*, 43(1-2), 299-314.
- Szulce, H., & Sosnowska, B. (2010). Significance of and tools for development of custome portfolio a logistics company. *LogForum*, 6(2), 3-8.
- Taghavi, S. M., Ghezavati, V., Bidhandi, H. M., & Al-e-Hashem, S. M. J. M. (2022). Green-Resilient Supplier Selection and Order Allocation Under Disruption by Utilizing Conditional Value at Risk: Mixed Response Strategies. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 1-22.

- Tanonkou, G. A., Benyoucef, L., & Xie, X. (2008). A scenario analysis of a location problem with uncertain demand. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 32(4), 290-297.
- Tarim, S. A., & Kingsman, B. G. (2004). The stochastic dynamic production/inventory lot-sizing problem with service-level constraints. *International Journal of Production Economics*, 88(1), 105-119.
- Taube, F., & Minner, S. (2018). Data-driven assignment of delivery patterns with handling effort considerations in retail. *Computers & Operations Research*, 100, 379-393.
- Tikani, H., Honarvar, M., & Mehrjerdi, Y. Z. (2018). Developing an integrated hub location and revenue management model considering multi-classes of customers in the airline industry. *Computational and Applied Mathematics*, 37, 3334-3364.
- 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.
- Topaloglu, H., & Kunnumkal, S. (2006). Approximate dynamic programming methods for an inventory allocation problem under uncertainty. *Naval Research Logistics (NRL)*, 53(8), 822-841.
- Tsiptsis, K. K., & Chorianopoulos, A. (2011). *Data mining techniques in CRM: inside customer segmentation*. John Wiley & Sons.
- Tunç, H., Kilic, O. A., Tarim, S. A., & Eksioğlu, B. (2013). A simple approach for assessing the cost of system nervousness. *International Journal of Production Economics*, 141(2), 619-625.
- Uluslararası Taşımacılık ve Lojistik Hizmet Üretenleri Derneği (UTİKAD), *Lojistik Sektörü Raporu*, 2022. <https://www.utikad.org.tr/images/HizmetRapor/utikadlojistiksektoruraporu2022-857.pdf>
- Venzke, A., Chatzivasileiadis, S., & Molzahn, D. K. (2020). Inexact convex relaxations for AC optimal power flow: Towards AC feasibility. *Electric Power Systems Research*, 187, 106480.
- Verdonck, L. (2017). *Collaborative Logistics from the Perspective of Freight Transport Companies*. PhD Thesis: Hasselt University.
- Waller, M., Johnson, M. E., & Davis, T. (1999). Vendor-managed inventory in the retail supply chain. *Journal of business logistics*, 20(1), 183.
- Wu, Y., Wang, J., & Li, C. (2019). Decisions of supply chain considering chain-to-chain competition and service negative spillover effect. *Sustainability*, 11(6), 1612.
- Xu, X. (2013). *Collaboration Mechanism in the Horizontal Logistics Collaboration*. Doktora Tezi, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris.

Xue, W., Ma, L., Liu, Y., & Lin, M. (2022). Value of inventory pooling with limited demand information and risk aversion. *Decision Sciences*, 53(1), 51-83.

Zheng, M., Du, N., Zhao, H., Huang, E., & Wu, K. (2021). A study on the optimal inventory allocation for clinical trial supply chains. *Applied Mathematical Modelling*, 98, 161-184.

Zhou, M., Han, J., Rachh, M., & Borges, C. (2023). A neural network warm-start approach for the inverse acoustic obstacle scattering problem. *Journal of Computational Physics*, 490, 112341.

Zhou, Y., Zhao, L., Zhao, X., & Jiang, J. (2011). A supplier selection and order allocation problem with stochastic demands. *International Journal of Systems Science*, 42(8), 1323-1338.

Tablo 46*Depolardan Üst ve Orta Düzey Müşterilere Araç Gönderimi Maliyetleri (€)*

	HT6	HT7	HT8	HT9	HT10	HT11	HT12	HT13	HT14	HT15	MT16	MT17	MT18	MT19	MT20	MT21	MT22	MT23	MT24	MT25	MT26	MT27	MT28	MT29	MT30
Depo1	65,74	100,51	89,11	98,96	96,32	55,89	59,41	63,78	51,21	78,35	97,98	86,81	102,9	89,57	39,56	90,86	99,54	40,37	69,66	34,32	81,19	39	93,61	91,28	67,31
Depo2	103,17	124,69	117,38	145,54	130,1	92,72	105,39	99,97	88,04	114,54	131,76	120,59	141,61	110,38	64,97	137,66	125,61	56,42	81,28	48,92	114,82	31,02	134,47	64,57	113,9
Depo3	50,06	18,24	16,87	81,34	22,18	142,5	131,02	151,75	139,3	161,17	15,37	25,27	31,59	32,42	69,95	104,74	11,34	78,68	68,83	137,75	24,59	142,98	43,2	190,29	89,95
Depo4	51,63	99,43	85,28	61,12	78,49	45	32,37	53,11	42,09	62,52	85,25	73,66	81,27	99,12	57,57	45,48	98,1	70,19	92,03	73,24	75,82	84,44	71,42	136,73	25,16
Depo5	85,19	106,85	99,54	126,56	112,26	82,8	86,4	90,69	78,13	105,26	113,92	102,74	123,63	94,49	46,84	118,68	107,77	38,75	65,49	40,43	96,84	33,46	116,49	76,12	94,91

Tablo 47*Bir Parti Ürünün Üst ve Orta Düzey Müşteriler Arasında Aktarım Maliyeti (€)*

Müşteriler	HT6	HT7	HT8	HT9	HT10	HT11	HT12	HT13	HT14	HT15	MT16	MT17	MT18	MT19	MT20	MT21	MT22	MT23	MT24	MT25	MT26	MT27	MT28	MT29	MT30
HT6	0	5,11	3,63	5,78	3,53	9,52	8,27	10,32	9,23	11,25	4,2	2,79	4,19	5,21	3,82	7,03	4,98	5,08	6,35	9,76	2,69	10,28	3,32	15,46	4,42
HT7	5,11	0	1,72	9,22	3,49	13,96	13,35	15,04	13,64	16,33	3,04	3,23	4,77	1,53	6,07	11,46	0,77	6,81	5,2	13,49	2,51	13,76	5,56	17,98	9,29
HT8	3,61	1,72	0	7,61	2,23	12,78	12,17	13,87	12,46	15,16	1,89	1,63	3,54	2,58	5,5	9,85	1,57	6,36	5,38	12,31	0,95	12,83	3,95	17,4	7,74
HT9	5,81	9,17	7,51	0	6,04	9,89	8,15	10,25	9,84	11	6,72	6,04	5,33	9,65	8,49	3,32	8,7	9,84	11,75	12,74	6,87	13,62	3,97	18,8	3,67
HT10	3,52	3,47	2,14	6,04	0	12,3	11,05	13,1	12,01	14,03	0,86	0,94	1,55	4,66	6,49	8,46	2,79	7,68	7,35	13,04	2,02	13,55	2,27	18,62	7,05
HT11	9,54	13,94	12,78	9,91	12,4	0	1,84	1,23	0,57	2,73	13,07	11,92	12,67	13,39	8,49	8,02	13,81	9,43	11,9	4,51	12	6,36	11,5	10,83	6,92
HT12	8,32	13,37	11,85	8,19	11,18	1,83	0	2,14	2,21	3,04	11,85	10,7	11,45	13,09	8,51	6,25	13,24	9,61	11,92	5,84	10,91	7,69	10,28	12,64	5,69
HT13	10,38	15,02	13,86	10,27	13,24	1,24	2,15	0	1,75	1,54	13,91	12,76	13,51	14,47	9,67	8,32	14,89	10,23	13,14	5,24	12,97	7,1	12,33	11,23	7,75
HT14	9,24	13,61	12,45	9,84	12,1	0,59	2,17	1,73	0	3,23	12,77	11,62	12,37	13,06	7,97	8,08	13,48	8,99	11,39	4,06	11,66	5,91	11,2	10,72	6,61
HT15	11,31	16,36	14,84	10,86	14,08	2,75	3,03	1,54	3,26	0	14,75	13,69	14,36	15,88	11,15	8,79	16,23	11,63	14,55	6,65	13,9	8,5	13,27	12,06	8,54

