



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

**KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRLERİNDE YATAY LOJİSTİK
İŞ BİRLİĞİ ALTINDA İADESİ MÜMKÜN NAKLIYE
MALZEMELERİNİN YÖNETİMİ İÇİN BİR MATEMATİKSEL
MODEL ÖNERİSİ**

Ereñcan YAVRUCU

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2022

KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRLERİNDE YATAY LOJİSTİK İŞ
BİRLİĞİ ALTINDA İADESİ MÜMKÜN NAKLİYE
MALZEMELERİNİN YÖNETİMİ İÇİN BİR MATEMATİKSEL MODEL
ÖNERİSİ

Erencan YAVRUCU

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2022

KABUL VE ONAY

Ereñcan Yavrucu tarafından hazırlanan ‘‘Kapalı Döngü Tedarik Zincirlerinde Yatay Lojistik İş Birliği Altında İadesi Mümkün Nakliye Malzemelerinin Yönetimi İçin Bir Matematiksel Model Önerisi’’ başlıklı bu çalışma, 30.05.2022 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Bülent ÇEKİÇ (Başkan)

Doç. Dr. Mehmet SOYSAL (Danışman)

Doç. Dr. Kazım Barış ATICI (Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL (Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİMEN (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Uğur ÖMÜRGÖNÜLŞEN

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

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

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

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

- 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⁾

30.05.2022

Erencan YAVRUCU

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

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü tezele 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.

Erencan YAVRUCU

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimimin başlangıcından itibaren akademik bilgisi, desteği ve değerli görüşleri ile her zaman yanımda olan, herhangi bir sorunla karşılaşmam durumunda yardımcı olmak için elinden gelen her şeyi yapan, akademik bir kariyer yapma konusunda beni yüreklendiren ve bana örnek teşkil eden değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Mehmet Soysal'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Kıymetli görüşleri ve değerlendirmeleri ile bu tez çalışmasına katkı sağlayan değerli hocalarım ve tez savunma jürisi üyelerim Doç. Dr. Kazım Barış Atıcı'ya, Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Çimen'e, Dr. Öğr. Üyesi Bülent Çekiç'e ve Dr. Öğr. Üyesi Çağrı Sel'e teşekkür ederim.

Başta Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Hakan Özdemir hocam olmak üzere, Türk – Alman Üniversitesi İşletme Bölümü'nde görev yapan hocalarıma ve değerli çalışma arkadaşlarıma bu süreçte bana olan destekleri için teşekkür ederim.

Hayatımın her anında bana olan desteklerini ve inançlarını hissettiğim aileme, annem Satı Yavrucu'ya, babam Durmuş Yavrucu'ya, Ağabeyim Mehmet Onur Yavrucu'ya ve değerli eşi Elif Duzcu Yavrucu'ya teşekkür ederim.

Stresli olduğum her anı benimle paylaşan, zor zamanların üstesinden gelmemde daima bana destek olan, farklı şehirlerde olsak da varlığını daima yanımda hissettiğim Cansu Apaydın'a teşekkür ederim.

ÖZET

YAVRUCU, Erencan. *Kapalı Döngü Tedarik Zincirlerinde Yatay Lojistik İş Birliği Altında İadesi Mümkün Nakliye Malzemelerinin Yönetimi İçin Bir Matematiksel Model Önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2022.

Dünyanın küreselleşmesi ve iş dünyasında artan rekabet, iş süreçlerinin giderek karmaşıklaşmasına neden olmuştur. Bunun sonucunda firmalar birbirleri ile iş birlikleri ve iş ilişkileri kurmaya başlamışlar, tedarik zincirleri bu iş ilişkileri neticesinde ortaya çıkmıştır. Artan çevresel duyarlılık tedarik zincirlerinde sürdürülebilirlik çalışmalarını da artırmış, bu durum kapalı döngü tedarik zincirlerini meydana getirmiştir. Birden çok kez kullanılabildikleri için hem çevresel hem de ekonomik açıdan pek çok fayda sağlayan iadesi mümkün nakliye malzemelerinin (İNM) kapalı döngü tedarik zincirlerinde yönetimi, günümüzde lojistik operasyonlarının önemli bir parçasıdır. Bu çalışmada birden çok tedarikçinin ve müşterinin yer aldığı kapalı döngü tedarik zincirlerinde ürün dağıtımını ve boş İNM'lerinin toplanması, araç rotalaması ve depolarda tutulacak olan envanter miktarı kararlarının verildiği bir kapalı döngü envanter rotalama problemi türü için bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Tedarik zinciri elemanları arasında kurulabilecek olan farklı yatay lojistik iş birliği türlerinin faydaları çalışma kapsamında incelenmiştir. Probleme ürün talep yapısı hem statik hem de dinamik olarak ele alınmış, planlama ufku içerisinde talep miktarlarında yaşanan değişikliklerin farklı yatay lojistik iş birliği senaryolarında toplam maliyete etkilerine de çalışmada yer verilmiştir. Bilindiği kadarıyla bahsedilen faktörleri bir arada içeren bir çalışma literatürde mevcut değildir. Çalışma kapsamında önerilen matematiksel modelin uygulanabilirliği örnek bir veri seti üzerinde gösterilmiş, ardından bahsedilen incelemeler nümerik analizler ile yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda talep yapısından bağımsız olarak hem müşteriler hem de tedarikçiler arasında kurulan yatay lojistik iş birliklerinin incelenen bütün durumlarda en az maliyet doğuran iş birliği seçeneği olduğu görülmüştür. Ayrıca kurulan yatay iş birliği türünün tedarik zinciri boyunca oluşan toplam maliyetin farklı kalemlerini farklı şekillerde etkilediği de yapılan analizler ile ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri, İadesi Mümkün Nakliye Malzemeleri, Envanter Rotalama Problemi, Yatay Lojistik İş Birliği, Dinamik Talep Yapısı

ABSTRACT

YAVRUCU, Erenca. *A Quantitative Model Proposal For Managing Returnable Transport Items Under Horizontal Logistics Cooperation In Closed-Loop Supply Chains*, Master's Thesis, Ankara, 2022

Globalization and growing competition in the business world have caused business processes to become increasingly complex. As a result, companies began to collaborate and form business relationships, resulting in the formation of supply chains. Sustainability studies have become more important in supply chains as environmental awareness has grown, resulting in closed-loop supply chains. Returnable transport items (RTIs) management in closed-loop supply chains is a significant aspect of logistics operations today since they bring various environmental and economic benefits due to their ability to be reused several times. In this study, a mixed integer linear programming model is proposed for a multiple suppliers, multiple customers, closed-loop inventory routing problem where decisions about product distribution and collection of empty RTIs, vehicle routing, and the amount of inventory to be kept in warehouses are made. Within the scope of the study, the benefits of various types of horizontal logistics cooperation that can be established between supply chain elements are examined. In the study, the product demand structure is discussed both statically and dynamically. In addition, the effects of changes in the amount of demand within the planning horizon on the total cost in different horizontal logistics cooperation scenarios are also included in the study. As far as is known, there is no study in the literature that includes the factors mentioned together. The applicability of the proposed mathematical model is demonstrated in a base case scenario. Afterwards, numerical analyses were carried out to examine the above-mentioned effects. Following the analysis, it was discovered that, regardless of the demand structure, horizontal logistics cooperation between both customers and suppliers is the least expensive cooperation option in all cases examined. Furthermore, the analyses have revealed that the type of horizontal cooperation established has a different impact on different parts of the total cost throughout the supply chain.

Key Words

Closed Loop Supply Chain, Returnable Transport Items, Inventory Routing Problem, Horizontal Logistics Cooperation, Dynamic Demand Structure

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI.....	ii
ETİK BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	x
TABLOLAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM: KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ VE İADESİ MÜMKÜN NAKLİYE MALZEMELERİ	5
1.1. TEDARİK ZİNCİRİ VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ.....	5
1.2. KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ.....	8
1.3. İADESİ MÜMKÜN NAKLİYE MALZEMELERİ	10
1.4. TEDARİK ZİNCİRİNDE YATAY İŞ BİRLİĞİ.....	11
2. BÖLÜM: ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ.....	14
2.1. KAPALI DÖNGÜ ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ.....	14
2.2. LİTERATÜR TARAMASI	22
3. BÖLÜM: KAPALI DÖNGÜ ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ.....	35
3.1. PROBLEM TANIMI	35
3.2. MATEMATİKSEL MODEL	37
4. BÖLÜM: NÜMERİK ANALİZLER	45

4.1. VERİ SETİNİN TANITILMASI	45
4.2. STATİK TALEP VARSAYIMI ALTINDA SENARYO ÇÖZÜMLERİ	50
4.2.1. Statik Talep Varsayımı Altında Tam İş Birliği Senaryosunun Çözümü Ve Analizi	50
4.2.2. Statik Talep Varsayımı Altında Sadece Tedarikçiler Arasında İş Birliği Yapılan Senaryonun Çözümü Ve Analizi.....	56
4.2.3. Statik Talep Varsayımı Altında Sadece Müşteriler Arasında İş Birliği Yapılan Senaryonun Çözümü Ve Analizi.....	61
4.2.4. Statik Talep Varsayımı Altında İş Birliği Yapılmayan Senaryonun Çözümü Ve Analizi	67
4.2.5. Statik Talep Varsayımı Altında Çözüm Yapılan Senaryoların Karşılaştırılması	72
4.3. DİNAMİK TALEP VARSAYIMI ALTINDA SENARYO ÇÖZÜMLERİ ..	73
4.3.1. Dinamik Talep Varsayımı Altında Tam İş Birliği Senaryosunun Çözümü Ve Analizi	75
4.3.2. Dinamik Talep Varsayımı Altında Sadece Tedarikçiler Arasında İş Birliği Yapılan Senaryonun Çözümü Ve Analizi.....	79
4.3.3. Dinamik Talep Varsayımı Altında Sadece Müşteriler Arasında İş Birliği Yapılan Senaryonun Çözümü Ve Analizi.....	80
4.3.4. Dinamik Talep Varsayımı Altında İş Birliği Yapılmayan Senaryonun Çözümü Ve Analizi	81
4.4. FARKLI VERİ SETLERİNİN KULLANILARAK İŞ BİRLİĞİ SENARYOLARININ STATİK VE DİNAMİK TALEP VARSAYIMLARI ALTINDA İNCELENMESİ	82
4.4.1. Statik Talep Varsayımı Altında Rastgele Lokasyonlu Tedarik Zincirlerinde Modelin Çözümü Ve Analizi.....	83

4.4.2. Dinamik Talep Varsayımı Altında Rastgele Lokasyonlu Tedarik Zincirlerinde Modelin Çözümü Ve Analizi	85
SONUÇ	90
KAYNAKLAR	94
EKLER	104
EK 1: ORİJİNALLİK RAPORU	104
EK 2: ETİK KOMİSYON MUAFİYETİ FORMU	105

KISALTMALAR DİZİNİ

İMNM	İadesi Mümkün Nakliye Malzemeleri
VMI	Satıcı GÜdümündeki Envanter Sistemleri
IRP	Envanter Rotalama Problemi
CIRP	Kapalı Döngü Envanter Rotalama Problemi
VRP	Araç Rotalama Problemi
LIRP	Lokasyon – Envanter Rotalama Problemi
PIRP	Üretim – Envanter Rotalama Problemi
MILP	Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama
MINLP	Karma Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama
PMILP	Olasılıksal Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama
TSSP	İki-Aşamalı Stokastik Programlama
MOLP	Çok Amaçlı Doğrusal Programlama
CCP	Şans Kısıtlı Programlama
MO-MINLP	Çok Amaçlı Karma Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama
HA	Hibrit Algoritma
HGA	Hibrit Genetik Algoritma
ACO	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
HACO	Hibrit Karınca Kolonisi Optimizasyonu
F&O	Sabitle Ve Optimize Et Sezgiseli
ROA	Azalt Ve En İyile Yaklaşımı
MH	Meta - Sezgisel Yöntemler
DH	Ayrıştırma Sezgiseli
SRA	Arama Algoritması
VNTS	Değişken Komşuluk Tabu Arama

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1: IRP'ler için yapılan sınıflandırmaya dair karakteristik özellikler ve seçenekler (Andersson vd., 2010).	18
Tablo 2: Literatür Özet Tablosu.	25
Tablo 3: Problemin matematiksel modelinde kullanılan karar değişkenleri ve parametreler.	37
Tablo 4: Düğümler arasındaki mesafeler (km). (Kaynak: Google Maps).	46
Tablo 5: Düğümler arasındaki yolculuğun süresi (dk). (Kaynak: Google Maps).	47
Tablo 6: Statik talepli örnek problem çözümünde düğümler arasındaki yolculuğun maliyeti (TL).	48
Tablo 7: Tedarikçi ürün arz miktarları.	48
Tablo 8: Müşterilerin ürün talepleri.	49
Tablo 9: Müşteri düğümlerinde meydana gelen envanter maliyetleri ile müşterilerin bulundurabilecekleri maksimum envanter miktarları.	50
Tablo 10: Statik talep varsayımı altında tam iş birliği senaryosunun çözümünde anahtar performans göstergelerinin özeti.	52
Tablo 11: Statik talepli tam iş birliği senaryosu çözümünde oluşan rotalar ile her düğümde araca yüklenen ve araçtan indirilen dolu ve boş ürün miktarları.	53
Tablo 12: Statik talepli tam iş birliği senaryosunun çözümünde satın alınan ve temizlenen İMNM sayıları.	54

Tablo 13: Statik talepli tam iş birliği senaryosu çözümünde müşteri talepleri, teslim edilen dolu (Q), teslim alınan boş (C) ürün miktarları, müşteriler arasında gönderilen ürün miktarları (Z) ve hafta sonu envanter miktarları (I).....	55
Tablo 14: Statik talep varsayımı altında sadece tedarikçiler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti.....	57
Tablo 15: Statik talep varsayımı altında sadece tedarikçiler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünde oluşan rotalar ile her düğümde araca yüklenen ve araçtan indirilen dolu ve boş ürün miktarları.....	58
Tablo 16: Statik talep varsayımı altında sadece tedarikçiler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünde satın alınan ve temizlenen İMNM sayıları.....	59
Tablo 17: Statik talep altında sadece tedarikçiler arasında iş birliği senaryosunun çözümünde müşteri talepleri, teslim edilen dolu (Q), teslim alınan boş (C) ürün miktarları, müşteriler arasında gönderilen ürün miktarları (Z) ve envanter miktarları (I).....	60
Tablo 18: Statik talep varsayımı altında sadece müşteriler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti.....	63
Tablo 19: Statik talep varsayımı altında sadece müşteriler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünde oluşan rotalar ile her düğümde araca yüklenen ve araçtan indirilen dolu ve boş ürün miktarları.....	64
Tablo 20: Statik talep varsayımı altında sadece müşteriler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünde satın alınan ve temizlenen İMNM sayıları.....	65
Tablo 21: Statik talep altında sadece müşteriler arasında iş birliği senaryosunun çözümünde müşteri talepleri, teslim edilen dolu (Q), teslim alınan boş (C) ürün miktarları, müşteriler arasında gönderilen ürün miktarları (Z) ve envanter miktarları (I).....	66

Tablo 22: Statik talep varsayımı altında iş birliği yapılmayan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti.	68
Tablo 23: Statik talep varsayımı altında iş birliği yapılmayan senaryonun çözümünde oluşan rotalar ile her düğümde araca yüklenen ve araçtan indirilen dolu ve boş ürün miktarları.	69
Tablo 24: Statik talep varsayımı altında iş birliği yapılmayan senaryonun çözümünde satın alınan ve temizlenen İNM sayıları.	70
Tablo 25: Statik talep altında iş birliği yapılmayan senaryonun çözümünde müşteri talepleri, teslim edilen dolu (Q), teslim alınan boş (C) ürün miktarları, müşteriler arasında gönderilen ürün miktarları (Z) ve envanter miktarları (I).	71
Tablo 26: Statik talep varsayımı altında tam iş birliği, sadece tedarikçi iş birliği, sadece müşteri iş birliği ve iş birliği olmadan yapılan çözümlerin anahtar performans göstergelerinin özeti.	72
Tablo 27: Statik ve Dinamik talep çözümlerinde kullanılan müşteri ürün talebi adetleri.	74
Tablo 28: Dinamik talep varsayımı altında tam iş birliği senaryosunun çözümünde anahtar performans göstergelerinin özeti.	75
Tablo 29: Dinamik talep altında tam iş birliği senaryosunun artan talep, azalan talep ve rassal talep varsayımları için yapılan çözümlerde satın alınan ve temizlenen İNM sayıları.	76
Tablo 30: Statik talepli ve Dinamik talepli tam iş birliği senaryosu çözümlerinde oluşan rotalar ile her düğümde araca yüklenen ve araçtan indirilen dolu ve boş ürün miktarları.	77

Tablo 31: Dinamik talepli tam iş birliği senaryosunun çözümlerinde müşteri talepleri, teslim edilen dolu (Q), teslim alınan boş (C) İMNM miktarları, müşteriler arasında gönderilen İMNM miktarları (Z) ve hafta sonu envanter miktarları (I).....	78
Tablo 32: Dinamik talep varsayımı altında sadece tedarikçiler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti.....	79
Tablo 33: Dinamik talep varsayımı altında sadece müşteriler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti.....	80
Tablo 34: Dinamik talep varsayımı altında iş birliği yapılmayan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti.....	81
Tablo 35: Statik talep varsayımı altında A1, A2, A3, A4, A5 ve A6 tedarik zincirlerinde iş birliği senaryolarının çözümlerinin anahtar performans göstergeleri.Şekil 7: A1, A2, A3, A4, A5 ve A6 Tedarik Zincirleri.....	84
Tablo 36: Dinamik talep varsayımı altında rastgele lokasyonlu tedarik zincirlerinde model çözümlerine dair anahtar performans göstergeleri özeti.....	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1: CIRP'nin temsili gösterimi (Soysal, 2016).....	21
Şekil 2: Veri setinde kullanılan noktaların (Depo (D), Tedarikçiler (T) Müşteriler (M)) Lokasyonları.....	46
Şekil 3: Tam iş birliği senaryosunun şematik gösterimi	51
Şekil 4: Sadece tedarikçiler arasında iş birliği yapılan senaryonun şematik gösterimi ..	56
Şekil 5: Sadece müşteriler arasında iş birliği yapılan senaryonun şematik gösterimi	62
Şekil 6: İş birliği yapılmayan senaryonun şematik gösterimi	67
Şekil 7: A1, A2, A3, A4, A5 ve A6 Tedarik Zincirleri.....	83

GİRİŞ

Dünyanın küreselleşmesi ve iş dünyasında artan rekabet, karmaşıklığı artan iş süreçlerini beraberinde getirmiştir. İş süreçlerinde artan karmaşıklık nedeniyle firmalar birbirleri ile iş ilişkileri kurmaya başlamışlar, tedarik zincirlerinin oluşumunu sağlamışlardır (Adams vd., 2014 ; Wu vd., 2019). Ürünlerin ya da hizmetlerin üretim sürecinden itibaren hem kazancı, hem de riski paylaşan firmaların oluşturdukları tedarik zincirleri, dünyadaki gelişmelerden devamlı etkilenmiş, zaman içinde farklı kavramlar, farklı etkiler ve farklı sorunlar altında tartışılmaya ve evrilmeye devam etmiştir. Üretim ve dağıtım süreçlerinin çevreye ve ekosisteme verdikleri zararlar da tedarik zincirleri özelinde sıklıkla tartışılmış, özellikle artan çevresel duyarlılık ve devletlerin ekosistemi korumaya yönelik girişimleri, tedarik zincirini oluşturan firmaların da bu yönde birliktelik kurmalarını zorunlu hale getirmiştir. Tedarik zincirlerinde sadece müşteri talebini karşılamaya yönelik olarak, üretilen ürünlerin üreticiden son müşteriye doğru iletimini sağlayan ileri yönlü akışların yanı sıra; yaşam döngüsü sona ermiş ürünlerin yeniden değerlendirilmesini, ürün atıklarının, kullanılmayan ürün parçalarının geri dönüşümünü sağlayan operasyonları kapsayan geri yönlü akışların da eş zamanlı olarak değerlendirilmesiyle kapalı döngü tedarik zincirleri meydana gelmiştir (Kazemi vd., 2019).

Kapalı döngü tedarik zincirlerinde müşteriden üreticiye doğru geri akışlarda toplanan ürünlerin bir türü de İadesi Mümkün Nakliye Malzemeleridir. Tedarik zinciri boyunca ürünlerin taşınması ve depolamasında kullanılan bu malzemeler, yeniden kullanılabilirliği nedeniyle ekosisteme verilen zararı azaltmakta ve dağıtım maliyetlerini uzun vadede düşürmektedirler (Jansen ve Krabs, 1999). Tedarik zinciri boyunca oluşan depolama, dağıtım, nakliye gibi operasyonlardan doğan maliyeti azaltmak için firmalar zaman içinde birbirleri ile çeşitli iş ilişkileri kurma yoluna gitmişlerdir. Bu iş ilişkilerinin bir türü olan yatay iş birliği, tedarik zinciri elemanlarından aynı düzeyde olanların belli operasyonlarında birbirleri ile ortak karar alma ve birlikte çalışma yoluyla nakliye masraflarını düşürmek, kuvvetli iletişim kurma yoluyla müşteri memnuniyetini artırmak, toplam ürün teslimat ve hareket eden araç miktarını azaltarak çevre sağlığını ve ekosistemi korumak için oluşturdukları iş birliği olarak tanımlanmaktadır (Achamrah vd., 2020 ; Cruijssen vd., 2007).

Tedarik zincirlerinde zincirin bütün elemanlarının operasyonlarını sağlıklı bir şekilde yürütebilmesi, zincir elemanlarının birbirleri ile operasyonel boyutta iletişim halinde kalmalarını, aralarındaki bilgi akışının aksamadan devam edebilmesini gerektirmektedir. Satıcı güdümündeki envanter sistemleri (*Vendor Managed Inventories*) (VMI) satıcının müşteri ürün ikmal politikasının yönetimini devralması yoluyla tedarik zinciri elemanlarının kırbaç etkisinden daha az etkilenmesini, üreticinin üretim kapasitesini daha verimli kullanabilmesini, ürün tedarik planlamasının daha işlevsel yapılabilmesini, ürün bulunurluğunun ve müşteri hizmet kalitesinin artmasını sağlayan bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Govindan, 2013 ; Sari, 2007). VMI politikası altında oluşan tedarik zincirlerinde satıcıların kendi ileri ve geri yönlü rotalama kararlarını ve müşterilerin envanter kararlarını eş zamanlı olarak verdikleri problem literatürde Kapalı Döngü Envanter Rotalama Problemi (*Closed Loop Inventory Routing Problem*) (CIRP) olarak isimlendirilmektedir (Soysal, 2016).

Bu tez çalışmasında, birden çok tedarikçinin ve müşterinin yer aldığı kapalı döngü tedarik zincirlerinde ürün dağıtım ve boş İMNM'lerinin toplanması, araç rotalama ve depolarda tutulacak olan envanter miktarı kararlarını vermekle sorumlu olan firmaların karar süreçlerine destek olmak üzere bir metodoloji önerilmesi amaçlanmaktadır. Amaçlanan bu faydaya yönelik olarak CIRP için bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Önerilen matematiksel model araç rotalama, tutulan envanter, İMNM temizlik, boşaltım ve yüklenmesi, yeni İMNM satın alım maliyetlerini minimize edecek biçimde oluşturulmuştur. Ayrıca kısıtlar yoluyla tedarikçilerin ve müşterilerin kendi aralarında gerçekleştirecekleri yatay iş birliklerinin kurulumu da modele eklenmiştir. Tedarikçilerin iş birliği içinde oldukları durum, depodan çıkan araçların birden çok tedarikçiye hizmet vererek aynı anda birden çok tedarikçinin ürünlerini dağıtması şeklinde, müşterilerin iş birliği içinde oldukları durum ise müşterilerin depolarında mevcut halde bulunan ürünlerin, planlama ufkunun ilerleyen dönemlerinde diğer müşterilerin taleplerini karşılayabilmek üzere diğer müşterilere gönderilebilmesine imkan tanınması şeklinde ele alınmıştır.

Planlama ufku içerisinde müşterilerin ürün taleplerinde değişiklik olması durumunda gerçekleşen talep dinamizmi de yapılan analizler içerisinde değerlendirilmiştir. Bu analizleri gerçekleştirebilmek amacıyla talebin statik olarak ele alındığı, kesin olarak arttığı, kesin olarak azaldığı ve rassal olarak değiştiği farklı senaryolar oluşturulmuştur.

Yapılan literatür taraması sonucunda kapalı döngü tedarik zincirlerinde İMNM'lerinin kullanımını içeren, tedarik zinciri elemanlarının kendi aralarında kuracakları yatay iş birliklerinin faydasını statik ve dinamik talep durumları altında inceleyip tartışan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yönüyle çalışma, karar vericilerin İMNM'lerinin ürün taşınma operasyonlarında kullanıldığı CIRP için yatay iş birliğinin faydalarını statik ve dinamik talep durumlarının oluşması durumlarında inceleyebilmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca çalışmada önerilen model, İMNM'lerinin temizlik ve yeniden kullanımını da kapsadığı için, çalışmanın sürdürülebilir tedarik zinciri literatürüne de katkıda bulunması hedeflemektedir. Çalışma kapsamında önerilen modelin uygulanabilirliği ve faydaları, bir veri seti üzerinden oluşturulan örnek olayda gösterilmiş, daha sonra veri seti farklılaştırılarak farklı problem parametrelerinde modelin uygulanabilirliği ve faydaları incelenmiş ve tartışılmıştır.

Bu tez çalışması, giriş ve sonuç bölümleri dahil olmak üzere toplamda altı bölümden oluşmaktadır. Giriş olarak adlandırılan bu bölümden sonra, birinci bölümde tedarik zinciri ve tedarik zinciri yönetimi kavramları tanıtılacak, kapalı döngü tedarik zinciri ve iadesi mümkün nakliye malzemeleri hakkında genel bilgiler verilecek ve kapalı döngü tedarik zincirinde yatay iş birliğine değinilecektir.

İkinci bölümde satıcı güdümündeki envanter sistemleri, araç rotalama problemleri ve envanter rotalama problemleri genel olarak anlatılacak, bu kavramlar arasındaki ilişkiler özetlenecektir. Ardından kapalı döngü envanter rotalama problemi üzerinde durulacak, son olarak da literatürde yer alan, bu tez çalışmasına benzer çalışmalar belli özelliklerine göre sınıflandırılacak ve özetlenecek, bir tablo ile gösterilecektir.

Üçüncü bölümde bu tez çalışmasında üzerinde durulacak olan kapalı döngü envanter rotalama probleminin tanımı yapılacak, ardından bu problemin çözümüne yönelik oluşturulan matematiksel model detaylı olarak anlatılacaktır.

Dördüncü bölümde, önceki bölümde oluşturulan ve detaylandırılan matematiksel modelin uygulanmasında kullanılacak olan veri seti tanıtılacaktır. Ardından statik ve dinamik talep varsayımları altında, kurulan yatay iş birliklerine göre oluşturulmuş farklı senaryolar halinde matematiksel modelin çözümüne yönelik veriler sunulacaktır. Ardından veri setindeki bazı parametrelerin değiştirilerek modelin tekrar çözdürülmesi sonucu elde edilen sonuçlara yer verilecektir.

Sonuç bölümünde ise bu çalışmanın genel hatlarından ve bulgularından bahsedilecek, gelecek çalışmalarda bu problemin hangi yönlerde geliştirilebileceğine dair değerlendirmeler yapılacaktır.

1. BÖLÜM

KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ VE İADESİ MÜMKÜN NAKLIYE MALZEMELERİ

Bu bölümde tedarik zinciri ve tedarik zinciri yönetimi, kapalı döngü tedarik zinciri, iadesi mümkün nakliye malzemeleri ve tedarik zincirinde yatay iş birliği hakkında genel bilgiler verilecektir.

1.1. TEDARİK ZİNCİRİ VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Küreselleşmenin ve devamlı artan rekabetin sonucunda, küresel iş ortamı günümüzde oldukça karmaşık hale gelmiştir (Sangari vd., 2015 ; Wu vd., 2019). Bunun neticesinde işletmeler, işlerini yürütmek amacıyla birbirleriyle iş ilişkileri kurmaya başlamışlardır. İlk defa 1975 yılında Banbury tarafından kullanılan (Nakano, 2019) bir terim olan “tedarik zinciri” de bu iş ilişkileri neticesinde ortaya çıkmıştır (Adams vd., 2014). Bu kavramın tanımı, literatürün gelişim süreci boyunca farklı araştırmacılar tarafından farklı şekillerde yapılmıştır. Lambert vd. (1998) tedarik zincirini, ürün veya hizmetleri pazara getiren firmaların iş birliği olarak tanımlarlarken La Londe ve Masters (1994) ise bu tanımı malzemeleri ileri yönlü ileten bir dizi firmanın oluşturduğu set şeklinde yapmışlardır. Mentzer ve diğerlerinin (2001) yaklaşımına göre ise tedarik zinciri, bir kaynaktan bir müşteriye bilgi, hizmet, para ve/veya ürünün yukarı (*upstream*) ve aşağı (*downstream*) yönlü akış süreçlerinde doğrudan yer alan üç ya da daha fazla sayıda birey ya da kurumun oluşturduğu kümedir.

Tedarik zincirlerinin amacı farklı tedarikçileri bir araya getirerek pazar talebini karşılamak (Chen, 2011), farklı aktörler arasındaki uyumu iyileştirerek katma değer yaratmak (Shahbaz vd., 2019) ve maliyetleri düşürmek (Sitek ve Wikarek, 2012), zincirde

yer alan firmaların koordineli hareket etmeleri sayesinde yukarı ve aşağı akışlarda verimi artırmak (Özbyrak vd., 2007), son müşterinin ihtiyaçlarını karşılamak (Masteika ve Ćepinskis, 2015), tedarik zincirinin her aşamasında çalışan bireylerin zamanlarını daha verimli kullanabilir hale getirip oluşabilecek problemleri çözmelerini hızlandırmak (Ambe, 2012) ve tedarik zinciri aktörleri arasında riskleri paylaşmak (Giannoccaro ve Pontrandolfo, 2004) şeklinde özetlenebilir.

Tedarik zincirleri, temel olarak tedarikçilerden (*suppliers*), üreticilerden (*producers*), dağıtıcılardan (*distributors*), perakendecilerden (*retailers*), müşterilerden (*customers*) ve hizmet sağlayıcılarından (*service providers*) meydana gelmektedir (Chopra vd., 2013; Hugos, 2018)

Tedarikçiler, nihai ürün olarak müşteriye sunulacak olan hizmet ya da malın hammaddesini temin etmekle yükümlüken (Chopra vd., 2013) üreticiler, müşteriye sunulacak olan ürünün ya da hizmetin üretilmesinden sorumludurlar. Dağıtıcılar, ürünleri üreticilerden yığın halinde alıp envanterlerinde depolayan ve bu ürünleri perakendecilere temin eden, ya da perakendeciler ile müşteriler arasında ürün akışını sağlayan organizasyonlardır. Perakendeciler, üreticilerden temin ettikleri ürünleri kendi envanterlerinde az miktarda depolayan, eşzamanlı olarak da müşterilere satış yapan birimlerdir. Müşteriler ise üretilen ürünü ya da verilen hizmeti kullanan, ya da kendi operasyonlarında kullanmak üzere ürün veya hizmet talebinde bulunan kişi veya kurumlar iken hizmet sağlayıcıları ise uzmanlaştıkları konular ile tedarik zincirinin diğer elemanlarına hizmet eden, genel olarak tedarik zinciri maliyetini düşüren kurumlar veya kişilerdir. En çok bilinen hizmet sağlayıcılarına nakliye hizmeti sunan firmalar, finansal borçlanma sağlayan bankalar ve ileri düzeyde gelişmiş teknik altyapıları sayesinde firmalara yazılım hizmeti sunan teknoloji firmaları verilebilir (Hugos, 2018).

Tedarik zinciri yönetiminin literatürde yapılmış tanımlarına bakıldığında, Cooper ve Ellram (1993) bu kavramın tanımını tedarikçilerden son kullanıcıya kadar bütün ağın sistem çıktılarını en yüksek seviyeye getirmek adına analiz edilip yönetilmesini içeren bir yönetim felsefesi olarak yaparlarken, aynı kavramı Harland (1996) bütün tedarikçiler, üreticiler ve müşterilerin arasındaki iş ilişkilerini tedarik zinciri boyunca yönetmek olarak tanımlamıştır. Öte yandan Mentzer ve diğerlerine (2001) göre tedarik zinciri yönetimi,

bir bütün olarak tedarik zincirinin ve zincir içinde yer alan şirketlerin uzun vadede verimliliklerini artırmak için sistemli ve taktiksel biçimde iş birliği yapmalarıdır.

Tedarik zinciri yönetimi felsefesinin amaçlarının, zincirin genelinde talep bilgisi paylaşımının artırılması sayesinde oluşacak fazla envanterin önlenerek envanter maliyetlerini azaltmak (Christopher, 2016), envanter maliyetleri ile birlikte üretim ve operasyon maliyetlerini de azaltıp elde edilen karı artırmak (Hugos, 2018) ve ürüne olan talep ile ürünün üretim miktarını olabildiğince dengelemek, ürünün tedarikçilerden son müşteriye iletimini olabildiğince hızlı gerçekleştirmek (Jayaraman ve Ross, 2003) olduğu söylenebilir.

Elemanları uyum ve birliktelik halinde çalışabilen ve tedarik zinciri fazlası (*supply chain surplus*) üretebilen bir sistemin geliştirilmesi, şirketler bazında ürün, nakit ve bilgi akışının üç farklı karar aşamasında incelenmesini gerektirmektedir. Bu aşamalar stratejik, taktiksel ve operasyonel aşamalar olarak nitelendirilebilir (Stevens, 1989). Bahsi geçen aşamaları Chopra ve diğerleri (2013) şu şekilde ele almışlardır:

Stratejik karar aşamasında, şirketler tedarik zincirini gelecekteki yıllarda ne şekilde yapılandıracaklarına karar vermektedirler. Bu aşamada verilen kararlar uzun vadeli oldukları gibi aynı zamanda değiştirilmesi güç ve maliyetlidir. Verilen uzun vadeli kararlar arasında kullanılacak bilgi sistemi türleri, gelecekte kullanılacak nakliye hizmetlerinin biçimleri, üretim tesislerinin yerleri ve üretim kapasiteleri, üretilecek ürünler veya depolama konumları, kullanılacak olan dış kaynaklar gibi farklı kararlar yer alabilmektedir.

Taktiksel karar (planlama) aşamasında şirketler orta vadeli kararlarını vermektedirler. Bu süreçte verilen kararların amacı, stratejik karar aşamasında verilmiş olan kararlardaki kısıtları ve amaçları göz önünde bulundurarak planlama ufku dahilinde oluşacak olan tedarik zinciri fazlasını mümkün olan en yüksek seviyeye getirmektir. Verilen orta vadeli kararlar arasında pazara sunulacak olan ürünün ya da hizmetin hangi konumdaki tedarikçi tarafından sağlanacağı, envanter politikaları ve yapılacak olan kampanyaların boyutu, zamanlaması yer alabilmektedir.

Operasyonel karar aşamasında ise günlük ya da haftalık, kısa dönem kararları alınmaktadır. Bu aşamada amaç müşteri taleplerini mümkün olan en iyi seviyede

karşılatabilmek ve önceki aşamalarda planlanmış politikalara uygun olarak zincirin performansını kısa dönemli aktivitelerinde eniyilemektir. Şirketler operasyonel karar aşamasında gelen siparişler için envanter ayrılması ve sipariş teslim metotlarının belirlenmesi, siparişlerin teslimi için optimal araç rotalarının belirlenmesi gibi kararları almaktadırlar. Bu çalışmada ele alınacak olan envanter rotalama probleminin de optimal araç rotaları, taşınan ürün miktarı gibi kararları içermekte olmasından dolayı, operasyonel karar aşamasında incelenebileceği söylenebilir.

1.2. KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ

Kapalı döngü tedarik zincirlerini tanımlamak için, öncelikle ileri ve geri yönlü tedarik zincirlerinin tanımlarını yapmak gerekmektedir. Chopra ve diğerlerine göre (2013) ileri yönlü tedarik zincirleri, müşteri taleplerini karşılamak için mümkün olan bütün elemanların (tedarikçiler, üreticiler, taşıyıcılar, depolar, toptancılar ve müşterilerin kendileri dahil olmak üzere) katılımı ile kurulan bir süreçler karmasıdır. Başka bir görüşe göre ise bu kavram, hammaddelerin son ürünlere dönüştürüldüğü bir süreçler bütünü oluşturduğu serisidir (Kocabasoglu vd., 2007).

Geri yönlü tedarik zincirleri, ürün, hammadde, envanter ya da bilgilerin değerini yeniden elde etmek veya bu unsurları uygun şekilde ıskartaya çıkarmak amacıyla hammaddelerin, süreç içi envanterin, bitmiş ürünlerin ve ilgili bilgilerin tüketim noktasından üretim noktasına doğru verimli, maliyet etkin akışını planlama, uygulama ve kontrol etme süreci olarak tanımlanabilmektedir (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001). Bu noktada kullanılan ürünler müşterilerden geri dönüştürülmek, yeniden üretilmek, tamirat ve kullanılmış bazı parçaların imhası gibi nedenlerle geri toplanabilmektedir (Govindan vd., 2015).

İleri yönlü tedarik zincirleri ile geri yönlü tedarik zincirleri eş zamanlı olarak dikkate alındığında ise, bu ağ kapalı döngü tedarik zincirini oluşturmaktadır (Özceylan ve Paksoy, 2013). Bu iki unsurun birlikte değerlendirilmesiyle oluşan kapalı döngü tedarik zincirleri, yaşam döngüsünün sonuna gelmiş olan ürünlerin yeniden değer yaratmasına olanak sağlamakta, oluşan atıkların miktarını azaltmakta ve kullanılmayan ürünlerin geri dönüşümü ile yeniden işlenmesi sayesinde yeni iş kollarının oluşmasına katkı

sağlamaktadır. Kapalı döngü tedarik zincirleri, sürdürülebilirliği sağlamadaki bu etkilerinden dolayı, sürdürülebilirliğin temel unsurlarından olarak değerlendirilmekte ve sürdürülebilir iş süreçlerinin oluşturulmasında çok önemli yapıtaşları olarak görülmektedir (Kazemi vd., 2019 ; Soysal ve Bloemhof-Ruwaard, 2017). Kapalı döngü tedarik zincirleri, özellikle ekonomik, çevresel ve sosyal olaylara oldukça büyük düzeyde etki etmelerinden dolayı araştırmacıların dikkatini çeken bir konudur (Soysal vd., 2021). Kapalı yönlü tedarik zincirlerinin yönetimi ise bir ürünün hammadde temininden başlayarak yaşam döngüsünün sonuna kadar olan süreçte, tedarik zinciri boyunca yaratılan toplam değeri en yüksek noktaya taşımak amacıyla yapılan sistem tasarımları, kontrol ve işletme aksiyonlarının tamamı olarak özetlenebilir (Guide Jr ve Van Wassenhove, 2009).

Kapalı döngü tedarik zincirlerinin zincir elemanları, iki sınıf altında incelenebilmektedir. Hammadde tedarikçileri, üreticiler, perakendeciler ve pazar talebi yaratan müşteriler kapalı döngü tedarik zincirlerinin ileri yönlü akış elemanlarını meydana getirmektedir. Öte yandan pazar talebi yaratan müşteriler, geri dönüşüm / geri kazanım merkezleri ve üreticiler de kapalı döngü tedarik zincirlerinin geri yönlü akış elemanları olarak değerlendirilmektedir. Bu noktada, üreticiler ve müşterilerin kapalı döngü tedarik zincirlerinin ileri ve geri yönlü akışlarının birleşme noktaları olduğu söylenebilmektedir (Paksoy vd., 2011).

Kapalı döngü tedarik zincirlerinde incelenen araç ve envanter rotalama problemlerinde ürün talepleri farklı varsayımlar altında oluşabilmektedir. Talebin dinamik ve deterministik olarak ele alındığı problemlerde ürün talepleri planlama ufkunun başlangıcında kesin olarak biliniyor olmasına rağmen araç rotalarının oluşumu sırasında talep miktarları değişebilmektedir. Talebin statik ve deterministik olduğu durumlarda ise ürün talep miktarları planlama ufkunun başından itibaren kesin olarak bilinmekte olup rotalama esnasında herhangi bir değişikliğe uğramamaktadırlar. Talebin dinamik ve stokastik olduğu durumlarda ürün talep miktarları olasılıksal olarak bilinmekte olup araç rotalarının oluşumu sırasında talep miktarları değişebilmektedir. Talebin statik ve stokastik olarak ele alındığı durumlarda ise ürün talep miktarları olasılıksal olarak bilinmekte olup rotalama esnasında herhangi bir değişikliğe uğramamaktadırlar (Pillac vd., 2013). Bu çalışmada ürün talepleri deterministik olarak ele alınmakta ve hem statik

hem de dinamik taleplerin oluştuğu talep yapıları nümerik analiz bölümünde ayrı ayrı incelenmektedir.

1.3. İADESİ MÜMKÜN NAKLİYE MALZEMELERİ

İadesi Mümkün Nakliye Malzemeleri, üreticilerin ürettikleri ürünlerin bir noktadan başka bir noktaya nakliyesi esnasında yeni nakliye malzemesi satın alım masrafını azaltmak için birden çok kez kullanılabilen malzemelerdir. Bu ürünler palet, kutu, fiçı, varil, yeniden doldurulabilir gaz tüpleri gibi değişik formlarda ve büyüklüklerde olup plastik, ahşap, metal gibi farklı malzemelerden üretilebilmektedir (Twede ve Clarke, 2004; Cobb, 2016). İMNM, tedarik zinciri içinde hareket eden ürünlerin taşınma operasyonlarının efektif bir biçimde yapılmasını sağlamakta, ayrıca nakliye, depolanma ve ambalajlanma işlemleri esnasında ürünlerin zarar görmesini engellemektedir (Ilic vd., 2009). İMNM'leri, tedarik zincirinin hem ileri, hem de geri akışlarında kullanılmaktadırlar. İleri akışlarda ürünlerin üretim, dağıtım süreçlerinde ve ürünlerin son müşteriye tesliminde İMNM'lerinden yararlanılmaktadır. Geri akışlarda ise yeniden üretim, geri dönüşüm ya da imha için toplanan ürünlerin yanı sıra, İMNM de ilerleyen zamanlarda tekrar kullanılmak üzere toplanılmaktadırlar (Flapper vd., 2005 ; Karaer ve Lee, 2007)

İMNM'lerinin kullanımının yaygınlaşması, temelde iki sebebe dayanmaktadır. Bu sebeplerin ilki, endüstriyel operasyonların çevreye etkileridir. Ürünlerin üretim ve dağıtım aşamalarında kullanılan tek seferlik paketleme elemanları, hem oluşan atık miktarında artışa neden olmakta, hem de tekrar kullanılmaları söz konusu olmadığından sürdürülebilir tedarik zincirlerinin oluşturulmasına negatif etki yaratmaktadır. İMNM ise doğru şekilde kullanılıp yönetilmesi durumunda üretim ve dağıtım süreçlerinde çevreye verilen zararın daha az olmasını sağlamaktadır. İMNM'lerinin kullanımının yaygınlaşmasındaki temel ikinci sebep ise özellikle Avrupa devletlerinde uygulanan yasalardır. Avrupa Parlamentosu, şirketlerin ürünlerini paketlemesi ve bu paketlerin uygun şekilde yeniden kullanımı / geri dönüşümü konularında düzenlemeler yapmış, bu düzenlemeler de özellikle 1990'lı yılların ortalarından itibaren İMNM'lerine yönelimi hızlandırmıştır (Iassinovskaia vd., 2017).

1990'lı yıllardan itibaren pek çok şirket ve üretici tek kullanımlık nakliye malzemelerini kullanmak yerine tekrar kullanılabilen palet, kutu, varillerle dağıtım operasyonlarını sürdürmekte, bu şekilde hem ekosisteme verilen zararı azaltmakta, hem de uzun vadede daha az maliyetli bir dağıtım ağı oluşturabilme şansı elde etmektedirler. Tek kullanımlık nakliye malzemelerinin kullanımı, satın alım maliyetlerinin yanında imha maliyetlerinin de her malzeme için tekrar oluşması nedeniyle, İMNM'lerinin kullanımından daha maliyetlidir (Jansen ve Krabs, 1999). Maliyetlere olan pozitif etkisinin yanında İMNM'leri, ürünlerin depolanmasını da kolaylaştırmakta ve dağıtım, paketleme, taşıma gibi operasyonel işlemlerin daha kolay ve karmaşadan uzak biçimde yapılabilmesine imkan tanımaktadır (Mckerrow, 1996).

Üretim ve dağıtım aşamasında yapılan kısa ve uzun vadeli planlamalarda İMNM'lerinin kullanımının doğru şekilde kurgulanmaması, planlanan yatırım ve geliştirmelerin daha az faydalı olmasına yol açabilmektedir. İMNM'lerinin kullanımının yeterince verimli kurgulanmadığı durumlarda ise rotalama ve nakliye masrafları ve genel anlamda operasyonel masraflar artabilmektedir (Twede ve Clarke, 2004).

Ilic ve diğerlerinin çalışmasına göre (2009), bütün dünyada en çok kullanılan İMNM türlerinden olan ahşap paletler, kullanımları esnasında sıklıkla deforme olmakta, hatta bu malzemelerin %10 kadarlık kısmı bir yıl içinde kullanılamaz hale gelmekte ya da kaybolmaktadır. Bunun yanında, lojistik operasyonlarda kullanılan paletlerin her yıl yaklaşık %9'luk kısmı da bu operasyonlar esnasında zarar görmekte, tekrar kullanılmadan önce tamirat işlemlerinden geçirmek zorunda kalmaktadırlar. Bu çalışmada ele alınan problemde de İMNM'lerinin işlevini yitirme durumları ve genel bakım gereksinimleri dikkate alınmakta, müşterilere iletilen İMNM'lerden yalnızca belli oranda bir miktarı geri toplanabilmekte, geri toplanan İMNM'leri de temizlik ve bakım işlemlerinin gerçekleştirilmesinden sonra yeniden kullanılabilir.

1.4. TEDARİK ZİNCİRİNDE YATAY İŞ BİRLİĞİ

Günümüzde küreselleşmenin etkisiyle piyasalarda hızla artan rekabet, daha kısa yaşam döngülerine sahip ürünlerin piyasaya sürülmesi ve müşterilerin ürünlere dair artan

beklentileri, şirketleri ve organizasyonları depolama, dağıtım ve nakliye gibi operasyonlarından doğan maliyetleri azaltmak amacıyla birbirleri ile karşılıklı yarar sağlayan güçlü ilişkiler ve iş birlikleri kurmaya itmiştir (Crujssen vd., 2007). Bu ilişkiler, ilişkinin yönüne bağlı olarak temelde dikey, yatay ya da yanal olarak nitelendirilebilmekte, kurulan ilişkinin süresine bağlı olarak kısa, orta ya da uzun vadede oluşan iş birliklerini içerebilmekte, iş birliğinin işlevselliğine göre ortak ya da tamamlayıcı işlevler halinde oluşabilmekte ve oluşturulan iş birliğinin yasal düzenlemelerinin derecesine göre resmi ya da gayriresmi olarak sınıflandırılabilenlerdir (Freitag vd., 2016).

Tedarik zinciri iş birliği, tedarik zincirinin iki ya da daha fazla elemanının ortak kararlar alma ve birlikte çalışma yoluyla son müşterinin ihtiyaçlarını karşılama ve bireysel operasyonlar yerine birlikte çalışmanın getirdiği tedarik zinciri fazlasını paylaşma yoluyla karlılıklarını artırmaları durumu olarak tanımlanmaktadır (Simatupang ve Sridharan, 2002). Dikey iş birliği (*Vertical Colloboration*) tedarik zincirinin farklı seviyelerindeki unsurların iş birlikleri olarak tanımlanırken yatay iş birliği (*Horizontal Colloboration*) ise tedarik zincirinin aynı seviyesinde hizmet veren elemanların birbirleri ile iş birliği kurması şeklinde tanımlanmaktadır (Achamrah vd., 2020). Örneğin tedarik zincirinde toptancılar ile perakendecilerin arasındaki iş birliği dikey iş birliği olarak sınıflandırılırken, iki toptancı arasında kurulan iş birliği yatay iş birliği olarak değerlendirilmektedir (Soysal vd., 2018).

Tedarik zincirlerinde yatay iş birliğinin kurulması, nakliye masraflarında düşüş sağlayarak tedarik zinciri fazlasının oluşmasına katkı sağlamakta, zincir elemanları arasındaki iletişimin kuvvetlenmesi yoluyla müşteri memnuniyetinin artmasına önayak olmakta, ayrıca zincir içinde toplam ürün teslimat ve hareket eden araç miktarını azaltarak çevre sağlığını ve ekosistemi korumaktadır (Crujssen vd., 2007). Kurulan yatay iş birliklerinin temel amacı toplam dağıtım maliyetlerini düşürmek ve müşterilere ürün dağıtım hızını artırmak olsa da, tedarik zinciri operasyonlarının çevreye verdikleri zararı azaltabilmesinden dolayı gelişmiş devletler yatay iş birliklerinin kurulması konusunda politikalar üretmektedirler. Örneğin İspanya Nakliye Bakanlığı şirketlerin Avrupa pazarında rekabetçi konumlarını geliştirebilmeleri için yatay iş birliğini de içeren iyileştirilmiş lojistik operasyonları teşvik etmektedir. Benzer şekilde Fransa Ekonomi ve Finans Bakanlığı da yatay iş birliğini lojistik ağları için bir fırsat olarak öne sürmekte ve

bu iş birliğinin kullanılarak yeni sürdürülebilir lojistik uygulamalarının gerçek hayat uygulamalarında ele alınabileceğini belirtmektedir (Juan vd., 2014).

Yatay iş birliğinin faydaları literatürde bazı çalışmalarda ele alınmıştır. Bahrami (2002) çalışmasında tedarik zincirlerinde yatay işbirliğinin üretkenlik artışı için keşfedilmemiş potansiyeller yaratabileceğini göstermiş, ürün dağıtım aşamasında iş birliği yapan iki üreticinin yer aldığı modelinde toplam dağıtım süreci maliyetlerinde %2,4, yapı kuruluşu süreci maliyetlerinde ise %9,8 azalma gerçekleştiğini raporlamıştır. Soysal ve diğerleri (2018) çalışmalarında tedarikçiler arasında kurulan yatay iş birliğinin toplam tedarik zinciri maliyetlerinde % 4 ile % 24 arasında azalış sağladığını, operasyonlar neticesinde meydana gelen toplam karbondioksit emisyon miktarında ise % 8 ile % 33 arasında iyileşme sağladığını göstermişlerdir. Juan ve diğerleri (2014) çalışmalarında yatay iş birliği kurulmasının mesafeye bağlı nakliye masraflarında ve çevreye salınan karbondioksit gazları nedeniyle oluşan emisyon maliyetlerinde azalmalar sağladığını savunmuşlardır. Vanovermeire ve diğerleri (2014) çalışmalarında yatay lojistik iş birliğinin varlığı durumunda tedarik zincirinde yer alan müşterilerin taleplerini karşılamak için kullanılan toplam araç sayısının düştüğünü, bu durumun da hem toplam emisyon miktarını hem de toplam maliyet miktarını azalttığını raporlamışlardır. Ayrıca çalışmada yatay iş birliğinin kurulması durumunda elde edilen toplam maliyet azalışının şirketlerin tekil olarak elde edebilecekleri maliyet azalışlarından daha fazla olduğu savunulmuştur.

Literatürdeki çalışmalardan alınan örneklerden görüldüğü üzere, yatay iş birliğinin uygulanması, tedarik zinciri operasyonlarından kaynaklanan maliyet kalemlerinin ciddi oranda düşürülmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu tarz iş birlikleri, kullanılan araç sayılarını ve / veya araçların kat ettikleri toplam mesafeyi de azaltabildiği için çevreye salınan karbondioksit gazlarının miktarının düşmesini, dolayısıyla çevreye verilen zararın da azalmasını sağlamaya yardımcı olmaktadır (Soysal vd., 2018 ; Vanovermeire vd., 2014).

2. BÖLÜM

ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ

Bu bölümde öncelikle kapalı döngü envanter rotalama problemi hakkında genel bilgiler verilecektir. Ardından literatürde yer alan, bu tez çalışmasında ele alınan probleme benzer problemlerin tartışıldığı çalışmalar özetlenecektir.

2.1. KAPALI DÖNGÜ ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ

Tedarik zinciri yönetimi, dağıtım ağındaki elemanların birbirleri ile koordineli çalışmalarından, birbirleri ile iletişim halinde olmalarından ve kurulan iş ortaklıklarından faydalanarak son müşterinin isteklerini karşılarken bütün zincir elemanlarının süreç boyunca en uyumlu ve iyi strateji ile çalışmasını hedeflemektedir (Harland, 1996 ; Mentzer vd., 2001). Geliştirilen stratejinin daha iyi hale getirilmesinin önemli yollarından biri de üretim ve ürün bilgilerinin zincir elemanları arasında paylaşılması ve zincirin ilgili elemanlarının bu bilgilere sahip olup operasyonlarına bu bilgiler ışığında yön vermeleridir. Satıcı güdümündeki envanter sistemleri, tedarik zinciri elemanlarının operasyonlarını sağlıklı şekilde yürütebilmesi ve tedarik zinciri arzı ile son müşterinin ürün talebinin mümkün olan en iyi seviyede örtüşebilmesi için gerekli bilgi akışının ve paylaşımının yapılmasına olanak sağlayan en önemli ortaklık girişimlerinden biri olarak tanımlanmaktadır (Angulo ve Nachtman, 2004). Bu iş birliği, satıcının (*vendor*) müşterinin (*buyer*) ürün ikmal politikasının yönetimini devralması yoluyla müşteride stoklanan envanter miktarının önceden belirlenmiş en düşük ve en yüksek sınırlar arasında tutulabilmesi için tedarik edilecek ürün miktarı ve sipariş zamanı kararlarının satıcı tarafından verilmesine dayanmaktadır. Bu süreçte müşterinin de satıcıyı anlık satış miktarları ve talep tahmini konularında devamlı bilgilendirerek iki zincir elemanı arasındaki iletişimi iyileştirmesi gerekmektedir (Govindan, 2013).

Satıcı güdümündeki envanter sistemleri, hem satıcılara hem de müşterilere önemli katkılar sunmaktadır. Satıcılar açısından bu sistemin en önemli katkılarından biri, Cachon ve diğerleri (2007) tarafından tedarik zincirinde alt kademelerden (perakendeciler, satıcılar) üst kademelere (üreticiler) doğru ürün talebi değişkenliğinin artarak devam etmesi şeklinde tanımlanan kırbaç etkisini (*bullwhip effect*) azaltmasıdır. Bunun yanında bahsedilen sistem, üreticinin üretim kapasitesinden faydalanabilme oranını yükseltmekte ve ürün tedarik planlamasının daha işlevsel yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Öte yandan bu sistem müşterilerde ürün bulunurluğunun (*product availability*) ve hizmet kalitesinin artmasını sağlamaktadır. Ayrıca müşteri envanterinde tutulan ürün miktarını ve sipariş zamanı, sipariş miktarı gibi takip edilmesi gereken unsurları satıcının kontrolüne bıraktığı için envanter izleme ve sipariş maliyetlerinde de azalma sağlamaktadır (Sari, 2007).

Satıcılara ve müşterilere sağladığı rekabetçi avantajlarının yanında, satıcıların hem kendi araçlarının rotalamasını yaptığı, hem de müşterilerdeki ürünlerin envanter bilgilerini takip ettiği karma bir sistem olduğu için satıcı güdümündeki envanter sistemleri uygulanması zor stratejilerdir. Hem araç rotalama hem de envanter kontrol kararlarının eş zamanlı dikkate alındığı bu tarz problemler ise literatürde Envanter Rotalama Problemi (*Inventory Routing Problem*) (IRP) şeklinde sınıflandırılmaktadır (Soysal vd., 2019).

IRP, geleneksel bir rotalama problemi olan Araç Rotalama Probleminin (*Vehicle Routing Problem*) (VRP) bir varyantıdır. IRP'nin detaylarına değinmeden önce VRP'nin temel özelliklerini özetlemek yerinde olacaktır.

VRP'nin literatürdeki ilk örneği, Dantzig ve Ramser (1959) tarafından "Kamyon Sevkiyat Problemi" (*Truck Dispatching Problem*) adıyla homojen kamyonlarla benzin istasyonlarına yapılan benzin dağıtımını en kısa rotada gerçekleştirmek için tartışılmış bir probleme ve modele dayanmaktadır (Dündar vd., 2021). Ardından Clarke ve Wright (1964) bu problemi genel bir doğrusal optimizasyon problemi olarak yapılandırmışlar ve bir deponun etrafında yayılmış olan müşterilere farklı taşıma kapasitelerine sahip heterojen kamyonlarla ne şekilde hizmet verileceğinin tartışıldığı bir problem ve model önermişlerdir. Tartışılan bu problem, sonradan literatürde VRP adıyla sıkça ele alınan problem türünün - bugün tartışılan örneklerine göre basit düzeyde olsa da - ilk örneği olarak değerlendirilmektedir (De Jaegere vd. 2014).

Araç rotalama modellerinde optimize edilmeye çalışılan unsurlar değişkenlik göstermektedir. Bu unsurlar temel olarak aşağıdaki şekilde özetlenmiştir (Atmaca, 2012):

- Araç kullanımından doğan toplam yakıt ve taşıma maliyetleri minimize edilebilir.
- Sistem içindeki bütün müşterilerin talebini karşılamaya yetecek minimum araç sayısına ulaşabilmek hedeflenebilir.
- Araçların hizmet verdikleri süre ile taşıdıkları yüklere bağlı bir şekilde araç rotalarını dengeli şekilde oluşturmak hedeflenebilir.
- Müşteri taleplerinin tek bir sefer yerine parçalı dağıtım şeklinde birden çok seferde karşılanmasından kaynaklanan ceza maliyetlerini en düşük seviyede tutmak hedeflenebilir.

VRP’de amaç fonksiyonları birden çok unsurun birlikte kullanıldığı karma amaç fonksiyonları şeklinde de oluşturulabilmektedir.

VRP’lerde araç rotaları oluşturulurken bazı varsayımlar ve koşullar dikkate alınmaktadır. Bu varsayımlar ve koşullar, aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Düzakın ve Demircioğlu, 2009) :

- Tedarik zincirinde yer alan müşterilerin tümünün talebi, tamamen karşılanmalıdır.
- Ziyaret edilen müşterilerin her biri, yalnızca tek bir araç tarafından ve tek bir kez ziyaret edilmelidir.
- Planlanan rotaların her biri, depodan başlamalı ve rotanın sonunda araç tekrar depoya dönmelidir.
- Herhangi bir aracın hizmet vereceği rotadaki müşterilerin toplam ürün talepleri, söz konusu aracın toplam ürün kapasitesinden daha düşük veya bu seviyeye eşit miktarda olmalıdır.
- Depodan hareket eden araçlardan her biri, yalnızca tek bir rotada hizmet verdikten sonra depoya geri dönmelidir.

VRP’nin yukarıda özetlenen temel muhtemel amaçları, varsayımları ve koşulları incelendiğinde, bu problem türünün depodan ayrılan araçların izleyeceği rotalar ile ilgilendiği görülmektedir. Bu bölümde daha önceden özelliklerine değinilen VMI stratejisinde ise araçların ürün dağıtımını yapacakları rotaların yanı sıra müşterilerin planlama ufku içerisinde envanterlerinde tutacakları ürün miktarları da satıcılar

tarafından belirlenmektedir. Dolayısıyla VMI kapsamında incelenen problem, VRP'nin bir varyantı olup VRP'ye ek olarak müşterilerde planlama ufku içerisinde stoklanacak ürünlerin envanter kararlarını da içermekte ve literatürde IRP olarak tanımlanmaktadır. IRP'nin literatürdeki ilk örneği Bell ve diğerleri tarafından (1983) yapılan çalışmadır. Bu çalışmada endüstriyel gaz tanklarının bir planlama ufku içerisinde müşterilere dağıtımını gerçekleştirilirken toplam kazancı maksimize edecek şekilde en uygun rotaları ve envanter miktarlarını bulmak için bir matematiksel model önerilmiştir (Campbell vd, 1998).

IRP, belirli bir planlama ufku içerisinde (günler, haftalar, aylar gibi) değerlendirilmektedir. VRP'de verilen rotalama kararlarına ek olarak IRP, planlama ufku içerisinde müşterilerin ne zaman ziyaret edileceğine, ziyaret edilen bu müşterilere ne kadar ürün teslim edileceğine ve teslim edilen ürünlerin müşteri talebine göre ne kadarlık miktarının envantere planlama ufkunun ilerleyen dönemlerinde kullanılmak üzere saklanacağına yönelik karar unsurları içermektedir. Dolayısıyla IRP'lerde envanter tutma maliyetleri de meydana gelmektedir. Temel bir IRP'nin klasik varsayımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Bertazzi ve Speranza, 2013) :

- Müşterilere planlama ufkunun hangi döneminde hizmet verileceğine karar verilebilmektedir.
- Hizmet verilecek olan müşterilere teslim edilecek olan ürün miktarına karar verilebilmektedir.
- Müşterilerin planlama ufku içerisinde hizmet alabilecekleri zaman periyotları ve bu periyotlardaki ürün tüketim miktarları bilinmektedir.
- Herhangi bir rotada çalışan herhangi bir aracın, dağıtımın yapıldığı zaman periyodundaki toplam çalışabilme süresi, rotanın tamamının toplam seyahat süresinden fazla ya da bu süreye eşit olmalıdır.
- Kullanılabilen araçlar, her zaman periyodunun bütün rotalarını ziyaret etmeye elverişli olmalıdır.

IRP literatüründe yapılan çalışmalar, geçmişte tartışılan problemlerin farklı karakteristik özelliklerine göre sınıflandırılmış ve incelenmiştir. Bu incelemelerden birini teşkil eden çalışmalarında Andersson ve diğerleri (2010) IRP'lerin planlama ufku, talep yapısı, ürün dağıtım yapısı, araç rotalama yapısı, envanter politikası, araç filosu yapısı ve araç filosu

büyüküğü özelliklerine göre IRP'leri sınıflandırmışlardır. Tablo 1'de bu sınıflandırmanın dayandığı karakteristik problem özellikleri ve her karakteristik özellik için sunulan alternatif türler gösterilmiştir.

Tablo 1: IRP'ler için yapılan sınıflandırmaya dair karakteristik özellikler ve seçenekler (Andersson vd., 2010).

Karakteristik Özellik	Seçenekler			
	Anlık	Sonlu	Sonsuz	
Planlama Ufku	Anlık	Sonlu	Sonsuz	
Talep Yapısı	Stokastik	Deterministik		
Ürün Dağıtım Yapısı	Bire - bir	Birden - çoğa	Çoktan - çoğa	
Araç Rotalama Yapısı	Direkt	Çoklu	Devamlı	
Envanter Politikası	Durağan	Stok Aşımı	Kayıp Satış	Ardışmarlama
Araç Filosu Yapısı	Homojen	Heterojen		
Araç Filosu Büyüklüğü	Tek Araçlı	Çok Araçlı	Sınırlandırılmamış	

Planlama ufku, IRP'lerde temelde üç kategori altında değerlendirilmektedir. Bu kategorilerden ilki olan anlık durumda her müşterinin en fazla bir kere ziyaret edilmesiyle planlama ufkunda yer alan bütün müşterilerin talepleri karşılanabilmektedir. Diğer bir kategori olan sonlu planlama ufkuna sahip IRP'lerde planlama ufku boyunca müşterilerin taleplerini karşılayabilmek için her bir müşteriye birden fazla kez hizmet verilmesi gerekmektedir. Sonsuz planlama ufku ile kurgulanan IRP'lerde ise belli bir dönemlik planlama çizelgesi oluşturmak yerine dağıtım stratejilerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

IRP'lerin talep yönünden sınıflandırılması stokastik talep yapısı ve deterministik talep yapısı olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir. Stokastik talep yapısı içeren IRP'lerde müşterilerin ürün talepleri net olarak bilinmemekle birlikte talebe dair olasılıksal dağılım fonksiyonu bilinmekte ve bu fonksiyona göre ürün talepleri olasılıksal olarak oluşmaktadır. Deterministik talep yapısı içeren IRP'lerde ise planlama ufkunun başlangıcından itibaren müşteri ürün talepleri net olarak bilinmektedir.

IRP'ler ürün dağıtım yapısına göre ise temel olarak üç ana başlık altında incelenmektedir. Bu başlıkların ilki olan bire – bir dağıtım yapısında tedarik zinciri bir merkezi depodan

ve tek bir müşteriden meydana gelmektedir. Karayolu tabanlı IRP'lerde en sık kullanılan dağıtım yapısı olan birden – çoğa dağıtım yapısında ise tek bir merkezi depodan hareket eden araçlar, birden çok müşteriye ürün dağıtımını gerçekleştirdikten sonra depoya geri dönmektedir. Üçüncü ana başlık olan çoktan – çoğa dağıtım yapısında araçların harekete başlayacakları ve hareketlerini sonlandıracakları tek bir düğüm yoktur. Bunun yerine, araçlar tanımlı herhangi bir düğümden başlayarak birden çok müşteriye ürün dağıtımını gerçekleştirdikten sonra tanımlı herhangi bir depoda hareketlerini sonlandırabilmektedirler.

Araç rotalama yapısına göre IRP'ler, temelde üç ana başlıkta incelenmektedir. Direkt rotalama yapısında depodan hareket eden araç, yalnızca tek bir müşteriye ürün dağıtımını gerçekleştirdikten sonra depoya geri dönmektedir. Çoklu dağıtım yapısına sahip IRP'lerde ise depodan hareket eden araç, birden çok müşteriye ürün dağıtımını gerçekleştirdikten sonra depoya geri dönmektedir. Diğer bir ana başlık olan devamlı rotalama yapısında araçlar ürün teslim alınan, harekete başlanan ve hareketin sona erdiği belirli bir depo olmaksızın müşterilere ürün dağıtımını gerçekleştirmektedir.

IRP'lerin kurgulandıkları envanter politikasına göre sınıflandırılmaları da mümkündür. Bu sınıflandırmadaki alternatiflerden biri olan durağan envanter yapısında müşterilerin envanterlerindeki ürün miktarının sıfırın altına düşmesine izin verilmemekte, minimum envanter limiti belirli bir güvenlik stoğu ile belirlenmekte ya da en düşük değer olarak sifıra sabitlenmektedir. Diğer bir alternatif olan stok aşımı politikasında envanterdeki ürünler tükense de müşteri talebini karşılamak için yeni ürünler tedarik edilebilmektedir. Envanterdeki ürünlerin tükenmesi durumunda yeni ürünlerin tedarik edilemediği ve dolayısıyla müşterilerin talebinin karşılanamadığı durumları içeren politikalar kayıp satış olarak değerlendirilmektedir. Envanterdeki ürünlerin tükendiği, yeni ürünlerin tedarik edilemediği fakat planlama ufğunun ilerleyen zaman periyotlarında karşılanmak üzere talebin ertelenebildiği durumlara yer verilen envanter politikalarına ise ardışmarlama (*back-order*) adı verilmektedir.

IRP'ler araç filosu yapısına göre sınıflandırıldığında homojen ve heterojen araç filosu yapıları ile karşılaşılmaktadır. Homojen araç filoları, birbirinin aynısı özelliklere sahip özdeş araçlardan oluşan filolarken, heterojen araç filoları bazı özellikleri ya da bütün özellikleri farklı olan araçlardan oluşmaktadır.

IRP'ler araç filosu büyüklüğüne göre de sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre operasyonları gerçekleştiren tek bir aracın mevcut olması, tek araçlı filo olarak nitelendirilmektedir. Araç filusunda birden çok aracın bulunduğu, ürün dağıtım operasyonlarını gerçekleştirmek için yeni aracın ya da araçların sisteme eklenemediği durumlarda çok araçlı filoların varlığından söz edilmektedir. Araç filusunda birden çok aracın bulunduğu ve ürün dağıtım operasyonlarını gerçekleştirmek için yeni aracın ya da araçların da sisteme eklenebildiği durumlarda ise sınırlandırılmamış araç filolarının kurgulandığı söylenebilmektedir.

IRP ile pek çok farklı sektörde ve farklı alanda karşılaşılmaktadır. Özellikle bazı materyallerin dağıtım ve toplanması işlemlerinde sıklıkla IRP uygulamaları kullanılmaktadır. IRP uygulamalarının yardımıyla dağıtım ve toplanma süreçleri yönetilebilen bu materyallere örnek olarak atık yağlar, kan, yakıt, çimento, bozulabilir ürünler, gıda maddeleri, otomobil parçaları, kağıt endüstrisinde kullanılan hammaddeler, sıvılaştırılmış doğal gaz gibi örnekler verilebilmektedir (Soysal vd., 2015).

Tedarik zincirlerinde sürdürülebilirliğin öneminin artması, endüstriyel faaliyetlerin çevreye etkilerinin artışı ve ekonomik avantaj arayışı, kapalı döngü tedarik zincirlerinin doğuşunu sağlamıştır (Soysal, 2016 ; Iassinovskaia vd., 2017). Önceki bölümlerde üzerinde durulduğu üzere ileri ve geri yönlü tedarik zincirlerinin birlikte ele alındığı kapalı döngü tedarik zincirleri, tedarik zinciri boyunca oluşan atıkların ve kullanılmayan / yeniden kullanılabilir durumda olan ürünlerin ya da yan malzemelerin (İNMN gibi) toplanıp tekrar işlevsel hale getirilerek ekonomiye kazandırılmasını sağlamaktadır. Ayrıca toplam atık oluşumunu da azaltarak sürdürülebilirliğe katkı yapmaktadır (Kazemi vd., 2019). Satıcının müşteri ürün ikmal politikası kararlarını verdiği VMI sistemlerinin kapalı döngü tedarik zincirlerinde uygulanması durumunda, ileri yönlü akışta ürün tedarikinin yanı sıra geri yönlü akışta da İNMN'lerinin toplanması söz konusudur. Satıcılar, VMI politikası içinde, kendi ileri ve geri yönlü rotalama kararlarını ve müşterilerin envanter kararlarını eş zamanlı olarak vermekte, bu problem de literatürde Kapalı Döngü Envanter Rotalama Problemi (*Closed-loop Inventory Routing Problem*) (CIRP) olarak tanımlanmaktadır (Soysal, 2016).

Klasik IRP'lerden farklı olarak CIRP'lerde hem ileri yönlü hem de geri yönlü akışlar mevcut olup geri akışlarda da ürün, yan ürün ya da İNMN gibi paketleme usullerinin

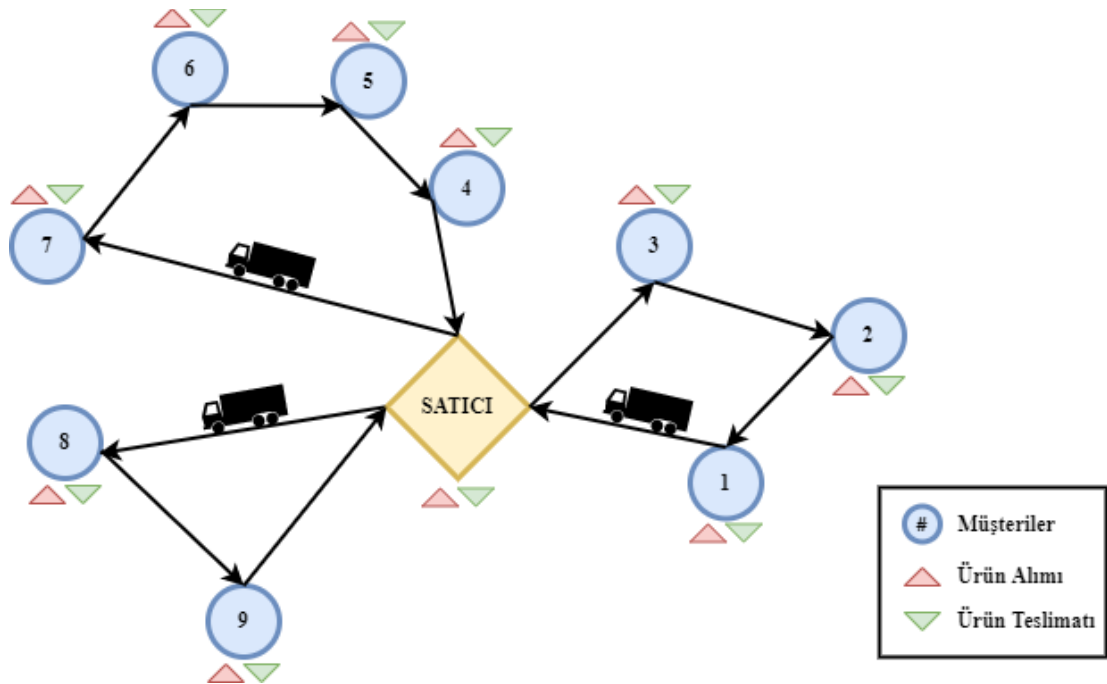
yönetimi söz konusudur. İleri ve geri yönlü akışlarda iletilen ve toplanan ürünlerin varlığından dolayı CIRP'ler, yalnızca ileri yönlü akışları dikkate alan klasik IRP'lerden yapı olarak daha karmaşıktır (Malladi ve Sowlati, 2018).

CIRP'lerde müşterilerden geri akışta toplanan İMNM'leri satıcıya ya da depoya yeniden kullanım ya da imha amaçlarıyla geri götürülmektedirler. CIRP'lerde amaç temel olarak toplam dağıtım ve envanter maliyetlerini en küçükmektir. Bu amaçla satıcılar, aşağıda özetlenen üç kararı eş zamanlı olarak vermek durumundadırlar (Soysal, 2016):

- Herhangi bir müşteriye ürün, planlama ufkunun hangi zaman periyodunda gönderilecektir?
- Herhangi bir müşteriye herhangi bir zaman periyodunda gönderilen ürünün miktarı ne kadar olacaktır?
- İleri ve geri yönlü araç planlamasına dahil olurken müşteriler hangi rota ile hizmet alacaklardır?

Şekil 1'de CIRP'nin genel halinin şematik gösterimi verilmiştir.

Şekil 1: CIRP'nin temsili gösterimi (Soysal, 2016).



2.2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, literatürde yer alan ve oluşturulan probleme benzer problemlerin yer aldığı çalışmalar hakkında özet bilgiler verilecek ve bu tez çalışmasının literatüre sağlayacağı fayda üzerinde durulacaktır.

Bu tez çalışmasında oluşturulan problem ile alakalı literatür taraması, “Science Direct” ve “Web of Science” web sitelerinin veri tabanlarında bulunan çalışmalar kullanılarak yapılmıştır. İncelenecek çalışmaların taraması “*inventory routing*” (envanter rotalama) anahtar sözcükleri ile konu (*topic*) esaslı olarak yapılmıştır. Ardından tarama sonuçları “*horizontal collaboration*” (yatay iş birliği) ve “*closed*” (kapalı) anahtar sözcükleri kullanılarak daraltılmıştır. Bu tarama sonucunda elde edilen çalışmalar, bu tez çalışmasında ele alınan konu ve matematiksel model göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. İlgili literatürde, bu tez çalışmasında ele alınan konu ve matematiksel modele benzer unsurlar içeren 35 çalışma bulunmuştur.

Tarama sonucunda erişilen 35 makaleye dair özet bilgiler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2, incelenen her bir makaledeki problem tipi, model tipi, eğer varsa çözüm yaklaşımı, planlama ufkunun uzunluğu, talep türü, araç filosu türü, araç filosu büyüklüğü, modelin kurgulandığı ürün tipi sayısı, modeldeki karar değişkenleri, yatay iş birliği içerip içermemesi, modelde ters akışta toplanan ürünün tipi ve dinamik talebi dikkate alıp almamış olması hususunda bilgiler içermektedir.

Tablo 2 incelendiğinde, 4 farklı problem tipinde çalışmaların ilgili literatürde yer aldığı görülmektedir. 38 çalışmadan 20 tanesinde, envanter ve rotalama kararlarının birlikte verildiği Envanter Rotalama Problemi’nin incelendiği görülmektedir. Envanter ve rotalama kararlarının yanı sıra, tesis yeri seçim kararlarının da verildiği Lokasyon – Envanter Rotalama Problemi’nin (*Location Inventory Routing Problem*) (LIRP) incelendiği makale sayısının 7 olduğu görülmektedir. Envanter ve rotalama kararları ile birlikte, ürün üretimine dair kararların verilmesini de içeren Üretim – Envanter Rotalama Problemi (*Production Inventory Routing Problem*) (PIRP) ise 7 çalışmada incelenmiştir. Yalnızca rotalama kararlarının verildiği Araç Rotalama Problemi’nin yer aldığı bir çalışma da incelenen çalışmalar arasındadır.

İncelenen problemlerde kullanılan model tipleri de değişkenlik göstermektedir. 24 çalışmada kurulan modellerin Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama (*Mixed Integer Linear Programming*) (MILP) yaklaşımı ile oluşturulduğu görülmektedir. 5 Adet makalede Karma Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama (*Mixed Integer Non-Linear Programming*) (MINLP) tipinde matematiksel modeller çalışılmıştır. 2 Çalışmada Olasılıksal Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama (*Probabilistic Mixed Integer Linear Programming*) (PMILP) yer alırken, birer makalede de İki-aşamalı Stokastik Programlama (*Two-Stage Stochastic Programming*) (TSSP), Çok Amaçlı Doğrusal Programlama (*Multi-Objective Linear Programming*) (MOLP), Şans Kısıtlı Programlama (*Chance-Constrained Programming*) (CCP), Çok Amaçlı Karma Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama (*Multi-Objective Mixed Integer Non-Linear Programming*) (MO-MINLP) yaklaşımlarının kullanıldığı görülmektedir.

İncelenen makalelerde farklı çözüm yaklaşımlarının da önerildiği görülmüştür. Örneğin Timajchi vd. (2019) geliştirdikleri modelin çözümü için bir Hibrit Genetik Algoritma (*Hybrid Genetic Algorithm*) (HGA) önerisinde bulunmuşlardır. Fardi vd. (2019) Karınca Kolonisi Optimizasyonu (*Ant Colony Optimization*) (ACO) yaklaşımını çözüm elde etmek için kullanmışlar, Deng vd. (2016) ise çözümlerinde Hibrit Karınca Kolonisi Optimizasyonu (*Hybrid Ant Colony Optimization*) (HACO) geliştirmişlerdir. Soysal vd. (2021) çalışmalarında Sabitle ve Optimize Et Sezgiseli (*Fix – and – Optimize*) (F&O) metodunu kullanırlarken, Cárdenas-Barrón vd. (2019) ise Azalt ve En İyiye Yaklaşımı'nı (*Reduce And Optimize Approach*) (ROA) modellerine entegre etmişlerdir. Bazı çalışmalarda ise birden fazla meta - sezgisel yöntemin birlikte yer aldığı görülüp, bu çalışmalar için tabloda MH (*Meta - Heuristic*) kısaltması kullanılmıştır.

Modellerin kurgulandığı ve çalıştırıldığı planlama ufukları da çalışmalarda değişkenlik gösteren unsurlardandır. İncelenen 35 makaleden 28 adedi çok dönemli planlama ufkuna sahipken, 7 çalışmada ise modeller tek dönemli planlama ufkunu dikkate alarak geliştirilmiştir.

İncelenen çalışmaların 23 adedinde talebin önceden belirli olduğu varsayılırken, 12 çalışmada talep belirsizliği dikkate alınmıştır. Yuchi vd. (2021) her müşterinin talep ve iade ettiği ürün miktarının belirsiz, birbirine bağlı olmadan değiştiğini ve normal dağıldığı varsaymıştır. Babagolzadeh vd. (2020) ise iki aşamalı stokastik programlama

modellerinde perakendeci talebinin stokastik olduğunu ve istatistiksel bir dağılım izlediğini belirtmiş, ayrık senaryolarla talep belirsizliğini modellerinde kullanmışlardır. Golsefidi ve Jokar'ın çalışmasında (2020) ise, her perakendecinin talebi ve her perakendeciden her dönemde toplanan kusurlu ürün miktarının değişken olduğu varsayılmıştır.

Fardi vd. (2019) bilinmeyen bir olasılık dağılımına sahip dinamik bir stokastik talep parametresini göz önünde bulundurarak talep belirsizliğini modellerine entegre etmişlerdir. Shuang vd. (2019) talep belirsizliğini modele dahil etmek için iki aşamalı bir stokastik formülasyon önermişler, yeni ve eskimiş ürünlere olan talebin bir senaryo kümesi içinde değiştiğini varsayarak talep belirsizliğini modele bu küme yardımıyla entegre etmişlerdir. Micheli ve Mantella (2018), Soysal vd. (2018) ve Liu vd. (2015) ise talep belirsizliğini, talep değerlerinin bağımsız ve normal dağılmış olduğunu varsayarak dikkate almışlardır.

Zhang vd. (2018) talebin hem deterministik hem de stokastik olabileceğini söylemişler, stokastik talebi modellerine iki aşamalı stokastik programlama formülasyonu kullanarak senaryolar sayesinde dahil etmişlerdir. Nikolakopoulos ve Ganas (2017) oluşacak olan talebin büyüklüğünü tahminlemek için bir zaman serisi ayrıştırma tahmin modeli kullanmışlardır. Soysal (2016) ise çalışmasında talep belirsizliğini, gerçekleşme olasılıkları değişkenlik gösteren senaryolarda talep miktarlarını değişen parametreler halinde modele tanımlayarak, sağlamıştır. Zhalechian vd. (2016) perakendecilerin normal dağılan ürün talep ve iade ürün miktarlarını olasılıksal olarak hesaplamışlar ve talep belirsizliğini dikkate almışlardır. İncelenen makalelerin geri kalanında, talebin deterministik olarak ele alındığı görülmüştür.

Tablo 2: Literatür Özet Tablosu.

	Çalışmalar	Problem Tipi*	Model Tipi**	Çözüm Yaklaşımı***	Planlama Ufku	Talep	Filo Türü	Filo Büyüklüğü	Ürün Sayısı	Temel Kararlar****	Yatay İş Birliği*****	Ters Akışta Toplanan Materyal	Dinamik Talep
1	Lejarza ve Baldea, 2022	IRP	MILP	-	Çok Dönemli	Deterministik	-	Tek Araçlı	Çok Ürünlü	I, T, P, Q, W	-	-	-
2	Mahjoob vd., 2021	IRP	MILP	-	Çok Dönemli	Deterministik	Heterojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T	-	Ürünler	-
3	Soysal vd., 2021	IRP	MILP	F&O	Çok Dönemli	Deterministik	Heterojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T	-	İNM	-
4	Yuchi vd., 2021	LIRP	MINLP	HA	Tek Dönemli	Stokastik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T, L	-	Kullanılmış ürünler	-
5	Alkaabneh vd., 2020	IRP	MILP	MH	Çok Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T	-	-	-
6	Babagolzadeh vd., 2020	IRP	TSSP	MH	Çok Dönemli	Stokastik	Heterojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T, V	-	-	-
7	Kuvvetli ve Erol, 2020	PIRP	MILP	DH	Çok Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, M, T	-	Geri Dönüştürülecek Ürünler	-
8	Sakiani vd., 2020	IRP	MILP	MH	Çok Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Çok Ürünlü	D, I, P, T	-	Yardımlı Malzemeleri	✓
9	Archetti vd., 2020	IRP	MILP	-	Çok Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T, V	-	Ürünler	-
10	Golsefidı ve Jekar, 2020	PIRP	MILP	MH	Çok Dönemli	Stokastik	Homojen	Sonsuz	Tek Ürünlü	I, M, T	-	Hatalı Ürünler	-
11	Fardı vd., 2019	IRP	MILP	MH, ACO	Çok Dönemli	Stokastik	Heterojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T	A	-	-
12	Timajchi vd., 2019	IRP	MOLP	HGA	Çok Dönemli	Deterministik	Heterojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T	-	-	-
13	Cárdenas-Barrón vd., 2019	IRP	MILP	ROA	Çok Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T, W	-	-	-
14	Moosavi ve Nikfarjam, 2019	IRP	MILP	-	Çok Dönemli	Deterministik	Heterojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T	-	Geri Dönüştürülecek Ürünler	-
15	Darvish vd., 2019	PIRP	MILP	MH	Çok Dönemli	Deterministik	-	Tek Araçlı	Tek Ürünlü	I, M, T	-	-	-
16	Shuang vd., 2019	PIRP	MILP	-	Çok Dönemli	Stokastik	Heterojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, C, M, T	-	Eskimiş Ürünler	-
17	Guimarães vd., 2019	IRP	MILP	MH	Çok Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T	-	Ürünler	-
18	Micheli ve Mantella, 2018	IRP	PMILP	-	Çok Dönemli	Stokastik	Heterojen	Çok Araçlı	Çok Ürünlü	I, T, P	-	-	-
19	Soysal vd., 2018	IRP	CCP	-	Çok Dönemli	Stokastik	Homojen	Çok Araçlı	Çok Ürünlü	I, T, P, W	S	-	-
20	Guo vd., 2018	LIRP	MINLP	HA	Tek Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, L, T, V	-	İade Edilen Ürünler	-
21	Archetti vd., 2018	IRP	MILP	-	Çok Dönemli	Deterministik	-	Tek Araçlı	Tek Ürünlü	I, T	-	Ürünler	-

22	Chekoubi vd., 2018	PIRP	MILP	-	Çok Dönemli	Deterministik	-	Tek Araçlı	Tek Ürünlü	I, M, T	-	Yeniden Üretilcek Ürünler	-
23	Zhang vd., 2018	PIRP	MILP	-	Çok Dönemli	Stokastik	Heterojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, M, T	-	Yeniden Üretilcek Ürünler	-
24	Nikolakopoulos ve Ganas, 2017	IRP	MILP	-	Çok Dönemli	Stokastik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T, V	-	Boş gaz tankları	-
25	Iassinovskaia vd., 2017	IRP	MILP	MH	Çok Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T, S	-	İMN	-
26	Fang vd., 2017	PIRP	MILP	SRA	Çok Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, M, T	-	İade Edilen Ürünler	-
27	Deng vd., 2016	LIRP	MILP	HACO	Tek Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, L, T	-	İade Edilen Kalite Hatalı Ürünler	-
28	Soysal, 2016	IRP	PMILP	-	Çok Dönemli	Stokastik	Homojen	Çok Araçlı	Çok Ürünlü	I, P, T	-	İMN	-
29	Van Anholt vd., 2016	IRP	MILP	MH	Çok Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T	-	Banknot	-
30	Yuchi vd., 2016	LIRP	MINLP	MH	Tek Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, L, T	-	Hatalı Ürünler	-
31	Zhalechian vd., 2016	LIRP	MO-MINLP	MH	Çok Dönemli	Stokastik	Heterojen	Çok Araçlı	Çok Ürünlü	I, L, T	-	İade Edilen Ürünler	-
32	Liu vd., 2015	LIRP	MINLP	MH	Tek Dönemli	Stokastik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, L, T	-	İade Edilen Ürünler	-
33	Edirisinghe ve James, 2014	IRP	MILP	-	Çok Dönemli	Deterministik	Heterojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T	-	Akaryakıt	-
34	Li vd., 2013	LIRP	MINLP	MH	Tek Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, L, T	-	İade Edilen Ürünler	-
35	Liu ve Chung, 2009	VRP	MILP	VNTS	Tek Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Tek Ürünlü	I, T	-	Atıklar	-
	Bu çalışma	IRP	MILP	-	Çok Dönemli	Deterministik	Homojen	Çok Araçlı	Çok Ürünlü	I, P, T	C, S	İMN	✓

* IRP: Envanter Rotalama Problemi, VRP: Araç Rotalama Problemi, PIRP: Üretim ve Envanter Rotalama Problemi, LIRP: Lokasyon - Envanter Rotalama Problemi,

** MILP: Karma Tam sayılı Doğrusal Programlama, MOLP: Çok Amaçlı Doğrusal Programlama, TSSP: İki-aşamalı Stokastik Programlama, CCP: Şans Kısıtlı Programlama, PMILP: Olasılıksal MILP, MINLP: Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama, MO-MINLP: Çok Amaçlı MINLP

*** MH: Meta-sezgisel Yöntemler, ACO: Karınca Kolonisi Optimizasyonu, HACO: Hibrit ACO, VNTS: Değişken Komşuluk Tabu Arama, HGA: Hibrit Genetik Algoritma, ROA: Azalt ve En İyiye Yaklaşımı, DH: Ayrıştırma Sezgiseli, F&O: Sabitle ve Optimize Et Sezgiseli, HA: Sezgisel Algoritma, SRA: Arama Algoritması

**** T: Nakliye ve Rotalama, I: Envanter, P: Ürün, Q: Kalite, W: Atık, V: Araç, S: Süre, M: Üretim, L: Lokasyon, D: Eksik Ürün Oranı, C: Karbon Kontrol Politikası Emisyon Maliyeti

***** C: Müşteriler, S: Tedarikçiler, A: Toptancılar

Filo türü ve büyüklüğü, çalışmalarda farklılık gösteren başka unsurlardır. İncelenen çalışmaların 30 tanesi, depoda hazır halde bekleyen birden fazla araç olduğu varsayımı ile modellerini geliştirmişlerdir. Öte yandan Lejarza ve Baldea (2022), Darvish vd. (2019), Archetti vd. (2018) ve Chekoubi vd. (2018) bütün lojistik operasyonları tek araç üzerinden yöneten matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Golsefidi ve Jokar (2020) ise kullanılabilir araç sayısını sonsuz olarak kabul etmişlerdir. Lojistik operasyonlarında birden çok aracın kullanılabilirliğini varsayan çalışmalarda, homojen veya heterojen araç filoları dikkate alınmıştır. 20 çalışmada homojen araç filosu, 11 çalışmada ise heterojen araç filosu kullanılmıştır.

İncelenen çalışmalar, tedarik zincirinde nakliyesi ve depolanması yapılan ürün türü sayısına göre de incelenmiştir. Buna göre, 29 çalışmada problemler, tek tip ürün için oluşturulmuş ve çözülmüştür. Yalnızca 6 çalışmada birden fazla tipte ürünün söz konusu olduğu görülmektedir.

İncelenen çalışmalarda oluşturulan problemlerin karar değişkenleri de büyük ölçüde farklılık göstermektedir. Rotalama kararları, bütün çalışmalarda istisnasız verilmekte olan tek karar tipidir. 35 çalışmada rotalama kararlarının yanında tutulan envanter miktarına dair kararlar da verilmiştir. Lokasyon kararları (Yuchi vd., 2021 ; Guo vd., 2018 ; Deng vd., 2016 ; Zhalechian vd., 2016 ; Li vd., 2013), üretim kararları (Kuvvetli ve Erol, 2020 ; Golsefidi ve Jokar, 2020 ; Shuang vd., 2019 ; Zhang vd., 2018), kullanılacak olan araca dair verilen kararlar (Babagolzadeh vd., 2020 ; Archetti vd., 2020 ; Guo vd., 2018 ; Nikolakopoulos ve Ganas, 2017), artık ürün veya ortaya çıkan atıkların taşınmasına ya da işlenmesine dair kararlar (Lejarza ve Baldea, 2022 ; Cárdenas-Barrón vd., 2019 ; Soysal vd., 2018), düğümlere geliş süresini ve rota uzunluğunu belirleyen kararlar (Iassinovskaia vd., 2017), eksik ürün oranını belirleyen kararlar (Sakiani vd., 2020), kaliteye dair kararlar (Lejarza ve Baldea, 2022) ve karbon kontrol politikasına dair kararlar (Shuang vd., 2019) da çalışmalarda gözetilen karar tipleri arasındadır.

İncelenen çalışmalarda yatay iş birliğinin yer aldığı 2 çalışma saptanmıştır. Fardi ve diğerleri (2019) toptancılar arasında gerçekleşen yatay iş birliğini incelemişlerdir. Soysal ve diğerleri de çalışmalarında (2018) tedarikçilerin arasındaki yatay iş birliğini modellerine dahil etmiş ve kurulan bu iş birliğinin faydalarını tartışmışlardır.

İncelenen makaleleri ters akış (*reverse flow*) içeren ve içermeyen çalışmalar olarak incelemek mümkündür.

i) Ters akış içeren çalışmalar

Ters akış içeren çalışmalardan birinde Mahjoob ve diğerleri (2021), çok dönemli IRP'yi, literatürde ilk defa heterojen araçlar ile ürün toplama ve ayırık teslimat unsurlarının yer aldığı, taşıma operasyonlarının sonucunda oluşan sera gazı emisyonlarını da toplam maliyetle eş zamanlı olarak en küçükmeye çalışan bir matematiksel model geliştirerek çözmüşlerdir. Bir diğer ters akış içeren çalışmada Soysal ve diğerleri (2021), tedarikçi yönetimli envanter sistemi altında İNM'lerinin yönetimini konu alan kapalı döngü IRP'yi literatürde ilk defa heterojen araç filosu ve elektrikli ve benzinli araçların birlikte kullanımını dikkate alarak modellemiştir. Problemi MILP ile formüle etmiş ve büyük ölçekli problemlerin çözümü için "sabitle ve optimize et" sezgisel algoritması önermişlerdir. Yuchi ve diğerleri (2021) ise lokasyon, envanter ve araç rotalama kararlarını içeren, belirsiz talep varsayımı altında çalışan bir MILP modeli geliştirmişlerdir. Ardından modeli çözmek için tabu arama ve tavlama benzetimi algoritmaları tabanlı bir hibrit sezgisel yaklaşım önermişler ve bu metod ile bahsedilen problem için optimale yakın sonuçları kabul edilebilir çözüm sürelerinde elde edebilmişlerdir.

Kuvvetli ve Erol, çalışmalarında (2020) kapalı döngü tedarik zincirinde geri dönüştürülecek ürünlerin toplanması, üretilen ürünlerin dağıtım miktarları ve rotaları, üretim miktarları ve yeniden üretim kararlarının eş zamanlı olarak verildiği bir üretim – envanter rotalama problemini literatürde ilk defa incelemişlerdir. Bu problemi çözmek için bir MILP modeli geliştirmişlerdir. Büyük ölçekli problemlerin çözümü için ise tavlama benzetim algoritması tabanlı bir ayrıştırma sezgiseli geliştirmişlerdir. Archetti ve diğerleri ise çalışmalarında (2018) çok dönemli tek araçlı topla – dağıt IRP'yi MILP metodu ile matematiksel olarak modellemiştir. Sonrasında dal kesi algoritması (*Branch & Cut Algorithm*) kullanarak geliştirdikleri matematiksel modeli çözmüşler, farklı problem formülasyonlarında geçerli eşitsizliklerin etkinlik ve verimliliklerini analiz etmişlerdir. Archetti ve diğerleri (2020) çalışmalarında ise 2018'de yaptıkları (Archetti vd., 2018) çalışmayı çok araçlı olarak genişletmişlerdir.

Golsefidi ve Jokar, (2020) makalelerinde stokastik talep altında sonsuz sayıda homojen araç kullanılabilirliğini varsayarak eş zamanlı topla – dağıtım – envanter rotalama problemini robust optimizasyon yaklaşımıyla literatürde ilk defa modellemişlerdir. Ürün talebinin yanı sıra perakendecilerden toplanan hatalı ürün miktarını ve yeniden üretim maliyetini de geliştirdikleri MILP modelinde belirsiz olarak ele almışlardır. Büyük ölçekli problemlerin çözümü için genetik algoritma ve tavlama benzetimi algoritması kullanarak modelin iki sezgisel yöntemle gerçekleşen çözümlerini ve çözüm sürelerini karşılaştırmışlardır. Moosavi ve Nikfarjam, (2019) ise çok dönemli, çok araçlı kapalı döngü IRP'yi MILP ile formüle etmişlerdir. Bu çalışma literatürde sınırlı sayıda araç, heterojen araç filosu ve taşıma kapasitelerini aynı anda geri ve ileri yönlü lojistik operasyonlarında dikkate alan ilk çalışmadır. Shuang ve diğerleri çalışmalarında (2019) geri dönüşüm operasyonlarını bünyesinde barındıran kapalı döngü eş zamanlı topla – dağıtım – envanter rotalama problemini, literatürde ilk defa karbon emisyonlarının farklı senaryolar ile kontrol edilebileceğini dikkate alarak hem stokastik hem de deterministik talep altında MILP metodu kullanarak modellemişlerdir. Geliştirdikleri matematiksel model, tedarik zincirinin toplam karını en büyüklerken üretim, envanter ve teslimat miktarlarının yanı sıra, optimal karbon kontrol politikasının emisyon maliyetine de karar vermektedir.

Guimarães ve diğerleri (2019) karar vericinin hem ileri yönlü hem ters ürün akışlarını ve envanter miktarlarını kontrol ettiği 2 – aşamalı satıcı yönetimli çok depolu envanter rotalama problemini literatürde ilk kez tartışmışlardır. Problemi MILP metodu ile modellemişler, büyük ölçekli problem varyantlarında da kullanılabilir olan meta – sezgisel algoritma önermişlerdir. Guo ve diğerleri (2018) ise ileri yönlü akışlarda yeni ürünlerin, ters akışlarda ise iade edilen hatalı ürünlerin taşındığı kapalı döngü lokasyon – envanter rotalama problemini doğrusal olmayan tam sayılı programlama yöntemiyle modellemişlerdir. Ardından büyük ölçekli problemlerin çözümü için genetik algoritma ve tavlama benzetimi algoritması tabanlı sezgisel yöntem önermişlerdir.

Chekoubi ve diğerleri (2018) çok dönemli tek ürünlü tek araçlı kapalı döngü üretim – envanter rotalama problemi için bir MILP modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışma, yeniden üretimli kapasiteli dinamik parti büyüklüğü saptama problemi (*Capacitated Dynamic Lot-Sizing with Remanufacturing*) ile eş zamanlı topla – dağıtım araç rotalama problemini aynı anda dikkate alan ilk çalışmadır. Zhang ve diğerleri (2018) geri dönüşüm

operasyonlarını bünyesinde barındıran kapalı döngü eş zamanlı topla – dağıt üretim – envanter rotalama problemini, literatürde ilk defa karbon emisyonunu da dikkate alarak stokastik talep altında MILP metodu kullanarak modellemişlerdir. Nikolakopoulos ve Ganas (2017) ters akışta boş gaz tanklarının toplanmasını dikkate aldıkları çalışmalarında talep belirsizliği altında çok dönemli eş zamanlı topla – dağıt IRP için MILP modeli önermişlerdir. Gelecekte oluşacak talebi tahminlemek için bir zaman serisi ayrıştırma tahminleme modeli kullanmışlardır.

Iassinovskaia ve diğerleri (2017) iadesi mümkün nakliye malzemelerinin kapalı döngü tedarik zincirlerinde, zaman pencereleri içinde ileri ve geri yönlü taşındıkları eş zamanlı topla – dağıt IRP için MILP modeli önermişlerdir. Modelin doğruluğunu küçük ölçekli örneklerde test etmiş, büyük ölçekli problemler için de sezgisel yaklaşım geliştirmişlerdir. Ayrıca araç kapasitelerinin, envanter maliyetlerinin ve nakliye masraflarının yükseldiği, iadesi mümkün nakliye malzemesi alımının fiyatının arttığı ve zaman pencerelerinin daraldığı senaryolarda elde edilen çözümleri de karşılaştırmışlardır. Fang ve diğerleri (2017) ters akışta iade edilen ürünlerin taşındığı çok dönemli eş zamanlı topla – dağıt üretim rotalama probleminin çözümü için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelde sürdürülebilirliğe katkı sağlamak amacıyla karbon emisyonunu da göz önüne almışlar, farklı karbon fiyatlarına yer vererek karbon emisyonlarındaki azalmaya dair analizler yapmışlardır.

Deng ve diğerleri (2016), e – ticaret ikliminde hem iade edilen kalite hatalı ürünlerin, hem de hatasız iade ürünlerin satıcıya iadesini dikkate alan, literatürdeki ilk kapalı döngü lokasyon – envanter rotalama problemini modellemişlerdir. Geliştirilen modelin çözümü için hibrit karınca kolonisi algoritması önermişler, algoritmanın performansını karınca kolonisi algoritması ile karşılaştırmışlardır. Soysal (2016) ters akışlarda İMNM'lerinin toplandığı çalışmasında talep belirsizliğini ve açık yakıt tüketimini dikkate alan çok ürünlü çok dönemli kapalı döngü IRP'yi literatürde ilk defa modellemişlerdir. Sonrasında gerçekleştirdikleri duyarlılık analizleri ile, oluşturulan modelin talep belirsizliğinin olmadığı, ileri ve ters yönlü akışların farklı araçlarla sağlandığı, çevre odaklı amaç fonksiyonunun kullanıldığı farklı senaryolarda ürettiği sonuçları tartışmışlardır.

Ters akışlarda banknotların toplandığı çalışmalarında Van Anholt ve diğerleri (2016), çok dönemli topla - dağıt araç rotalama problemine yönelik bir çözüm modeli

geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modeli bankamatiklere para dağıtma ve parayı toplamakta kullandıkları bir örnek olayda incelemişlerdir. Gerçek hayatta karşılaşılan daha büyük ölçekli benzer problemleri çözmek için ise sezgisel yöntem önerisinde bulunmuşlardır. Yuchi ve diğerleri çalışmalarında, (2016) ileri ve geri yönlü nakliye operasyonlarını içeren lokasyon – envanter rotalama problemini doğrusal olmayan karma tam sayılı şekilde modellemişlerdir. Geliştirdikleri modelde rotalama, dağıtım merkezi konumları ve açılan merkezlerde tutulacak olan envanter miktarları gibi kararları dikkate almışlardır. Ayrıca büyük boyutlu problemlerin en iyi çözüme kabul edilebilir zamanda yakınsayabilmesi için tabu arama algoritması önermişlerdir.

Zhalechian ve diğerleri (2016) ters akışta iade edilen ürünlerin taşındığı, karbon emisyonlarını, yakıt tüketimini, boşa harcanan enerjiyi dikkate aldıkları sürdürülebilir stokastik kapalı döngü lokasyon – envanter rotalama problemini stokastik – olasılıksal programlama metodu ile modellemişlerdir. Büyük ölçekli problemlerin çözümü için hibrit meta sezgisel yöntem önermişler, duyarlılık analizlerinin ardından gerçek bir vaka çalışmasında modeli uygulamışlardır. Liu ve diğerleri (2015) literatürde e – ticaret operasyonlarında müşterilerden geri dönen ürünlerin nakliyesini içeren ilk stokastik talepli lokasyon – envanter rotalama problemini tartışmış, problemin çözümü için doğrusal olmayan karma tam sayılı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Ayrıca pseudo-paralel genetik algoritma ve tavlama benzetimi algoritmasının birlikte kullanıldığı hibrit sezgisel yaklaşım önermişler, bu algoritma sayesinde çözüm süresinde, en iyi çözümde ve çözüm stabilizasyonunda genetik algoritmadan çok daha iyi sonuçlar elde ettiklerini raporlamışlardır.

Edirisinghe ve James (2014) çalışmalarında stokastik talep altında IRP için MILP modeli geliştirmişlerdir. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, her bir düğüme gelen her bir aracın geliş zamanlarına göre oluşan kronolojiyi esas alarak her bir ziyaret için benzersiz birer araç ve düğüm ikilisinden oluşan karar değişkenleri atamışlar, bu sayede bir düğüme farklı araçlarla gerçekleşen çok sayıda ziyaret olması durumunda modelin esnekliğini artırmışlardır. Ayrıca kullandıkları konum tabanlı model sayesinde ikili karar değişkenlerinin sayısını da kontrol edebildikleri için büyük ölçekli problemleri çözmekte geliştirdikleri modelin efektif sonuçlar verdiğini raporlamışlardır. Li ve diğerleri (2013) literatürde e – ticaret tedarik zincirinde iade edilen ürünleri de kapsayıcı şekilde ele alınan ve çevreci lojistik konseptini öne çıkaran ilk lokasyon – envanter rotalama problemidir.

İleri yönlü yeni satılan ürün akışlarının yanı sıra müşterilerden satıcılara iade edilen ürünleri de geri akışlarda toplamayı amaçlayan pratik lokasyon – envanter rotalama problemini karma doğrusal olmayan programlama metodu ile modellemişlerdir. Büyük ölçekli problemlerin çözümü için hibrit genetik tavlama benzetimi algoritması önermişlerdir.

İncelenen çalışmalar arasında son ters akış içeren çalışma olan çalışmalarında Liu ve Chung, (2009) ileri yönde ürünlerin dağıtılıp ters yönde atıkların ve kullanılmış ürünlerin toplandığı, tek dönemli, tek ürünlü envanter ve önce dağıt sonra topla araç rotalama problemini (*Vehicle Routing Problem With Backhauls and Inventory*) MILP ile modellemişlerdir. Ayrıca büyük ölçekli problemlerin çözülebilmesi için değişken komşuluk tabu arama algoritması tabanlı sezgisel yaklaşım önermişler, önerilen yaklaşımı iki farklı sezgisel yaklaşım ile karşılaştırmışlardır.

ii) *Ters akış içermeyen çalışmalar*

İncelenen makaleler arasında ters akış içermeyen 9 adet çalışma mevcuttur.

Lejarza ve Baldea (2022) çalışmalarında çok dönemli tek araçlı IRP'ye yönelik, nakliye ve depolama sırasında çevresel koşulların bir fonksiyonu olarak zamanla gelişen birden fazla kalite özelliğine sahip bozulabilir ürünler için hesaplama açısından verimli bir optimal üretim ve dağıtım planlama çerçevesi geliştirmişlerdir. Aynı zamanda modellerinin ölçeklenebilirliğini artıran bir model küçültme stratejisi ve bir ayrıştırma çerçevesi önermişlerdir. Alkaabneh ve diğerleri (2020) sera gazı emisyonlarının salınım maliyetini dikkate alan ve detaylı yakıt tüketimi hesaplaması içeren, bozulabilir ürünlerin depolama ve nakliye kararlarının verildiği envanter rotalama problemini MILP metodu ile modellemişlerdir. Ardından meta sezgisel yöntem geliştirerek oluşturdukları modeli büyük ölçekli problemlerde test etmişlerdir. Kat edilen yol, araç yükü ve araç hızına bağlı olarak modele entegre ettikleri detaylı yakıt tüketim fonksiyonunun faydalarını tartışmışlardır.

Babagolzadeh ve diğerleri (2020) stokastik talep varsayımı altında karbon emisyonlarının dikkate alındığı sürdürülebilir soğuk tedarik zincirleri için envanter – rotalama problemine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Heterojen araç filolarının, emisyon fiyatının, tedarik zinciri elemanlarını birbirlerine olan mesafelerinin ve araç hızının

toplam tedarik zinciri maliyetine ve emisyon değerlerine etkilerini tartışmışlardır. Büyük ölçekli problemlerin çözümü için iteratif yerel arama (*Iterative Local Search*) algoritması tabanlı sezgisel yöntem önermişlerdir. Fardi ve diğerleri (2019) çok depolu çok araçlı kooperatif robust envanter rotalama problemini incelemiş, bu problemin çözümü için MILP modeli önermişlerdir. Sonrasında, büyük ölçekli problemlerin çözümü için karınca kolonisi algoritması, genetik algoritma ve tavlama benzetimi algoritması tabanlı meta-sezgisel yöntemler kullanarak kurulan modeli çözmüşler, bahsedilen meta-sezgisel yöntemlerin performanslarını karşılaştırmışlardır.

Timajchi ve diğerleri (2019) ilaç endüstrisinde kullanılan ve taşınması tehlikeli olan maddelerin bir sağlık lojistik ağında taşınmasına yönelik envanter – rotalama problemini çok amaçlı MILP tekniği ile matematiksel olarak modellemişlerdir. Toplam maliyeti ve olası toplam maksimum kaza kaybını en küçükmeyi amaçladıkları çalışmaları, tehlikeli maddelerin taşınması probleminde yanal aktarımın (*transshipment*) faydalarını literatürde ilk defa inceleyen çalışmadır. Büyük ölçekli problemlerin çözümü için hibrit genetik algoritma yaklaşımı önermişlerdir. Cárdenas-Barrón ve diğerleri (2019) çok araçlı tek ürünlü seçici ve periyodik IRP çözümüne yönelik MILP modeli önermişlerdir. Orijinal problemi alt problemlere ayırıp iteratif biçimde çözerek sonuca ulaşmayı amaçlayan bir sezgisel yaklaşım olan “azalt ve en iyile” algoritmasını kullanarak farklı büyük ölçekli problem varyantlarında etkili çözümler elde edebilmişlerdir.

Darvish ve diğerleri (2019) çok dönemli tek araçlı üretim ve envanter rotalama problemini MILP ile formüle etmişlerdir. Geliştirdikleri modelde maliyetleri en küçüklemenin yanında sera gazı emisyonlarını da en küçüklemeyi amaçlamışlardır. Literatürde sera gazı emisyonlarını minimize ederken araç yüküne bağlı formülasyon kullanılan ilk çalışmadır. Ayrıca çalışmada toplam maliyet, mesafe ve emisyon minimizasyonu arasındaki ödünleşimlere yönelik analizlere de yer verilmiştir.

Micheli ve Mantella çalışmalarında (2018) literatürde heterojen araç filosunu, detaylı yakıt tüketimini ve talep belirsizliğini dikkate alan ilk tek amaç fonksiyonlu IRP’yi modellemişlerdir. Farklı karbon kontrol politika senaryolarının operasyonel kararlara etkilerini incelemişler, ayrıca bu politikaları oluşturan toplam maliyete ve karbon salınımına göre de karşılaştırmışlardır. Soysal ve diğerleri (2018) literatürde talep belirsizliğini, nakliye operasyonlarından doğan karbon emisyonunu, tedarikçiler arasındaki yatay iş

birliğini ve bozulabilir ürünleri dikkate alan ilk çok ürünlü envanter rotalama problemini incelemişlerdir. Problemin çözümü için şans kısıtlı programlama tekniğini kullandıkları matematiksel model önerisinde bulunmuşlardır.

iii) Talebin dinamik olarak değiştiği çalışmalar

İncelenen makalelerde yalnızca tek bir makalede talebin dinamik olarak değiştiğinin varsayıldığı görülmüştür. Sakiani ve diğerleri (2020) acil durum yardım malzemelerinin dağıtılması ve toplanması kararlarının verildiği kapalı döngü IRP'yi MILP ile formüle etmişlerdir. Devingen ufuk planlaması yaklaşımı (*rolling horizon approach*) ile talebin her zaman periyodu başında güncellenerek modelin tekrar çalıştırılması sonucunda talep dinamik olarak ele alınmıştır. Bu yönüyle, incelenen literatürde karşımıza çıkan dinamik talebe sahip tek çalışmadır.

Literatürde taranan 35 çalışmayla karşılaştırıldığında bu tez çalışması, tedarik zincirinde yer alan farklı unsurların kendi aralarında oluşturdukları yatay iş birliği senaryolarının, anahtar performans göstergeleri bazında karşılaştırılması yoluyla tedarik zincirine katkılarını tartışan ve bu katkıları kapalı döngü tedarik zincirinde dinamik talep varsayımı altında da inceleyerek dinamik talebin olduğu ve olmadığı durumlarda yatay iş birliği kurulmasının sonuçlarının karşılaştırıldığı ilk çalışma olarak literatüre katkı sunmayı hedeflemektedir.

Devam eden bölümde Kapalı Döngü Envanter Rotalama Problemi için geliştirilen matematiksel model hakkında bilgi verilecektir.

3. BÖLÜM

KAPALI DÖNGÜ ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

Bu bölümde, ilk olarak çalışılmakta olan kapalı döngü envanter rotalama probleminin tanımı yapılacaktır. Ardından problemin çözümü için oluşturulan matematiksel model açıklanacaktır.

3.1. PROBLEM TANIMI

Bu tez çalışmasında ele alınan problem, $G = \{V, A\}$ tam grafiğinde tanımlanmaktadır. Burada $V = \{0, 1, 2, \dots, |V|\}$ bütün düğümlerin kümesi olup $V_m = \{1, 2, \dots, |V_m|\}$ müşteriler kümesinden, $V_t = \{1, 2, \dots, |V_t|\}$ tedarikçiler kümesinden, $V_{t'} = \{1, 2, \dots, |V_{t'}|\}$ kukla (*dummy*) tedarikçiler kümesinden ve düğüm 0 üçüncü parti lojistik firması araç deposundan meydana gelmektedir. $A = \{(i, j) : i = 0, j \in V_m \cup V_t, \text{ veya } i \in V_t, j \in V_m \cup V_{t'}, i \neq j, \text{ veya } i \in V_m, j \in V_m \cup V_{t'} \cup 0, i \neq j, \text{ veya } i \in V_{t'}, j \in 0 \cup V_{t'}, i \neq j\}$ ise yollar kümesidir.

Tedarikçiler $P = \{1, 2, \dots, |P|\}$ farklı türde ürünü tedarik edebilmekte olup, $p \in P$ ürünü dolu iadesi mümkün nakliye malzemesinin $i \in V_s$ tedarikçisinde $t \in T = \{1, 2, \dots, |T|\}$ zaman periyodunda bulunan miktarı, önceden belirli olan $r_{i,p,t}$ ile sınırlanmıştır. Talebin bu sınırdan fazla olduğu durumlarda tedarikçiler, ek maliyete katlanarak yeni dolu İMNM'lerini tedarik edebilmektedirler. Her bir $i \in V_{t'}$ kukla tedarikçisine $t \in T$ zaman periyodunda teslim edilebilecek olan $p \in P$ ürününe ait boş İMNM'lerinin maksimum miktarı ise $w_{i,p,t}$ 'dir.

İMNM'lerinin temizlik işlemleri ve yeni İMNM satın alımı tedarikçiler tarafından yapılmaktadır. Tekrar kullanılmadan önce her İMNM tedarikçi tarafından temizlenmek zorundadır. Müşteriler her zaman periyodunda kullandıkları İMNM'lerinin en fazla θ %

kadarını temizlenmek üzere ilgili tedarikçiye gönderebilmektedirler. Her bir adet için İMNM temizlik maliyeti α TL, yeni İMNM satın alım maliyeti β TL'dir.

Üçüncü parti lojistik firmasının deposunda (düğüm 0) bulunan, her biri ϕ adet İMNM taşıma kapasiteli araçların kümesi $K = \{1, 2, \dots, |K|\}$ ile gösterilmiştir. Depoda her zaman periyodunun başında hazır vaziyette $k \in K$ adet araç bulunmaktadır. Her bir aracın her bir $(i, j) \in A$ yolunda hareket ederken harcadığı yakıt maliyeti $e_{i,j}$, bu yolda hareket ederken harcanan toplam süre ise $t_{i,j}$ 'dir. Her araç, hareketine depodan başlayıp hareketini depoda bitirmektedir. Depoya herhangi bir araç, boş ya da dolu İMNM yüklü vaziyette dönememektedir. Her aracın depoda başlayıp biten, yollar arasındaki hareketlerinden oluşan bir seferi, o aracın rotasını oluşturmaktadır.

Depodan çıkan boş araçlar, tedarikçi düğümlerini ziyaret ederek ürünleri teslim alıp bu ürünleri dağıtabildikleri gibi, tedarikçi düğümlerini ziyaret etmeden direk olarak müşteri düğümlerine de müşteriler arasında ürün akışı sağlamak üzere hareket edebilmektedirler. Her zaman periyodunun sonunda ise, eğer araçlarda yüklü boş İMNM varsa, araçlar depoya gelmeden önce tedarikçilere uğramakta, boş İMNM'lerini tedarikçi düğümlerine teslim ettikten sonra araçlar boş olarak depoya gitmektedirler. Eğer araçlar boş İMNM taşıyor ise, müşterilerden direk olarak depoya dönmektedirler.

Müşterilere bir zaman periyodunda birden fazla araçla hizmet verilebilmektedir. Müşteri $i \in V_m$ 'nin $p \in P$ ürünü dolu İMNM'ne $t \in T$ zaman periyodundaki talep miktarı $g_{i,p,t}$ kadardır. Bu noktada müşterilerin ürünlere olan talebi hem statik olarak ele alınmakta, hem de dinamik olup planlama ufku içerisinde değişkenlik gösterebilmektedir. Eğer $i \in V_m$ müşterisine dolu İMNM teslimatı yapılacaksa λ_i TL boşaltma maliyeti, eğer $i \in V_m$ müşterisinden boş İMNM araca yüklenecekse p_i TL yükleme maliyeti meydana gelmektedir. Müşterilerin kendi aralarında ürün gönderimleri de mümkündür ve bu gönderimler de bu aşamada araçlara yüklenecektir. Her zaman periyodunun sonunda $i \in V_m$ müşterisi envanterindeki $p \in P$ ürünü dolu her İMNM için $h_{i,p}$ TL envanter tutma maliyetine katlanmak zorundadır.

Bu tez çalışmasında ele alınan problemin amacı, araçların boş ve dolu İMNM dağıtımını ve toplaması yapacakları rotaları, dağıtım ile toplama miktarlarını ve müşterilerin dönem sonu envanter miktarlarını belirleyip meydana gelecek toplam lojistik ve envanter tutma maliyetini en küçüklemeektir. En küçüklenecek maliyet miktarını ise rotalama maliyetleri,

elde tutulan envanter maliyetleri, yükleme – boşaltım maliyetleri, yeni İMNM satın alım maliyetleri, satın alınan ekstra dolu İMNM maliyetleri ve kullanılmış ve tekrar kullanılacak olan İMNM’lerinin temizlik maliyetleri oluşturmaktadır.

Çalışmanın ana çıktılarından birisi de tedarik zinciri içinde yatay iş birliğinin sürdürülebilirlik açısından faydalarının incelenmesi olacaktır. Bu bağlamda tedarik zincirinin farklı unsurları arasında kurulan yatay iş birliklerine yönelik dört senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan matematiksel model, örnek problem çözümünün ardından bu senaryolar için uygulanacak, ardından elde edilen çözümler toplam envanter maliyetleri, toplam rotalama maliyetleri, yükleme – boşaltım maliyetleri gibi faktörler çerçevesinde karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırma sonucunda da farklı unsurlar arasında kurulan yatay iş birliklerinin sürdürülebilirliğe katkıları kıyaslanabilecektir.

3.2. MATEMATİKSEL MODEL

Problemin matematiksel modelinde kullanılan karar değişkenleri ve parametreler, Tablo 3’te özetlenmiştir.

Tablo 3: Problemin matematiksel modelinde kullanılan karar değişkenleri ve parametreler

Kümeler	
V	Depoyu (düğüm 0) da içeren bütün düğümlerin kümesi. $V = V_m \cup V_t \cup V_{t'} \cup 0$
V_m	Müşteriler kümesi. $V_m = \{1, 2, \dots, V_m \}$
V_t	Tedarikçiler kümesi. $V_t = \{1, 2, \dots, V_t \}$
$V_{t'}$	Kukla (<i>dummy</i>) tedarikçiler kümesi. $V_{t'} = \{1, 2, \dots, V_{t'} \}$
A	Yollar kümesi. $A = \{ (i,j) : i = 0, j \in V_m \cup V_t, \text{ veya } i \in V_t, j \in V_m \cup V_{t'}, i \neq j, \text{ veya } i \in V_m, j \in V_m \cup V_{t'} \cup 0, i \neq j, \text{ veya } i \in V_{t'}, j \in 0 \cup V_{t'}, i \neq j \}$
T	Zaman periyotları kümesi. $T = \{1, 2, \dots, T \}$

P	Ürünler kümesi. $P = \{1, 2, \dots, P \}$
K	Araçlar kümesi. $K = \{1, 2, \dots, K \}$
Parametreler	
$r_{i,p,t}$	$i \in V_t$ tedarikçisinde $t \in T$ zaman periyodunun başında bulunan, bir adet boş İMNM'sini doldurabilecek nitelikteki bir parti $p \in P$ ürünü adedi
$w_{i,p,t}$	$i \in V_t$ Kukla tedarikçisine $t \in T$ zaman periyodunda teslim edilebilecek olan $p \in P$ ürününe ait boş İMNM'lerinin maksimum miktarı
$\mu_{i,p}$	$i \in V_m$ müşterisinin envanterinde tutabileceği maksimum $p \in P$ ürünü dolu İMNM miktarı
k	Depodaki araç adedi
ϕ	Her bir aracın toplam boş ve dolu İMNM taşıma kapasitesi (adet İMNM)
$e_{i,j}$	Her bir $(i,j) \in A$ yolunda hareket ederken aracın tükettiği yakıtın maliyeti (TL)
$t_{i,j}$	Aracın $(i,j) \in A$ yolunu kat etme süresi (dk)
Δ_i	$i \in V \setminus 0$ düğümünde aracın harcadığı işlem süresi (dk)
$g_{i,p,t}$	Müşteri $i \in V_m$ 'nin $p \in P$ ürünü dolu İMNM'ne $t \in T$ zaman periyodundaki talep miktarı (adet)
p_i	$i \in V_m$ müşterisinde yükleme maliyeti (TL)
λ_i	$i \in V_m$ müşterisinde boşaltım maliyeti (TL)
θ	İMNM geri dönüş oranı
$h_{i,p}$	$i \in V_m$ müşterisinin envanterindeki $p \in P$ ürünü dolu her İMNM için ödediği envanter tutma maliyeti (TL)
α	İMNM temizlik maliyeti (TL)
β	Yeni boş İMNM satın alım maliyeti (TL)
M	Büyük bir sayı
$\Omega_{p,t}$	Tedarikçinin $t \in T$ zaman periyodunda $p \in P$ ürünü arzının yeterli olmadığı durumda taşıeron firmadan 1 adet ekstra dolu İMNM tedarik etme maliyeti (TL)

İkili Karar Değişkenleri	
$B_{i,k,p,t}$	Eğer $i \in V_m$ müşterisinde $t \in T$ zaman periyodunda $k \in K$ aracı ile $p \in P$ ürününe ait İMNM boşaltım işlemi yapılıyorsa 1, diğer durumlarda 0 değerini alan ikili karar değişkeni
$Y_{i,k,p,t}$	Eğer $i \in V_m$ müşterisinde $t \in T$ zaman periyodunda $p \in P$ ürününe ait boş İMNM'lerinin ya da başka bir müşteriye götürülmek üzere dolu İMNM'lerinin $k \in K$ aracına yüklenme işlemi yapılıyorsa 1, diğer durumlarda 0 değerini alan ikili karar değişkeni
$O_{i,k,p,t}$	Eğer $k \in K$ aracı $t \in T$ zaman periyodunda $i \in V_m$ müşterisinden başka bir müşteriye götürülmek üzere $p \in P$ ürünü dolu İMNM teslim alıyorsa 1, diğer durumlarda 0 değerini alan ikili karar değişkeni
$X_{i,j,k,t}$	Eğer $k \in K$ aracı $t \in T$ zaman periyodunda $(i,j) \in A$ yolunda hareket ediyorsa 1, diğer durumlarda 0 değerini alan ikili karar değişkeni
$W_{k,p,t}$	Eğer $k \in K$ aracı $t \in T$ zaman periyodunda $p \in P$ ürününe ait İMNM taşıyorsa 1, diğer durumlarda 0 değerini alan ikili karar değişkeni
Tam Sayılı Karar Değişkenleri	
$I_{i,p,t}$	$i \in V_m$ Müşterisinin $t \in T$ zaman periyodu sonunda envanterinde bulunan $p \in P$ ürünü dolu İMNM miktarı
$A_{i,k,p,t}$	$k \in K$ Aracının $t \in T$ zaman periyodunun başında $i \in V_i$ tedarikçisinden teslim aldığı $p \in P$ ürünü dolu İMNM miktarı
$Q_{i,k,p,t}$	$k \in K$ Aracının $t \in T$ zaman periyodunda $i \in V_m$ müşterisine teslim ettiği $p \in P$ ürünü dolu İMNM miktarı
$C_{i,k,p,t}$	$i \in V_m$ Müşterisinden $k \in K$ aracına $t \in T$ zaman periyodunda yüklenen $p \in P$ ürününe ait boş İMNM miktarı
$F_{i,k,p,t}$	$i \in V_i$ Kukla tedarikçisine $k \in K$ aracı ile $t \in T$ zaman periyodunda teslim edilen $p \in P$ ürününe ait boş İMNM miktarı
$Z_{i,k,p,t}$	$i \in V_m$ Müşterisinden $t \in T$ zaman periyodunda başka bir müşteriye götürülmek üzere $k \in K$ aracına yüklenen $p \in P$ ürünü dolu İMNM miktarı

$L_{i,j,k,p,t}$	$k \in K$ Aracının $t \in T$ zaman periyodunda $(i,j) \in A$ yolunda hareket ederken taşıdığı $p \in P$ ürünü dolu İMNM miktarı
$D_{i,j,k,p,t}$	$k \in K$ Aracının $t \in T$ zaman periyodunda $(i,j) \in A$ yolunda hareket ederken taşıdığı $p \in P$ ürününe ait boş İMNM miktarı
$E_{i,p,t}$	$i \in V_t$ Tedarikçisinin $t \in T$ zaman periyodunun başında taşıeron firmadan ek maliyete katlanarak fazladan tedarik ettiği $p \in P$ ürünü dolu İMNM miktarı
$N_{p,t}$	$t \in T$ Zaman periyodunun başında üretilen ya da satın alınan, $p \in P$ ürününe ait boş İMNM miktarı
$U_{i,j,k,t}$	$k \in K$ aracının $t \in T$ zaman periyodunda i düğümünden j düğümüne $((i,j) \in A)$ ulaştığı dakika

Problem doğrultusunda oluşturulan matematiksel modelin amaç fonksiyonu şu şekildedir:

$$\text{En Kucukle} \quad \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} e_{i,j} X_{i,j,k,t} \quad (1)$$

$$+ \sum_{i \in V_m} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} h_{i,p} I_{i,p,t} \quad (2)$$

$$+ \sum_{i \in V_m} \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \alpha C_{i,k,p,t} \quad (3)$$

$$+ \sum_{i \in V_m} \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \lambda_i B_{i,k,p,t} \quad (4)$$

$$+ \sum_{i \in V_m} \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} p_i Y_{i,k,p,t} \quad (5)$$

$$+ \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \beta N_{p,t} \quad (6)$$

$$+ \sum_{i \in V_m} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \Omega_{p,t} E_{i,p,t} \quad (7)$$

Amaç fonksiyonu, yedi terimden oluşmaktadır. İlk terim (1) araçların rotalama maliyetlerini, ikinci terim (2) toplam envanter maliyetini oluşturmaktadır. (3), (4) ve (5) ise sırasıyla İMNM'lerinin temizlik maliyetlerini, müşterilerdeki boşaltım ve yükleme maliyetlerini göstermektedir. (6) yeni İMNM satın alımlarının toplam maliyetini göstermektedir. Amaç fonksiyonunun son terimi (7) ise tedarikçi arzının yeterli olmadığı durumlarda ekstra ürün temininden doğan ek maliyeti ifade etmektedir.

$$\sum_{i \in V: (i,j) \in A} X_{i,j,k,t} = \sum_{i \in V: (j,i) \in A} X_{j,i,k,t}, \quad \forall j \in V, k \in K, t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{j \in V: (i,j) \in A} X_{i,j,k,t} \leq 1, \quad \forall i \in V, k \in K, t \in T \quad (9)$$

$$L_{0,j,k,p,t} = 0, \quad \forall j \in V_t \cup V_m, k \in K, p \in P, t \in T \quad (10)$$

$$\sum_{j \in V: (i,j) \in A} L_{i,j,k,p,t} = \sum_{j \in V: (j,i) \in A} L_{j,i,k,p,t} + A_{i,k,p,t}, \quad \forall i \in V_t, k \in K, p \in P, t \in T \quad (11)$$

$$\sum_{j \in V: (i,j) \in A} L_{i,j,k,p,t} = \sum_{j \in V: (j,i) \in A} L_{j,i,k,p,t} - Q_{i,k,p,t} + Z_{i,k,p,t}, \quad \forall i \in V_m, k \in K, p \in P, t \in T \quad (12)$$

$$\sum_{j \in V: (i,j) \in A} L_{i,j,k,p,t} = \sum_{j \in V: (j,i) \in A} L_{j,i,k,p,t}, \quad \forall i \in V_{t'}, k \in K, p \in P, t \in T \quad (13)$$

$$\sum_{j \in V: (i,j) \in A} D_{i,j,k,p,t} = \sum_{j \in V: (j,i) \in A} D_{j,i,k,p,t} + C_{i,k,p,t}, \quad \forall i \in V_m, k \in K, p \in P, t \in T \quad (14)$$

$$\sum_{j \in V: (i,j) \in A} D_{i,j,k,p,t} = \sum_{j \in V: (j,i) \in A} D_{j,i,k,p,t} - F_{i,k,p,t}, \quad \forall i \in V_{t'}, k \in K, p \in P, t \in T \quad (15)$$

$$\sum_{j \in V: (i,j) \in A} D_{i,j,k,p,t} = \sum_{j \in V: (j,i) \in A} D_{j,i,k,p,t}, \quad \forall i \in V_t, k \in K, p \in P, t \in T \quad (16)$$

$$\sum_{p \in P} (L_{i,j,k,p,t} + D_{i,j,k,p,t}) \leq \phi X_{i,j,k,t}, \quad \forall (i,j) \in A, k \in K, t \in T \quad (17)$$

$$\sum_{k \in K} A_{i,k,p,t} \leq r_{i,p,t} + E_{i,p,t}, \quad \forall i \in V_t, p \in P, t \in T \quad (18)$$

$$E_{i,p,t} \leq M r_{i,p,t}, \quad \forall i \in V_t, p \in P, t \in T \quad (19)$$

$$\sum_{k \in K} F_{i,k,p,t} \leq w_{i,p,t}, \quad \forall i \in V_{t'}, p \in P, t \in T \quad (20)$$

$$\sum_{p \in P} (L_{i,0,k,p,t} + D_{i,0,k,p,t}) = 0, \quad \forall i \in V_{t'} \cup V_m, k \in K, t \in T \quad (21)$$

(8 - 21) Arası kısıt kümeleri, rotalama ve ürün akış kararlarını düzenlemektedir. Kısıt kümesi (8), her araç için her zaman periyodunda akışı korumaktadır. Kısıt kümesi (9) her aracın her zaman periyodu içinde en fazla bir rotada kullanılmasını sağlamaktadır. Kısıt kümesi (10) depodan hareket eden her aracın depodan boş olarak ayrılmasını sağlamaktadır. (11 - 13) numaralı kısıt kümeleri araçlarda taşınan dolu İMNİM'lerinin akışlarını sağlamaktadır. (14 - 16) numaralı kısıt kümeleri ise araçlarda taşınan boş İMNİM'lerinin akışlarını sağlamaktadır. Kısıt kümesi (17) araçların taşıma kapasitelerinin üzerinde yüklenmemelerini sağlamaktadır. Kısıt kümesi (18) araçların tedarikçilerden teslim aldıkları dolu İMNİM çeşidini ve adedini düzenlemektedir. Kısıt kümesi (19) Tedarikçilerin taşeron firmadan ekstra ürün tedarik etmeleri durumunda yalnızca kendi tedarik edebildikleri ürünü satın alabilmelerini sağlamaktadır. Kısıt kümesi (20) herhangi bir kula tedarikçinin tedarik etmediği bir ürüne ait boş İMNİM'sini teslim almasını engellemektedir. Kısıt kümesi (21) ise araçların üçüncü parti lojistik deposuna boş ya da dolu İMNİM yüklü halde dönmelerini engellemektedir.

$$I_{i,p,t} = I_{i,p,t-1} + \sum_{k \in K} Q_{i,k,p,t} - \sum_{k \in K} Z_{i,k,p,t} - g_{i,p,t}, \quad \forall i \in V_m, p \in P, t \in T \quad (22)$$

$$I_{i,p,t} \leq \mu_{i,p}, \quad \forall i \in V_m, p \in P, t \in T \quad (23)$$

$$\sum_{i \in V_m} \sum_{k \in K} C_{i,k,p,t-1} + N_{p,t} + \sum_{i \in V_t} E_{i,p,t} = \sum_{i \in V_t} \sum_{k \in K} A_{i,k,p,t}, \quad \forall p \in P, t \in T \quad (24)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{o=1}^t C_{i,k,p,o} \leq \theta \left(\sum_{o=1}^t g_{i,p,o-1} \right), \quad \forall i \in V_m, p \in P, t \in T \quad (25)$$

$$Y_{i,k,p,t} \leq C_{i,k,p,t} + Z_{i,k,p,t} \leq M Y_{i,k,p,t}, \quad \forall i \in V_m, k \in K, p \in P, t \in T \quad (26)$$

$$B_{i,k,p,t} \leq Q_{i,k,p,t} \leq M B_{i,k,p,t}, \quad \forall i \in V_m, k \in K, p \in P, t \in T \quad (27)$$

$$O_{i,k,p,t} \leq Z_{i,k,p,t} \leq M O_{i,k,p,t}, \quad \forall i \in V_m, k \in K, p \in P, t \in T \quad (28)$$

$$B_{i,k,p,t} + O_{i,k,p,t} \leq 1, \quad \forall i \in V_m, k \in K, p \in P, t \in T \quad (29)$$

(22 - 29) Arasındaki kısıt setleri, envanter kararlarını ve yeni İMNM ile temizlenecek olan İMNM ile alakalı kararları kapsayan kısıtlardır. Kısıt kümesi (22) müşterinin önceki dönemden elinde kalan envanter miktarı ve mevcut talebe göre dönem sonu envanter miktarını belirlemektedir. Kısıt kümesi (23) müşterilerin envanter kapasitelerinden fazla miktarda ürünü envanterlerinde tutmalarını engellemektedir. Kısıt kümesi (24) müşterilerden toplanan boş İMNM miktarına göre yeni boş ve dolu İMNM satın alım kararını düzenlemektedir. Kısıt kümesi (25) müşterilerden toplanacak olan boş İMNM miktarını düzenlemektedir. Kısıt kümesi (26) boş İMNM'lerinin ve müşteriler arasında gönderimi yapılan İMNM'lerinin araçlara yüklenmesi işlemlerini, kısıt kümesi (27) müşterilerde dolu İMNM'lerinin boşaltımı işlemlerini gerçekleştirmektedir. Kısıt kümesi (28) bir müşterinin deposundan başka bir müşteriye ürün gönderimini düzenlemektedir. Kısıt kümesi (29) ise herhangi bir zaman periyodunda bir aracın aynı müşteriye hem ürün teslim edip hem de ürün teslim almasını engellemektedir.

$$\sum_{j \in V: (i,j) \in A} U_{i,j,k,t} = \sum_{j \in V: (j,i) \in A} U_{j,i,k,t} + \sum_{j \in V: (i,j) \in A} X_{i,j,k,t} (t_{i,j} + \Delta_i), \quad \forall i \in V \setminus 0, k \in K, t \in T \quad (30)$$

$$U_{i,j,k,t} \leq M X_{i,j,k,t}, \quad \forall (i,j) \in A, k \in K, t \in T \quad (31)$$

$$U_{0,j,k,t} = t_{0,j} * X_{0,j,k,t}, \quad \forall j \in V_t \cup V_m, k \in K, t \in T \quad (32)$$

(30 – 32) Arası kısıtlar, araçların çalıştıkları süreleri takip etmek ve alt tur oluşumlarını önlemek için eklenmiş kısıtlardır. Kısıt kümesi (30) düğümler arası aracın hareket süresini düzenlerken kısıt kümesi (31) de sadece hareket edilen düğümler arasında işlem süresi olmasını sağlamaktadır. Kısıt kümesi (32) ise depodan çıkan araçların tedarikçi ve müşteri düğümlerine varış sürelerini düzenlemektedir.

$$B_{i,k,p,t}, Y_{i,k,p,t}, O_{i,k,p,t} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in V_m, k \in K, p \in P, t \in T \quad (33)$$

$$X_{i,j,k,t} \in \{0,1\}, \quad \forall (i,j) \in A, k \in K, t \in T \quad (34)$$

$$W_{k,p,t} \in \{0,1\}, \quad \forall k \in K, p \in P, t \in T \quad (35)$$

$$I_{i,p,t} \geq 0, \quad \forall i \in V_m, p \in P, t \in T \quad (36)$$

$$A_{i,k,p,t} \geq 0, \quad \forall i \in V_t, k \in K, p \in P, t \in T \quad (37)$$

$$Q_{i,k,p,t}, C_{i,k,p,t}, Z_{i,k,p,t} \geq 0, \quad \forall i \in V_m, k \in K, p \in P, t \in T \quad (38)$$

$$F_{i,k,p,t} \geq 0, \quad \forall i \in V_t', k \in K, p \in P, t \in T \quad (39)$$

$$L_{i,j,k,p,t}, D_{i,j,k,p,t} \geq 0, \quad \forall i,j \in V, k \in K, p \in P, t \in T \quad (40)$$

$$U_{i,j,k,t} \geq 0, \quad \forall (i,j) \in A, k \in K, t \in T \quad (41)$$

$$E_{i,p,t} \geq 0, \quad \forall i \in V_t, p \in P, t \in T \quad (42)$$

$$N_{t,p} \geq 0, \quad \forall p \in P, t \in T \quad (43)$$

(33 – 43) Arası kısıt kümeleri, karar değişkenlerinin tanım kümelerini belirlemektedir.

4. BÖLÜM

NÜMERİK ANALİZLER

Bu bölümde matematiksel model bir örnek veri seti üzerinde çalıştırılacak, elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılacak ve sonuçlar hakkında yorumlar yapılacaktır. Öncelikle ürünlere olan talebin statik olduğu varsayımıyla model, 4 senaryo (Tam iş birliği, sadece tedarikçi iş birliği, sadece müşteri iş birliği, hiç iş birliği olmadan) için ayrı ayrı çalıştırılacak, sonuçlar incelenecektir.

Ardından talebin dinamik olduğu varsayımıyla, oluşturulan model 4 senaryo için çalıştırılacak, sonuçlar incelenecektir. Sonrasında Statik ve Dinamik Talep varsayımları altında çözülen problem sonuçları karşılaştırılacaktır. Ardından çözümlerde kullanılan bazı parametreler değiştirilerek farklı parametre değerlerinin statik ve dinamik talep varsayımıyla çalışan modellerde çözüme ne şekilde etki ettikleri incelenecek ve sonuçlar yorumlanacaktır.

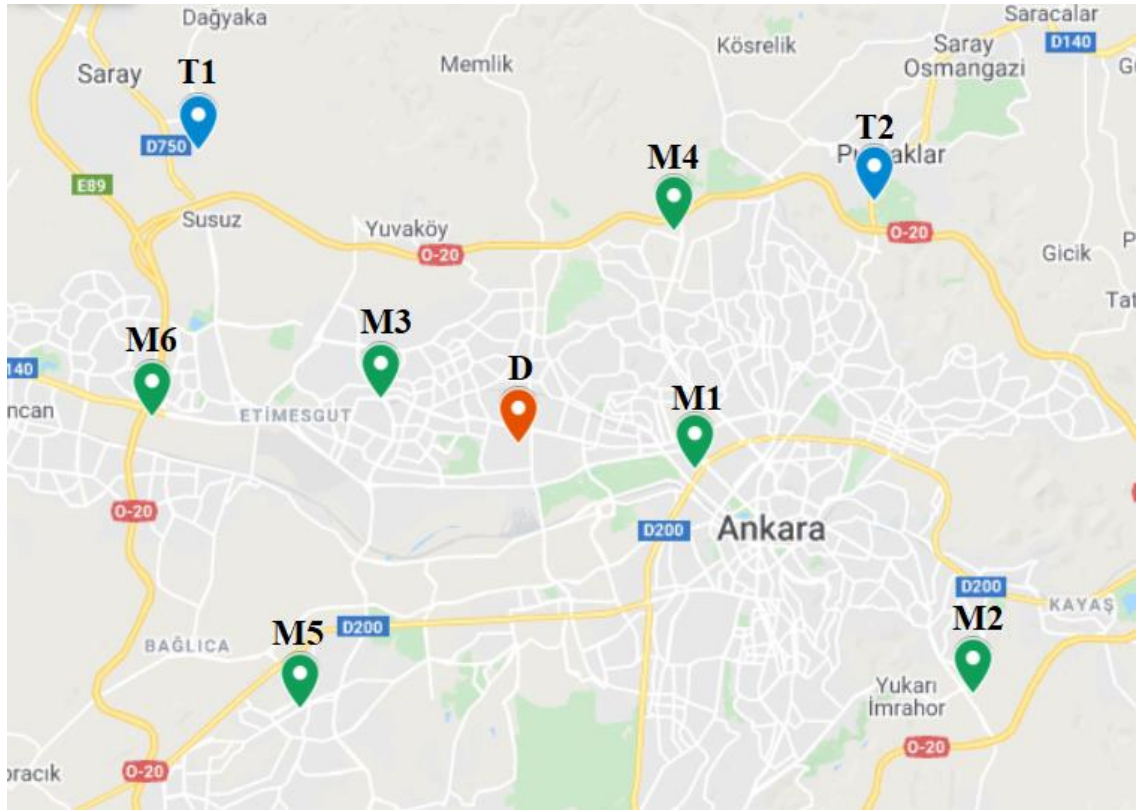
Nümerik analizler yapılırken geliştirilen matematiksel model IBM ILOG CPLEX Optimization Studio yazılımının 20.1.0.0 sürümü kullanılarak Intel(R) Core(TM) i5-8400 CPU @ 2.80GHz işlemci ve 8 GB bellek donanımlı bilgisayarda çözülmüştür.

4.1. VERİ SETİNİN TANITILMASI

Problem için oluşturulan veri seti düğümler, depo, 2 tedarikçi ve 6 müşteri noktasından oluşmaktadır. Müşteriler, Ankara'daki büyük alışveriş merkezleri arasından rastgele seçilmiştir. Depo ve tedarikçilerin lokasyonları ise rastgele belirlenmiştir. Belirlenen bu noktaların arasındaki mesafe ve yolculuk süresi bilgileri Google Maps uygulamasından derlenmiştir. Yolculuk sürelerinin gün içinde değişebildiği gözlenmiş, bu değişikliği de göz önünde bulundurabilmek için hesaplanan yolculuk sürelerine 0 ile 10'ar dakika arasında rastgele süreler eklenmiş ve çıkarılmış, elde edilen değer iki düğüm arasındaki yolculuk süresi olarak kullanılmıştır. Araçlar müşterilerdeki operasyonlarında da 20 dakika harcamaktadırlar.

Şekil 2’de seçilen noktaların harita üzerindeki konumları, Tablo 4’te düğümler arasındaki mesafe, Tablo 5’te ise aracın iki düğüm arasındaki yolculuk süreleri gösterilmiştir.

Şekil 2: Veri setinde kullanılan noktaların (Depo (D), Tedarikçiler (T) Müşteriler (M)) Lokasyonları.



Tablo 4: Düğümler arasındaki mesafeler (km). (Kaynak: Google Maps).

	D	T1	T2	M1	M2	M3	M4	M5	M6
D		19,9	21,5	8,1	23,8	5,2	13,7	16,8	14,3
T1	23		29,7	26,5	54,2	16,3	23	25	12,6
T2	21,9	27,5		14,2	29,7	26,9	11	31,6	34,6
M1	7,9	24,7	15,2		17,4	12	9,6	17,8	23,5
M2	22,6	51,6	27,2	15,9		26,3	21,6	29,8	33,6
M3	6,5	13,4	25,2	14,9	28,6		17,4	13,1	7,5
M4	11,5	30,9	10,5	10,2	22,9	15,6		30,8	24,8
M5	19,5	34,7	33,1	21,1	29,6	13,4	27,5		18,9
M6	13,1	14,3	32,7	20,9	34,1	7,8	25,7	15,8	

Tablo 5: D g mler arasındaki yolculuğun s resi (dk). (Kaynak: Google Maps).

	D	T1	T2	M1	M2	M3	M4	M5	M6
D		18	21	9	22	15	6	12	20
T1	20		19	32	41	22	15	23	9
T2	14	19		18	25	22	10	34	33
M1	15	26	12		12	14	13	12	27
M2	19	33	22	12		19	19	30	37
M3	8	20	16	18	31		16	7	13
M4	16	33	12	14	25	18		25	32
M5	17	31	29	20	24	14	27		21
M6	14	14	20	18	42	10	26	18	

Kullanılan araçların yakıt maliyetleri hesaplanırken sabit damperli kamyonların 100 km’de harcadıkları ortalama yakıt miktarı ve Ankara’da 2021 yılının Ağustos ayındaki akaryakıt fiyatları göz önünde bulundurulmuştur. Sabit damperli kamyonların 100 km’de harcadıkları ortalama yakıt miktarı bilgisi Avustralya İstatistik Bürosu (*Australian Bureau of Statistics*) web sitesinden 28,6 litre/100 km olarak (<https://www.abs.gov.au/statistics/industry/tourism-and-transport/survey-motor-vehicle-use-australia/latest-release>, Erişim Tarihi: 24 Ağustos 2021) alınmıştır. Ankara’da 2021 Ağustos ayında 1 litre yakıtın maliyeti ise Türkiye Petrolleri A.ř.’nin web sitesinden alınan bilgiyle (<https://www.tppd.com.tr/tr/akaryakit-fiyatlari?id=06#>, Erişim Tarihi: 24 Ağustos 2021) 7,36 TL/Litre olarak kullanılmıştır. Bu veriler kullanılarak d g mler arasındaki mesafeye bağlı olarak araçların harcadıkları yakıtın maliyeti hesaplanmıştır. Maliyetler, Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6: Statik talepli örnek problem çözümünde düğümler arasındaki yolculuğun maliyeti (TL).

	D	T1	T2	M1	M2	M3	M4	M5	M6
D		42,18	45,58	17,17	50,45	11,02	29,04	35,61	30,1
T1	48,76		62,96	56,18	114,90	34,55	48,76	53,00	26,52
T2	46,428	58,30		30,10	62,96	57,02	23,32	66,99	72,83
M1	16,748	52,36	32,22		36,88	25,44	20,35	37,73	49,46
M2	47,912	109,39	57,66	33,70		55,75	45,97	63,17	70,72
M3	13,78	28,40	53,42	31,58	60,63		36,88	27,77	15,78
M4	24,38	65,50	22,26	21,62	48,54	33,07		65,29	52,20
M5	41,34	73,56	70,17	44,73	62,75	28,40	58,30		39,78
M6	27,574	30,10	68,83	43,99	71,77	16,41	54,10	33,25	

Problem çözümü, her biri birer haftayı temsil etmek üzere 4 zaman periyodunu içerecek şekilde yapılmıştır. Her zaman periyodunun başında, depoda hazır halde 2 araç bulunmaktadır. Araçların her birinin toplam dolu ve boş İMNM taşıma kapasitesi 600 adettir. Toplamda 2 tedarikçi, birbirinden farklı 2 ürünü tedarik etmektedirler. Bu ürünlerin taşındıkları İMNM'leri de birbirinden farklı olup, birbirlerinin yerine kullanılamamaktadırlar.

Tedarikçilerin her zaman periyodunda ek maliyete katlanmadan tedarik edebilecekleri ürün miktarları Tablo 7'de gösterilmiştir. Tedarikçilerin temizlik yapabilecekleri İMNM miktarlarında üst sınır bulunmamaktadır. Fakat her tedarikçi yalnızca kendi ürününe ait İMNM'sini geri alabilecek olduğu için, tedarikçilerin tedarik ettikleri üründe geri toplama limiti 1000, diğer üründe ise bu değer 0 olarak kullanılmıştır. Böylece araçların yalnızca söz konusu ürünü üreten tedarikçiye o ürünün boş İMNM'sini bırakması sağlanmaktadır.

Tablo 7: Tedarikçi ürün arz miktarları.

	1. Ürün		2. Ürün	
	T1	T2	T1	T2
1. Hafta	520	-	-	570
2. Hafta	610	-	-	730
3. Hafta	230	-	-	290
4. Hafta	170	-	-	230

Tablo 8’de müşterilerin her zaman periyodu için ürün talep miktarları gösterilmiştir.

Tablo 8: Müşterilerin ürün talepleri.

		1. Ürün				2. ürün			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Müşteriler	Zaman Periyotları								
	M1	70	40	90	90	60	30	75	75
	M2	90	30	60	70	90	65	75	80
	M3	50	90	40	90	80	60	60	85
	M4	60	50	70	60	60	50	70	70
	M5	10	40	75	100	80	80	90	100
	M6	20	30	50	80	30	50	50	90

Her bir müşterinin ürünleri stoklamak için ayırabileceği envanter miktarı farklıdır. Müşterinin konumuna bağlı olarak her İMNM için farklı envanter tutma maliyetleri gerçekleşmektedir. Ayrıca ürünler müşterilere teslim edilirken her işlem için 7 TL araç boşaltım maliyeti, araca temizlenmek üzere boş ya da başka bir müşteriye teslim edilmek üzere dolu İMNM teslim edilirken de her işlem için 7 TL araç yükleme maliyeti meydana gelmektedir.

Müşterilerin envanter tutma maliyetleri ve depoda tutabilecekleri maksimum ürün miktarları, Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9: Müşteri düğümlerinde meydana gelen envanter maliyetleri ile müşterilerin bulundurabilecekleri maksimum envanter miktarları.

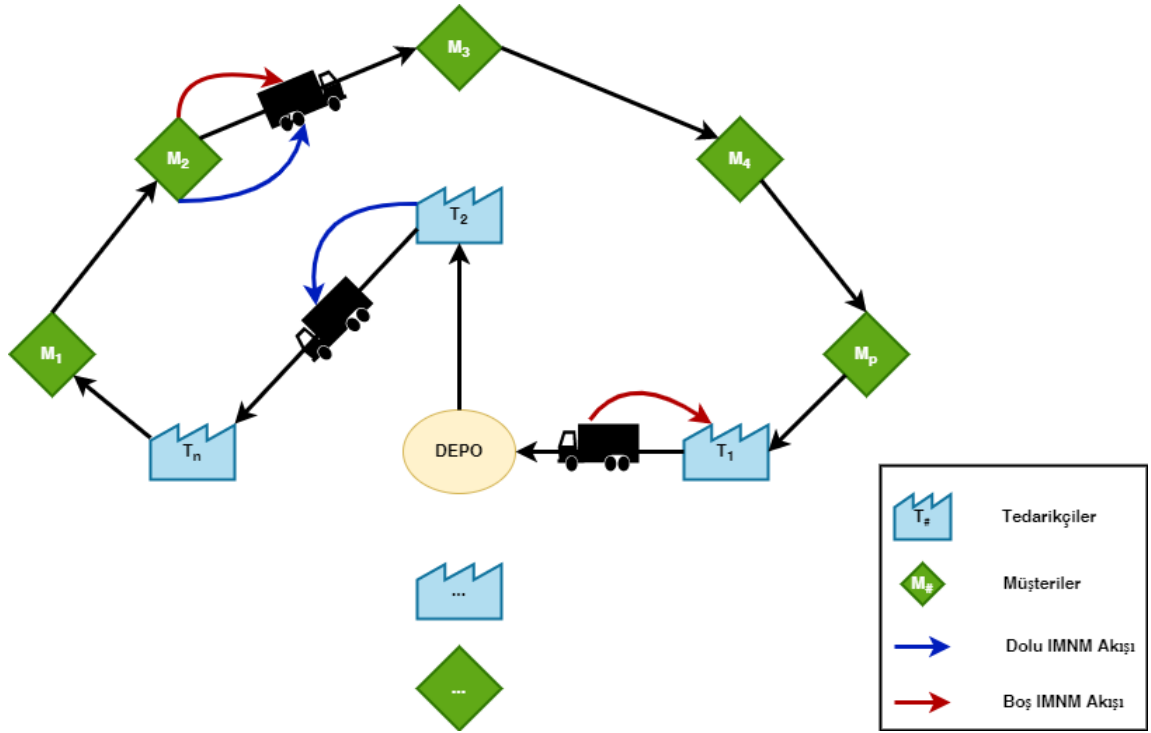
	Envanter Tutma Maliyetleri (TL)		Müşteri Envanter Limitleri	
	1. Ürün	2. Ürün	1. Ürün	2. Ürün
M1	1,5	1,5	70	70
M2	1	1	90	90
M3	1,8	1,8	80	80
M4	0,2	0,2	190	190
M5	1	1	80	80
M6	0,5	0,5	150	150

4.2. STATİK TALEP VARSAYIMI ALTINDA SENARYO ÇÖZÜMLERİ

4.2.1. Statik Talep Varsayımı Altında Tam İş Birliği Senaryosunun Çözümü Ve Analizi

Bu bölümde, açıklanmış olan matematiksel modelin tam iş birliği altında çözümü sonucunda elde edilen veriler anlatılacak ve yorumlanacaktır.

Şekil 3: Tam iş birliği senaryosunun şematik gösterimi



Tam iş birliği senaryosunun şematik gösterimi, Şekil 3'te verilmiştir.

Çözülen tam iş birliği senaryosunda amaç fonksiyonu değeri, en küçüklenen maliyet, 5253,49 TL olarak gerçekleşmiştir. Sonuçların özeti, Tablo 10'da gösterilmektedir.

Tablo 10: Statik talep varsayımı altında tam iş birliği senaryosunun çözümünde anahtar performans göstergelerinin özeti.

KPI	Tam İB
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1566,3
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	679
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	357,2
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	280
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	154
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2217
Toplam Maliyet (TL)	5253,49
Oluşan Toplam Rota Sayısı	6
En Uzun Rota Süresi (dk)	330
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1454
Temizlenen toplam İMNM adedi	893
Satın alınan toplam İMNM adedi	2217
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	1130
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1790

Çözüm sonucunda ilk iki haftada 2'şer, kalan iki haftada da birer rota olmak üzere toplamda 6 rota oluşmuştur.. Araçlar müşterilerdeki hizmet süreleri de dahil olmak üzere toplamda 1454 dakika çalışmışlardır. En uzun rota, 330 dakikada 3. haftada kat edilmiştir. 4 Hafta boyunca oluşmuş bu rotaların toplam rotalama maliyeti 1566,3 TL olmuştur. Oluşan rotalar Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11: Statik talepli tam iş birliği senaryosu çözümünde oluşan rotalar ile her düğümde araca yüklenen ve araçtan indirilen dolu ve boş ürün miktarları.

1. Hafta / 1. Rota	D	T1	M4	M2	M1	M5	M6	M3	D		
Dolu İMNM		490/0*	-250/340	-90/-90	-70/-60	-10/-80	-20/-30	-50/-80			
Boş İMNM											
1. Hafta / 2. Rota	D	T2	M4	D							
Dolu İMNM		0/535	0/-535								
Boş İMNM											
2. Hafta / 1. Rota	D	T1	M3	M5	M2	M1	M4	T2	T1	D	
Dolu İMNM		565/0	-270/220	-115/-80	-90/-140	-40/100	-50/-100				
Boş İMNM			40/45	0/64	72/72	56/48	48/48	0/-277	-216/0		
2. Hafta / 2. Rota	D	T2	M1	M3	M6	D					
Dolu İMNM		0/600	0/-130	180/-280	-180/-190						
Boş İMNM											
3. Hafta	D	T2	T1	M6	M3	M5	M1	M4	T2	T1	D
Dolu İMNM		0/290	230/0	-30/0	-40/-60	0/-90	-90/-75	-70/-65			
Boş İMNM				0/64	72/62	26/64	32/0	40/40	0/-230	-170/0	
4. Hafta	D	T2	T1	M6	M5	M3	M4	M2	M1	D	
Dolu İMNM		0/230	170/0	50/0	-100/-100	-90/-85	130/110	-70/-80	-90/-75		
Boş İMNM											

* Her hücredeki ilk değerler 1. ürünün işlem gören miktarını, ikinci değerler ise 2. ürünün işlem gören miktarını ifade etmektedir. Kalın puntuyla gösterilmiş pozitif değerler araca ürün ya da boş İMNM yüklendiğini, ince puntuyla gösterilen negatif değerler ise araçtan ürün ya da boş İMNM çıktığını ifade etmektedir.

Tablo 11'den görüldüğü üzere, ilk hafta depodaki araçlardan biri 2. tedarikçiden teslim aldığı bütün ürünleri 4. müşteriye teslim etmiş, başka bir araç ise 1. tedarikçiden 1. ürünleri teslim aldıktan sonra 4. müşteriden 2. ürünlerin bir kısmını teslim almıştır. Modelde müşteriler arasında iş birliği kurulmasına izin verildiği için, model aralarındaki mesafe düşüklüğünü göz önünde bulundurarak 2. tedarikçinin ürünlerini 4. müşteri üzerinden dağıtmayı daha az maliyetli bulup tercih etmiştir. Bu müşteri düğümünde ürün depolama maliyetlerinin de düşük olması ve ürün deposunun diğer müşterilere göre daha geniş olması, ürünlerin bir kısmının da depolanmasına ve ilerleyen haftalarda yine bu düğümden dağıtılmasına olanak sağlamıştır.

Üçüncü haftada aracın hem 1. hem de 2. tedarikçiden ürün teslim aldığı gözlenmiştir. Tedarikçi iş birliğinin de uygulanabilir olduğu bu senaryoda, model bir aracın aynı anda iki tedarikçiden de ürün teslim alıp dağıtmasını daha az maliyetli bulup tercih etmiştir. Benzer durum son haftada da gerçekleşmiştir.

Toplam maliyet 5253,49 TL olarak hesaplanırken, bu maliyetin % 42,20'sini yeni İMNM satın alımı oluşturmuştur. Toplamda 2217 adet yeni boş İMNM satın alımı gerçekleşmiştir. Temizlenen toplam İMNM sayısı ise 893 olmuş, temizlik için toplamda 357,2 TL harcanmıştır. Her hafta temizlenen ve satın alınan İMNM sayısı, Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12: Statik talepli tam iş birliği senaryosunun çözümünde satın alınan ve temizlenen İMNM sayıları.

	1. Ürün		2. Ürün	
	Satın Alınan İMNM Sayısı	Temizlenen İMNM Sayısı	Satın Alınan İMNM Sayısı	Temizlenen İMNM Sayısı
1. Hafta	490		535	
2. Hafta	565	216	600	277
3. Hafta	14	170	13	230
4. Hafta				

Statik talep altında çözülen tam iş birliği senaryosu probleminin en küçüklenen toplam maliyetinin % 5.32'sini İMNM boşaltım maliyeti, %2,93'ünü boş İMNM'lerin araçlara yüklenmesi ve % 12,92'sini envanter maliyetleri oluşturmaktadır. 4 Hafta boyunca 40 düğümde ürün boşaltım işlemi, 22 düğümde de boş İMNM yüklenme ya da bir müşteriden diğerine ürün sevkiyat işlemleri gerçekleşmiştir. Müşteriler bu süreçte toplam 1790 adet İMNM'sini envanterlerinde tutmuşlardır. Tablo 13, müşterilere her hafta gelen dolu ürün ve araçlara yüklenen boş ürün miktarlarını, haftalık talepleri ve müşterilerin hafta sonunda envanterlerinde kalan ürün adedini göstermektedir.

Tablo 13: Statik talepli tam iş birliği senaryosu çözümünde müşteri talepleri, teslim edilen dolu (Q), teslim alınan boş (C) ürün miktarları, müşteriler arasında gönderilen ürün miktarları (Z) ve hafta sonu envanter miktarları (I).

1. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	70	70				60	60			
M2	90	90				90	90			
M3	50	50				80	80			
M4	60	250		190		60	535	340	135	
M5	10	10				80	80			
M6	20	20				30	30			
2. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	40	40			56	30	130	100		48
M2	30	90		60	72	65	140		75	72
M3	90	270	180		40	60	280	220		45
M4	50	50		190	48	50	100		185	48
M5	40	115		75		80	80			64
M6	30	180		150		50	190		140	
3. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	90	90			32	75	75			
M2	60					75				
M3	40	40			72	60	60			62
M4	70	70		190	40	70	65		180	40
M5	75				26	90	90			64
M6	50	30		130		50			90	64
4. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	90	90				75	75			
M2	70	70				80	80			
M3	90	90				85	85			
M4	60		130			70		110		
M5	100	100				100	100			
M6	80		50			90				

Tablo 14’te statik talep varsayımı altında sadece tedarikçiler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti, Tablo 15’te oluşan rotalar ve taşınan İMNM miktarları, Tablo 16’da satın alınan ve temizlenen toplam İMNM miktarları, Tablo 17’de ise müşterilerin talepleri, müşterilere teslim edilen dolu İMNM ve müşterilerden teslim alınan boş İMNM sayısı, müşterilerin birbirine gönderdiği ürün miktarları ile dönem sonu envanter miktarları gösterilmiştir.

Tablo 14: Statik talep varsayımı altında sadece tedarikçiler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti.

KPI	Tİ
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1636,3
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	1025,3
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	337,6
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	259
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	105
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2266
Toplam Maliyet (TL)	5629,228
Oluşan Toplam Rota Sayısı	6
En Uzun Rota Süresi (dk)	334
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1398
Temizlenen toplam İMNM adedi	844
Satın alınan toplam İMNM adedi	2266
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	0
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1755

Tablo 15: Statik talep varsayımı altında sadece tedarikçiler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünde oluşan rotalar ile her düğümde araca yüklenen ve araçtan indirilen dolu ve boş ürün miktarları.

1. Hafta / 1. Rota	D	T2	T1	M4	D					
Dolu İMNM		0/154*	240/0	-240/-154						
Boş İMNM										
1. Hafta / 2. Rota	D	T2	T1	M6	M3	M5	M2	M1	D	
Dolu İMNM		0/356	240/0	-20/-46	-50/-80	-10/-80	-90/-90	-70/-60		
Boş İMNM										
2. Hafta / 1. Rota	D	T1	T2	M4	M2	M1	M3	T1	T2	D
Dolu İMNM		295/0	0/305	0/-96	-120/-119	-85/-30	-90/-60			
Boş İMNM				48/48	70/70	56/48	40/64	-214/0	0/-230	
2. Hafta / 2. Rota	D	T2	T1	M6	M5	D				
Dolu İMNM		0/320	280/0	-160/-174	-120/-146					
Boş İMNM										
3. Hafta	D	T1	T2	M1	M2	M5	M3	T1	T2	D
Dolu İMNM		230/0	0/290	-75/-75	-40/-101	-75/-54	-40/-60			
Boş İMNM				32/0	26/54	40/128	72/48	-170/0	0/-230	
4. Hafta	D	T1	T2	M1	M5	M3	D			
Dolu İMNM		170/0	0/230	-60/-75	-20/-70	-90/-85				
Boş İMNM										

* Her hücredeki ilk değerler 1. ürünün işlem gören miktarını, ikinci değerler ise 2. ürünün işlem gören miktarını ifade etmektedir. Kalın puntıyla gösterilmiş pozitif değerler araca ürün ya da boş İMNM yüklendiğini, ince puntıyla gösterilen negatif değerler ise araçtan ürün ya da boş İMNM çıktığını ifade etmektedir.

Tablo 15'te görüldüğü üzere, bu senaryoda tedarikçiler kendi aralarında iş birliği yapabildikleri için, ilk hafta araçlar iki tedarikçiden de ürün teslim alıp dağıtım sağlamışlardır. Boş İMNM'leri de benzer şekilde aynı araçla farklı tedarikçilere taşınabilmiştir. Müşterilerin iş birliği yapmaları ek kısıtla engellendiği için ise, müşteriler arasında herhangi bir ürün alışverişi gerçekleşmemiştir.

Tablo 16: Statik talep varsayımı altında sadece tedarikçiler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünde satın alınan ve temizlenen İMNM sayıları.

	1. Ürün		2. Ürün	
	Satın Alınan İMNM Sayısı	Temizlenen İMNM Sayısı	Satın Alınan İMNM Sayısı	Temizlenen İMNM Sayısı
1. Hafta	480		510	
2. Hafta	575	214	625	230
3. Hafta	16	170	60	230
4. Hafta				

Tablo 17: Statik talep altında sadece tedarikçiler arasında iş birliği senaryosunun çözümünde müşteri talepleri, teslim edilen dolu (Q), teslim alınan boş (C) ürün miktarları, müşteriler arasında gönderilen ürün miktarları (Z) ve envanter miktarları (I).

1. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	70	70				60	60			
M2	90	90				90	90			
M3	50	50				80	80			
M4	60	240		180		60	154		94	
M5	10	10				80	80			
M6	20	20				30	46		16	
2. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	40	85		45	56	30	30			48
M2	30	120		90	70	65	119		54	70
M3	90	90			40	60	60			64
M4	50			130	48	50	96		140	48
M5	40	120		80		80	146		66	
M6	30	160		130		50	174		140	
3. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	90	75		30	32	75	75			
M2	60	40		70	26	75	101		80	54
M3	40	40			72	60	60			48
M4	70			60		70			70	
M5	75	75		80	40	90	54		30	128
M6	50			80		50			90	
4. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	90	60				75	75			
M2	70					80				
M3	90	90				85	85			
M4	60					70				
M5	100	20				100	70			
M6	80					90				

4.2.3. Statik Talep Varsayımı Altında Sadece Müşteriler Arasında İş Birliği Yapılan Senaryonun Çözümü Ve Analizi

Statik talep varsayımı altında sadece müşteriler arasında iş birliği yapılan senaryo çözümlerken, örnek olay veri setindeki veriler kullanılmıştır. Matematiksel modelin senaryoya uyarlanabilmesi için 45 – 48 arası ek kısıt kümeleri modele eklenmiştir:

$$\sum_{p \in P} W_{k,p,t} \leq 1, \quad \forall k \in K, t \in T \quad (45)$$

$$\sum_{i \in V_m} (Q_{i,k,p,t} + C_{i,k,p,t} + Z_{i,k,p,t}) \leq M W_{k,p,t}, \quad \forall k \in K, p \in P, t \in T \quad (46)$$

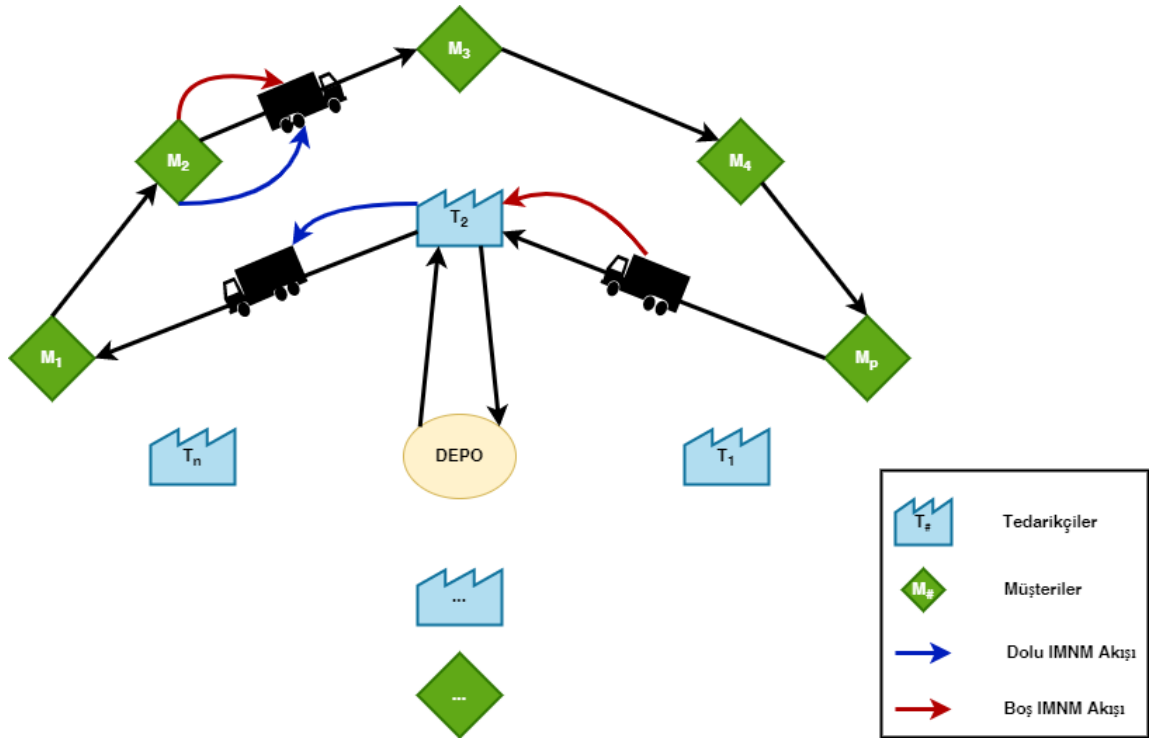
$$X_{i,j,k,t} = 0, \quad \forall i, j \in V_t : i \neq j, k \in K, t \in T \quad (47)$$

$$X_{i,j,k,t} = 0, \quad \forall i, j \in V_{t'} : i \neq j, k \in K, t \in T \quad (48)$$

Kısıt setleri (45) ve (46) her aracın her zaman periyodunda yalnızca tek tür ürünü taşımalarını sağlamaktadırlar. Böylece birden fazla türde dolu ya da boş İMNM hiçbir zaman araçlara yüklenemeyeceği için araçlar ürün teslim almak ya da teslim etmek için birden fazla tedarikçiyi ziyaret etmeyecek, farklı tedarikçilerin ürünleri asla aynı zaman periyodunda aynı araçla taşınmayacak ve tedarikçiler arasında bir iş birliği olmaması sağlanacaktır. (47) ve (48) numaralı kısıt kümeleri ise yalnızca modelin çözüm süresini kısaltmak için kullanılmışlardır, optimal çözüm sonucuna herhangi bir etkileri bulunmamaktadır.

Sadece müşteriler arasında iş birliği yapılan senaryonun şematik gösterimi, Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5: Sadece müşteriler arasında iş birliği yapılan senaryonun şematik gösterimi



Bu senaryonun optimal çözümünün elde edilmesi yaklaşık 5 dakika sürmektedir. Tablo 18'de statik talep varsayımı altında sadece müşteriler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti gösterilmiştir. Tablo 19'da oluşan rotalar ve taşınan İMNM miktarları, Tablo 20'de satın alınan ve temizlenen toplam İMNM miktarları, Tablo 21'de ise müşterilerin talepleri, müşterilere teslim edilen dolu İMNM ve müşterilerden teslim alınan boş İMNM sayısı, müşterilerin birbirine gönderdiği ürün miktarları ile dönem sonu envanter miktarları gösterilmiştir.

Tablo 18: Statik talep varsayımı altında sadece müşteriler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti.

KPI	Mİ
Toplam Rota Maliyeti (TL)	2145,5
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	672
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	358,4
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	280
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	147
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2214
Toplam Maliyet (TL)	5816,925
Oluşan Toplam Rota Sayısı	8
En Uzun Rota Süresi (dk)	312
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	2066
Temizlenen toplam İMNM adedi	896
Satın alınan toplam İMNM adedi	2214
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	290
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1755

Tablo 19: Statik talep varsayımı altında sadece müşteriler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünde oluşan rotalar ile her düğümde araca yüklenen ve araçtan indirilen dolu ve boş ürün miktarları.

1. Hafta / 1. Rota	D	T1	M6	M3	M5	M2	M1	M4	D
Dolu İMNM		455/0*	-20/0	-50/0	-10/0	-90/0	-70/0	-215/0	
Boş İMNM									
1. Hafta / 2. Rota	D	T2	M4	M2	M1	M5	M6	M3	D
Dolu İMNM		0/535	0/-195	0/-90	0/-60	0/-80	0/-30	0/-80	
Boş İMNM									
2. Hafta / 1. Rota	D	T1	M6	M5	M2	M1	M4	M3	T1
Dolu İMNM		600/0	-180/0	-115/0	-90/0	-40/0	-85/0	-90/0	
Boş İMNM			14/0	0/0	72/0	56/0	48/0	40/0	-230/0
2. Hafta / 2. Rota	D	T2	M4	M3	M6	M5	M2	M1	T2
Dolu İMNM		0/600	0/-100	0/-60	0/-190	0/-80	0/-140	0/-30	
Boş İMNM				0/64	0/24	0/58	0/72	0/48	0/-266
3. Hafta / 1. Rota	D	T1	M4	M1	M3	M6	T1	D	
Dolu İMNM		230/0	-70/0	-90/0	-40/0	-30/0			
Boş İMNM			40/0	32/0	72/0	26/0	-170/0		
3. Hafta / 2. Rota	D	T2	M1	M5	M3	M4	T2	D	
Dolu İMNM		0/290	0/-75	0/-90	0/-60	0/-65			
Boş İMNM			0/24	0/70	0/48	0/88	0/-230		
4. Hafta / 1. Rota	D	T1	M6	M5	M3	M4	M2	M1	D
Dolu İMNM		170/0	50/0	-100/0	-90/0	130/0	-70/0	-90/0	
Boş İMNM									
4. Hafta / 2. Rota	D	T2	M4	M2	M1	M5	M3	D	
Dolu İMNM		0/230	0/110	0/-80	0/-75	0/-100	0/-85		
Boş İMNM									

*Her hücredeki ilk değerler 1. ürünün işlem gören miktarını, ikinci değerler ise 2. ürünün işlem gören miktarını ifade etmektedir. Kalın puntuyla gösterilmiş pozitif değerler araca ürün ya da boş İMNM yüklendiğini, ince puntuyla gösterilen negatif değerler ise araçtan ürün ya da boş İMNM çıktığını ifade etmektedir.

Bu senaryoda tedarikçiler arasında iş birliği yapılması ve aynı aracın birden çok tedarikçinin ürünü taşıması ek kısıtlar yoluyla engellendiği için, Tablo 18'de görüldüğü üzere araçlar her rotada en fazla tek bir tedarikçiyi ziyaret edip ürün teslim almışlar, depoya dönmeden önce de eğer kasalarında boş İMNM varsa aynı tek tedarikçiyi ziyaret

ederek boş İMNM'lerini teslim etmişlerdir. Öte yandan müşteri iş birliğini kısıtlayan herhangi bir unsur olmadığı için 4. haftada 6. müşteriden 1. ürün, 4. müşteriden ise 2. ürün başka müşterilere teslim edilmek üzere araçlara yüklenmiş ve dağıtılmıştır.

Tablo 20: Statik talep varsayımı altında sadece müşteriler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünde satın alınan ve temizlenen İMNM sayıları.

	1. Ürün		2. Ürün	
	Satın Alınan İMNM Sayısı	Temizlenen İMNM Sayısı	Satın Alınan İMNM Sayısı	Temizlenen İMNM Sayısı
1. Hafta	455		535	
2. Hafta	600	230	600	266
3. Hafta		170	24	230
4. Hafta				

Tablo 21: Statik talep altında sadece müşteriler arasında iş birliği senaryosunun çözümünde müşteri talepleri, teslim edilen dolu (Q), teslim alınan boş (C) ürün miktarları, müşteriler arasında gönderilen ürün miktarları (Z) ve envanter miktarları (I).

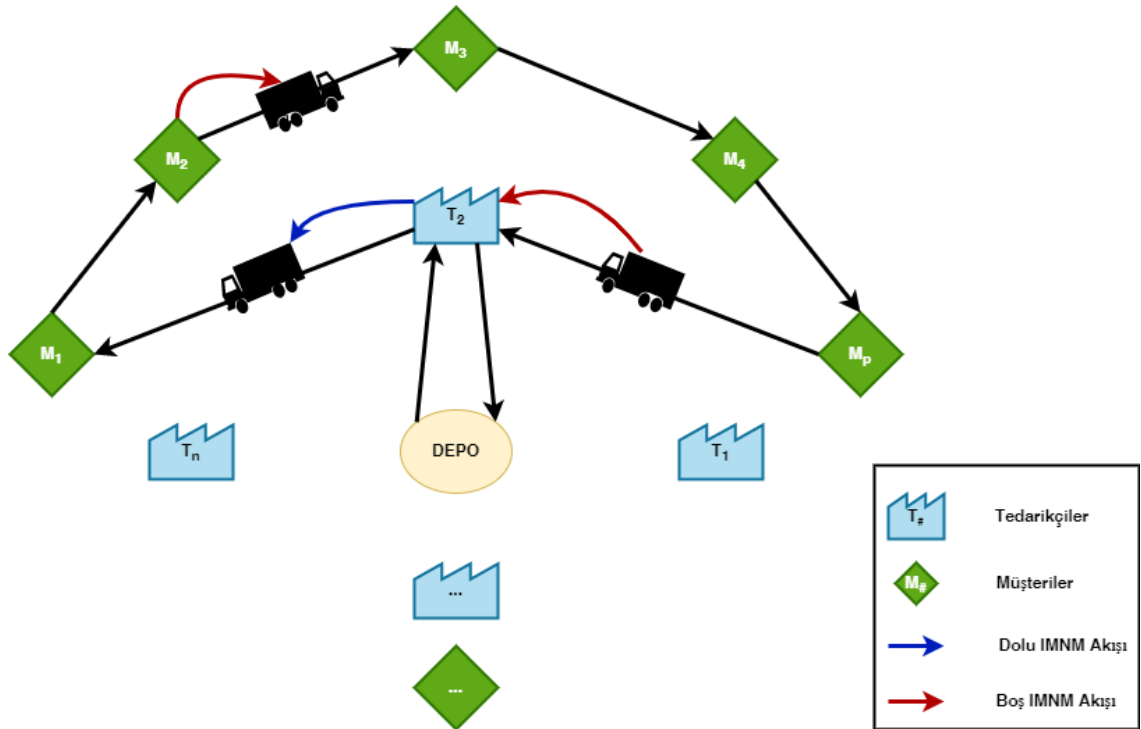
1. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	70	70				60	60			
M2	90	90				90	90			
M3	50	50				80	80			
M4	60	215		155		60	195		135	
M5	10	10				80	80			
M6	20	20				30	30			
2. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	40	40			56	30	30			48
M2	30	90		60	72	65	140		75	72
M3	90	90			40	60	60			64
M4	50	85		190	48	50	100		185	
M5	40	115		75		80	80			58
M6	30	180		150	14	50	190		140	24
3. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	90	90			32	75	75			24
M2	60					75				
M3	40	40			72	60	60			48
M4	70	70		190	40	70	65		180	88
M5	75					90	90			70
M6	50	30		130	26	50			90	
4. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	90	90				75	75			
M2	70	70				80	80			
M3	90	90				85	85			
M4	60		130			70		110		
M5	100	100				100	100			
M6	80		50			90				

4.2.4. Statik Talep Varsayımı Altında İş Birliği Yapılmayan Senaryonun Çözümü Ve Analizi

Statik talep varsayımı altında iş birliği yapılmayan senaryo için, matematiksel model (41 – 45) numaralı ek kısıt kümelerinin tamamı aktif halde çalıştırılmış, bu şekilde hem müşterilerin iş birliği yapmaları, hem de tedarikçilerin iş birliği yapmaları engellenmiştir. Bu çözümde depodan hareket eden araçlar yalnızca bir tedarikçiye gidip o tedarikçiden aldığı ürünleri müşterilere teslim etmekte ve yalnızca mevcut haftada hangi ürünü taşımış ise o ürüne ait boş İMNM'lerini tedarikçiye geri götürerek turlarını tamamlamaktadırlar. Müşterilerin birbirlerine ürün göndermeleri de engellenmektedir.

İş birliği yapılmayan senaryonun şematik gösterimi, Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6: İş birliği yapılmayan senaryonun şematik gösterimi



Bu senaryonun optimal çözümünün elde edilmesi yaklaşık 1 dakika sürmüştür. Tablo 22’de statik talep varsayımı altında iş birliği yapılmayan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti gösterilmiştir. Tablo 23’te oluşan rotalar ve taşınan İMNM miktarları, Tablo 24’te satın alınan ve temizlenen toplam İMNM miktarları, Tablo 25’te ise müşterilerin talepleri, müşterilere teslim edilen dolu İMNM ve müşterilerden teslim alınan boş İMNM sayısı, müşterilerin birbirine gönderdiği ürün miktarları ile dönem sonu envanter miktarları gösterilmiştir.

Tablo 22: Statik talep varsayımı altında iş birliği yapılmayan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti.

KPI	İB Olmadan
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1965,9
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	1037,5
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	274,4
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	252
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	91
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2424
Toplam Maliyet (TL)	6044,77
Oluşan Toplam Rota Sayısı	8
En Uzun Rota Süresi (dk)	302
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1812
Temizlenen toplam İMNM adedi	686
Satın alınan toplam İMNM adedi	2424
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	0
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1780

Tablo 23: Statik talep varsayımı altında iş birliği yapılmayan senaryonun çözümünde oluşan rotalar ile her düğümde araca yüklenen ve araçtan indirilen dolu ve boş ürün miktarları.

1. Hafta / 1. Rota	D	T1	M6	M3	M5	M2	M1	M4	D
Dolu İMNM		480/0*	-20/0	-50/0	-10/0	-90/0	-70/0	-240/0	
Boş İMNM									
1. Hafta / 2. Rota	D	T2	M4	M2	M1	M5	M6	M3	D
Dolu İMNM		0/535	0/-195	0/-90	0/-60	0/-80	0/-30	0/-80	
Boş İMNM									
2. Hafta / 1. Rota	D	T1	M6	M5	M2	M1	M3	T1	D
Dolu İMNM		575/0	-160/0	-120/0	-120/0	-45/0	-130/0		
Boş İMNM			16/0	0/0	72/0	56/0	40/0	-184/0	
2. Hafta / 2. Rota	D	T2	M4	M3	M6	M5	M2	M1	T2
Dolu İMNM		0/600	0/-55	0/-60	0/-190	0/-160	0/-105	0/-30	
Boş İMNM			0/48	0/64	0/24	0/64	0/72	0/0	0/-272
3. Hafta / 1. Rota	D	T1	M5	M2	M1	D			
Dolu İMNM		230/0	-75/0	-40/0	-115/0				
Boş İMNM									
3. Hafta / 2. Rota	D	T2	M1	M3	M5	M2	T2	D	
Dolu İMNM		0/290	0/-75	0/-60	0/-40	0/-115			
Boş İMNM			0/72	0/42	0/64	0/52	0/-230		
4. Hafta / 1. Rota	D	T1	M3	M5	M1	D			
Dolu İMNM		170/0	-90/0	-20/0	-60/0				
Boş İMNM									
4. Hafta / 2. Rota	D	T2	M1	M5	M3	D			
Dolu İMNM		0/230	0/-75	0/-70	0/-85				
Boş İMNM									

*Her hücredeki ilk değerler 1. ürünün işlem gören miktarını, ikinci değerler ise 2. ürünün işlem gören miktarını ifade etmektedir. Kalın puntuyla gösterilmiş pozitif değerler araca ürün ya da boş İMNM yüklendiğini, ince puntuyla gösterilen negatif değerler ise araçtan ürün ya da boş İMNM çıktığını ifade etmektedir.

Bu senaryoda hem müşteriler arasında, hem de tedarikçiler arasında iş birliği yapılması ek kısıtlar yoluyla engellendiği için, Tablo 22'den görüldüğü üzere her araç kullanıldıkları rotada yalnızca tek bir tedarikçiye ait ürünlerin dağıtımını gerçekleştirmiş, topladıkları boş İMNM'lerini de yine o hafta çalıştıkları tedarikçiye aktarmışlardır. Ayrıca herhangi bir müşteriden diğer bir müşteriye ürün akışı olmamıştır.

Tablo 24: Statik talep varsayımı altında iş birliği yapılmayan senaryonun çözümünde satın alınan ve temizlenen İMNM sayıları.

	1. Ürün		2. Ürün	
	Satın Alınan İMNM Sayısı	Temizlenen İMNM Sayısı	Satın Alınan İMNM Sayısı	Temizlenen İMNM Sayısı
1. Hafta	480		535	
2. Hafta	575	184	600	272
3. Hafta	46		18	230
4. Hafta	170			

Tablo 25: Statik talep altında iş birliği yapılmayan senaryonun çözümünde müşteri talepleri, teslim edilen dolu (Q), teslim alınan boş (C) ürün miktarları, müşteriler arasında gönderilen ürün miktarları (Z) ve envanter miktarları (I).

1. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	70	70				60	60			
M2	90	90				90	90			
M3	50	50				80	80			
M4	60	240		180		60	195		135	
M5	10	10				80	80			
M6	20	20				30	30			
2. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	40	45		5	56	30	30			
M2	30	120		90	72	65	105		40	72
M3	90	130		40	40	60	60			64
M4	50			130		50	55		140	48
M5	40	120		80		80	160		80	64
M6	30	160		130	16	50	190		140	24
3. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	90	115		30		75	75			72
M2	60	40		70		75	115		80	52
M3	40					60	60			42
M4	70			60		70			70	
M5	75	75		80		90	40		30	64
M6	50			80		50			90	
4. Hafta										
	1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	90	60				75	75			
M2	70					80				
M3	90	90				85	85			
M4	60					70				
M5	100	20				100	70			
M6	80					90				

4.2.5. Statik Talep Varsayımı Altında Çözüm Yapılan Senaryoların Karşılaştırılması

Statik talep varsayımı altında tam iş birliği, sadece tedarikçi iş birliği, sadece müşteri iş birliği ve iş birliği olmadan yapılan çözümlerin anahtar performans göstergelerinin toplu özeti, Tablo 26’da gösterilmiştir.

Tablo 26: Statik talep varsayımı altında tam iş birliği, sadece tedarikçi iş birliği, sadece müşteri iş birliği ve iş birliği olmadan yapılan çözümlerin anahtar performans göstergelerinin özeti.

KPI	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1566,3	1636,3	2145,5	1965,9
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	679	1025,3	672	1037,5
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	357,2	337,6	358,4	274,4
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	280	259	280	252
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	154	105	147	91
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2217	2266	2214	2424
Toplam Maliyet (TL)	5253,49	5629,23	5816,92	6044,77
Oluşan Toplam Rota Sayısı	6	6	8	8
En Uzun Rota Süresi (dk)	330	334	312	302
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1454	1398	2066	1812
Temizlenen toplam İMNM adedi	893	844	896	686
Satın alınan toplam İMNM adedi	2217	2266	2214	2424
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	1130	0	290	0
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1790	1755	1755	1780

Tablo 26’da görüldüğü üzere, talebin statik olması durumunda örnek problem, herhangi bir iş birliği olmadan 6044,77 TL toplam maliyet ile çözülmüştür. Yalnızca müşteriler arasında iş birliği yapılması durumunda toplam maliyet %3,76 azalma göstermiş ve 5816,92 TL olmuştur. Sadece tedarikçilerin iş birliği yaptıkları durumda ise, hiçbir iş birliği yapılmayan senaryoya göre toplam maliyet %6,87 azalarak 5629,23 TL olarak hesaplanmıştır. Hem tedarikçiler hem de müşteriler kendi aralarında iş birliği yaptıklarında ise, toplam maliyet %13,09 azalarak 5253,49 TL olmuştur.

Rotalama maliyetlerine bakıldığında en yüksek farkın 1566,3 TL’den 2145,5 TL’ye %37’lik bir artış ile tam iş birliği yapılan senaryo ile yalnızca müşteri iş birliğinin

yapıldığı senaryo arasında olduğu görülmektedir. Bu artışın nedeni, tedarikçilerin iş birliği yapmamaları durumunda her araçta tek bir tip ürün taşınabildiği için, birden çok ürünün teslim edileceği haftalarda müşterilerin farklı araçlarla ziyaret edilmesi, dolayısıyla fazla mesafe kat etmeleridir.

Envanter maliyetlerinin ise müşteri iş birliğinin yapıldığı senaryolarda, yapılmadığı senaryolara göre yaklaşık %35 maliyet azalışı sağladığı görülmektedir. Bu duruma sebep olarak ise bazı müşterilerin diğerlerine göre daha büyük depoya ve daha düşük depolama maliyetine sahip olmaları sebebiyle, müşterilerin arasında iş birliği yapıldığı durumlarda ürünlerin az maliyetli – yüksek kapasiteli deposu olan müşterilerde tutulup ilerleyen haftalarda bu müşterilerden diğer müşterilere dağıtılmasının, yüksek depolama maliyetine sahip depolarda envanter tutmaktan daha ekonomik olması gösterilebilir.

4.3. DİNAMİK TALEP VARSAYIMI ALTINDA SENARYO ÇÖZÜMLERİ

Dinamik talebi gözetebilmek için bütün senaryolarda ilk iki zaman periyodunun bütün kararları korunurken, 3. zaman periyodunun başında müşteri ürün talepleri değiştirilerek model tekrar çözdürülmüştür. Talep değişiklikleri, bütün ürünlerin talebinde artış olma durumu, bütün ürünlerin talebinde azalış olma durumu ve taleplerin rastgele değişimi şeklinde üç farklı durumu gözeterek modele yansıtılmıştır.

Bütün ürünlerin talebinde artış olması durumunu incelemek için, problemin veri setindeki müşteri taleplerine 3. ve 4. zaman periyotları için 1 ile 50 birim ürün arasında rassal olarak talep eklenmesi yapılmıştır. Bu şekilde, talepte ani bir yükseliş olması durumunda problemin çözümünün ve karar değişkenlerinin nasıl değiştiği incelenmiştir.

Benzer şekilde, bütün ürünlerin talebinde azalış olması durumunu incelemek için, problemin veri setindeki müşteri taleplerinden 3. ve 4. zaman periyotları için 1 ile 50 birim ürün arasında rassal olarak talep azaltılmıştır. Bu şekilde, talebin beklenmeyen şekilde düşmesi durumunda karar değişkenlerinin nasıl değiştiği ve çözümdeki farklılıklar incelenmiştir.

Talebin kesin artış veya kesin azalma durumu dışında, planlama ufkunun başında tahminlenmiş talep miktarlarından farklılaşarak rassal şekilde yeniden oluştuğu durum da incelenmiştir. Bu incelemeyi yapmak için ise, 3. ve 4. zaman periyotlarındaki bütün müşteri ürün taleplerine 1 ile 50 arasında rassal miktarda ürün hem eklenmiş hem de çıkartılmıştır. Bu şekilde değişen talebin, önceki zaman periyotlarındaki kararların hâlihazırda verilmiş olduğu durumda yeni dönem kararlarına ve çözüme etkisi incelenebilmiştir.

Tablo 27’de, statik taleplere ek olarak yukarıda bahsedilen 3 farklı durum için modele parametre olarak girilen müşteri ürün talep miktarları gösterilmiştir.

Tablo 27: Statik ve Dinamik talep çözümlerinde kullanılan müşteri ürün talebi adetleri.

		Statik Talep								Talep Artışı							
		1. Ürün				2. ürün				1. Ürün				2. ürün			
Müşteriler	Zaman Periyotları	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
M1		70	40	90	90	60	30	75	75	70	40	119	104	60	30	104	84
M2		90	30	60	70	90	65	75	80	90	30	72	104	90	65	98	106
M3		50	90	40	90	80	60	60	85	50	90	70	102	80	60	76	134
M4		60	50	70	60	60	50	70	70	60	50	93	62	60	50	73	118
M5		10	40	75	100	80	80	90	100	10	40	116	143	80	80	105	124
M6		20	30	50	80	30	50	50	90	20	30	51	94	30	50	62	125
		Talep Azalışı								Rassal Değişim							
		1. Ürün				2. ürün				1. Ürün				2. ürün			
Müşteriler	Zaman Periyotları	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
M1		70	40	67	72	60	30	54	37	70	40	99	97	60	30	56	73
M2		90	30	50	26	90	65	44	42	90	30	29	81	90	65	69	62
M3		50	90	25	55	80	60	47	48	50	90	28	85	80	60	65	108
M4		60	50	50	43	60	50	28	52	60	50	88	100	60	50	90	77
M5		10	40	61	84	80	80	63	55	10	40	73	103	80	80	117	90
M6		20	30	31	77	30	50	46	84	20	30	37	68	30	50	48	113

4.3.1. Dinamik Talep Varsayımı Altında Tam İş Birliği Senaryosunun Çözümü Ve Analizi

Tablo 28: Dinamik talep varsayımı altında tam iş birliği senaryosunun çözümünde anahtar performans göstergelerinin özeti.

KPI	Statik Talep	Talep Artışı	Talep Azalışı	Rassal Değişim
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1566,3	1648,4	1290,6	1559,8
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	679	619,3	927,5	709,5
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	357,2	357,2	197,2	357,2
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	280	301	273	287
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	154	154	98	154
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2217	2217	2190	2217
Toplam Ekstra Ürün Maliyeti (TL)	0	2720	0	305
Toplam Maliyet (TL)	5253,49	8016,9	4976,3	5589,5
Oluşan Toplam Rota Sayısı	6	7	6	6
En Uzun Rota Süresi (dk)	330	333	307	330
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1454	1537	1212	1443
Temizlenen toplam İMNM adedi	893	893	493	893
Satın alınan toplam İMNM adedi	2217	2217	2190	2217
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	1130	1171	1064	1070
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1790	1574	2129	1796

Dinamik talep varsayımı altında tam iş birliği senaryosunun çözümünde anahtar performans göstergeleri incelendiğinde (Tablo 28) en düşük toplam maliyetli çözümün 4976.3 TL ile talep azalışı olduğu durumda, en yüksek toplam maliyetli çözümün ise 8016,9 TL ile talep artışı olduğu durumda gerçekleştiği görülmektedir. Bu durumun yanısıra, envanter maliyetlerindeki en büyük artış ise taleplerin azaldığı durumda olmuştur. Bu durumun sebebi, planlama ufkunun başındaki taleplere göre modelin ilk 2 hafta müşterilerde depoladığı ürünlerin bir kısmının taleplerdeki azalış nedeniyle planlama ufku sonunda kullanılmadan müşteri envanterinde kalması ve depoda kaldıkları her hafta envanter maliyetine sebep olmalarıdır. Tablo 31 incelendiğinde, müşteri envanterlerindeki ürünlerin bir kısmının ilerleyen haftalarda diğer müşterilere aktarılmasına rağmen 4. haftanın sonunda 127 adet dolu İMNM'sinin müşteri envanterlerinde fazlalık olarak kaldığı görülmektedir.

Talep artışının ve rastgele talep oluşma durumunun incelendiği senaryolarda ekstra ürün maliyetinin oluştuğu görülmektedir. Tedarikçilerin deposunda, artan talebi karşılamaya yetecek miktarda ürün olmadığı durumda, talebi karşılamak için dışarıdan ek maliyete katlanarak ürün yüklü İMNM satın almaları modelde mümkün kılındığından ek maliyetler oluşmuştur. Özellikle ürün talebi artışının incelendiği senaryoda ek ürün satın alım maliyeti, toplam maliyetin yaklaşık %34'ünü oluşturmuş, rastgele talebin incelendiği durumda ise ekstra ürün maliyetinin toplam maliyetteki payı yaklaşık %6 olmuştur.

Tablo 29: Dinamik talep altında tam iş birliği senaryosunun artan talep, azalan talep ve rassal talep varsayımları için yapılan çözümlerde satın alınan ve temizlenen İMNM sayıları.

	Statik Talep			Dinamik Artan Talep				Dinamik Azalan Talep				Dinamik Rassal Talep							
	1. Ürün		2. Ürün	1. Ürün		2. Ürün		1. Ürün		2. Ürün		1. Ürün		2. Ürün					
	S*	T	E	S	T	E	S	T	E	S	T	E	S	T	E				
1. Hafta	490			535			490			535			490			535			
2. Hafta	565	216		600	277		565	216		600	277		565	216		600	277		
3. Hafta	14	170		13	230		14	170	7	13	230	11		14	170		13	230	
4. Hafta									248			278					13		48

* S: Satın alınan boş İMNM sayısı, T: Temizlenen İMNM sayısı, E: Satın alınan dolu İMNM sayısı.

Tablo 30: Statik talepli ve Dinamik talepli tam iş birliği senaryosu çözümlerinde oluşan rotalar ile her düğümde araca yüklenen ve araçtan indirilen dolu ve boş ürün miktarları.

1. Hafta / 1. Rota Dolu İMNM Boş İMNM	D	T1	M4	M2	M1	M5	M6	M3	D		
		490/0	-250/340	-90/-90	-70/-60	-10/-80	-20/-30	-50/-80			
1. Hafta / 2. Rota Dolu İMNM Boş İMNM	D	T2	M4	D							
		0/535	0/-535								
2. Hafta / 1. Rota Dolu İMNM Boş İMNM	D	T1	M3	M5	M2	M1	M4	T2	T1	D	
		565/0	-270/220	-115/-80	-90/-140	-40/100	-50/-100				
			40/45	0/64	72/72	56/48	48/48	0/-277	-216/0		
2. Hafta / 2. Rota Dolu İMNM Boş İMNM	D	T2	M1	M3	M6	D					
		0/600	0/-130	180/-280	-180/-190						
3. Hafta Dolu İMNM Boş İMNM	D	T2	T1	M6	M3	M5	M1	M4	T2	T1	D
		0/290	230/0	-30/0	-40/-60	0/-90	-90/-75	-70/-65			
				0/64	72/62	26/64	32/0	40/40	0/-230	-170/0	
4. Hafta Dolu İMNM Boş İMNM	D	T2	T1	M6	M5	M3	M4	M2	M1	D	
		0/230	170/0	50/0	-100/-100	-90/-85	130/110	-70/-80	-90/-75		
(+) 3. Hafta (+) Dolu İMNM (+) Boş İMNM	D	T2	T1	M6	M3	M5	M2	M1	T2	T1	D
		0/301	237/0	5/7	-70/-76	-41/-105	-12/-23	-119/-104			
				26/24	72/67	40/64	0/51	32/24	0/-230	-170/0	
(+) 4. Hafta / 1. Rota (+) Dolu İMNM / 1. Rota (+) Boş İMNM / 1. Rota	D	T1	M3	M6	M5	M2	M1	D			
		418/0	-102/284	0/-54	-143/-124	-104/-106	-69/0				
(+) 4. Hafta / 2. Rota (+) Dolu İMNM / 2. Rota (+) Boş İMNM / 2. Rota	D	T2	M4	M1	M3	D					
		0/508	35/-6	-35/-84	0/-418						
(-) 3. Hafta (-) Dolu İMNM (-) Boş İMNM	D	T1	T2	M4	M2	M1	M5	M3	D		
		216/0	0/277	-50/-33	-16/-11	-67/-54	-58/-132	-25/-47			
(-) 4. Hafta (-) Dolu İMNM (-) Boş İMNM	D	M4	M1	M5	M3	D					
		139/71	-72/-37	-12/14	-55/-48						
(+-) 3. Hafta (+-) Dolu İMNM (+-) Boş İMNM	D	T2	T1	M6	M3	M5	M1	M4	T2	T1	D
		0/290	230/0	-17/3	-28/-65	2/-117	-99/-56	-88/-55			
				0/59	58/67	40/64	32/0	40/40	0/-230	-170/0	
(+-) 4. Hafta (+-) Dolu İMNM (+-) Boş İMNM	D	T2	T1	M6	M3	M5	M2	M4	M1	D	
		0/278	183/0	62/-24	-85/-108	-103/-90	-50/-56	90/73	-97/-73		

Renksiz satırlar statik talepli çözümü gösterirken yeşil satırlar talep artışı, kırmızı satırlar talep azalışı, mavi satırlar ise rassal talep durumunda gerçekleşen rotaları ve İMNM hareketlerini ifade etmektedir. Her hücredeki ilk değerler 1. ürünün işlem gören miktarını, ikinci değerler ise 2. ürünün işlem gören miktarını göstermektedir. Kalın puntuyla gösterilmiş pozitif değerler araca ürün ya da boş İMNM yüklendiğini, ince puntuyla gösterilen negatif değerler ise araçtan ürün ya da boş İMNM çıktığını ifade etmektedir.

Tablo 31: Dinamik talepli tam iş birliği senaryosunun çözümlerinde müşteri talepleri, teslim edilen dolu (Q), teslim alınan boş (C) İMNM miktarları, müşteriler arasında gönderilen İMNM miktarları (Z) ve hafta sonu envanter miktarları (I).

	1. Hafta										2. Hafta									
	1. Ürün					2. Ürün					1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	70	70				60	60				40	40		56	30	130	100		48	
M2	90	90				90	90				30	90	60	72	65	140		75	72	
M3	50	50				80	80				90	270	180	40	60	280	220		45	
M4	60	250	190			60	535	340	135		50	50	190	48	50	100		185	48	
M5	10	10				80	80				40	115	75		80	80			64	
M6	20	20				30	30				30	180	150		50	190			140	
	3. Hafta (+)										4. Hafta (+)									
	1. Ürün					2. Ürün					1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	90	90		32		75	75				90	90			75	75				
M2	60					75					70	70			80	80				
M3	40	40		72		60	60		62		90	90			85	85				
M4	70	70	190	40		70	65	180	40		60	130			70	110				
M5	75			26		90	90		64		100	100			100	100				
M6	50	30	130			50		90	64		80	50			90					
	3. Hafta (+)										4. Hafta (+)									
(+)	1. Ürün					2. Ürün					1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	119	119		32		104	104		24		104	104			84	84				
M2	72	12				98	23		51		104	104			106	106				
M3	70	70		72		76	76		67		102	102			134	418	284			
M4	93		97			73		112			62	35			118	6				
M5	116	41		40		105	105		64		143	143			124	124				
M6	51	5	94	26		62		7	71	24	94				125	54				
	3. Hafta (-)										4. Hafta (-)									
(-)	1. Ürün					2. Ürün					1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	67	67				54	54				72	72			37	37				
M2	50	16	26			44	11	42			26				42					
M3	25	25				47	47				55	55			48	48				
M4	50	50	190			28	33	190			43	139	8		52		71	67		
M5	61	58	72			63	132	69			84	12			55	14				
M6	31		119			46		94			77		42		84				10	
	3. Hafta (+-)										4. Hafta (+-)									
(+-)	1. Ürün					2. Ürün					1. Ürün					2. Ürün				
	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C	Talep	Q	Z	I	C
M1	99	99		32		56	56				97	97			73	73				
M2	29		31			69		6			81	50			62	56				
M3	28	28		58		65	65		67		85	85			108	108				
M4	88	88	190	40		90	55	150	40		100	90			77	73				
M5	73		2	40		117	117		64		103	103			90	90				
M6	37	17	130			48		3	89	59	68	62			113	24				

3 ve 4. haftalar için talep artışı yeşil renkle, talep azalışı kırmızı renkle, rassal talep ise mavi renkle gösterilmiştir.

4.3.2. Dinamik Talep Varsayımı Altında Sadece Tedarikçiler Arasında İş Birliği Yapılan Senaryonun Çözümü Ve Analizi

Tablo 32: Dinamik talep varsayımı altında sadece tedarikçiler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti.

KPI	Statik Talep	Talep Artışı	Talep Azalışı	Rassal Değişim
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1636,3	1856,4	1512,3	1655,5
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	1025,3	766,8	1256	980,2
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	337,6	337,6	177,6	337,6
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	259	294	231	280
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	105	105	56	105
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2266	2266	2255	2266
Toplam Ekstra Ürün Maliyeti (TL)	0	2720	0	430
Toplam Maliyet (TL)	5629,228	8345,8	5487,9	6054,3
Oluşan Toplam Rota Sayısı	6	7	6	6
En Uzun Rota Süresi (dk)	334	349	321	366
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1398	1582	1308	1430
Temizlenen toplam İMNM adedi	844	844	444	844
Satın alınan toplam İMNM adedi	2266	2266	2255	2266
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	0	0	0	0
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1755	1545	2061	1793

Dinamik talep varsayımı altında sadece tedarikçiler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünde anahtar performans göstergeleri incelendiğinde (Tablo 32) en düşük toplam maliyetli çözümün 5487,9 TL ile talep azalışı olduğu durumda, en yüksek toplam maliyetli çözümün ise 8345,8 TL ile talep artışı olduğu durumda gerçekleştiği görülmektedir.

Statik talep varsayımıyla elde edilen çözümde toplam rota maliyeti 1636,3 TL iken, bu maliyet talep artışı olması durumunda daha fazla müşteriye ziyaret etme gereksiniminden dolayı %13,45 artarak 1856,4 TL'ye, talepte rastgele değişim olması durumunda %1,17 artarak 1655,5 TL'ye ulaşmış; talep azalışı durumunda ise ürün gönderim sıklığının azalmasından dolayı %7,57 düşerek 1512,3 TL'ye gerilemiştir.

Statik talep varsayımıyla elde edilen çözümde toplam envanter maliyeti 1025,5 TL iken, talepte artış olması durumunda envanter maliyeti 2. hafta depoda bırakılan ürünlerin

büyük kısmının 3. haftada kullanılması ve sonraki süreçte de ürün depolama eğiliminin düşmesi nedeniyle %25,21 azalarak 766,8 TL'ye, talepte rastgele değişim olması durumunda ise %4,4 azalarak 980,2 TL'ye gerilemiş; talepte azalış olması durumunda ise ilk 2 haftada depolanan fakat planlama ufku sonunda depoda kalan ürünlerden dolayı %22,5 artarak 1256 TL'ye ulaşmıştır.

4.3.3. Dinamik Talep Varsayımı Altında Sadece Müşteriler Arasında İş Birliği Yapılan Senaryonun Çözümü Ve Analizi

Tablo 33: Dinamik talep varsayımı altında sadece müşteriler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti.

KPI	Statik Talep	Talep Artışı	Talep Azalışı	Rassal Değişim
Toplam Rota Maliyeti (TL)	2145,5	2271,2	1840,7	2166,9
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	672	617	946,2	704,4
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	358,4	358,4	198,4	358,4
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	280	294	273	287
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	147	133	84	147
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2214	2214	2190	2214
Toplam Ekstra Ürün Maliyeti (TL)	0	2720	0	305
Toplam Maliyet (TL)	5816,925	8607,6	5532,3	6182,7
Oluşan Toplam Rota Sayısı	8	8	8	8
En Uzun Rota Süresi (dk)	312	312	312	312
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	2066	2134	1805	2092
Temizlenen toplam İMNM adedi	896	1100	496	1206
Satın alınan toplam İMNM adedi	2214	2214	2190	2214
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	290	40	229	220
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1755	1552	2100	1761

Dinamik talep varsayımı altında sadece müşteriler arasında iş birliği yapılan senaryonun çözümünde anahtar performans göstergeleri incelendiğinde (Tablo 33) en düşük toplam maliyetli çözümün 5532,3 TL ile talep azalışı olduğu durumda, en yüksek toplam maliyetli çözümün ise 8607,6 TL ile talep artışı olduğu durumda gerçekleştiği görülmektedir.

Statik talep varsayımıyla elde edilen çözümde toplam rota maliyeti 2145,5 TL iken, bu maliyet talep artışı olması durumunda artan talebi karşılayabilmek için araçların daha fazla yol kat etmesinden ve tedarikçilerin iş birliği yapmamalarından dolayı %5,85 artarak 2271,2 TL'ye, talepte rastgele değişim olması durumunda %1 artarak 2166,9 TL'ye ulaşmış; talep azalışı durumunda ise ürün gönderim sıklığının azalmasından dolayı %14.2 düşerek 1840,7 TL'ye gerilemiştir.

Statik talep varsayımıyla elde edilen çözümde toplam envanter maliyeti 672 TL iken, talepte artış olması durumunda envanter maliyeti depolanan envanterlerin beklenen plandan daha erken kullanılabilmesi nedeniyle %8,18 azalarak 617 TL'ye gerilemiş; talepte rastgele değişim olması durumunda %4,82 artarak 980,2 TL'ye, talepte azalış olması durumunda ise ilk 2 haftada depolanan fakat planlama ufku sonunda depoda kalan ürünlerden dolayı %40,8 artarak 946,2 TL'ye ulaşmıştır.

4.3.4. Dinamik Talep Varsayımı Altında İş Birliği Yapılmayan Senaryonun Çözümü Ve Analizi

Tablo 34: Dinamik talep varsayımı altında iş birliği yapılmayan senaryonun çözümünün anahtar performans göstergelerinin özeti.

KPI	Statik Talep	Talep Artışı	Talep Azalışı	Rassal Değişim
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1965,9	2172,7	1591,1	1977,8
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	1037,5	779	1200,7	1031
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	274,4	338,4	182,4	274,4
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	252	294	217	266
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	91	105	63	91
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2424	2264	2357	2424
Toplam Ekstra Ürün Maliyeti (TL)	0	2720	0	430
Toplam Maliyet (TL)	6044,77	8673,1	5611,2	6494,2
Oluşan Toplam Rota Sayısı	8	8	7	8
En Uzun Rota Süresi (dk)	302	302	302	302
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1812	2031	1522	1867
Temizlenen toplam İMNM adedi	686	846	456	686
Satın alınan toplam İMNM adedi	2424	2264	2357	2424
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	0	0	0	0
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1780	1570	2214	1818

Dinamik talep varsayımı altında iş birliği yapılmayan senaryonun çözümünde anahtar performans göstergeleri incelendiğinde (Tablo 34) toplam maliyeti en düşük olan çözümün 5611,2 TL ile talep azalışı olduğu durumda, toplam maliyeti en yüksek olan çözümün ise 8673,1 TL ile talep artışı olduğu durumda gerçekleştiği görülmektedir.

Statik talep varsayımıyla elde edilen çözümde toplam rota maliyeti 1965,9 TL iken, bu maliyet talep artışı olması durumunda artan ürün taleplerinden dolayı müşterilere daha sık ürün gönderimi ve araç kullanımında tedarikçilerin iş birliği yapmaması nedeniyle %10,51 artarak 2172,7 TL'ye, talepte rastgele değişim olması durumunda %0,6 artarak 1977,8 TL'ye ulaşmış; talep azalışı durumunda ise ürün gönderim sıklığının azalmasından dolayı %19 düşerek 1591,1 TL'ye gerilemiştir.

Statik talep varsayımıyla elde edilen çözümde toplam envanter maliyeti 1037,5 TL iken, talepte artış olması durumunda envanter maliyeti 1. ve 2. haftalarda müşteri envanterlerinde daha sonraki dönemler için stoklanan ürünlerin beklenenden daha erken kullanılabilmesi nedeniyle %24,91 azalarak 779 TL'ye, talepte rastgele değişim olması durumunda %0,6 azalarak 1031 TL'ye gerilemiş; talepte azalış olması durumunda ise ilk 2 haftada depolanan fakat planlama ufku sonunda depoda kalan ürünlerden dolayı %15,73 artarak 1200,7 TL'ye ulaşmıştır.

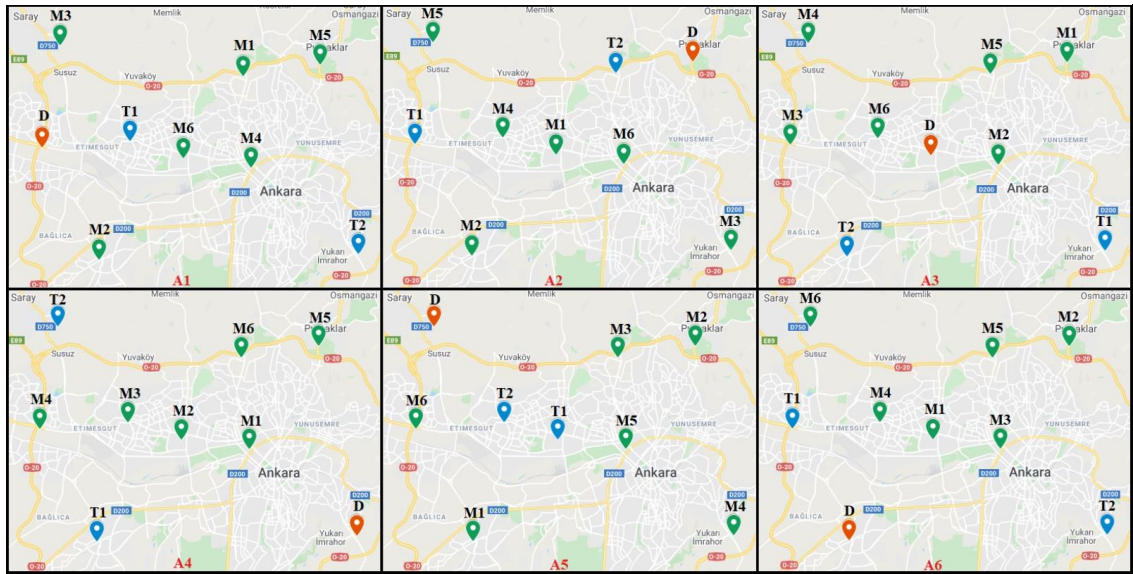
4.4. FARKLI VERİ SETLERİNİN KULLANILARAK İŞ BİRLİĞİ SENARYOLARININ STATİK VE DİNAMİK TALEP VARSAYIMLARI ALTINDA İNCELENMESİ

Bu bölümde, matematiksel modelin farklı veri setleri kullanılarak çalıştırılması yoluyla yatay iş birliğinin faydalarının farklı problem parametreleri kullanıldığında ne şekilde değiştiği analiz edilecektir. Bu amaçla, statik ve dinamik talep varsayımları altında matematiksel model, yukarıda analizleri yapılmış olan dört senaryo için düğümlerin lokasyonları mevcut noktalar arasında rastgele değiştirilerek oluşturulan altı farklı lokasyon setinde (A1, A2, A3, A4, A5, A6), geri kalan parametreler aynı kalmak

koşuluyla çalıştırılacaktır. Elde edilen çözümlerdeki anahtar performans göstergeleri tablo halinde gösterilecektir.

Şekil 2’de yeni tedarik zincirlerinin elemanlarının lokasyonları gösterilmiştir.

Şekil 7: A1, A2, A3, A4, A5 ve A6 Tedarik Zincirleri.



Depo: D, Tedarikçiler: T, Müşteriler: M.

4.4.1. Statik Talep Varsayımı Altında Rastgele Lokasyonlu Tedarik Zincirlerinde Modelin Çözümü Ve Analizi

Geliştirilen matematiksel model, statik talep varsayımı altında A1, A2, A3, A4, A5 ve A6 tedarik zincirleri için çözdürülmüştür. Çözümlerin özeti niteliğindeki anahtar performans göstergeleri, Tablo 35’te gösterilmiştir.

Yapılan bütün çözümlerde en düşük toplam maliyetin her zaman tam iş birliğinin gerçekleştiği durumlarda, en yüksek toplam maliyetin ise hiç iş birliği yapılmayan durumlarda olduğu gözlenmiştir. Tedarik zinciri unsurlarından en az birinin (tedarikçiler ya da müşteriler) iş birliği içinde olduğu durumlarda maliyet hiç iş birliği olmayan durumlara göre her zaman daha düşük olmaktadır. Ancak en düşük toplam

maliyet her zaman bütün unsurların kendi aralarında iş birliği yaptıkları durumlarda gerçekleşmiştir.

Sadece müşteri iş birliğinin yapıldığı ve hiç iş birliğinin yapılmadığı durumlarda oluşan toplam rota sayılarının ve toplam araç kullanım sürelerinin, diğer iş birliği senaryolarına göre daha fazla olduğu, kısacası tedarikçi iş birliğinin yapılmadığı durumlarda araç kullanım süresinin daha yüksek olduğu söylenebilir. Bu durum rota maliyetlerine de yansımış, tam iş birliği ve tedarikçi iş birliğinin yapıldığı durumlarda oluşa rota maliyetleri, diğer durumlara göre daha düşük gerçekleşmiştir. Öyle ki, tedarikçi iş birliğinin yapılmadığı durumlarda rota maliyetleri, müşteri iş birliği olmaksızın yalnızca tedarikçi iş birliğinin yapıldığı durumlara göre % 17,84 ile %79,23 arası artış göstermiştir.

Tablo 35: Statik talep varsayımı altında A1, A2, A3, A4, A5 ve A6 tedarik zincirlerinde iş birliği senaryolarının çözümlerinin anahtar performans göstergeleri.

KPI	A1 Lokasyon Seti				A2 Lokasyon Seti				A3 Lokasyon Seti			
	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1568,4	1607,9	2125,5	1950,2	1531	1587,6	2167,5	2186,9	1560,7	1641,3	1958,7	1868,4
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	672	1026,5	672	1137,5	672	1020,5	727,6	1085,5	672,2	1037,5	796,5	1037,5
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	364,8	322,4	276	229,6	343,2	362,4	296,8	347,2	358,4	368	276	276
Toplam IMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	280	259	280	238	280	259	273	245	280	259	266	252
Toplam IMNM Yükleme Maliyeti (TL)	168	91	119	63	133	119	119	126	154	126	105	77
Toplam Yeni IMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2198	2304	2420	2536	2252	2204	2368	2242	2214	2190	2420	2420
Toplam Ekstra Ürün Maliyeti (TL)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toplam Maliyet (TL)	5251,2	5610,8	5892,5	6154,3	5211,2	5552,5	5951,9	6232,6	5239,3	5621,8	5822,2	5930,9
Oluşan Toplam Rota Sayısı	6	6	8	8	6	6	8	8	6	6	8	8
En Uzun Rota Süresi (dk)	350	330	354	287	373	393	326	326	350	342	287	287
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1548	1442	2093	1826	1580	1591	2119	2078	1455	1528	1951	1826
Temizlenen toplam IMNM adedi	912	806	690	574	858	906	742	868	896	920	690	690
Satın alınan toplam IMNM adedi	2198	2304	2420	2536	2252	2204	2368	2242	2214	2190	2420	2420
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	910	0	290	0	885	0	290	0	1004	0	190	0
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1755	1755	1755	1780	1755	1755	1773	1780	1756	1780	1755	1780

KPI	A4 Lokasyon Seti				A5 Lokasyon Seti				A6 Lokasyon Seti			
	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1802,3	1824,1	2298,5	2128,1	1388	1260,2	2258,7	2006,8	1386,7	1662,6	1959,3	1933,1
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	663	1025,5	687	1073,5	708	1020,5	707	1025,5	707	1025,5	722	1026,3
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	361,6	368	276	184	358,4	319,2	358,4	341,6	248	360,8	348,8	360,8
Toplam IMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	287	259	280	252	280	259	280	259	280	259	273	259
Toplam IMNM Yükleme Maliyeti (TL)	147	126	119	49	140	91	140	119	119	126	133	126
Toplam Yeni IMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2206	2190	2420	2650	2214	2312	2214	2256	2490	2208	2238	2208
Toplam Ekstra Ürün Maliyeti (TL)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toplam Maliyet (TL)	5466,9	5792,6	6080,5	6336,6	5088,4	5261,9	5958,1	6007,9	5230,7	5641,9	5674,1	5913,2
Oluşan Toplam Rota Sayısı	6	6	8	8	6	6	8	8	6	6	8	8
En Uzun Rota Süresi (dk)	410	383	336	336	302	295	310	309	290	347	328	328
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1634	1680	2109	1818	1500	1391	2097	1962	1451	1591	2017	1960
Temizlenen toplam IMNM adedi	904	920	690	460	896	798	896	854	620	902	872	902
Satın alınan toplam IMNM adedi	2206	2190	2420	2650	2214	2312	2214	2256	2490	2208	2238	2208
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	780	0	260	0	240	0	240	0	920	0	240	0
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1755	1780	1755	1780	1760	1755	1755	1780	1755	1780	1755	1784

Söz konusu artış, tam iş birliği durumları değerlendirildiğinde ise genel olarak daha yüksektir. Bu durumun sebebi olarak, araçların tedarikçi iş birliğinin olduğu durumlarda birden fazla tedarikçinin ürününü taşıyarak daha verimli rotalar oluşturabilmesi

gösterilebilir. Bu şekilde bir aracın bir haftada yalnızca bir tedarikçi ile çalışması durumu ortadan kalkmakta ve oluşan rota sayısı ile araç kullanım süresi düşmekte, rota maliyetleri de azalmaktadır.

Müşterilerin kendi aralarında ürün gönderimleri incelendiğinde, kısıtlanmayan bütün durumlarda ürün gönderiminin yapıldığı görülmektedir. Çoğu durumda tam iş birliği yapıldığında müşteriler arası gönderilen ürün miktarı, yalnızca müşteriler arası iş birliği yapıldığı durumda gönderilen ürün miktarından oldukça fazladır. Hem tedarikçilerin hem de müşterilerin iş birliği yapması durumunda müşteriler arasında ürün gönderimi ve depolama maliyetinin az, envanter limitinin fazla olduğu müşterilerde diğer müşterilere gönderilmek üzere envanter bulundurma eğilimi yükselmekte, rota maliyetine katlanmak yerine model müşteriler arasında ürün sevkiyatını daha çok tercih etmektedir.

A5 lokasyon seti incelendiğinde, bu setin tedarikçiler düzeyinde iş birliği yapılan senaryolar arasında ve tam iş birliği senaryoları arasında en düşük toplam maliyetli, neredeyse bütün durumlarda da en düşük rotalama maliyetli çözüme sahip lokasyon seti olduğu görülmektedir. Bu durum, tedarikçilerin konumlarının oldukça yakın olmasından kaynaklanmıştır. Şekil 2’de tedarikçilerin konumlarının en yakın olduğu lokasyon setinin A5 seti olduğu görülmektedir. Tedarikçi iş birliğinin yapıldığı durumlarda araçların iki tedarikçi düğümü arasında az mesafe kat ederek operasyonlarını sürdürebilmeleri, diğer lokasyon setlerine oranla bu senaryolarda ve bu lokasyon setinde toplam maliyetin ve rotalama maliyetinin daha düşük olmasında etkili olmuştur.

4.4.2. Dinamik Talep Varsayımı Altında Rastgele Lokasyonlu Tedarik Zincirlerinde Modelin Çözümü Ve Analizi

Dinamik talep varsayımı altında rastgele lokasyonlu tedarik zincirlerinde model çözümlerine dair anahtar performans göstergeleri özeti. Tablo 36’da gösterilmiştir.

Tablo incelendiğinde bütün lokasyon setlerinde taleplerde azalış gerçekleşmesi durumunda envanter maliyetlerinin ve toplam envanter miktarlarının , diğer senaryolara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi, 2. haftanın sonunda azalan talep miktarlarından dolayı, ilk ve ikinci haftalarda sonraki haftalar için müşteri

envanterlerinde depolanan ürünlerin bir kısmının, planlama ufkunun sonunda kullanılmadan ve başka müşterilere gönderilemeden müşteri envanterlerinde kalmış olmasıdır. Ayrıca taleplerde azalma olması durumunda temizlenen toplam İMNM sayısı ve toplam temizlik maliyetleri , diğer senaryolara göre daha düşüktür. Bu duruma sebep olarak azalan taleplerden dolayı 3. ve 4. haftalarda ihtiyaç duyulan ürün miktarının düşmesi, dolayısıyla ürünleri yerleştirecek boş İMNM talebinin de düşmesi, bunun neticesinde de 3. haftada temizlenmek üzere toplanan boş İMNM sayısının da ek yükleme maliyetine katlanmamak için düşmesi gösterilebilir.

Bütün lokasyon setlerinde tam iş birliği yapılma durumu, bütün talep değişim senaryoları için en ucuz toplam maliyetli seçenek olmuştur. Hiç iş birliği yapılmayan durum ise, talebin statik, artan veya rastgele olma durumlarında daima toplam operasyon maliyeti en yüksek seçenek olmuştur. Talepte azalış olması durumunda ise bazı lokasyon setlerinde müşteri iş birliği ya da tedarikçi iş birliği senaryoları, en yüksek toplam maliyetli seçenekler olmuşlardır. Bu durumun sebebi, ilk 2 haftada verilen operasyonel kararlardır. Planlama ufkunun başlangıcında, talepte dalgalanma olmayacağı öngörüsüyle yapılan envanter planlaması, 2. haftadan sonra azalan ürün taleplerinden dolayı 3. haftadan itibaren planlanan şekilde uygulanamamaya başlamaktadır. İş birliği kurulan senaryolar ile kurulmayan senaryolarda envanter planlaması ilk turdan itibaren farklı seyretmekte, envanterlerin tutulduğu müşteriler, envanter sayıları her senaryoda değişmektedir. Benzer şekilde, modele üçüncü haftanın başından itibaren parametre olarak verilen azalan talep miktarları da, her senaryoda planlama ufkunun geri kalanında verilecek olan kararları farklı şekilde etkilemektedir. Talepteki bu değişkenlik, ilk iki hafta verilen kararların durumuna göre geri kalan süreçte bazı durumlarda iş birliği yapılan senaryolarda iş birliği yapılmayan senaryolara oranla maliyet kalemlerinin artmasına sebep olabilmektedir. A3 ve A5 lokasyon setlerinde azalan talep olması durumunda hiç iş birliği yapılmayan durumların maliyeti en yüksek senaryo olmayışları, bahsedilen bu duruma örnek olarak gösterilebilir.

Tablo 36: Dinamik talep varsayımı altında rastgele lokasyonlu tedarik zincirlerinde model çözümlerine dair anahtar performans göstergeleri özeti.

KPI	A1 Lokasyon Seti - Artan Talep				A1 Lokasyon Seti - Azalan Talep				A1 Lokasyon Seti - Rassal Talep				A1 Lokasyon Seti - Statik Talep			
	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1664,7	1828,4	2387,9	2141,4	1361,8	1409,7	1856,5	1605,2	1569,3	1637,4	2144	1996,9	1568,4	1607,9	2125,5	1950,2
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	564,6	768	588,8	871,5	884,2	1176,3	1073,1	1292,7	690,5	981,4	704,4	1131	672	1026,5	672	1137,5
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	364,8	322,4	368	229,6	204,8	224	208	131,2	364,8	323,2	276	232,8	364,8	322,4	276	229,6
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	308	294	294	287	294	231	245	217	287	280	287	259	280	259	280	238
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	175	91	140	56	119	63	91	49	168	91	119	70	168	91	119	63
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2198	2304	2190	2536	2190	2232	2190	2481	2198	2302	2420	2528	2198	2304	2420	2536
Toplam Ekstra Ürün Maliyeti (TL)	2720	2720	2720	2720	0	0	0	0	305	430	305	430	0	0	0	0
Toplam Maliyet (TL)	7995,1	8327,8	8688,7	8841,5	5053,8	5336	5663,6	5776,1	5582,6	6045	6255,4	6647,7	5251,2	5610,8	5892,5	6154,3
Oluşan Toplam Rota Sayısı	7	7	8	8	6	6	7	7	6	6	8	8	6	6	8	8
En Uzun Rota Süresi (dk)	388	356	354	322	329	315	354	254	352	388	354	354	350	330	354	287
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1631	1648	2271	2052	1365	1330	1853	1569	1550	1500	2118	1911	1548	1442	2093	1826
Temizlenen toplam İMNM adedi	912	806	920	574	512	560	520	328	912	808	690	582	912	806	690	574
Satın alınan toplam İMNM adedi	2198	2304	2190	2536	2190	2232	2190	2481	2198	2302	2420	2528	2198	2304	2420	2536
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	1299	0	172	0	898	0	181	0	930	0	220	0	910	0	290	0
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1521	1545	1528	1570	2132	2160	2148	2206	1761	2302	1761	1818	1755	1755	1755	1780
KPI	A2 Lokasyon Seti - Artan Talep				A2 Lokasyon Seti - Azalan Talep				A2 Lokasyon Seti - Rassal Talep				A2 Lokasyon Seti - Statik Talep			
	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1664,9	1758	2429,6	2386,9	1403,8	1479,2	1884,6	1880,5	1534,9	1587,6	2175,8	2160,8	1531	1587,6	2167,5	2186,9
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	559,2	754,5	614,8	819,5	820,9	1283,9	1116,7	1309,7	691,5	975,4	762,7	1082,5	672	1020,5	727,6	1085,5
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	343,2	362,4	368	360	183,2	223,6	208	200	343,2	362,4	296,8	292	343,2	362,4	296,8	347,2
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	308	294	308	294	287	238	245	224	287	280	280	266	280	259	273	245
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	133	119	140	126	91	70	91	70	133	119	119	98	133	119	119	126
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2252	2204	2190	2210	2190	2213	2190	2309	2252	2204	2368	2380	2252	2204	2368	2242
Toplam Ekstra Ürün Maliyeti (TL)	2720	2720	2720	2720	0	0	0	0	305	430	305	430	0	0	0	0
Toplam Maliyet (TL)	7980,3	8211,9	8770,4	8916,4	4975,9	5507,7	5735,3	5993,2	5546,6	5958,4	6307,3	6709,3	5211,2	5552,5	5951,9	6232,6
Oluşan Toplam Rota Sayısı	7	7	8	8	6	6	7	7	6	6	8	8	6	6	8	8
En Uzun Rota Süresi (dk)	388	393	326	326	269	329	326	326	351	393	326	326	373	393	326	326
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1680	1754	2363	2266	1429	1444	1837	1781	1558	1591	2141	2088	1580	1591	2119	2078
Temizlenen toplam İMNM adedi	858	906	920	900	458	559	520	500	858	906	742	730	858	906	742	868
Satın alınan toplam İMNM adedi	2252	2204	2190	2210	2190	2213	2190	2309	2252	2204	2368	2380	2252	2204	2368	2242
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	1154	0	313	0	927	0	181	0	901	0	294	0	885	0	290	0
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1521	1545	1539	1570	2024	2196	2166	2252	1761	1793	1779	1811	1755	1755	1773	1780

KPI	A3 Lokasyon Seti - Artan Talep				A3 Lokasyon Seti - Azalan Talep				A3 Lokasyon Seti - Rassal Talep				A3 Lokasyon Seti - Statik Talep			
	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1581,6	1824,1	1943,9	1905,7	1305	1425	1647,9	1599,7	1565,9	1664,3	1929,9	1981,9	1560,7	1641,3	1958,7	1868,4
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	607	771,5	628,3	771,5	865,2	1384,2	924,3	1165,2	690,7	995,9	826,4	995	672,2	1037,5	796,5	1037,5
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	357,6	368	208	208	198,4	208	182,4	184	358,4	368	276	272,8	358,4	368	276	276
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	294	294	294	294	294	231	238	217	287	280	273	273	280	259	266	252
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	161	126	77	70	112	70	77	49	154	133	98	77	154	126	105	77
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2216	2190	2590	2590	2190	2199	2190	2259	2214	2190	2420	2428	2214	2190	2420	2420
Toplam Ekstra Ürün Maliyeti (TL)	2720	2720	2720	2720	0	0	0	0	305	430	315	430	0	0	0	0
Toplam Maliyet (TL)	7937,2	8293,6	8461,2	8559,2	4964,6	5517,2	5259,6	5473,9	5575	6061,2	6138,3	6457,7	5239,3	5621,8	5822,2	5930,9
Oluşan Toplam Rota Sayısı	7	7	8	8	6	6	7	7	6	6	8	8	6	6	8	8
En Uzun Rota Süresi (dk)	350	361	287	287	350	337	287	287	356	342	287	287	350	342	287	287
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1490	1667	1985	1930	1282	1338	1694	1563	1476	1528	1944	1941	1455	1528	1951	1826
Temizlenen toplam İMNM adedi	894	920	520	520	496	520	456	460	896	920	690	682	896	920	690	690
Satın alınan toplam İMNM adedi	2216	2190	2590	2590	2190	2199	2190	2259	2214	2190	2420	2428	2214	2190	2420	2420
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	1224	0	73	0	1008	0	265	0	1024	0	100	0	1004	0	190	0
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1529	1570	1528	1570	2101	2182	1854	2021	1762	1811	1763	1811	1756	1780	1755	1780
KPI	A4 Lokasyon Seti - Artan Talep				A4 Lokasyon Seti - Azalan Talep				A4 Lokasyon Seti - Rassal Talep				A4 Lokasyon Seti - Statik Talep			
	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1898,8	2006,7	2447,1	2239,1	1567,1	1634,7	1924,6	1872,1	1802,3	1847,3	2310,2	2166,8	1802,3	1824,1	2298,5	2128,1
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	596,3	783	606,8	759,5	865,6	1229,1	1057,7	1132,7	668,5	973,4	699	1015,4	663	1025,5	687	1073,5
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	361,6	368	367,2	184	201,6	208	208	184	361,6	368	276	184	361,6	368	276	184
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	294	294	294	294	294	238	245	231	294	280	287	273	287	259	280	252
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	147	126	133	49	105	70	91	49	154	126	126	49	147	126	119	49
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2206	2190	2192	2650	2190	2309	2190	2259	2206	2190	2420	2650	2206	2190	2420	2650
Toplam Ekstra Ürün Maliyeti (TL)	2720	2720	2720	2720	0	0	0	0	305	430	305	430	0	0	0	0
Toplam Maliyet (TL)	8223,7	8487,7	8760,1	8895,6	5223,3	5688,8	5716,3	5727,8	5791,4	6214,7	6423,2	6768,2	5466,9	5792,6	6080,5	6336,6
Oluşan Toplam Rota Sayısı	7	7	8	8	6	6	7	7	6	6	8	8	6	6	8	8
En Uzun Rota Süresi (dk)	381	410	336	336	362	362	336	257	410	410	336	336	410	383	336	336
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1669	1888	2229	2001	1407	1484	1786	1654	1634	1735	2163	1915	1634	1680	2109	1818
Temizlenen toplam İMNM adedi	904	920	918	460	504	520	520	460	904	920	690	460	904	920	690	460
Satın alınan toplam İMNM adedi	2206	2190	2192	2650	2190	2309	2190	2259	2206	2190	2420	2650	2206	2190	2420	2650
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	765	0	58	0	766	0	214	0	834	0	291	0	780	0	260	0
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1528	1617	1528	1570	2116	2292	2148	2021	1761	1811	1761	1818	1755	1780	1755	1780

KPI	A5 Lokasyon Seti - Artan Talep				A5 Lokasyon Seti - Azalan Talep				A5 Lokasyon Seti - Rassal Talep				A5 Lokasyon Seti - Statik Talep			
	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1473	1449	2220	2166,2	1306	1227	1914	1719,8	1413	1325	2159	2122,4	1388	1260	2259	2006,8
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	656,5	762	655,5	767	963,6	1211	1085	1291,2	732,9	978,9	848,2	973,4	708	1021	707	1025,5
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	358,4	319,2	358,4	338,4	198,4	203,6	198,4	204,4	358,4	319,2	357,6	336	358,4	319,2	358,4	341,6
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	294	294	294	294	266	231	245	217	287	280	273	280	280	259	280	259
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	126	91	126	105	98	63	91	70	147	91	133	105	140	91	140	119
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2214	2312	2214	2264	2190	2190	2190	2192	2214	2312	2216	2270	2214	2312	2214	2256
Toplam Ekstra Ürün Maliyeti (TL)	2720	2720	2720	2720	0	0	0	0	305	430	315	430	0	0	0	0
Toplam Maliyet (TL)	7842	7948	8587	8654,6	5022	5125	5723	5694,4	5457	5736	6301	6516,8	5088	5262	5958	6007,9
Oluşan Toplam Rota Sayısı	7	7	8	8	6	6	7	7	6	6	8	8	6	6	8	8
En Uzun Rota Süresi (dk)	331	331	310	309	284	295	310	309	306	331	310	309	302	295	310	309
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1600	1544	2125	2076	1380	1360	1815	1668	1544	1428	2112	2039	1500	1391	2097	1962
Temizlenen toplam İMNM adedi	896	798	896	846	496	509	496	511	896	798	894	840	896	798	896	854
Satın alınan toplam İMNM adedi	2214	2312	2214	2264	2190	2190	2190	2192	2214	2312	2216	2270	2214	2312	2214	2256
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	35	0	35	0	216	0	169	0	185	0	43	0	240	0	240	0
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1550	1545	1545	1570	2105	2025	2100	2104	1766	1786	1763	1811	1760	1755	1755	1780
KPI	A6 Lokasyon Seti - Artan Talep				A6 Lokasyon Seti - Azalan Talep				A6 Lokasyon Seti - Rassal Talep				A6 Lokasyon Seti - Statik Talep			
	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan	Tam İB	Tİ	Mİ	İB Olmadan
Toplam Rota Maliyeti (TL)	1621	1890	2053	2050,7	1260	1468	1661	1619,8	1430	1714	2037	1997,5	1387	1663	1959	1933,1
Toplam Envanter Maliyeti (TL)	622,7	772,8	633,8	777,1	907,8	1223	946	1250,9	731,9	980,4	745,7	981,2	707	1026	722	1026,3
Toplam Temizlik Maliyeti (TL)	339,2	360,8	348,8	360,8	180	245,6	188,8	245,6	248	360,8	348,8	360,8	248	360,8	348,8	360,8
Toplam İMNM Boşaltım Maliyeti (TL)	294	294	294	294	266	231	259	231	287	280	280	280	280	259	273	259
Toplam İMNM Yükleme Maliyeti (TL)	140	126	126	126	91	84	84	84	126	126	140	126	119	126	133	126
Toplam Yeni İMNM Satın Alım Maliyeti (TL)	2262	2208	2238	2208	2218	2199	2190	2197	2490	2208	2238	2208	2490	2208	2238	2208
Toplam Ekstra Ürün Maliyeti (TL)	2720	2720	2720	2720	0	0	0	0	305	430	305	430	0	0	0	0
Toplam Maliyet (TL)	7999	8371	8414	8536,6	4923	5450	5329	5628,3	5618	6099	6095	6383,5	5231	5642	5674	5913,2
Oluşan Toplam Rota Sayısı	7	7	8	8	6	6	8	7	6	6	8	8	6	6	8	8
En Uzun Rota Süresi (dk)	362	429	328	328	265	303	328	328	334	429	328	328	290	347	328	328
Toplam Araç Kullanım Süresi (dk)	1649	1856	2145	2121	1332	1465	1751	1680	1503	1673	2112	2045	1451	1591	2017	1960
Temizlenen toplam İMNM adedi	848	902	872	902	450	614	472	614	620	902	872	902	620	902	872	902
Satın alınan toplam İMNM adedi	2262	2208	2238	2208	2218	2199	2190	2197	2490	2208	2238	2208	2490	2208	2238	2208
Müşteriler Arası Gönderilen Ürün Adedi	1013	0	35	0	885	0	215	0	865	0	164	0	920	0	240	0
Toplam Dönem Sonu Envanter Miktarı	1521	1566	1554	1550	2036	2260	2052	2260	1761	1818	1761	1822	1755	1780	1755	1784

SONUÇ

Bu tez çalışmasında, CIRP için bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel modelin amaç fonksiyonu; araç rotalaması, envanter tutma, İMNM temizlik, yükleme ve boşaltımı ve yeni İMNM satın alım maliyet kalemlerinin toplamı olan genel maliyetin minimize edilmesine yönelik olarak oluşturulmuştur. İncelenen problemde planlama ufku çok dönemli, talep türü deterministik olarak ele alınmış, homojen ve birden çok araçtan oluşan bir araç filosunun kullanımı ile birden çok ürünün birden çok tedarikçiden alınarak birden çok müşteriye ulaştırılması için minimum maliyetli rotalar ve envanter planları oluşturmak hedeflenmiştir. Planlama ufku içerisinde ürünlerin dağıtımını İMNM ile yapılmış, ilerleyen zaman periyotlarında kullanılmak üzere müşterilerden geri akışlarda belli oranda toplanabilen İMNM'lerinin temizlik için tedarikçilere teslim edilmesi modele dahil edilmiştir. Nümerik analizleri yapmak için oluşturulan veri setinde depo, tedarikçi ve müşteri lokasyonları, Ankara'da yer alan büyük alışveriş merkezlerinden rastgele olarak seçilmiş, seçilen düğümler arasındaki mesafe ve seyahat süresi bilgileri Google Haritalar uygulamasından alınmıştır. Ürün talepleri, araç taşıma kapasitesi, tedarikçilerde mevcut halde bulunan ürün miktarları, İMNM geri dönüş oranı gibi parametreler ise hipotetik olarak ele alınmıştır. Araçların yollardaki seyahatleri esnasında tükettikleri yakıtın maliyeti, düğümler arasındaki mesafeye ve bu teze dair nümerik analizlerin yapıldığı zamanda Ankara'daki güncel akaryakıt fiyatlarına göre belirlenmiştir (detaylı bilgi için bkz: Bölüm 4.1. Veri Setinin Tanıtılması.).

Nümerik analiz bölümünde, yatay iş birliğinin faydaları statik ve dinamik taleplerin varlığında incelenmiştir. Bu incelemeyi yapmak için, yatay iş birliği açısından dört senaryo oluşturulmuştur. İlk senaryoda, müşteriler ve tedarikçilerin kendi aralarında yatay iş birliği yapabildikleri varsayılmış, bu şekilde tam iş birliğinin olduğu senaryo için matematiksel modelde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. İkinci senaryoda yalnızca tedarikçilerin kendi aralarında yatay iş birliği kurmaları sağlanmış, müşterilerin kendi aralarında iş birliklerine ise izin verilmemiştir. Söz konusu senaryoyu uygulamak için matematiksel modelde müşterilerin birbirlerine ürün göndermeleri ek kısıtlar yoluyla engellenmiştir. Üçüncü senaryoda ise yalnızca müşterilerin birbirleri ile iş birliği içinde

oldukları durum incelenmiştir. Bu senaryoyu oluşturmak için ise matematiksel modelde ek kısıtlar yoluyla araçların her zaman periyodu içinde yalnızca tek bir tedarikçinin tedarik ettiği ürünü taşımasına izin verilmiş, bu şekilde tedarikçiler arasında herhangi bir iş birliği yapılmaması sağlanmıştır. Dördüncü senaryoda ise tedarik zinciri içinde hiçbir unsurun iş birliği yapmaması, iki ve üçüncü senaryolarda kullanılan ek kısıtların aynı anda matematiksel modele eklenmesi yoluyla incelenebilmiştir.

Statik ve dinamik talepler altında incelemeler yapılırken, öncelikle talebin planlama ufkunun başlangıcından itibaren bilindiği ve bu süre zarfında değişmediği statik talep varsayımı altında senaryolara ait matematiksel modeller örnek veri setinde çözdürülüp raporlanmıştır. Daha sonra, talebin ilk iki zaman periyodunda planlama ufkunun başında bilinen şekilde gerçekleştiği, sonraki dönemlerde ise farklılaştığı dinamik talep varsayımı altında model her senaryo için tekrar çözdürülmüştür. Bu aşamada talepteki değişim de artan talep, azalan talep ve rastgele değişen talep olmak üzere üç alt senaryo şeklinde kurgulanmıştır. Dinamik talep varsayımı altında matematiksel model çalıştırılırken, her senaryo için ilk iki zaman periyodunda alınan bütün kararların korunması sağlanmış, üçüncü ve dördüncü zaman periyotlarında alınan bütün kararların korunan ilk iki zaman periyodu kararlarının üzerine alınmasına dikkat edilmiştir.

Çalışmanın son kısmında, oluşturulan matematiksel modelin farklı veri setleri kullanılarak çalıştırılması yoluyla yatay iş birliğinin faydalarının farklı problem parametreleri kullanıldığında ne şekilde değiştiği analiz edilmiştir. Bu amaçla, statik ve dinamik talep varsayımları altında matematiksel model, yukarıda bahsedilen dört senaryo için düğümlerin lokasyonları mevcut noktalar arasında rastgele değiştirilerek oluşturulan altı farklı lokasyon setinde (A1, A2, A3, A4, A5, A6), geri kalan parametreler aynı kalmak koşuluyla çalıştırılmıştır.

Yapılan bütün nümerik analizler sonucunda elde edilen bulgular, aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Taleplerin statik ya da dinamik oluşu fark etmeksizin, bütün lokasyon setlerinde ve durumlarda tam iş birliği en düşük toplam maliyetli çözümleri üretmiştir.
- Taleplerin statik, dinamik artan olduğu veya dinamik rassal değiştiği durumlarda, hiç iş birliği yapılmaması durumu incelenen lokasyon setleri içinde daima toplam maliyeti en yüksek çözüm olmuştur. Dinamik azalan taleplerin gerçekleştiği

durumlarda ise nadiren hiç iş birliği yapılmamasının yalnızca müşterilerin ya da yalnızca tedarikçilerin iş birliği yapmaları durumundan daha az maliyetli olduğu görülmüştür.

- Taleplerin statik olması durumunda, incelenen lokasyon setleri içinde sadece tedarikçilerin iş birliği yapmaları, sadece müşterilerin iş birliği yapmalarından daha az maliyetli olmuştur. Maliyetler arasında oluşan farkın tedarikçilerin konumları birbirlerine yaklaştıkça arttığı gözlenmiştir. Taleplerin dinamik olarak değişmesi durumunda ise nadiren sadece müşterilerin iş birliği yapmaları, sadece tedarikçilerin iş birliği yapmalarından daha az maliyetli çözümler oluşturmuştur.
- Taleplerin statik ya da dinamik oluşu fark etmeksizin, incelenen lokasyon setleri içinde rota maliyetlerinin; tedarikçi iş birliğinin yapılmadığı durumlarda, yapıldığı durumlara oranla oldukça yükseldiği gözlenmiştir.
- Taleplerin statik ya da dinamik oluşu fark etmeksizin, incelenen lokasyon setleri içinde envanter maliyetlerinin; müşteri iş birliğinin yapılmadığı durumlarda, yapıldığı durumlara oranla oldukça yükseldiği gözlenmiştir.
- Taleplerin dinamik azalan olduğu durumlarda, envanter maliyetlerinin artan talep, statik talep ve rassal talep durumları ile karşılaştırıldığında yükseldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca bu durumda, planlama ufkunun sonunda bazı müşteri depolarında kullanılmayan ürünlerin kaldığı tespit edilmiştir.
- Taleplerin statik ya da dinamik oluşu fark etmeksizin, toplam araç kullanım süresinin ve oluşan toplam rota sayısının tedarikçilerin iş birliği yapmaları durumunda, yapmadıkları duruma göre daha düşük olduğu gözlenmiştir.
- Taleplerin statik ya da dinamik oluşu fark etmeksizin, çoğu durumda sadece müşteriler arasında iş birliği yapılırken müşterilerin kendi aralarındaki alışveriş miktarları, tam iş birliğinin yapıldığı duruma göre düşük gerçekleşmiştir. Nadiren bu iki durumda eşit miktarda ürün alışverişi olduğu gözlenmiştir.
- Taleplerin dinamik olarak arttığı durumlarda, oluşan ek ürün satın alımı maliyetinden dolayı tedarik zincirlerinin toplam operasyon maliyetleri, diğer dinamik talep değişiklikleri ve statik talep durumları ile karşılaştırıldığında yükselmiştir. Taleplerin rassal değiştiği durumlarda da ek ürünlerin tedarik edildiği görülmüştür.

Bu çalışma, CIRP’de İMNM’nin yönetimini konu alan, yatay iş birliğinin statik ve dinamik talepler altında faydalarının incelendiği bir probleme yönelik geliştirilen bir karma tam sayılı matematiksel model ile literatüre katkı sağlamayı ve benzer durumlarla karşılaşan karar vericilerin karar verme süreçlerinde yardımcı olmayı hedeflemektedir. Bu çalışmadan elde edilen veriler doğrultusunda, talebin statik olması ya da dinamik olarak değişmesi fark etmeksizin, yatay lojistik iş birliklerinin hem müşteriler, hem de tedarikçiler arasında eş zamanlı olarak kurulması durumunda diğer iş birliği senaryolarına göre daha düşük toplam tedarik zinciri maliyetlerinin oluşacağı gösterilmiştir. Bunun yanında, tedarikçilerin iş birliği yapmalarının incelenen bütün durumlarda toplam rota maliyetlerinde ciddi oranda azalma yarattığı gösterilmiş, benzer şekilde envanter tutma maliyetlerinin de müşterilerin iş birliği içinde oldukları durumlarda oldukça düştüğü gösterilmiştir. Kısacası, kurulan yatay lojistik iş birliklerinin tedarik zincirinin hangi elemanları arasında kurulduğu, tedarik zinciri boyunca oluşan toplam maliyetin farklı kalemlerini farklı şekillerde etkilemektedir. Bu tarz yatay iş birlikleri kurmayı hedefleyen yöneticiler, öncelikle kendi tedarik zincirlerinde meydana gelen maliyetleri değerlendirmeli, daha sonra ise bu maliyetlerin birbirine oranlarına göre kurulacak yatay iş birliklerinin türüne karar vermelidirler. Bu çalışmada geliştirilen matematiksel model, karar vericilere bu noktada destek olabilmeyi amaçlamaktadır.

Gelecekte bu problemde deterministik olarak ele alınan taleplerin stokastik şekilde gelişiminin matematiksel modele entegre edilmesinin faydalı bir çalışma konusu olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca benzer bir problemin daha büyük ölçekli versiyonlarının kabul edilebilir bir sürede çözümü için bir sezgisel yaklaşım algoritmasının geliştirilmesi de mümkündür. Son olarak, amaç fonksiyonunda maliyet unsurlarının yanı sıra araçların operasyonlarından kaynaklanan karbon emisyonunu da minimize eden bir matematiksel model ile yatay iş birliğinin sürdürülebilirliğe katkılarının incelenmesinin literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Achamrah, F. E., Riane, F., Bouras, A., & Sahin, E. (2020, February). Collaboration Mechanism for Shared Returnable Transport Items in Closed Loop Supply Chains. In *ICORES* (pp. 247-254).
- 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.
- Alkaabneh, F., Diabat, A., & Gao, H. O. (2020). Benders decomposition for the inventory vehicle routing problem with perishable products and environmental costs. *Computers & Operations Research*, *113*, 104751.
- Ambe, I. M. (2012). The perspectives of supply chain management in the public sector. *Journal of Contemporary Management*, *9*(1), 132-149.
- Andersson, H., Hoff, A., Christiansen, M., Hasle, G., & Løkketangen, A. (2010). Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing. *Computers & Operations Research*, *37*(9), 1515-1536.
- Angulo, A., Nachtmann, H., & Waller, M. A. (2004). Supply chain information sharing in a vendor managed inventory partnership. *Journal of business logistics*, *25*(1), 101-120.
- Archetti, C., Christiansen, M., & Speranza, M. G. (2018). Inventory routing with pickups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, *268*(1), 314-324.
- Archetti, C., Speranza, M. G., Boccia, M., Sforza, A., & Sterle, C. (2020). A branch-and-cut algorithm for the inventory routing problem with pickups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, *282*(3), 886-895.
- Atmaca, E. (2012). Bir kargo şirketinde araç rotalama problemi. *Tübvav Bilim Dergisi*, *5*(2), 12-27.
- “Avustralya İstatistik Bürosu”, Son Erişim: 24 Ağustos 2021, <https://www.abs.gov.au/statistics/industry/tourism-and-transport/survey-motor-vehicle-use-australia/latest-release>.

- Babagolzadeh, M., Shrestha, A., Abbasi, B., Zhang, Y., Woodhead, A., & Zhang, A. (2020). Sustainable cold supply chain management under demand uncertainty and carbon tax regulation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 80, 102245.
- Bahrami, K. (2002). Improving supply chain productivity through horizontal cooperation—The case of consumer goods manufacturers. In *Cost management in supply chains* (pp. 213-232). Physica, Heidelberg.
- Bell, W. J., Dalberto, L. M., Fisher, M. L., Greenfield, A. J., Jaikumar, R., Kedia, P., ... & Prutzman, P. J. (1983). Improving the distribution of industrial gases with an on-line computerized routing and scheduling optimizer. *Interfaces*, 13(6), 4-23.
- Bertazzi, L., & Speranza, M. G. (2013). Inventory routing problems with multiple customers. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 2(3), 255-275.
- Cachon, G. P., Randall, T., & Schmidt, G. M. (2007). In search of the bullwhip effect. *Manufacturing & Service Operations Management*, 9(4), 457-479.
- Campbell, A., Clarke, L., Kleywegt, A., & Savelsbergh, M. (1998). The inventory routing problem. In *Fleet management and logistics* (pp. 95-113). Springer, Boston, MA.
- Cárdenas-Barrón, L. E., González-Velarde, J. L., Treviño-Garza, G., & Garza-Nuñez, D. (2019). Heuristic algorithm based on reduce and optimize approach for a selective and periodic inventory routing problem in a waste vegetable oil collection environment. *International Journal of Production Economics*, 211, 44-59.
- Chekoubi, Z., Trabelsi, W., & Sauer, N. (2018, April). The integrated production-inventory-routing problem in the context of reverse logistics: The case of collecting and remanufacturing of EOL products. In *2018 4th international conference on optimization and applications (ICOA)* (pp. 1-6). IEEE.
- Chen, Y. J. (2011). Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. *Information Sciences*, 181(9), 1651-1670.
- Chopra, S., Meindl, P., & Kalra, D. V. (2013). Supply chain management: strategy, planning, and operation (Vol. 232).

- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management*. Pearson Uk.
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations research*, 12(4), 568-581.
- Cobb, B. R. (2016). Inventory control for returnable transport items in a closed-loop supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 86, 53-68.
- Cruijssen, 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.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91.
- Darvish, M., Archetti, C., & Coelho, L. C. (2019). Trade-offs between environmental and economic performance in production and inventory-routing problems. *International Journal of Production Economics*, 217, 269-280.
- De Jaegere, N., Defraeye, M., & Van Nieuwenhuysse, I. (2014). The vehicle routing problem: state of the art classification and review. *FEB Research Report KBI_1415*.
- Deng, S., Li, Y., Guo, H., & Liu, B. (2016). Solving a closed-loop location-inventory-routing problem with mixed quality defects returns in e-commerce by hybrid ant colony optimization algorithm. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2016.
- Dündar, H., Ömürgönülşen, M., & Soysal, M. (2021). A review on sustainable urban vehicle routing. *Journal of Cleaner Production*, 285, 125444.
- Düzakın, E., & Demircioğlu, M. (2009). Araç rotalama problemleri ve çözüm yöntemleri. *Iktisadi ve Idari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Turkey*.
- Edirisinghe, N. C. P., & James, R. J. (2014). Fleet routing position-based model for inventory pickup under production shutdown. *European Journal of Operational Research*, 236(2), 736-747.

- Cooper, M. C., & Ellram, L. M. (1993). Characteristics of supply chain management and the implications for purchasing and logistics strategy. *The international journal of logistics management*.
- Fang, X., Du, Y., & Qiu, Y. (2017). Reducing carbon emissions in a closed-loop production routing problem with simultaneous pickups and deliveries under carbon cap-and-trade. *Sustainability*, 9(12), 2198.
- 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.
- Flapper, S. D., van Nunen, J., & Van Wassenhove, L. N. (Eds.). (2005). *Managing closed-loop supply chains*. Springer Science & Business Media.
- Freitag, M.; Kück, M.; Becker, T. (2016). Potentials and Risks of Resource Sharing in Production and Logistics. In: Delfmann, W.; Wimmer, Th. (eds.): *Proceedings of the 8th International Scientific Symposium on Logistics* (pp. 199-209) BVL, Karlsruhe, Germany.
- Giannoccaro, I., & Pontrandolfo, P. (2004). Supply chain coordination by revenue sharing contracts. *International journal of production economics*, 89(2), 131-139.
- Golsefidi, A. H., & Jokar, M. R. A. (2020). A robust optimization approach for the production-inventory-routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Computers & Industrial Engineering*, 143, 106388.
- Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European journal of operational research*, 240(3), 603-626.
- Govindan, K. (2013). Vendor-managed inventory: a review based on dimensions. *International Journal of Production Research*, 51(13), 3808-3835.
- Van Wassenhove, L. N., & Guide, V. D. R. (2008). *The evolution of closed-loop supply chain research*. INSEAD.
- Guimarães, T. A., Coelho, L. C., Schenekemberg, C. M., & Scarpin, C. T. (2019). The two-echelon multi-depot inventory-routing problem. *Computers & Operations Research*, 101, 220-233.

- Guo, H., Li, C., Zhang, Y., Zhang, C., & Wang, Y. (2018). A nonlinear integer programming model for integrated location, inventory, and routing decisions in a closed-loop supply chain. *Complexity*, 2018.
- Harland, C. M. (1996). Supply chain management: relationships, chains and networks. *British Journal of management*, 7, S63-S80.
- Hugos, M. H. (2018). *Essentials of supply chain management*. John Wiley & Sons.
- Iassinovskaia, G., Limbourg, S., & Riane, F. (2017). The inventory-routing problem of returnable transport items with time windows and simultaneous pickup and delivery in closed-loop supply chains. *International Journal of Production Economics*, 183, 570-582.
- Ilic, A., Ng, J. W., Bowman, P., & Staake, T. (2009). The value of RFID for RTI management. *Electronic Markets*, 19(2), 125-135.
- Jansen, R., & Krabs, A. (1999). Automatic identification in packaging—radio frequency identification in multiway systems. *Packaging Technology and Science: An International Journal*, 12(5), 229-234.
- Jayaraman, V., & Ross, A. (2003). A simulated annealing methodology to distribution network design and management. *European Journal of Operational Research*, 144(3), 629-645.
- Juan, A. A., Faulin, J., Pérez-Bernabeu, E., & Jozefowicz, N. (2014). Horizontal cooperation in vehicle routing problems with backhauling and environmental criteria. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 111, 1133-1141.
- Karaer, Ö., & Lee, H. L. (2007). Managing the reverse channel with RFID - enabled negative demand information. *Production and Operations Management*, 16(5), 625-645.
- Kazemi, N., Modak, N. M., & Govindan, K. (2019). A review of reverse logistics and closed loop supply chain management studies published in IJPR: a bibliometric and content analysis. *International Journal of Production Research*, 57(15-16), 4937-4960.

- Kocabasoglu, C., Prahinski, C., & Klassen, R. D. (2007). Linking forward and reverse supply chain investments: The role of business uncertainty. *Journal of Operations Management*, 25(6), 1141-1160.
- Kuvvetli, Y., & Erol, R. (2020). Coordination of production planning and distribution in closed-loop supply chains. *Neural Computing and Applications*, 32(17), 13605-13623.
- La Londe, B. J., & Masters, J. M. (1994). Emerging logistics strategies: blueprints for the next century. *International journal of physical distribution & logistics management*.
- Lambert, D., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (1998). *Fundamentals of logistics management*. McGraw-Hill/Irwin.
- Lejarza, F., & Baldea, M. (2022). An efficient optimization framework for tracking multiple quality attributes in supply chains of perishable products. *European Journal of Operational Research*, 297(3), 890-903.
- Li, Y., Guo, H., Wang, L., & Fu, J. (2013). A hybrid genetic-simulated annealing algorithm for the location-inventory-routing problem considering returns under E-supply chain environment. *The Scientific World Journal*, 2013.
- Liu, B., Chen, H., Li, Y., & Liu, X. (2015). A pseudo-parallel genetic algorithm integrating simulated annealing for stochastic location-inventory-routing problem with consideration of returns in e-commerce. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2015.
- Liu, S. C., & Chung, C. H. (2009). A heuristic method for the vehicle routing problem with backhauls and inventory. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(1), 29-42.
- Mahjoob, M., Fazeli, S. S., Tavassoli, L. S., Mirmozaffari, M., & Milanlouei, S. (2021). A green multi-period inventory routing problem with pickup and split delivery: A case study in flour industry. *Sustainable Operations and Computers*, 2, 64-70.
- Malladi, K. T., & Sowlati, T. (2018). Sustainability aspects in Inventory Routing Problem: A review of new trends in the literature. *Journal of Cleaner Production*, 197, 804-814.
- Masteika, I., & Čepinskis, J. (2015). Dynamic capabilities in supply chain management. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 213, 830-835.

- McKerrow, D. (1996). What makes reusable packaging systems work. *Logistics Information Management*.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business logistics*, 22(2), 1-25.
- Micheli, G. J., & Mantella, F. (2018). Modelling an environmentally-extended inventory routing problem with demand uncertainty and a heterogeneous fleet under carbon control policies. *International Journal of Production Economics*, 204, 316-327.
- Moosavi, A., & Nikfarjam, A. (2019). A multi-path routing-inventory problem for a closed-loop supply chain considering the heterogeneous fleet of vehicles. *International Journal of Sustainable Engineering*, 12(3), 174-188.
- Nakano, M. (2019). *Supply chain management: strategy and organization*. Springer.
- Nikolakopoulos, A., & Ganas, I. (2017). Economic model predictive inventory routing and control. *Central European Journal of Operations Research*, 25(3), 587-609.
- Özbayrak, M., Papadopoulou, T. C., & Akgun, M. (2007). Systems dynamics modelling of a manufacturing supply chain system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15(10), 1338-1355.
- Özceylan, E., & Paksoy, T. (2013). A mixed integer programming model for a closed-loop supply-chain network. *International Journal of Production Research*, 51(3), 718-734.
- Paksoy, T., Bektaş, T., & Özceylan, E. (2011). Operational and environmental performance measures in a multi-product closed-loop supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(4), 532-546.
- Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. L. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 1-11.
- Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. (2001). An examination of reverse logistics practices. *Journal of business logistics*, 22(2), 129-148.

- Sakiani, R., Seifi, A., & Khorshiddoust, R. R. (2020). Inventory routing and dynamic redistribution of relief goods in post-disaster operations. *Computers & Industrial Engineering*, *140*, 106219.
- Sangari, M. S., Razmi, J., & Zolfaghari, S. (2015). Developing a practical evaluation framework for identifying critical factors to achieve supply chain agility. *Measurement*, *62*, 205-214.
- Sari, K. (2007). Exploring the benefits of vendor managed inventory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Shahbaz, M. S., Rasi, R. Z. R., & Ahmad, M. F. B. (2019). A novel classification of supply chain risks: Scale development and validation. *Journal of Industrial Engineering and Management*, *12*(1), 201-218.
- Shuang, Y., Diabat, A., & Liao, Y. (2019). A stochastic reverse logistics production routing model with emissions control policy selection. *International Journal of Production Economics*, *213*, 201-216.
- Simatupang, T. M., & Sridharan, R. (2002). The collaborative supply chain. *The international journal of logistics management*, *13*(1), 15-30.
- Sitek, P., & Wikarek, J. (2012, September). Cost optimization of supply chain with multimodal transport. In *2012 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)* (pp. 1111-1118). IEEE.
- Soysal, M., & Bloemhof-Ruwaard, J. M. (2017). Toward sustainable logistics. In *Sustainable Logistics and Transportation* (pp. 1-17). Springer, Cham.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., & van der Vorst, J. G. (2015). Modeling an inventory routing problem for perishable products with environmental considerations and demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, *164*, 118-133.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., 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., Belbağ, S., & Sel, Ç. (2021). A closed vendor managed inventory system under a mixed fleet of electric and conventional vehicles. *Computers & Industrial Engineering*, *156*, 107210.
- Soysal, M. (2016). Closed-loop Inventory Routing Problem for returnable transport items. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *48*, 31-45.
- Stevens, G. C. (1989). Integrating the supply chain. *international Journal of physical distribution & Materials Management*.
- 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.
- “Türkiye Petrolleri A.Ş.”, Son Erişim: 24 Ağustos 2021, <https://www.tppd.com.tr/tr/akaryakit-fiyatlari?id=06#>.
- Twede, D., & Clarke, R. (2004). Supply chain issues in reusable packaging. *Journal of Marketing Channels*, *12*(1), 7-26.
- Van Anholt, R. G., Coelho, L. C., Laporte, G., & Vis, I. F. (2016). An inventory-routing problem with pickups and deliveries arising in the replenishment of automated teller machines. *Transportation Science*, *50*(3), 1077-1091.
- Vanovermeire, C., Sörensen, K., Van Breedam, A., Vannieuwenhuyse, B., & Verstrepen, S. (2014). Horizontal logistics collaboration: decreasing costs through flexibility and an adequate cost allocation strategy. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *17*(4), 339-355.
- 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.
- Yuchi, Q., He, Z., Yang, Z., & Wang, N. (2016). A location-inventory-routing problem in forward and reverse logistics network design. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, *2016*.


Yuchi, Q., Wang, N., He, Z., & Chen, H. (2021). Hybrid heuristic for the location-inventory-routing problem in closed-loop supply chain. *International Transactions in Operational Research*, 28(3), 1265-1295.

Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., & Mohammadi, M. (2016). Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 89, 182-214.


Zhang, Y., Alshraideh, H., & Diabat, A. (2018). A stochastic reverse logistics production routing model with environmental considerations. *Annals of Operations Research*, 271(2), 1023-1044.

EKLER

EK 1: ORJİNALLİK RAPORU

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA	
Tarih: 27/06/2022	
<p>Tez Başlığı : Kapalı Döngü Tedarik Zincirlerinde Yatay Lojistik İş Birliği Altında İadesi Mümkün Nakliye Malzemelerinin Yönetimi İçin Bir Matematiksel Model Önerisi</p>	
<p>Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 123 sayfalık kısmına ilişkin, 23/06/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 7'dir.</p>	
<p>Uygulanan filtrelemeler:</p>	
<p>1- <input type="checkbox"/> Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç</p>	
<p>2- <input checked="" type="checkbox"/> Kaynakça hariç</p>	
<p>3- <input checked="" type="checkbox"/> Alıntılar hariç</p>	
<p>4- <input type="checkbox"/> Alıntılar dâhil</p>	
<p>5- <input checked="" type="checkbox"/> 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç</p>	
<p>Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.</p>	
<p>Gereğini saygılarımla arz ederim.</p>	
Tarih ve İmza	
<p>Adı Soyadı: Erencan YAVRUCU</p>	
<p>Öğrenci No: N19139920</p>	
<p>Anabilim Dalı: İşletme</p>	
<p>Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler - Yüksek Lisans</p>	
<p><u>DANIŞMAN ONAYI</u></p>	
<p>UYGUNDUR.</p>	
<p>Doç. Dr. Mehmet SOYSAL</p>	

EK 2: ETİK KOMİSYON MUAFİYETİ FORMU

 <p>HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ TEZ ÇALIŞMASI ETİK KOMİSYON MUAFİYETİ FORMU</p>
<p>HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA</p> <p style="text-align: right;">Tarih: 27/06/2022</p> <p>Tez Başlığı: Kapalı Döngü Tedarik Zincirlerinde Yatay Lojistik İş Birliği Altında İadesi Mümkün Nakliye Malzemelerinin Yönetimi İçin Bir Matematiksel Model Önerisi</p> <p>Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmam:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. İnsan ve hayvan üzerinde deney niteliği taşımamaktadır, 2. Biyolojik materyal (kan, idrar vb. biyolojik sıvılar ve numuneler) kullanılmasını gerektirmemektedir. 3. Beden bütünlüğüne müdahale içermemektedir. 4. Gözlemsel ve betimsel araştırma (anket, mülakat, ölçek/skala çalışmaları, dosya taramaları, veri kaynakları taraması, sistem-model geliştirme çalışmaları) niteliğinde değildir. <p>Hacettepe Üniversitesi Etik Kurullar ve Komisyonlarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre tez çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kurul/Komisyon'dan izin alınmasına gerek olmadığını; aksi durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.</p> <p>Gereğini saygılarımla arz ederim.</p> <p style="text-align: right;">İmza</p> <p>Adı Soyadı: Erencan YAVRUCU Öğrenci No: N19139920 Anabilim Dalı: İşletme Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Statüsü: Yüksek Lisans</p>
<p><u>DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI</u></p> <p style="text-align: center;">_____ Doç. Dr. Mehmet Soysal</p> <p style="text-align: center;">Detaylı Bilgi: http://www.sosyalbilimler.hacettepe.edu.tr</p> <p>Telefon: 0-312-2976860 Faks: 0-3122992147 E-posta: sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr</p>