

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ENTEĞRE İLERİ VE TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI  
PROBLEMİ İÇİN BİR BULANIK  
MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA MODEL ÖNERİSİ**

**YÜKSEK LİSANS**

**SEFA YATAĞANBABA**

**DENİZLİ, TEMMUZ 2019**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ENTEĞRE İLERİ VE TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI  
PROBLEMİ İÇİN BİR BULANIK  
MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA MODEL ÖNERİSİ**

**YÜKSEK LİSANS**

**SEFA YATAĞANBABA**

**DENİZLİ, TEMMUZ 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

SEFA YATAĞANBABA tarafından hazırlanan “ENTEĞRE İLERİ NERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI PROBLEMİ İÇİN BİR BULAN PROGRAMLAMA MODEL ÖNERİSİ” adlı tez çalışmasının savunma sı: 02.07.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endü: Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Doç. Dr. Olcay POLAT

Üye  
Prof. Dr. Aşkner GÜNGÖR

Üye  
Prof. Dr. Bilge BİLGEN

  
.....  
  
.....  
  
.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'ı  
24/07/2019 tarih ve ..30/12... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL ✓.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**SEFA YATAĞANBABA**



## ÖZET

**ENTEĞRE İLERİ VE TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI  
PROBLEMİ İÇİN BİR BULANIK  
MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA MODEL ÖNERİSİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
SEFA YATAĞANBABA  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. OLCAY POLAT)**

**DENİZLİ, TEMMUZ 2019**

Rekabet koşulları altında üretim süreçlerinin yanı sıra lojistik süreçlerinin de optimize edilmesinin önemi günümüzde neredeyse tüm endüstriler tarafından kabul edilmektedir. Ancak lojistik süreçler genellikle tedarikçiden müşteriye doğru ileri yönlü olarak ele alınmakta, müşteriden ürünlerin geri dönüş süreçlerine ise gerekli özen gösterilmemektedir. Son yıllarda tersine yönlü bu lojistik faaliyetlerin optimize edilmesine yönelik çalışma sayısı artsa da bu çalışmaların uygulamadaki etkisi oldukça kısıtlı olmuştur. Lojistik kapsamındaki bu ileri ve tersine yönelik hareketliliklerin tek başına optimize edilmesi yeterli olmamaktadır. Bu nedenle son dönemlerde ileri ve tersine hareketliliklerin entegre olarak ele alınmasına yönelik akademik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu tezde özel koşullar altında entegre ileri ve tersine ağ tasarım problemi ve problemin bir endüstriyel uygulaması ele alınmıştır. Problem kapsamında üretim, dağıtım, depolama ve toplama süreçlerini içeren çok aşamalı bir dağıtım ağı tasarlanmıştır. Problem kapsamında taktik seviyede önceden belirlenebilmesi zor olan parametreler bulanık olarak modellenmiştir. Bulanık olarak oluşturulan modelin çözülebilmesi amacıyla literatürde yer alan beklenen aralıklar yaklaşımının karşılaştırılması yoluyla bulanık sayı sıralaması yaklaşımından yararlanılmıştır. Bu çalışma kapsamında ayrıca tedarik zinciri ağ tasarımı literatüründe ilk defa parsiyel, komple ve hibrit taşıma alternatifleri de ağ tasarımı aşamasında dikkate alınmıştır. Bu sayede ileri ve geri yönlü ağın daha etkin olarak kullanılması amaçlanmıştır. Oluşturulan modelin geçerliliği gerçek bir endüstriyel uygulama kullanılarak test edilmiştir. Ayrıca problemin çözüm sonuçlarını daha iyi değerlendirebilmek için farklı parametreler üzerinden duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar modelin ekonomik açıdan etkin olduğunu göstermektedir. Tez sonucunda modelin operasyonel düzeyde hizmet ağının oluşturulması ve stratejik düzeyde yatırım kararlarının alınmasına yardımcı olabilecek düzeyde olduğu gösterilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Ağ tasarım problemi, Lojistik, Tedarik zinciri yönetimi, Optimizasyon

## **ABSTRACT**

### **A FUZZY MATHEMATICAL MODEL FOR INTEGRATED FORWARD-REVERSE LOGISTICS NETWORK DESIGN**

**MSC THESIS**

**SEFA YATAĞANBABA**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
INDUSTRIAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. OLCAY POLAT)**

**DENİZLİ, JULY 2019**

The importance of optimizing logistical processes as well as manufacturing processes under competitive conditions is recognized by most industries nowadays. However, while the logistical processes are generally studied in terms of forward flow from the supplier to the customer, the necessary attention is not paid to the return processes of the products from the customer. Although the number of studies about optimizing reverse logistics activities has increased in recent years, the impact of these studies on implementation has been quite limited. Since it is not sufficient to optimize forward and reverse flow in logistics separately, academic studies have been started in order to integrate forward and reverse flow. In this study, integrated forward and reverse network design problem under special conditions and an industrial application of the problem are discussed. Within the scope of the problem, a multi-stage distribution network is designed including production, distribution, storage and collection processes. The parameters that are difficult to determine at the tactical level in advance are modeled as fuzzy. In order to solve the fuzzy model, the fuzzy number ordering approach is utilized by comparing the expected intervals approaches in the literature. Partial, full and hybrid transportation alternatives are also taken into consideration in the network design stage for the first time in the supply chain network design literature. Therefore it is aimed to use forward and backward network more effectively. The validity of the model has been tested on a real life industrial problem. In addition, sensitivity analysis is performed on different parameters in order to better evaluate the solution results of the problem. The results show that the model is economically effective. As a result of this study, it is shown that the model is at a level that can help to establish service network at operational level and to make investment decisions at strategic level.

**KEYWORDS:** Network design problem, Logistics, Supply chain management, Optimization

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ .....</b>	<b>vi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÖNSÖZ.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ENTEGRE İLERİ VE TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI.....</b>	<b>4</b>
2.1    Tedarik Zinciri.....	4
2.1.1    Tedarik Zinciri Tanımı.....	4
2.1.2    Tedarik Zincirinin Yapısı.....	5
2.1.3    Tedarik Zincirinin Ağ Yapısı.....	5
2.1.4    Tedarik Zinciri Fonksiyonları.....	6
2.1.5    Tedarik Zincirinin Temel Özellikleri.....	7
2.1.6    Tedarik Zinciri Kararları.....	7
2.2    Tersine Lojistik.....	8
2.2.1    Tersine Lojistik Tanımı .....	8
2.2.2    Tersine Lojistiğin Amaçları .....	10
2.2.3    Tersine Lojistiğin Faydaları.....	11
2.2.4    İleri ve Tersine Lojistik Arasındaki Farklar .....	11
2.2.5    Tersine Lojistik Ağı Tasarımı.....	16
2.2.6    Tersine Lojistiğin Önemi .....	17
2.3    Kapalı Döngü Tedarik Zinciri .....	19
2.3.1    Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Tanımı .....	19
2.3.2    Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı .....	20
2.3.3    Kapalı Döngü Tedarik Zincirinin Önemi.....	21
2.3.4    KDTZ Ağlarının İTZ Ağlarına Göre Farklılıkları .....	24
2.3.5    Kapalı Döngü Tedarik Zincirinin Temel İşlemleri.....	25
2.3.6    TTZ ve KDTZ Ürün Değerlendirme Faaliyetleri .....	25
2.4    Entegre İleri ve Tersine Lojistik.....	27
2.4.1    Entegre İleri ve Tersine Lojistik Ağ Tasarımı .....	27
<b>3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>29</b>
<b>4. ENTEGRE İLERİ VE TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ.....</b>	<b>41</b>
4.1    Problemin Tanıtımı.....	41
4.2    Matematiksel Model.....	42
4.3    Matematiksel Modelin Dönüştürülmesi .....	49
<b>5. UYGULAMA .....</b>	<b>54</b>
5.1    Uygulama Çalışması.....	54
5.1.1    Tek Bir Üretim Merkezine Göre Çözüm Sonuçları.....	57
5.1.2    İki Üretim Merkezine Göre Çözüm Sonuçları.....	65
5.2    Duyarlılık Analizi.....	75
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>78</b>
<b>7. KAYNAKLAR.....</b>	<b>80</b>

<b>8. ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>87</b>
--------------------------	-----------



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Tedarik zinciri yapısı.....	5
Şekil 2.2: İleri tedarik zinciri (Polat ve diğ. 2019). ....	6
Şekil 2.3: Tedarik zincirinde karar aşamaları (Erdal 2013).....	8
Şekil 2.4: İleri ve tersine dağıtım (Fleischmann ve diğ. 1997).....	12
Şekil 2.5: Tersine tedarik zinciri (Polat ve diğ. 2019).....	17
Şekil 2.6: Kapalı döngü tedarik zinciri (Polat ve diğ. 2019). ....	21
Şekil 2.7: Ürün değerlendirme faaliyetlerinin sistemdeki yeri (Thierry ve ark. 1995).....	26
Şekil 2.8: Entegre ileri ve tersine lojistik ağı (Polat ve diğ. 2019).....	28
Şekil 4.1: Entegre ileri ve tersine lojistik ağ yapısı (Polat ve diğ. 2019). ....	43
Şekil 5.1: İleri ve tersine ürün akış ağ yapısı.....	59

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> Tersine lojistiğin unsurları (Lourenço ve Soto 2002).....	10
<b>Tablo 2.2:</b> İleri ve tersine lojistik karşılaştırması (Rogers ve Tibben-Lembke 2002).....	12
<b>Tablo 2.2:</b> İleri ve tersine lojistik karşılaştırması (Rogers ve Tibben-Lembke 2002) (devamı). ....	13
<b>Tablo 2.3:</b> Tersine lojistikte maliyet düzeyi (Rogers ve Tibben-Lembke 2002). .	14
<b>Tablo 2.4:</b> Kapalı döngü tedarik zincirinin faydaları (Şengül 2009). ....	22
<b>Tablo 2.5:</b> Geri dönüş oranları örneği (Nakıboğlu 2007).....	24
<b>Tablo 2.6:</b> İTZ ve KDTZ ağları arasındaki farklar (Wang ve Hsu 2010). ....	24
<b>Tablo 3.1:</b> Literatür Tablosu .....	38
<b>Tablo 5.1:</b> İlgili parametreler için problem verileri.....	55
<b>Tablo 5.2:</b> Müşterilerle ilgili parametre değerleri. ....	55
<b>Tablo 5.3:</b> 2. Üretim merkezi için müşterilerle ilgili parametre değerleri. ....	55
<b>Tablo 5.4:</b> Alternatif hibrit işleme merkezi konumlarıyla ilgili parametre değerleri.....	56
<b>Tablo 5.5:</b> 2. Üretim merkezi için alternatif hibrit işleme merkezi konumlarıyla ilgili parametre değerleri. ....	56
<b>Tablo 5.6:</b> Hibrit işleme merkezi d ve müşteri m arasındaki $B_{dm}^2$ (ton) parametre değerleri.....	56
<b>Tablo 5.7:</b> Müşteri m ve hibrit işleme merkezi d arasındaki $TB_{md}^2$ (ton) parametre değerleri.....	56
<b>Tablo 5.8:</b> Mevcut Durumdaki Mali Değerler. ....	57
<b>Tablo 5.9:</b> Mali Değerler .....	58
<b>Tablo 5.10:</b> $A_d$ hibrit işleme merkezi açma kararı. ....	58
<b>Tablo 5.11:</b> Hibrit işleme merkezi ve üretim merkezi arasında komple yükleme sefer sayıları. ....	59
<b>Tablo 5.12:</b> $R_m$ müşteride satılacak ambalaj malzemesi miktarı.....	60
<b>Tablo 5.13:</b> $TA_m$ müşteriden geri toplanması zorunlu ambalaj malzemesi miktarı. ....	60
<b>Tablo 5.14:</b> $TX_{m1}$ m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme geri dönüş miktarı.....	60
<b>Tablo 5.15:</b> $TXX_{m1}$ m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme toplam sefer sayısı. ....	61
<b>Tablo 5.16:</b> $TXX1_{m1}$ m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimsiz sefer sayısı. ....	61
<b>Tablo 5.17:</b> $TXX2_{m1}$ m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimli sefer sayısı. ....	61
<b>Tablo 5.18:</b> $TY_{m1}$ m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi parsiyel yükleme geri dönüş miktarı.....	62
<b>Tablo 5.19:</b> $X_{1m}$ 1. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim miktarı (ton).....	63
<b>Tablo 5.20:</b> $XX_{1m}$ 1. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim sefer sayısı.....	63
<b>Tablo 5.21:</b> $Y_{1m}$ 1. üretim merkezinden m. müşteriye parsiyel yükleme gönderim miktarı (ton).....	64

<b>Tablo 5.22:</b> $TZ_{md1}$ 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi geri dönüş için m. müşteriden d. hibrit işleme merkezine parsiyel yükleme ile gönderim miktarı. ....	64
<b>Tablo 5.23:</b> $Z_{1dm}$ 1. üretim merkezinden d. hibrit işleme merkezine gelen ürünü parsiyel yükleme ile m. müşteriye gönderim miktarı (ton). ....	65
<b>Tablo 5.24:</b> Mali Değerler. ....	65
<b>Tablo 5.25:</b> $A_d$ hibrit işleme merkezi açma kararı. ....	66
<b>Tablo 5.26:</b> Hibrit işleme merkezi ve üretim merkezi arasında komple yükleme sefer sayıları. ....	66
<b>Tablo 5.27:</b> $R_m$ müşteride satılacak ambalaj malzemesi miktarı. ....	67
<b>Tablo 5.28:</b> $TA_m$ müşteriden geri toplanması zorunlu ambalaj malzemesi miktarı. ....	67
<b>Tablo 5.29:</b> 2. Üretim merkezi için $TX_{m2}$ m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme geri dönüş miktarı. ....	67
<b>Tablo 5.30:</b> 2. Üretim merkezi için $TXX_{m2}$ m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme toplam sefer sayısı. ....	68
<b>Tablo 5.31:</b> $TXX1_{m2}$ m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimsiz sefer sayısı. ....	68
<b>Tablo 5.32:</b> $TXX2_{m2}$ m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimli sefer sayısı. ....	68
<b>Tablo 5.33:</b> 2. Üretim merkezi için $TY_{m2}$ m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi parsiyel yükleme geri dönüş miktarı. ....	69
<b>Tablo 5.34:</b> 1. Üretim merkezi için $X_{1m}$ 1. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim miktarı. ....	71
<b>Tablo 5.35:</b> 2. Üretim merkezi için $X_{2m}$ 2. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim miktarı. ....	71
<b>Tablo 5.36:</b> 1. Üretim merkezi için $XX_{1m}$ 1. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim sefer sayısı. ....	72
<b>Tablo 5.37:</b> 2. Üretim merkezi için $XX_{2m}$ 2. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim sefer sayısı. ....	72
<b>Tablo 5.38:</b> 1. Üretim merkezi için $Y_{1m}$ 1. üretim merkezinden m. müşteriye parsiyel yükleme gönderim miktarı. ....	73
<b>Tablo 5.39:</b> 2. Üretim merkezi için $Y_{2m}$ 2. üretim merkezinden m. müşteriye parsiyel yükleme gönderim miktarı. ....	73
<b>Tablo 5.40:</b> $TZ_{md2}$ 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi geri dönüş için m. müşteriden d. hibrit işleme merkezine parsiyel yükleme ile gönderim miktarı. ....	74
<b>Tablo 5.41:</b> $Z_{1dm}$ 1. üretim merkezinden d. hibrit işleme merkezine gelen ürünü parsiyel yükleme ile m. müşteriye gönderim miktarı. ....	75
<b>Tablo 5.42:</b> $\alpha$ değeri 0-1 arasındaki değerlere göre maliyet tablosu. ....	76
<b>Tablo 5.43:</b> $\alpha = 0.5$ değerinde talep verilerine göre maliyet sonuçları. ....	76
<b>Tablo 5.44:</b> $\alpha = 0.5$ değerinde indirim oranına göre maliyet sonuçları. ....	77

## SEMBOL LİSTESİ

<b>KDTZ</b>	:	Kapalı Döngü Tedarik Zinciri
<b>İTZ</b>	:	İleri Tedarik Zinciri
<b>TTZ</b>	:	Tersine Tedarik Zinciri
<b>KTDP</b>	:	Karma Tamsayı Doğrusal Programlama
<b>KTDOP</b>	:	Karma Tamsayı Doğrusal Olmayan Programlama
<b>TDP</b>	:	Tamsayı Doğrusal Programlama

## ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Doç. Dr. Olcay POLAT' a, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

# 1. GİRİŞ

Günümüz küresel endüstrisinin oluşum aşamasında teknoloji önemli bir rol oynamıştır. Teknolojinin gelişimi beraberinde sert rekabet koşullarını da getirmiş ve piyasa artık müşterilerin isteklerine göre şekillenmeye başlamıştır. Müşteri arzu ve isteklerini karşılama yarışı, firmaların müşteriye hizmet konusunda ayrıcalıklar tanıyarak müşteri teslimatını yapabilme becerilerinin gelişimine katkı sağlamıştır. Taşımacılığın önemini artıran bu gelişmeler, firmaları lojistik rekabet üstünlüğünü sağlamak amacıyla üstün ve daha verimli taşıma sistemleri oluşturmaya ve yönetmeye zorlamıştır.

Lojistik, tedarik zinciri içerisinde yer almakta olup, müşteri gereksinimleri karşılamak amacıyla üretim noktasından tüketim noktasına doğru ürün akışının etkin ve düşük maliyetli bir şekilde gerçekleşmesini sağlayan bir süreçtir. Bu süreçte üretim noktasından tüketim noktasına doğru ürün akışı ileri lojistik olarak tanımlanmaktadır. İleri lojistikte ürün önce üretim noktasından dağıtım merkezine gelir daha sonrada dağıtım merkezinden müşterilere doğru ileri yönlü bir akış gerçekleştirir.

Günümüzde lojistik, ürünün tüketim noktasında müşteriye teslim edilmesiyle biten bir süreç değildir. Ürün müşteriye satıldıktan sonra da müşteriye ürünle alakalı hizmet verilebilmektedir. Bozulmuş veya kullanılmayacak durumda olan ürünleri onarmak ya da üretim noktalarında yeniden üretime katmak için geriye dönük bu akış verilen hizmetlerden bazılarıdır. Ürünlerin müşteriden sonraki bu geriye dönük akışı ise tersine lojistik olarak tanımlanmaktadır. Tersine lojistikte müşteriden alınan ürün toplama merkezine götürülür. Burada ürün çeşitli ayrıştırma işlemlerinden geçtikten sonra kullanılabilir parçaları üretim merkezine götürülür ve yeniden üretime katılması sağlanır, kullanılmayacak parçaları ise imha merkezine götürülüp burada çeşitli işlemlerden geçtikten sonra çevreye zararı olmayacak şekilde yok edilir. İşte tüketim noktasından geriye doğru gerçekleşen bu akış tersine lojistikdir.

İleriye dönük ürün akışı olarak tanımlanan ileri lojistik ile geriye dönük ürün akışı olan tersine lojistiğin birlikte işlemesi ise kapalı döngü tedarik zinciri kavramını

ortaya çıkarmıştır. Boylice retim noktasından tketickiye ulaşan ürün, ürünün bozulması veya fonksiyonlarını yitirmesi durumunda tüketiciden üreticiye doğru bir akış sergileyecektir. Bu ileri ve tersine lojistik akışı sırasında dağıtım ve toplama noktalarının ortak kullanılması ise entegre ileri ve tersine lojistiği ortaya çıkarmıştır.

Entegre ileri ve tersine lojistikte, kapalı döngü tedarik zincirinde olduğu gibi ileri ve tersine lojistik birlikte çalışmaktadır. Fakat entegre ileri ve tersine lojistikte dağıtım ve toplama merkezlerinin hibrit işleme merkezi olarak bir arada işlem görmesi bakımından kapalı döngü tedarik zincirinden ayrılmaktadır. Bu bakımdan entegre ileri ve tersine lojistikte dağıtım ve toplama noktalarının ortak kullanılması işletmeleri oluşabilecek yeni tesis açma maliyetlerinden ve nakliye maliyetlerinden kurtarmıştır. Diğer bir değişle entegre ileri ve tersine lojistikte, dağıtım ve toplama noktalarının ortak kullanılması, dağıtım ve toplama noktalarının ayrı kullanılmasına kıyasla potansiyel maliyet tasarrufu sağlamaktadır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde tedarik zinciri, ileri lojistik, tersine lojistik, kapalı döngü tedarik zinciri ve entegre ileri ve tersine lojistik ele alınmıştır. Bu kapsamda ele alınan tedarik zincirinin, ileri lojistiğin, tersine lojistiğin, kapalı döngü tedarik zincirinin ve entegre ileri ve tersine lojistiğin tanımı, ağ yapısı, amacı, önemi ve ileri ve tersine lojistik arasındaki fark açıklanmıştır.

Çalışmanın nc bölümünde son 20 yılda ileri ve tersine lojistiğin entegrasyonuna yönelik yapılmış olan çalışmalar ele alınmıştır. Bu çalışmalarda ele alınan konular, matematiksel modeller ve üzüm yöntemleri ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Ayrıca yapılmış olan bu çalışmalar bir tablo halinde de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Dördüncü bölümde ise ele alınan vaka tanıtılmıştır. Bu vaka kapsamında ele almış olduğumuz entegre ileri ve tersine lojistik ağ yapısı, bulanık entegre matematiksel model ve matematiksel modelde bulanık olarak yer alan girdilerin duru hale dönüştürülmesine yer verilmiştir. Ağ yapısı üzerinde ürün akışının komple, parsiyel ve hibrit taşıma türlerinden hangisiyle yapıldığı gösterilmiştir. Ayrıca bulanık matematiksel modeli duru hale dönüştürmek için gerekli olan bilgiler ve formüller açıklanmış olup devamında matematiksel modelde bulanık olarak yer alan

girdiler dönüştürmeyi gerçekleştirmek için gerekli olan formüllerden yararlanarak bulanık olmayacak şekilde tekrardan yazılmıştır.

Beşinci bölümde ele alınan vaka kapsamında eldeki veriler önce bir üretim merkezi için ILOG-CPLEX programında çözdürülmüştür. Daha sonra 2 üretim merkezi olması halindeki durumunu değerlendirebilmek için eldeki veriler 2 üretim merkezi için ILOG-CPLEX programında çözdürülmüştür. Elde edilen sonuçlar tablo haline getirilip sonuçlar açıklanmıştır. Ayrıca eldeki verilerden yola çıkarak 3 farklı duyarlılık analizi yapılmıştır. Birinci analizde  $\alpha$  değerinin 0-1 arasındaki tüm değerleri için ILOG-CPLEX programında çözdürülerek maliyet tablosu oluşturulmuştur. İkinci analizde maliyet durumunu farklı bir açıdan değerlendirebilmek için de  $\alpha = 0.5$  değerinde mevcut talep değerleri 0.25' den 2' ye kadar olacak şekilde 0.25 artırarak mevcut talep değerleriyle çarpılmış ve elde edilen talep değerlerine göre ILOG-CPLEX' de çözdürülmüş ve elde edilen sonuçlara göre maliyet tablosu oluşturulmuştur. Üçüncü analizde  $\alpha = 0.5$  değerinde indirim oranının 0-1 arasındaki tüm değerleri için ILOG-CPLEX programında çözdürülerek maliyet tablosu oluşturulmuştur.

Altıncı ve son bölümde ise, bulanık matematiksel modelden yararlanarak ILOG-CPLEX' te çözdürülen verilerden elde edilen sonuçlar ve duyarlılık analizinden elde edilen maliyet tablolarının değerlendirilmesi yapılmış. Ayrıca bu çalışmadan yola çıkarak gelecekte yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir.



## **2. ENTEGRE İLERİ VE TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI**

### **2.1 Tedarik Zinciri**

#### **2.1.1 Tedarik Zinciri Tanımı**

Tedarik zinciri tanım olarak, bir malzemenin tedarik edilmesini, tedarik edilmiş olan malzemenin yarı mamul veya mamullere dönüştürülmesini ve bu mamullerin tüketiciye ulaştırılmasını içeren çeşitli süreç ve yöntemlerden oluşan bir ağ yapısıdır. Başka bir tanıma göre tedarik zinciri, ürün, finans ve bilginin bir kaynaktan tüketiciye aşağı veya yukarı akışın gerçekleştiği bir kümedir (Mentzer ve diğ. 2001).

Swaminathan ve diğ. (1994)' ne göre tedarik zinciri, bir veya daha fazla ürünün tedarik, üretim ve dağıtım faaliyetlerinden meydana gelen bir ağ yapısıdır.

Lee ve Billington (1995)' a göre tedarik zinciri, hammaddeleri alıp, bunları yarı mamul ve mamul ürünlere dönüştüren ve daha sonra dağıtım sistemiyle bu ürünleri tüketicilere ulaştıran şebekedir.

Ganeshan ve Harrinson (1995)' a göre tedarik zinciri, hammaddelerin elde edilerek bu hammaddelerin son nihai ürünlere dönüştürülmesi ve bu son ürünlerin de tüketicilere dağıtımını gerçekleştiren ağ olarak belirtilmiştir.

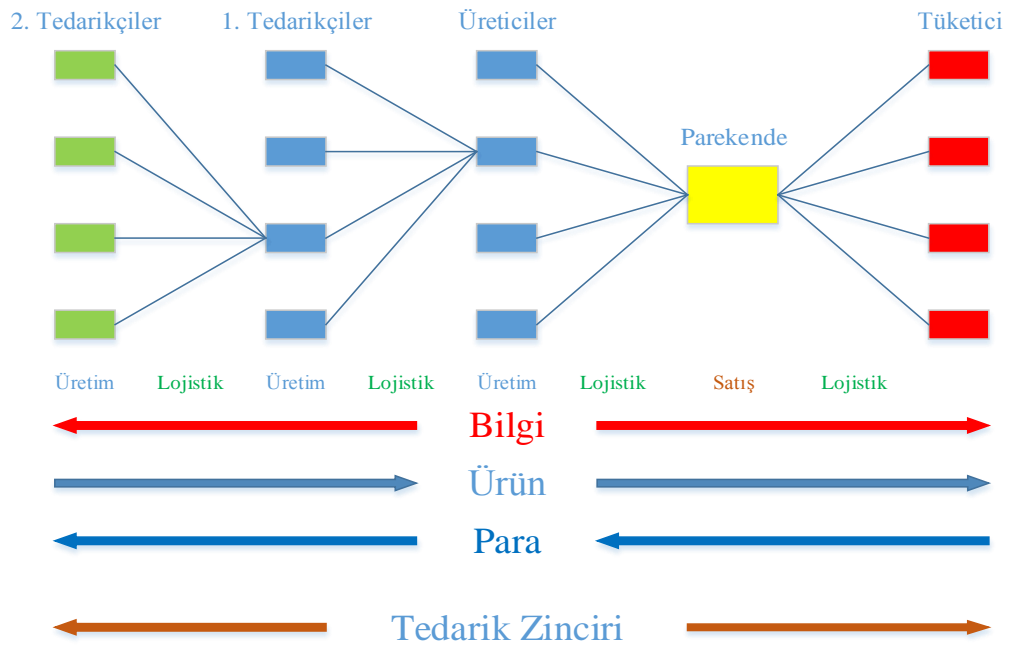
Min ve Zhou (2002)' ya göre ise tedarik zinciri, birbiriyle bağlantılı olan tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar, perakendeciler ve tüketicilerden oluşan, aralarında ise aşağı ve yukarı yönlü ürün, bilgi ve finans akışının bulunduğu sistemlerdir.

Tedarik zinciri; mal ve hizmetlerin tedarik edilmesinden, üretimi, dağıtımını ve tüketiciye ulaşmasına kadar ki süreçleri kapsayan bir sistemdir. Tedarik zincirinin iş

süreçlerine baktığımızda, malzeme temini, üretim, dağıtım, satış, müşteri hizmetleri gibi birçok süreci içine alan bir kümedir.

### 2.1.2 Tedarik Zincirinin Yapısı

Tedarik zincirinde üretim için gerekli olan hammadde tedarikçilerden temin edilir ve üretim sürecine girer. Bu üretim süreci sonucunda elde edilmiş olan mamul dağıtım merkezlerine aktarılır. Buradan da satıcılar aracılığıyla tüketicilere ulaştırılır. Tedarik zincirinde tedarikçiden tüketiciye kadar olan tüm bu süreçlerde, süreçler arasında ürün, bilgi ve para akışı gerçekleşmektedir. Tedarik zincirindeki süreçler Şekil 2.1’ de verilmiştir.



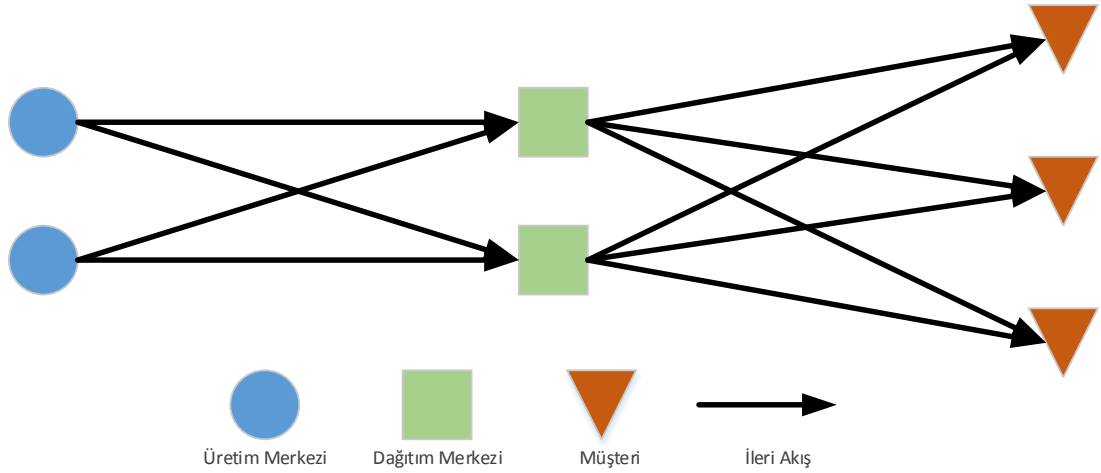
Şekil 2.1: Tedarik zinciri yapısı.

### 2.1.3 Tedarik Zincirinin Ağ Yapısı

Tedarik zincirinin ağ tasarımı tedarik zincirinin alt yapısının oluşturulmasının bir sürecidir. Oluşturulacak olan bu yapı şirketin işleyişini etkileyeceğinden bu süreçle alakalı alınacak olan kararlar stratejik kararlardır. Şirket tedarik zinciriyle alakalı karar alırken kendi amaçlarını ön planda tutar. Şirketin tedarik zinciriyle

alakalı amacı maliyetleri en aza indirmektir. Fakat şirketin amaçlarından biride müşterilere hızlı bir şekilde hizmet verebilmek olduğu için şirketin kuracağı tedarik zinciri ağıyla ters düşmektedir. Bu yüzden tedarik zinciri ağ tasarımı yapılırken amaçların doğru belirlenmesi gerekmektedir. Şirket tedarik zinciri ağ tasarımı yaparken amaçlarını stratejik kararlara göre belirlemelidir. Tedarik zinciri ağ tasarımı yapılırken tedarik zinciriyle alakalı aşağıdaki soruların cevaplamaı hedeflenmektedir (Alegöz 2015). Ayrıca tedarik zincirinin ileri yönlü akışı Şekil 2.2' de verilmiştir.

- Açılacak olan tesisin konumu nasıl olmalıdır?
- Açılacak olan tesisin kapasite ölçüsü ne kadar olmalıdır?
- Hangi tesisten kaç tane açılmalıdır?
- Tesisler arasındaki akış nasıl olmalıdır?
- Tesisler arası işleyiş nasıl olmalıdır?
- Şirketler hangi ölçütlerle hangi tedarikçilerle çalışmalıdır?



Şekil 2.2: İleri tedarik zinciri (Polat ve diğ. 2019).

#### 2.1.4 Tedarik Zinciri Fonksiyonları

Tedarik zinciri içerisinde bulunan şirket işleyiş fonksiyonları tedarik zincirini oluşturur. Bu fonksiyonlar aşağıda sıralanmıştır (Kağnıcıoğlu 2007).

- Planlama ve pazarlama stratejisi
- Satın alma

- Üretim planlama
- Stoklama ve malzeme dağıtımı
- Stok yönetimi
- Depolar
- Ulaşım
- Müşteri hizmetleri
- Teknik destek

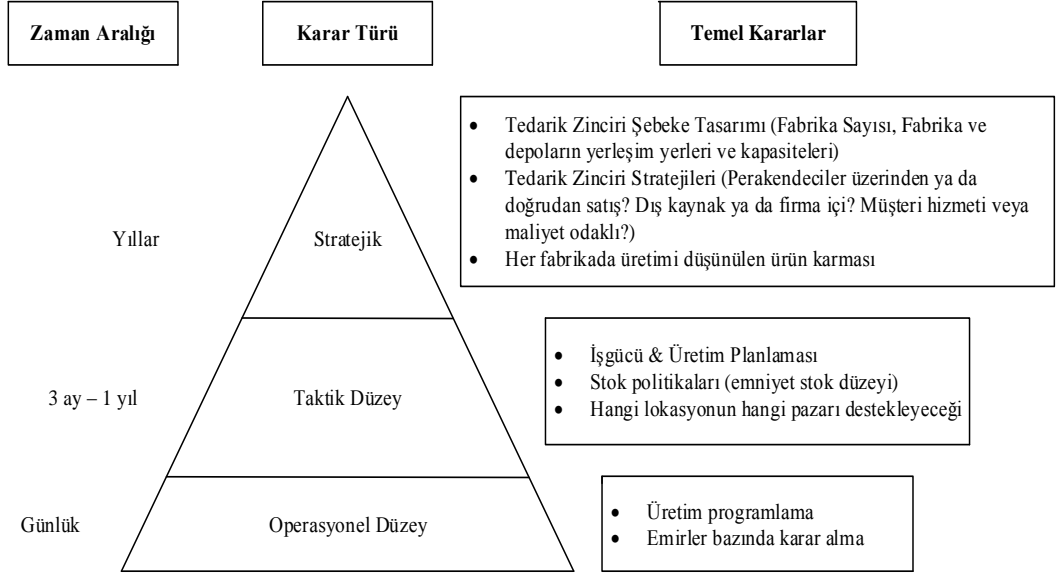
### **2.1.5 Tedarik Zincirinin Temel Özellikleri**

Tedarik zincirlerini genel olarak aşağıdaki temel özellikleri göstermektedir (Bayhan 2005);

- Tedarik zinciri, hammaddenin tedarikçiden üretim noktasına taşınmasını, üretim noktasında üretim faaliyetlerini ve dağıtım gibi birçok faaliyeti kapsamaktadır.
- Çok sayıda şirket tedarik zincirinde yer alabilir. Tedarikçilerden, üreticilerden, perakendecilerden ve müşterilerden oluşan bir zincirdir.
- Tedarik zincirinde birçok tedarikçi ve müşteri ilişkisi vardır. Yani bir müşteri bir diğerinin tedarikçisi olabilir.
- Dağıtım sistemi, tedarikçiden tüketiciye olabileceği gibi toptancı, depo ve perakendeciden oluşan bir takım dağıtıcılardan da oluşabilir.
- Tedarikçiden tüketiciye doğru ürün ve hizmet akışı olur iken tüketiciden tedarikçiye doğru talep bilgisi akışı gerçekleşir.

### **2.1.6 Tedarik Zinciri Kararları**

Tedarik zincirinde belirli zaman aralıkları düşünüldüğünde üç farklı karar alınmaktadır. Bunlar stratejik, taktiksel ve operasyonel kararlardır. İçerdikleri zaman aralığına göre uzun dönem, orta dönem ve kısa dönem kararlardır. Zaman aralıkları, karar türleri ve karar alanları Şekil 2.3' de gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Tedarik zincirinde karar aşamaları (Erdal 2013).

## 2.2 Tersine Lojistik

### 2.2.1 Tersine Lojistik Tanımı

Tersine lojistik hakkında ilk tanımlar, "tek yön olarak gösterilmiş bir yolda tersine yönde gitmek" olarak Lambert ve Stock (1981) tarafından yapılmıştır. 1980'lerden itibaren tersine lojistik, ileri akışın tersi yönünde, tüketiciden üreticiye doğru ürün akışı olarak görülmüştür (Rogers ve Tibben-Lembke 2001).

Tersine lojistik, tüketiciden satıcıya veya üreticiye geri gelmiş olan ürünlerin taşınması, depolanması ve ayrıştırılmasıdır. Tersine lojistik, tüketici veya üretici pazarındaki kullanılmayacak ürünlerin çevreye zarar vermemesi için ürünü parçalarına ayırarak tekrardan üretime girerek işlem görmesini içermektedir (Keskin 2006).

CLM (Council of Logistics Management) tersine lojistiği şöyle tanımlamıştır: "Hammaddelerin, işlem sürecinde olan yarı mamulün ve işlemi bitmiş mamulün tüketim noktasından üretim noktasına tekrardan işlemden geçerek değer kazandırma amacıyla yapılacak işlemlerin planlanması, yürütülmesi ve kontrol edilmesi süreçleridir".

Fleischmann ve diğ. (1997)' na göre tersine lojistik, "tüketicinin kullanmayacağı ürünlerin, tekrardan kullanılabilir ürün olana kadar ki tüm lojistik faaliyetlerini içeren bir süreçtir". Yapılmış olan bu tanıma göre tersine lojistik, kullanılmış olan ürünlerin tüketiciden üreticiye doğru fiziksel hareketini içerir. Bu aşamadan sonra üreticiye geri gelen ürün üretici tarafından kullanılabilir ürün haline dönüştürülür.

Dowlatshahi (2000), tersine lojistiği, tüketicilerden gönderilmiş olan ürün veya parçaların üretici tarafından yeniden üretmek veya yok etmek için sistematik kabul etme işleyişi olarak tanımlamıştır. Tersine lojistik sistemi, yeniden üretim, geri kazanım için ürün ve parçaların akışını yönetmek için tasarlanmış tedarik zincirini içerir.

Guide ve diğ. (2000), tersine lojistiği, atılan ürünlerin paketlenmesi, geri taşınması, merkezi bir toplama noktasında toplanması ve geri kazanım için tekrardan üretime girmesi olarak tanımlamıştır.

Stock (2001), tersine lojistiği, ürün dönüşü, kaynak azaltımı, geri dönüşüm, malzeme ikamesi, malzemelerin yeniden kullanımı, atıkların imha edilmesi ve yakılması, tamir ve yeniden üretim sürecinde lojistiğin rolü olarak tanımlamıştır.

Giuntini ve Andel (1995), tersine lojistiğin işlemlerini altı kısımda incelemişlerdir. Bu kısımları ise aşağıdaki sıraya göre ifade etmişlerdir:

- Kabul: müşteriden kullanılmış ürünün geri kazanım için alınması.
- Geri alım: müşteriden alınan ürünün geri dönüşüm noktasına taşınması.
- Gözden geçirme: işletmenin müşteriden geri alınmış ürünü inceleyip ne tür işlemlerden geçireceğine karar verdiği aşamadır.
- Yenileme: gözden geçirme aşamasından sonra ürünün durumuna göre tamir veya yeniden üretim işlemlerinden geçtiği aşamadır.
- Nakil: ürünün aşamalar arasında taşınması.
- Yeniden yapılandırma: yönetimin, geri dönüşüm sürecinin daha verimli olması için tersine lojistiği kontrol etme aşamasıdır.

Tersine lojistiği oluşturan unsurlar Tablo 2.1' de verilmiştir.

**Tablo 2.1:** Tersine lojistiğin unsurları (Lourenço ve Soto 2002).

Nedir?	Girdiler	Aktiviteler	Çıktı	Nereden?	Nereye?
• Süreçler	• Atılmış ürünler	• Etkili ve maliyet etkin akışın planlama, uygulama ve kontrolü	• Yeniden kullanılabilen ürünler	• Tüketim noktası	• Üretici merkezi
• Görevler	• Kullanılmış ürünler	• Toplama	• Geri dönüşüm		• Toplama noktaları
• Yetenek ve aktiviteler	• Daha önce gönderilmiş ürün ve parçalar	• Nakliye	• Yeniden üretim		• Orijin noktası
	• Zararlı ve zararlı olmayan atıktan ürün ve paketler	• Depolama	• Yok etme		
	• Hammadde	• İşleme	• Azaltma		
	• Bilgi	• Kabul	• Yönetme		
	• Süreç içi stoklar	• Geri kazanım	• Geri alım değeri		
	• Nihai ürün	• Paketleme			
		• Gönderme			
		• Azaltma			
		• Yönetme			
		• Yok etme			

### 2.2.2 Tersine Lojistiğin Amaçları

Tersine lojistiğin günümüzde şirketler açısından önemli bir konu haline gelmesinden dolayı şirketler tersine lojistiği uygulamaya yönelmişlerdir. Şirketleri tersine lojistiği uygulamaya yönlendiren unsurlar üç kategoride gösterilmiştir (Brito ve diğ. 2002).

**Ekonomik:** Tersine lojistiği uygulayan şirketler kullanılan malzemeleri azaltarak, yedek parçalara kaynak oluşturarak maliyetleri azalmakta ve böylece şirketler ekonomik açıdan kazanç sağlamaktadır. Şirketler yeniden üretim için geri dönmüş ürün sayesinde hem hammaddeden hem de enerjiden tasarruf etmiş olurlar. Ayrıca tersine lojistiği uygulayan şirketler, çevreci imajının yanı sıra daha sonra

artacak olan kanuni yaptırımlara karşı da uyum sağlayarak tersine lojistiğin kazançlarından faydalanabilmektedir.

**Kanunlar:** Atık malzemelerin ve insanların doğaya verdikleri zararların giderek daha belirginleşmesi şirketlerin ürettikleri ürünleri geri toplaması ve yeniden üretime katması konusunda kanuni yaptırımlara neden olmuştur. Bu kanuni yaptırımlara örnek olarak AB ülkelerinde 2003 yılında, Çin' de ise 2007 yılında üreticilerin paket malzemelerini ve bataryalarını geri toplaması konusunda kanun çıkarılmıştır.

**Artan Sorumluluk:** Müşterilerden ürün toplayan şirketler müşterileriyle daha iyi ilişki kurmakta ve böylece daha fazla gelir elde etmektedir.

### **2.2.3 Tersine Lojistiğin Faydaları**

Tersine lojistiği uygulamaya başlamış şirketler günümüzde rekabet ettiği diğer şirketlere göre birkaç adım öndedir. Tersine lojistiği uygulayan şirketler, müşterilerinin isteklerini karşılamanın yanı sıra aşağıdaki durumlardan da yararlanırlar (Patel 2006):

- Müşterilerin memnuniyetinin artması (müşterilere satış sonrası verilen hizmetler, garanti vs.),
- Üretimde atık ürünlerden daha fazla yararlanma (yüksek seviyede atık ürünlerin iyileştirmesi),
- Yapılan harcamalardaki azalmalar (geri dönüşüm),
- Çevreye karşı artan bilinç (atık ürünlerin ve zararlı maddelerin yönetilmesi).

### **2.2.4 İleri ve Tersine Lojistik Arasındaki Farklar**

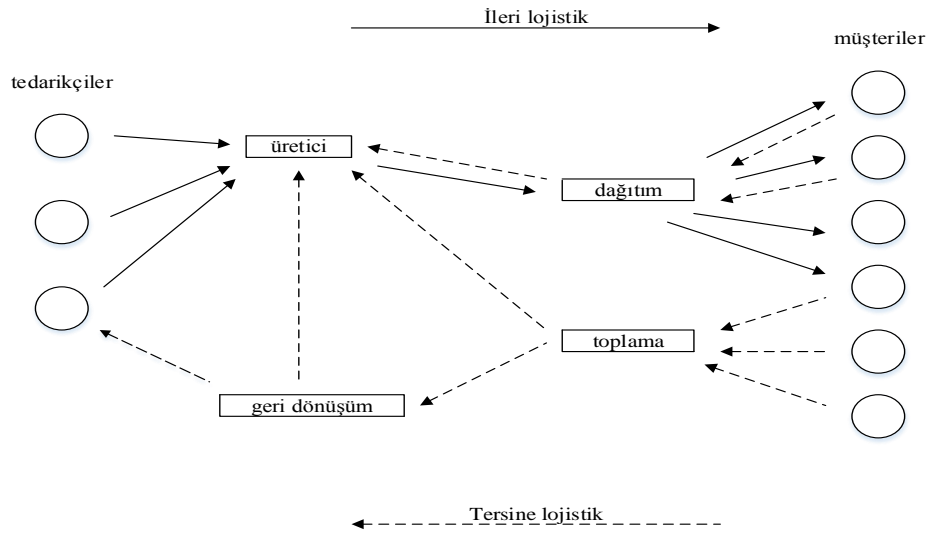
İleri ve tersine lojistik birbirinin simetriği olmayabilir ve aralarında bazı farklılıklar bulunabilir. Her iki lojistiğinde akışları basit bir şekilde Şekil 2.4' te gösterilmiştir. Lojistik ağının etkin bir şekilde oluşabilmesi aşağıda tanımlanmış olan özelliklerin değerlendirilmesinden geçmektedir (Fleischmann ve diğ. 1997).



Tersine lojistikte işlevi olan elemanlar nelerdir? İleri lojistikte görev alan bazı elemanlar tersine lojistikte de olabileceği gibi tersine lojistikte farklı görevleri yerine getiren elemanlarda bulunabilir.

Tersine lojistikte hangi işlem nerede yapılacaktır? Ağ tasarımı yapılırken yapılacak olan işlemler olan ürünü test etme, ürünü parçalara ayırma, ürünün nakliyesi ve ürünü tekrardan işleme işlemlerinin nerede yapılacağına karar verilmelidir.

İleri ve tersine lojistik arasındaki ilişki nedir? İleri ve tersine lojistikte aynı elemanlar var olsa da her iki lojistik sisteminde farklı işlemler gerçekleşeceği için bunların rotalanmasında karmaşıklıklar olacaktır.



Şekil 2.4: İleri ve tersine dağıtım (Fleischmann ve diğ. 1997).

Tablo 2.2' de ileri ve tersine lojistiğin bazı özelliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Daha sonra bu karşılaştırmadan yola çıkarak bazı açıklamalar verilmiştir.

Tablo 2.2: İleri ve tersine lojistik karşılaştırması (Rogers ve Tibben-Lembke 2002).

İleri lojistik	Tersine lojistik
Tahminler göreceli olarak açık/belirgindir.	Tahminler daha zordur.
Nakliye “birden çoğa doğru” dur.	Nakliye “çoktan bire doğru” dur.
Ürün kalitesi standarttır.	Ürün kalitesi standart değildir.
Ürün paketleme bir örnektir.	Ürün paketi çoğunlukla zarar görmüştür.
Gidilecek yer/rotalama belirlidir.	Gidilecek yer/rotalama belirli değildir.
Kanallar standartlaştırılmıştır.	İstisnalarla yönlendirilir.

**Tablo 2.2:** İleri ve tersine lojistik karşılaştırması (Rogers ve Tibben-Lembke 2002) (devamı).

Fiyat genellikle standarttır.	Fiyatlamaya birçok faktöre bağlıdır.
İleri dağıtım maliyetleri muhasebe sistemi ile yakından takip edilir.	Tersine lojistik maliyetleri daha az belirgindir.
Stok yönetimi tutarlıdır.	Stok yönetimi tutarlı değildir.
Taraflar arası anlaşmalar açık ve anlaşılabilir.	Taraflarla anlaşmalar ilave varsayımlar sebebi ile daha karmaşıktır.
Pazarlama metotları belirlidir.	Pazarlama, pek çok faktörün etkisiyle daha karmaşıktır.
Ürünü izlemek için gerçek zamanlı bilgilere ulaşılabilir.	Süreçlerin izlenebilirliği daha azdır.

Tersine lojistikte yapılacak olan tahmin ve planlama belirsizlikler sebebiyle çok zordur. Çünkü geri dönecek olan ürünün miktarı ve ürünün ne zaman geri döneceği hakkında belirsizlikler mevcuttur. Ayrıca şirketin üretmiş olduğu her ürün için farklı dönüş oranı mevcut olmaktadır.

İleri lojistikte belirli bir noktadan başlayarak dağıtım noktalarına akış gerçekleşirken, tersine lojistikte durumun tam tersi geçerli olmaktadır. Ürünlerin geri dönüşü perakendeciler aracılığıyla gerçekleştirilebilir fakat ileri ve geri lojistiğin aynı dağıtım merkezlerine sahip olması bu dağıtım noktalarının bütünleşeceği anlamına gelmemektedir.

İleri lojistikte ürün belirli bir kalite ölçüsünde üretildiği ve paketlediği için ürünün bir noktadan başka bir noktaya taşınması kolaydır. Fakat tersine lojistikte ürün paketlenmemiş olabileceğinden taşınması zordur. Ayrıca geri dönen ürünlerin miktarı, ileri yönlerdeki yeni ürünlerin miktarından az olmasından dolayı bunları taşımayı kolaylaştırıcı taşıma araçları kullanılmamaktadır. Geri dönecek olan ürünün paketlenmemesi şirket ve işlem yapacak olan personel tarafından ürünün durumunun tespit edilmesini zorlaştırmaktadır.

Tersine lojistikte geri dönecek olan ürün belirli bir kalite standardına sahip olmadığı için tedarikçi satın alacağı ürünün miktarına ve birçok faktöre bağlı olarak müşteriye farklı fiyatlar uygulayabilmektedir.

İleri lojistikte uygulanmakta olan stok kontrol yöntemleri, tersine lojistikte uygulanmamaktadır. Ayrıca tersine lojistikte talep, satış fiyatı ve ürün miktarındaki belirsizlik durumu daha da zorlaştırmaktadır.

İleri lojistikte taraflar arasında anlaşmalar daha kolay yapılmaktadır. Fakat bu durum tersine lojistikte kolay değildir. Çünkü talep, miktar ve fiyattaki belirsizlik taraflar arasındaki anlaşmayı zorlaştırmaktadır.

Tersine lojistikte ürün akışını izleme ileri lojistiğe göre daha zordur. Çünkü şirketlerin teknolojik alt yapısı tersine lojistik için ürün akışını takip edebilecek şekilde ayarlanmamıştır. Böyle bir durumda şirketlerin tersine lojistik için kısa dönemli planlar yapmasını zorlaştırmaktadır. Bu sorun şirketlerin teknolojik alt yapısını tersine lojistiğe göre ayarlamasıyla çözülebilir. Böylece şirketler tersine lojistik için kısa ve uzun dönem planlarını daha kolay yapabileceklerdir.

İleri lojistikte tedarikçiden müşteriye doğru ürün akışında oluşan maliyetler bellidir. Ayrıca şirketler oluşacak maliyetleri hesaplamak için şirketlerinde muhasebe sistemi kurmuşlardır. Fakat ileri lojistiğin aksine tersine lojistikte ürün akışından kaynaklanacak maliyetler belirsizdir. Özellikle tersine lojistikte geri dönecek olan ürün miktarının belirsizliği ve ürünün azlığı maliyeti artırmaktadır. Bu ileri ve tersine lojistikle alakalı karşılaştırma Tablo 2.3' te verilmiştir.

**Tablo 2.3:** Tersine lojistikte maliyet düzeyi (Rogers ve Tibben-Lembke 2002).

Maliyet kalemleri	İleri lojistikle karşılaştırması
Nakliye	Daha yüksektir.
Stok bulundurma maliyeti	Daha azdır.
Fire/kayıp	Çok azdır.
Eskime	Daha yüksek olabilir.
Toplama	Çok yüksek-daha az standartlaştırılmış.
Sınıflama/kalite tanımlama	Çok daha yüksek.
Yenileme/yeniden paketleme	Tersine lojistik için önemlidir, ileri lojistikte yoktur.

Tersine lojistik, ileri lojistiği aksine farklı işlemler barındırdığından şirketlerin tersine lojistiği uygulayabilmeleri için süreçleri ve planlamaları tersine lojistiğe uygun olacak şekilde ayarlamaları gerekmektedir. Bu süreçler de şirketlerin çözmeleri gereken sorunları içermektedir. Bu sorunlar ileri lojistikte de var olan üretim, stok ve dağıtımla alakalı sorunlardır ve şirketlerin bu sorunlara ilişkin karar almaları gerekmektedir.

Krikke (1998), tersine lojistik ağ tasarımıını ileri lojistik ağ tasarımıından ayıran elemanları şu şekilde ağıklamıştır:

- İleri lojistik tedarikçiden müşteriye bir itme sistemidir. Oysa tersine lojistikte her iki tarafta da müşteri olmasından dolayı itme ve çekme sistemi birlikte bulunur.
- Tersine lojistikte ürünleri parçalarına ayırma süreci planlanan bir süreçte gerçekleşir. Ayrılan parçalarda ileri lojistikte üretim sürecine kaynak oluşturur.
- Tersine lojistikte bir ürünü tekrardan kullanmak için yapılan dönüştürme işlemi tedarikçiden müşteriye kadar tüm süreci kapsayan bir lojistik ağdır.
- Tersine lojistikte ürünün geri akışında belirli bir kısım önemli olduğundan etkili olacak olan bir tasarımda yapılacak işlemler birden fazla aşamaya yayılır, oysa ileri lojistikte bir veya iki aşamada gerçekleşir.

Fleischmann ve diğ. (1997), ileri ve tersine lojistikteki stok kontrolü arasındaki farkları şu şekilde ağıklamıştır: Tersine lojistikte tersine akışa rağmen yeni parça stoğunda bir azalma gerçekleşmeyebilir. Aksine yeni parça stoğu artabilir. Bu durum da matematiksel modelin karmaşıklığını artırır. Bu sorunda verilen siparişlerin gözden geçirilmesiyle ve gerekli iyileştirmelerle iyi bir şekilde çözümlenebilir.

Guide ve diğ. (2000), tersine lojistikte yapılacak olan planlama ve gerekli kontrollerin zorluğuna sebep olan yedi sebebi ağıklamışlardır. Bunlar;

- Tersine lojistikte belirsiz olan ürün miktarları ve zamanları,
- Tersine lojistikle yapılan işlemlerle talebi karşılayabilme isteği,
- Tersine lojistikle geri dönen ürünün ayrıştırılması,
- Tersine lojistikle geri ürünlerin parçalarına ayrıştırılması sonucu iyileştirilen parçaların,
- Tersine lojistik ağının ihtiyacı,
- Parçaların eşleştirilmesinde kısıt karmaşıklığı,
- Tersine lojistikle geri dönen ürünlerin tamir ve yeniden üretim işlemleri için parçaların stokastik rotaları ve değişen işlem zamanlarıdır.

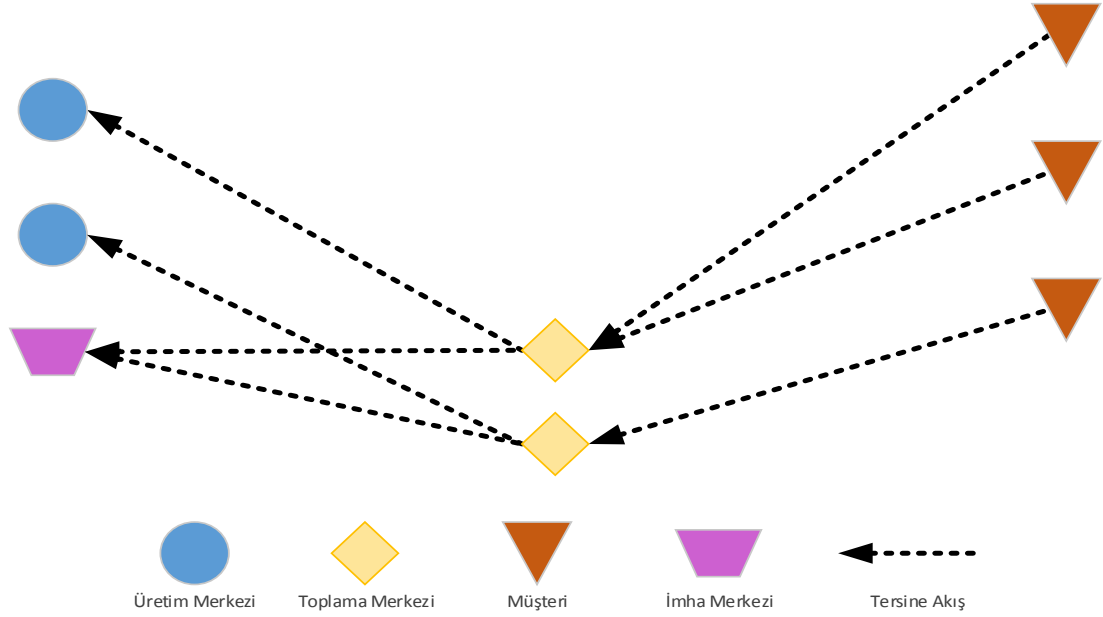
Belirli bir ürünü üretmek için tersine lojistikle geri dönen ürünlerin parçalarının kullanılabilmesinin yanında yeni parçaların da kullanılması üretim sürecini zorlaştırmaktadır.

Fleischmann ve diğ. (1997), tersine lojistikle geri gönen ürünü iyileştirme çalışmaları ürünün durumuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Ancak bu iyileştirme çalışması yapılacak olan ürün için karar birçok test ve ayrıştırma işleminden geçtikten sonra verilebilir. Bu sebepten dolayı ileri lojistiğin aksine tersine lojistikte belirli bir üretim süreci aşaması yoktur. Bu durumda yeniden üretim için gerekli planlamayı belirsiz hale getirmektedir.

### **2.2.5 Tersine Lojistik Ağı Tasarımı**

Tersine lojistikte ürünlerin müşterilerden geri alınması ve bu ürünlerin yeniden işlenerek dağıtılması işlemleri tersine lojistiğin ana işlemleridir. Bu işlemler ileri lojistikten farklı işlemleri içermektedir. Tersine lojistikte geri dönecek olan ürünlerden hangilerinin toplanıp, paketleneyeceği ve işlem noktalarının yerleşimi bir sorundur. Bu sorunları çözmek için depolar ve toplama merkezlerinin yerleşimi, ileri ve tersine lojistikte bazı işlem noktalarının birleştirilmesi gibi ağ tasarımıyla ilgilendiren konuların değerlendirilmesi gerekmektedir (Brito ve diğ. 2002).

Tersine lojistikte, ileri lojistiğin aksine farklı işlemleri yerine getiren birçok elemana sahiptir. Tersine lojistikte geri dönecek ürünün ne zaman geri döneceği, ürünün hangi işlem noktasına gönderileceği, şirketin yapacağı planlamalar nasıl olmalı ve diğer sorular tersine lojistikte ağ tasarımı yapabilmek için cevaplandırılması gereken esas sorulardır (Lourenço ve Soto 2002). Tersine lojistik, ileri lojistikten farklı elemanlara sahip olması ağ tasarımı zorlaştırmaktadır. Bir müşteriden alınan ürün durumuna göre farklı işlem noktalarına gönderilebilmektedir. Ayrıca ürünün tekrardan üretimden geçmesine degecek kadar bir değere sahip olup olmaması da karşılaşılan başka bir sorundur ve bu sorunda durumu daha da karmaşık hale getirmektedir. Tersine lojistiği oluşturan süreç Şekil 2.5' de verilmiştir.



Şekil 2.5: Tersine tedarik zinciri (Polat ve diğ. 2019).

### 2.2.6 Tersine Lojistiğin Önemi

Tersine lojistik uygulamaları aşağıda verilmiş olan sanayi kollarında önemli bir rol oynamaktadır:

1. Basın-Yayın (%40-50 oranında): Satışı gerçekleşmemiş ürünlerin tekrardan kullanım için toplanması.
2. İçecek Endüstrisi: İmha edilmek veya tekrar kullanmak üzere boş şişelerin toplanması.
3. Ağır Sanayi: Yeniden kullanmak üzere atıkların toplanması.
4. Tüketim Malları Endüstrisi: Garantisi olan ürünlerin satış sonrası hizmetler kapsamında geri alınması.
5. İlaç Endüstrisi: Çevresel nedenlerden dolayı kullanım süresi dolmuş ilaçların geri toplanması.
6. Otomobil Endüstrisi: Satış sonrası üründe meydana gelen aksaklıkların giderilmesi için garanti kapsamında geri alınması.

Yukarıda bahsedilen sanayi kolları başta olmak üzere şirketler açısından tersine lojistik büyük önem kazanmaktadır. Tersine lojistiğin bu kadar büyük önem kazanmasındaki sebepler ise aşağıda verilmiştir.

- Ekonomik kazançlar,
- Çevreye duyarlı yasalar,
- Yeşil çevre imajının önemli bir pazar etiketi haline gelmesi,
- Tüketici memnuniyeti sağlamak,
- Hükümetlerin çevre odaklı programları,
- Sosyal sorumluluk,
- Ürünlerin son kullanımına kadarki sorumluluklarının üreticilere ait olması.

Yasal baskılar sebebiyle birçok ülkede tersine lojistik faaliyetlerini yerine getirebilmek için ürünleri geri toplama ve geri kazanım sistemleri kurulmaktadır. Kurulan bu sistemlerden elde edilen kazanımlara verilebilecek olan bazı örnekler aşağıda yer almaktadır:

- Hollanda'da otomobillerin trafik kazaları sonucunda zarar görmesi halinde %90' ını işleyecek bir sistem kurulmuştur (Hillegersberg ve diğ. 2001),
- ABD'de ürün olarak camın %20'si, kağıdın %30'u, alüminyum ürünlerin %61'i, her yıl yaklaşık 9,5 milyon otomobil ve kamyonun %75'i tekrardan kullanım için geri kazandırılmaktadır (Güngör ve Gupta 1999).

Şirketler, değişmekte olan koşullar sebebiyle tersine lojistiğe yönelik stratejiler geliştirmekte ve geliştirdikleri stratejiye göre uzun dönemli planlarını yapmaktadırlar. Örneğin, BMW' nin tersine lojistiğe yönelik stratejik amacı 21. yy.' da otomobilleri tümüyle geri kazandırılabilir bir şekilde tasarlamaktır (Dowlatshahi 2000). Tersine lojistik, otomotiv, çelik, elektronik, bilgisayar, kimya, ilaç, tıbbi araçları da kapsayan birçok sanayi kolunda kullanılmaktadır. Tersine lojistiği uygulayan şirketler arasında BMW, Delphi, DuPont, General Motors, HP gibi büyük şirketler vardır.

Şirketlerin genel harcamaları, şirketin bulunduğu sektör, şirketin zincirdeki pozisyonuna göre değişse de tersine lojistiğin ekonomik olarak bir kazanç sağlamasından dolayı şirketler için öneminin daha da artacağı beklenmektedir.

## 2.3 Kapalı Döngü Tedarik Zinciri

### 2.3.1 Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Tanımı

Kapalı döngü tedarik zincirinin literatürde 20 yıllık bir geçmişe sahiptir. Kapalı döngü tedarik zincirinin ortaya çıkışı tersine lojistikten kaynaklanmaktadır. Ürünlerin geri dönüşlerde geleneksel tedarik zincirinden farklı olarak tersine lojistikte farklı işlemlere tabi olması tersine lojistiğin gelişmesine neden olmuştur. Bu işlemlerle ürünlere tekrardan bir değer katılması tersine lojistiğin geleneksel tedarik zinciriyle beraber çalışmasıyla daha verimli olacağını ortaya koymuştur. Bu iki sistemin beraber çalıştığı sistemler ise kapalı döngü tedarik zinciri olarak tanımlanmıştır (Özmen 2013).

Kapalı döngü tedarik zinciri tanım olarak ilk defa Thierry ve diğ. tarafından 1995 yılında "bütünleşik sistemler" olarak tanımlanmıştır (Thierry ve diğ. 1995). Kapalı döngü tedarik zinciri, ürünün geri kazandırılmasıyla hem ekonomik hem de çevresel olarak değer kazanmaya başladığı bir dönemde ortaya çıkmış olan bir tanımdır.

Kapalı döngü tedarik zincirini, tedarikçiden temin edilen hammaddenin üretim yerlerinde üretilip dağıtım noktaları aracılığıyla tüketiciye ulaştırılması ve tüketicinin kullanmış olduğu ürünün geri dönüşüm, demontaj, toplama merkezi noktaları aracılığıyla yeniden kazanım amacıyla üretime katılmasını sağlayan ileri ve tersine lojistik faaliyetlerini içeren bir bütün olarak düşünebiliriz. Kapalı döngü tedarik zincirinin, geleneksel tedarik zincirinin sağlamış olduğu faydaların yanında tersine lojistikle geri dönmüş olan ürünü tekrardan üretim sürecine dahil etmesinden dolayı çevreye de fayda sağlamaktadır (Budak 2012).

Aşağıda kapalı döngü tedarik zincirinin öğeleri verilmiştir:

- **İleri lojistik;** Ürün ve malzemelerin akışını içeren ileri lojistik faaliyetlerinin denetimini, koordinasyonu ve yönetimini içerir. Tüketicie doğru aşağı yönlü bir lojistik akıştır.



- **Tersine lojistik;** Kapalı döngü tedarik zincirinin bir alt yapısı veya bağımsız bir yapı içerisinde işlev görür. Bu sistem tüketim noktasından üretim noktasına doğru, ürün akışını içerir. Bu akışta ürün yeniden değer kazanım için üretime dahil olur veya uygun bir şekilde yok edilir. Tüm bu işlemlerin planlanması, uygulanması ve kontrolü tersine lojistiği oluşturmaktadır.
- **Tanımlama, onarım, işleme, elden çıkarma;** Tersine lojistik işlemleriyle geri dönen ürünler tanımlama, değerlendirme, tamir etme, demontaj ve malzemeleri elden çıkarma gibi işlemler tabi tutulurlar. Bu malzemeler ya ileri lojistik işlemlerinden geçer ya da ikincil pazarlarda satışa sunulur (Şengül 2009).

### 2.3.2 Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı

Ağ tasarımı kararlarıyla tesis sayısı, tesis yeri, kapasitesi ve işlem noktaları arasındaki akış miktarı gibi stratejik kararlar alınmaktadır. Dolayısıyla tesisi açma kararı uzun vadeli ve yüksek maliyetli bir karardır. Bu sebepten dolayı tesis yeri için kısa vadede bir değişiklik yapmak mümkün değildir. Kapalı döngü tedarik zinciri ağ yapısının iki farklı lojistik bileşeni vardır. Bunlar;

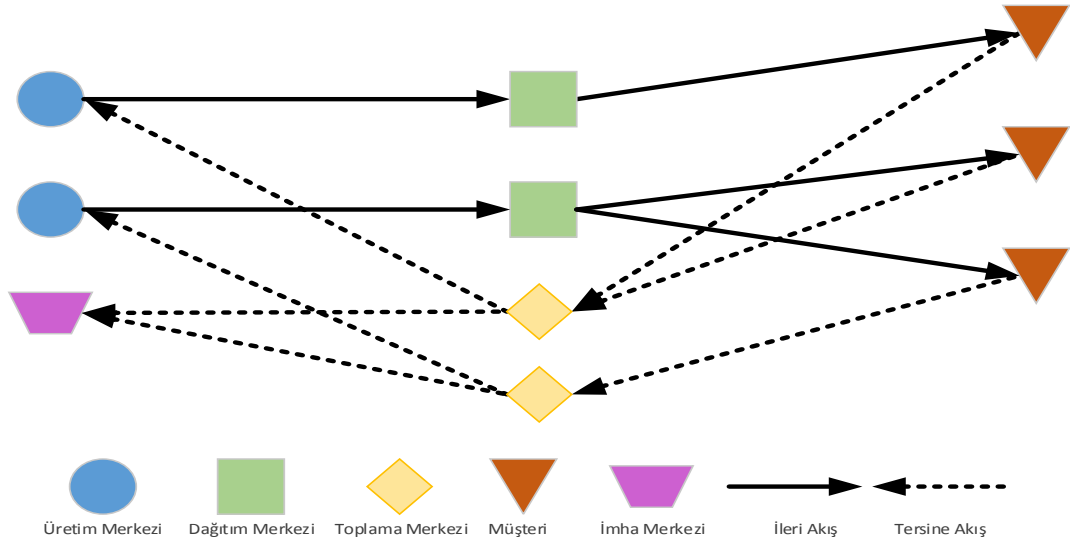
1. İleri tedarik zincirini oluşturan tedarikçiler, üretim noktaları, dağıtım noktaları ve müşteri noktalarından oluşan yapı,
2. Tersine tedarik zincirini oluşturan müşteri noktaları, depo ve geri kazanım noktalarından oluşan yapıdır.

Müşteriler bu iki tedarik zinciri yapısının ortak kesişim noktasıdır. Bu iki tedarik zincirinin bir arada olduğu yapı ise kapalı döngü tedarik zinciri olarak adlandırılmaktadır (Bkz. Şekil 2.6).

Şirketlerin kapalı döngü tedarik zincirini uygulama kararı almalarının arkasında iki etken mevcuttur. Bunlar; yasal düzenlemeler ve iş sürecindeki kazanımlardır.

Akçalı ve diğ. (2009) kapalı döngü tedarik zinciri ağ yapısıyla alakalı genel kapsamlı bir literatür çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada kapalı döngü tedarik

zinciri için kullanılan matematiksel model yöntemlerine göre ve ağ yapısı aşamalarına göre sınıflandırma yapmışlardır. Özmen (2013) tarafından kapalı döngü tedarik zincirinin ağ tasarımıyla alakalı çalışmaların ürün veya sektöre özgü yapılmış çalışmalara göre sayıca fazla olduğu açıklanmıştır.



Şekil 2.6: Kapalı döngü tedarik zinciri (Polat ve diğ. 2019).

### 2.3.3 Kapalı Döngü Tedarik Zincirinin Önemi

Kapalı döngü tedarik zinciri ileri lojistik ve tersine lojistiği birleştiren, ekonomik yönden şirketlerin kaynak ihtiyacını azaltan önemli bir yapıdır. Ayrıca kapalı döngü tedarik zinciri toplum, şirket ve çevre arasında da üçlü bir ağın kurulmasını sağlayarak şirketlere önemli bir imkan sağlar. Kapalı döngü tedarik zincirinin sağladığı bu faydalar Tablo 2.4' te verilmiştir.

**Tablo 2.4:** Kapalı döngü tedarik zincirinin faydaları (Şengül 2009).

<b>Hizmet / Pazar</b>
Tüketici memnuniyetinin geri dönüş hizmetleriyle artması
Araştırma-Geliştirme ve Pazara sürüm süresinin azalması
Yedek parça sayısının artması
Yeniden yapılandırma ile ürün kalitesinin geliştirilmesi
İleri akışa yönelik tamir işlemleri
Yeşil çevre imajı
<b>Çevre / Güven</b>
Azalan çevre etkisi
Yasalara uyma
Hatalı ürünleri uygun bir şekilde geri çağırma
<b>Değer yaratma fırsatları</b>
Oluşabilecek riskin azalması
Geri dönen malzeme ve parçalardan kazanılan değer
Emeğin geri kazanım değeri
Malzemeleri elden çıkarırken oluşan maliyetleri azaltma
Geri dönüşlerin uygun zamanlaması ile modası geçme riskini azaltma
Yeni üretimde azalan yedek parça miktarı
Geri dönüşleri azaltma

Şirketler tersine tedarik zinciri ve kapalı döngü tedarik zinciri ağlarına ürün geri dönüşlerinden dolayı ihtiyaç duymalarının 3 temel sebebi vardır. Bunlar yasal yaptırımlar, geri dönen ürünlerden tekrardan kazanım elde ederek ekonomik kazanç sağlama ve kullanılmış ürünlerin içindeki tehlikeli maddelerin çevre kirliliğine yol açmasıdır. Bu bağlamda şirketlere ekonomik kazanç sağlayan ürün geri dönüşlerinin nedenleri aşağıda verilmiştir:

### ***Ürünün Geri Dönüş Nedenleri*** (Nakıboğlu 2007)

#### ***Üretici Dönüşleri***

- Ürünün hammadde olarak fazlalığı,
- Ürünün belirlenmiş kalite standardına uygun olmaması,
- Ürünün üretim fazlası olması nedeniyle geri dönüşler,

#### ***Dağıtıcı Dönüşleri***

- Teslimatın yanlış veya hasarlı olması,
- Ürünün kullanım süresi geçmiş olması,
- Ürünlerin satılamamış olmasından dolayı stok fazlası olması,
- Yıl içerisindeki mevsimsel dalgalanmalar ve stok ayarlamaların dolayı geri dönüşler,

### *Müşteri Dönüşleri*

- Ürünün garanti süresi içerisindeki dönüşler,
- Ürünlerin yeniden kullanım için tamir edilmesi,
- Ürünün tekrardan değer kazanımı (hurda olarak veya diğer kazanım yollarını değerlendirme),
- Ürünün kullanımı sonucunda olan geri dönüşler (ürünün ikinci el olarak satılması),
- Ürünün kullanım ömrünün bitmesine bağlı geri dönüşler,
- Ürün içerisindeki zararlı maddelere yönelik yasal düzenlemeler.
- Ürünün hasarlı olmasından kaynaklı veya müşterinin ürünün hasarlı olduğunu düşünmesinden dolayı geri dönüşler,

### *Fonksiyonel Dönüşler*

- Ürünü paketlemek ve taşımak için kullanılan materyallerin ve araçların yeniden kullanılabilir olması,

### *Üreticinin Ürünleri Geri Çağırması*

- Üründen kaynaklanan güvenlik veya sağlık problemleri nedeniyle üreticinin ürünü geri çağırması.

Ürün geri dönüşleri 1980' lerin sonlarına kadar pek önemsenmemiştir. Fakat daha sonra perakendecilerin bu durumu kazanç olarak görmelerinden dolayı ayrı bir yönetim alanı olarak ortaya çıkmıştır. Perakendecilerin ürün geri dönüşlerinden kazanç elde etmesi özellikle son dönemlerde ürün geri dönüşlerini artırmıştır (Meyer 1999). Ayrıca bazı ürünlerde ürün geri dönüş oranının %30-50' ye çıktığını ifade etmiştir (Nakıboğlu 2007). Ürünlerin geri dönüş oranlarıyla ilgili yüzdeler Tablo 2.5' te verilmiştir.

**Tablo 2.5:** Geri dönüş oranları örneği (Nakıboğlu 2007).

Endüstri	Yüzdesi
Dergi basımı	%50
Kitap basımı	%20-30
Kitap dağıtımı	%10-20
Katalog perakende satışları	%18-35
Elektronik dağıtımı	%10-12
Bilgisayar üreticileri	%10-20
CD-ROM	%18-25
Yazıcı	%4-8
Otomobil endüstrisi (parça)	%4-6
Tüketici elektroniği	%4-5
Ev kimyasalları	%2-3

Şirketlerin ürün geri dönüşlerine gösterdikleri önemin bir diğer sebebi ise yasal düzenlemelerdir. Uluslararası Standartlar Organizasyonu (USO/ISO), çıkartmış olduğu ISO 14000 çevre yönetimi standardizasyonu serisi ile şirketlerin üretim sürecinde oluşmuş olan zararlı atıkları bertaraf etmesi ve çevreyi kirletmeyecek şekilde önlemler almasını sağlayacak standartları belirtmiştir (Giudice ve diğ. 2006).

### 2.3.4 KDTZ Ağlarının İTZ Ağlarına Göre Farklılıkları

Tersine tedarik zincirindeki belirsizliklerden dolayı ileri tedarik zincirine göre farklılıkları vardır. Tersine tedarik zincirindeki bu belirsizlikler dahil olduğu kapalı döngü tedarik zincirini de aynı şekilde etkilemektedir. İTZ ve KDTZ arasındaki bu farklılıklar Tablo 2.6' da açıklanmıştır.

**Tablo 2.6:** İTZ ve KDTZ ağları arasındaki farklar (Wang ve Hsu 2010).

İTZ	KDTZ
Tahminler kolaydır.	Tahminler çok daha zordur.
Kar-fayda odaklıdır.	Çevreye duyarlı ürün odaklıdır.
Dağıtım tek kaynaktan çok kaynağa doğrudur.	Dağıtım çok kaynaktan tek kaynağa doğrudur.
Ürün kalitesi standarttır.	Ürün kalitesi standart değildir.
Ürün paketleme stabildir.	Ürün paketleme stabil değildir.
Ürün yapısı standarttır.	Ürün yapısı standart değildir.
Dağıtım rotası belirlidir.	Dağıtım rotası belirsizdir.
Dağıtım kanalları belirlidir.	Dağıtım kanalları belirsizdir.
Ürünün temel özellikleri bilinir.	Ürün temel özellikleri bilinmez.
Ürün/ücret fiyatlandırması standarttır.	Ürün/ücret fiyatlandırması standart değildir.
Hız önemlidir.	Hız önemli bir faktör değildir.
Maliyeti belirlemek kolaydır.	Maliyeti belirlemek zordur.
Stok yönetimi kolaydır.	Stok yönetimi zordur.
Ürün yaşam döngüsü kolay yönetilir.	Ürün yaşam döngüsü karmaşıktır.
Pazarlama teknikleri iyi bilinir.	Pazarlama teknikleri karmaşıktır.
Süreçler açıkça izlenebilir ve kontrol edilebilir.	Süreçlerin izlenebilirliği ve kontrol edilebilirliği zordur.

### 2.3.5 Kapalı Döngü Tedarik Zincirinin Temel İşlemleri

Genel bir KDTZ aşağıda verilmiş olan beş grup işlemi kapsar. Bunlar;

**Toplama:** Kullanılmış olan ürünlerin toplanması, taşınması ve depolanması işlemleri içerir.

**Muayene ve Ayıklama:** Toplanan ürünler üreticiye ulaşmadan önce hangi durumda olduğu kontrol edilip buna göre gerekli ayıklama işlemi yapılır. Bu sayede gereksiz ürünler ayıklanarak oluşabilecek maliyetlerin önüne geçilmiş olunur. Muayene ve ayıklama aşamasında geri gelen ürünler demontaj, parçalara ayırma, sınıflandırma ve depolama gibi işlemlerden geçirilir.

**Yeniden İşleme:** Geri gelen ürünlerden tekrar kullanılabilir durumda olanları uygun işlemlerden geçerek yeniden kullanılabilir duruma getirilir.

**Elden Çıkarma:** Yeniden kullanılmayacak ürünlerin veya zararlı maddelerin çevreye zarar vermeyecek şekilde ortadan kaldırılmasıdır.

**Yeniden Dağıtım:** Yeniden kullanılabilir malzemelerin satış, nakliye, depolama ve kiralama işlemleriyle tekrardan pazara girmesinin sağlanmasıdır (Şengül, 2009).

### 2.3.6 TTZ ve KDTZ Ürün Değerlendirme Faaliyetleri

**Yeniden kullanım:** Kullanılmış ürünlerin herhangi bir işlemde geçmeden tekrar kullanılmasıdır. Yeniden kullanıma sunulan ürün aynı amaçla kullanılmasının yanında farklı bir alanda da kullanılabilir.

**Tamir:** Kullanıcıdan geri dönen ürünlerin tekrardan kullanılabilir hale getirilmesidir. Üründe mevcut olan kırıklar ve bozulmuş parçalar tamir edilir veya yenileriyle değiştirilir. Kalite olarak yeni ürünün kalitesinden biraz düşük olur.

**Yenileme:** Kullanılmış olan üründe sadece bozuk kısımlar değil sağlam olan diğer parçalarda kontrol edilerek bir yenileme yapılır. Bu yenileme sürecinde eski parçalar yeni parçalarla değiştirilir.



## 2.4 Entegre İleri ve Tersine Lojistik

Entegre ileri ve tersine lojistik ağı, üretim / geri kazanım merkezleri, dağıtım merkezleri, müşteri bölgeleri, toplama / denetim merkezleri ve çok katlı kapasiteye sahip imha merkezlerini içeren çok aşamalı bir lojistik ağıdır.

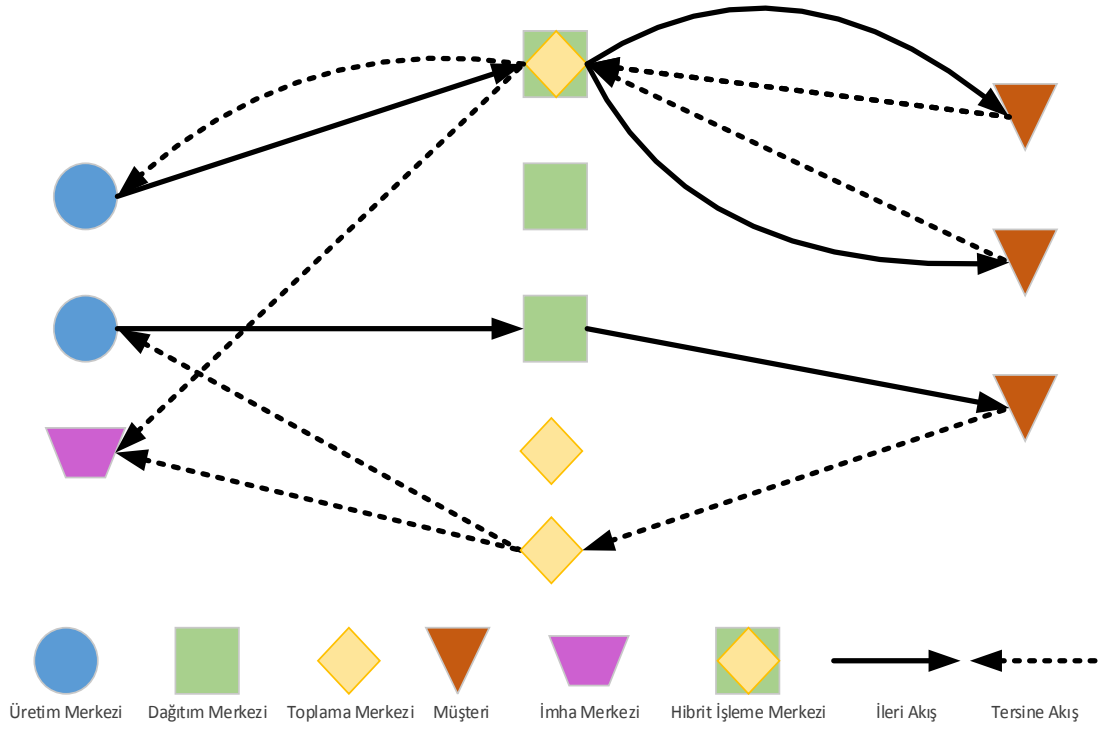
Entegre ileri ve tersine lojistikte ileri akışta yeni ürünler, her bir müşterinin talebini karşılamak için üretim merkezlerinden müşteri merkezlerine dağıtım merkezleri aracılığıyla sevk edilmektedir. Tersine akışta ise iade edilen ürünler toplama / denetim merkezlerinde toplanır ve gerekli testlerden geçtikten sonra geri kazanılabilir ürünler geri kazanım tesislerine gönderilir. Atık ürünler ise imha merkezlerine sevk edilir. Bu strateji sayesinde, iade edilen ürünlerden özellikle hurdaya atılan ürünlerin taşınması önlenmiş olur ve iade edilen ürünler doğrudan doğruya uygun tesislere gönderilmiş olur. Böylece entegre bir lojistik ağında, hibrit işleme tesisleri, ayrı dağıtım ve toplama merkezlerine kıyasla potansiyel maliyet tasarrufu sağlar. Bu nedenle entegre ileri ve tersine lojistik ağında, dağıtım ve toplama merkezlerinin aynı yerde kurulduğu hibrit bir dağıtım ve toplama tesisi düşünülmüştür. Ortaya çıkan maliyet tasarrufu amaç fonksiyonu içerisinde, tesislerin sabit açılış maliyetleri, değişken nakliye maliyetleri ve ağın yanıt verme oranının değiş tokuşunu göz önünde bulunduracak şekilde yansıtılır. Aynı şekilde, hibrit dağıtım ve toplama tesislerinin kullanımı entegre ileri ve tersine lojistik ağının matematiksel modelinde bir karar değişkeni olarak yer alır.

### 2.4.1 Entegre İleri ve Tersine Lojistik Ağ Tasarımı

Entegre ileri ve tersine lojistik ağının genel yapısı Şekil 2.8' de gösterilmiştir. İleri akışta ürünler, her müşterinin talebini karşılamak üzere üretim / geri kazanım merkezlerinden dağıtım merkezleri aracılığıyla bir dizi coğrafi olarak dağılmış müşteri bölgelerine teslim edilmektedir. Geri akışta geri gönderilen ürünler toplama merkezlerinde toplanır ve kalite muayenesinden sonra, geri kazanılabilir ürünler, hurda ürünler ve ticari ürünler olarak üç gruba ayrılırlar. Geri kazanılabilir ürünler üretim / geri kazanım merkezlerine, hurdaya çıkan ürünler imha merkezlerine gönderilir. Ticari ürünler ise onarılarak tekrardan dağıtım merkezlerine taşınır. Bu strateji göz önüne alındığında, iade edilen ürünlerin aşırı taşınması, özellikle hurdaya



çıkılmış olan ürünlerin nakliyesi önlenmekte ve iade edilen ürünler direk olarak uygun tesislere aktarılabilir.



Şekil 2.8: Entegre ileri ve tersine lojistik ağı (Polat ve diğ. 2019).

Entegre ileri ve tersine lojistik ağında, ileriye doğru işleme tesisleri (dağıtım merkezleri) ve geriye doğru işleme tesisleri (toplama merkezleri) ayrı olarak değil, hem dağıtım hem de toplama merkezleri olarak aynı yerde konumlanmıştır. Ayrı dağıtım ve toplama merkezlerine kıyasla, hibrit işleme tesisleri, malzeme taşıma ekipmanlarının ve altyapılarının paylaşımının sonucu olarak maliyet düşürme ve kirliliği azaltma konusunda daha fazla avantaj sağlamaktadır. Dolayısıyla, bu entegre ağda, maliyeti düşürmek için hibrit dağıtım ve toplama tesisleri düşünülmüştür. Hibrit işleme tesisinin kullanılıp kullanılmayacağı sabit açılış maliyetlerinin ve değişken maliyetlerin takas edilmesine bağlıdır. Yani, böyle bir lojistik ağında hibrit işleme tesislerinin kullanılması bir karar değişkenidir.

### 3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İleri ve tersine lojistik ağının entegrasyonuna yönelik bilimsel literatür incelendiğinde son 20 yılda farklı çalışmalarla karşılaşılmaktadır. Bu çalışmalardan tersine lojistik ve hem ileri hem de tersine lojistiği birlikte ele almış olan çalışmalar bu literatür çalışmasında verilmiştir.

Salema ve diğ. (2006), ileri ve tersine ağları eş zamanlı olarak en iyi duruma getiren bir depo yeri tahsisi modeline dayanan tersine lojistik ağ tasarımı için karma tamsayılı doğrusal programlama (KTDP) formülasyonu önermiştir. Modelde ilk önce sınırsız kapasiteye sahip tek bir ürün modeli tanımlanmıştır. Daha sonra model kapasite kısıtlamalarının ve çok ürünlü bir sistemin değerlendirilebileceği çok ürünlü ağ modeli şeklinde genişletilmiştir. Önerilen model, farklı model varsayımlarının önerildiği alandaki yayınlanmış çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Modeli daha iyi kavrayabilmek ve karşılaştırmalı bir analiz yapabilmek için iki durum açıklanmıştır.

Listeş (2007), kapalı döngü sisteminde organize edilen hem tedarik hem de dönüş kanallarını içeren ağların tasarımı için genel bir stokastik model sunmaktadır. Model, talep veya geri dönüş gibi tasarım parametrelerinin kritik seviyelerine dayanılarak oluşturulabilecek bir dizi alternatif senaryoyu açıklamaktadır. Belirlenmiş olan modelin çözümü ise dal kesme (L-shaped) yöntemine göre yapılmıştır. Burada sunulan model ve çözüm metodolojisi, tersine lojistik için belirsizlik altında olan ağ tasarım modellerinin etkin çözümüne katkıda bulunabilir.

Ko ve Evans (2007), eş zamanlı olarak ileri ve tersine dönüş ağının optimize edilmesinin bütünleyici yönünü hesaba katan bir dinamik bütünleşik dağıtım ağının tasarımı için bir karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli sunmuştur. Bu tür ağ tasarımı problemleri bir NP zor problem sınıfına ait olduğundan, ilgili sayısal sonuçlara sahip bir genetik algoritma tabanlı sezgisel bir algoritma ile bir dizi problemde sunulmakta ve test edilmektedir. Son olarak, bir ağ planı çözümü, malzeme taşıma ekipmanlarının ve insan kaynaklarının kapasiteleri için çeşitli kaynak planlarının belirlenmesinde yardımcı olacaktır.

Pishvae ve diğ. (2009), belirsizlik altında entegre ileri ve tersine lojistik ağ tasarımı için stokastik programlama modeli geliştirmiştir. İlk olarak, ileri ve tersine ağların ayrı tasarımının neden olduğu alt optimizasyonundan kaçınmak için entegre lojistik ağ tasarımı için etkin bir deterministik karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Daha sonra önerilen karma tamsayılı doğrusal programlama (KTDP) modeli stokastik tabanlı yaklaşım kullanılarak geliştirilmiştir.

Pishvae ve diğ. (2010), ileri ve tersine lojistik ağlarının ayrı, sıralı bir tasarımının neden olduğu alt optimizasyonu önlemek için entegre lojistik ağ tasarımı için bir model önermiştir. İlk olarak, toplam maliyetleri en aza indirmek ve lojistik ağın tepkisini maksimize etmek için iki yönlü karma tamsayılı programlama formülasyonu geliştirilmiştir. Belirli olmayan çözümleri bulmak için ise çok amaçlı bir memetik algoritma önerilmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımının sonuçları, Pareto-optimal çözüm sonucu, çok amaçlı bir genetik algoritma tarafından üretilen sonuç ve bir ticari çözücü tarafından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

El-Sayed ve diğ. (2010), çok dönemli, çok katmanlı ileri ve tersine lojistik ağ tasarımını risk modeli altında geliştirmiştir. Önerilen ağ yapısı, ileri yönde üç aşamadan (tedarikçiler, tesisler ve dağıtım merkezleri) ve ters yönde iki aşamadan (sökme ve yeniden dağıtım merkezleri) oluşmaktadır. Problem, çok aşamalı bir stokastik program olarak stokastik karma tamsayılı doğrusal programlama (SKTDP) karar verme formunda formüle edilmiştir. Amaç beklenen toplam karı maksimize etmektir.

Sezer (2010), son yıllarda önemi artan Tedarik Zinciri Yönetimi ve Lojistik Yönetimi alanları hakkında genel bilgiler verilmekte ayrıca, lojistik yönetiminin özel bir konusu olan tersine lojistik sistemi, kavramlar ve sistemin işleyişi ele almışlardır. İleri ve tersine akışları dikkate alan lojistik ağ tasarımı için karışık tamsayılı bir programlama modeli geliştirilmiş ve basın-yayın sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın dergi dağıtım ve toplamasını konu alan gerçek bir problem üzerinde uygulamışlardır. Basın-yayın sektörüne uygulanan bu model, bu tarz çalışan diğer sektörlerde de uyarlanabilir durumda olduğunu ortaya koymuşlardır.

Demirel ve diğ. (2011), çok aşamalı, çok ürünlü ve kapasite kısıtlı bütünleşik lojistik ağ tasarımı için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Belirlemiş oldukları problem, lojistik ağında bulunan tesislerin sayısını ve yerleşim yerlerinin belirlenmesi ile müşteri taleplerini en az maliyetle dağıtımını sağlayacak lojistik ağının tasarlanması kararlarını içermektedir. Karmaşık bir yapıda olan model, sezgisel yöntem ve doğrusal programlamayı birlikte kullanan genetik algoritma tabanlı melez bir çözüm yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir. Farklı boyutlarda üretilen test problemleri, geliştirilmiş olan çözüm yönteminden elde edilen sonuçlar ile GAMS-CPLEX programından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Khajavi ve diğ. (2011), ileri ve tersine lojistik ağı incelemiş ve bir genelleştirilmiş lojistik ağ probleminin iki amaçlı karma tamsayılı programlama modeline (KTP) formüle edilmesiyle çok aşamalı bir lojistik ağ tasarımı önermiştir. Amaç, toplam maliyetleri en aza indirmek ve kapalı döngü tedarik zinciri ağının eş zamanlı olarak tepkisini maksimize etmektir. Ayrıca tesis yeri problemi, sevk edilen ürünün optimum miktarı ve tesis kapasitesi ile ilgili kararları veren bu model için optimum bir değer bulmak için dal sınır algoritması uygulanmıştır. Önerilen karma tamsayılı programlama (KTP) modeli, ileri ve geri lojistik ağlarının ayrı tasarımından kaynaklanan alt optimizasyonundan kaçınmak için sayısal bir örnek verilmiştir. Bu yaklaşımınla entegre lojistik ağ tasarımı ile ilgili problemler hakkında karar vermede önemli ölçüde yardımcı olabileceği gösterilmiştir.

Gilanlı ve diğ. (2012), Trakya bölgesinden üretim yapmakta olan 110 işletmeyi kolayca örnekleme yöntemiyle seçmiştir. Seçilmiş olan işletmelerde anket çalışması yapılmıştır. Yapılan anket çalışmasına göre işletmelerin %30,9' u tersine lojistik faaliyetlerinin büyük bir kısmını uygulamakta, %66,4' ü bu faaliyetleri kısmen uygulamakta ve %2,7' si bu faaliyetlerin hiçbirini uygulamadıklarını belirtmişlerdir.

Vahdani ve diğ. (2012), belirsizlik altında kapalı döngü tedarik zinciri tesislerinin güvenilir bir ağ tasarımı için yeni bir model sunmuştur. Bu amaçla, toplam maliyetleri ve beklenen nakliye maliyetlerini en aza indiren iki amaçlı bir matematiksel programlama formülasyonu geliştirilmiştir. Modeli çözmek için,

gürbüz optimizasyon yaklaşımı, kuyruk teorisi ve bulanık çok amaçlı programlamanın birleştirilmesiyle yeni bir hibrit çözüm metodolojisi sunulmuştur.

Keyvanshokoo ve diğ. (2013), çok katmanlı, çok dönemli ve çok ürünlü planlama sorununu gidermek için entegre ileri ve tersine lojistik ağ tasarımı ele almıştır. İade maddelerinin kalite seviyeleri dikkate alınarak kategorize edilip ve her dönüş türü için farklı bir alış fiyatı sunulmuştur. Ayrıca, kullanılan ürünün bir birimi için müşterilerin rezervasyon indirimi, beklenen fiyat, müşteri iade isteği modelde uygulanmıştır. Kullanılan ürünler için dinamik fiyatlandırma yaklaşımını dikkate alarak, ileri ve tersine lojistik ağ tasarımı ve envanter kararlarını eşzamanlı olarak değerlendirmek için yeni bir karma tamsayılı doğrusal programlama geliştirilmiştir. Sunulan model CPLEX çözücü tarafından çözülmüştür. Hesaplamalı sonuçlar, kullanılan ürünler için dinamik bir fiyatlandırma yaklaşımının statik bir fiyatlandırmaya olan etkisinin ve bu model için fiyatlandırma kavramının doğrusallaştırılmasının kabul edilebilir bir çözüme sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca önerilen modelin performansını göstermek için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Ramezani ve diğ. (2013), ileri yönde üç kademe (tedarikçiler, tesisleri ve dağıtım merkezleri) ve geri yönde iki kademe (toplama merkezleri ve bertaraf merkezleri) dahil olmak üzere belirsiz bir ortamda lojistik ağ tasarımı için stokastik çok amaçlı bir model sunmaktadır. Lojistik ağının hedefi karı, müşteri duyarlılığını ve kaliteyi en üst düzeye çıkarmaktır. Bunu yaparken Pareto analizinden yararlanılmış ve böylece belirlenmiş olan hedefler arasındaki uyumsuzluğu göstermek için bunlarla ilgili finansal risk hesaplanmıştır. Sonuçlar ise karar verme süreci içerisinde önemli bilgiler vermektedir.

Hatefi ve Jolai (2014), belirsiz parametreleri ve tesis aksaklıklarını hesaba katan entegre ileri ve tersine lojistik ağ tasarımı için sağlam ve güvenilir bir model önermişlerdir. Önerilen model, ağı belirsizliğe karşı korumak için sağlam bir optimizasyon yaklaşımına dayalı formüle edilmiştir. Ayrıca formül karma tamsayılı doğrusal programlama modeline göre modellenmiştir. Amaç fonksiyonu ise önerilen modelde maliyeti en aza indirgenmesi üzerine kurulmuştur.

Hatefi ve diğ. (2015), belirsizlik ve rastgele tesis aksamaları altında hibrit tesisler ile entegre ileri ve tersine lojistik ağının tasarımı için güvenilir kısıtlı programlama modeli sunulmuştur. Bu problemin üstesinden gelmek için, ağ tasarım kararlarını hem ileri hem de tersine akışlarda birleştiren ve tesis aksamalarıyla başa çıkmak için güvenilirlik kavramlarını kullanan yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Daha sonra, geliştirilen model, model parametrelerindeki belirsizliklerin üstesinden gelmek için güvenilirliği kısıtlı programlamaya dayalı olarak geliştirilmiştir. Son olarak, geliştirilen modelin önemini ve uygulanabilirliğinin yanı sıra güvenilirliğe dayalı çözüm yaklaşımının etkinliğini göstermek için bir duyarlılık analizi ile birlikte birkaç sayısal deney gerçekleştirilmiştir.

Hatefi ve Jolai (2015), hem kısmi hem de komple tesis aksaklıklarıyla başa çıkabilen entegre ileri ve tersine lojistik ağ tasarımı için bir güvenilirlik modeli önermiştir. Güvenilirlik modelinin işlevi, tesislerin sabit açılış maliyetlerini en aza indirmek ve işleme maliyetleri, nakliye maliyetleri ve tatmin edici olmayan talepler için cezai maliyetler de dahil olmak üzere, aksaklıktan kaynaklanabilecek senaryolardan dolayı beklenen maliyetleri en aza indirmek için stokastik gürbüz programlama olarak formüle edilmiştir. Bunu yapmak için, ilgili ağın kısmi ve tam kapasite aksaklıklarına karşı korunması için gürbüz optimizasyon yaklaşımı modifiye edilmiştir. Ayrıca, tüm senaryoları dikkate almak için stokastik programlama kullanılmıştır. Kapasite aksaklıklarının lojistik ağ üzerindeki etkisini incelemek için üç sayısal deney tasarlanmıştır. Son olarak, önerilen modelin sonuçları geleneksel gürbüz optimizasyon modelleri ile karşılaştırılmıştır.

Bhaumik (2015), ürünlerini perakende mağazasında satan bir şirketin hem yeni ürünlerinin hareketlerini hem de müşterilerden geri dönecek ürünlerin hareketlerini birleştiren bir tedarik zinciri ağ tasarımı için bir matematiksel model açıklamıştır. Şirket, depoların ve test merkezlerinin nerede yer alacağına ve yeni ürünlerin nakliyesinde kullanılacak rotalara karar vermek istemektedir. Bu ikili tamsayı doğrusal programlama problemi olarak formüle edilmiştir. Problem LINGO kullanılarak çözülmüştür ve daha sonra, satış hacimleri, iade oranları, işletme maliyetleri ve çeşitli fiyatlar gibi farklı parametrelere optimum çözümün duyarlılığını belirlemek için bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Hatefi ve diğ. (2016), belirsiz ve rastgele tesis aksaklıkları altında hibrit tesislerin entegre ileri ve tersine lojistik ağının güvenilir tasarımı için gürbüz optimizasyon modeli önermiştir. İlgili ağın parametrelerindeki belirsizliklerin üstesinden gelmek için geliştirilen modele gürbüz optimizasyon yaklaşımı uygulanmıştır. Son olarak, önerilen modelin önemini ve uygulanabilirliğinin yanı sıra gürbüz optimizasyon yaklaşımının etkinliğini göstermek için bir duyarlılık analizi ile birlikte birkaç sayısal deney gerçekleştirilmiştir.

Rahmani (2016), bir tedarik zinciri ağ tasarım modelini çok seviyeli, çok amaçlı ileri ve tersine lojistik ağı olarak geliştirmiştir. Önerilen modeli gerçek dünya problemlerine daha yakın hale getirmek için modelde envanter ve tesis konum planlamasını dikkate almıştır. Önerilen model için senaryo tabanlı stokastik yaklaşım kullanılmıştır ve bu modeli çözmek için gürbüz optimizasyon yaklaşımı önerilmiştir. Pareto optimal çözümlerinin belirlenmesi için genetik algoritma uygulanmıştır.

Soleimani ve Zohal (2017), entegre ileri ve tersine lojistik ağ tasarımı için tek amaçlı bir model üzerine çalışmıştır. Bu model yedi kademe içermektedir; ileri yönde dört ve ters yönde üç kademedir. Faydalarını en üst düzeye çıkarmak için karınca kolonisi optimizasyonuna dayalı etkili bir algoritma önermişlerdir. Önerilen metasezgisel algoritma, kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı alanında yeni bir yaklaşımdır. Ayrıca geliştirilen model, gelirleri, maliyetleri ve CO2 emisyonlarını dikkate alan bir modeldir. Önerilen algoritmanın performansı LINGO yazılımında çözümler karşılaştırılmıştır. Ayrıca, algoritmanın değerlendirmesini güvenilir kılmak için küçük, orta ve büyük boyutlu çeşitli örnekler üretilmiş ve daha sonra bu örnekler çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmanın üstünlük performansını açıkça göstermiştir.

Fattahi ve Govindan (2017), çok dönemli entegre ileri ve tersine lojistik ağının tasarımı ve planlanmasını ele almıştır. Ağda, yeni ürünler için talep ve kullanılmış ürünlerin geri dönüşü stokastik olarak düşünülmüştür. Ayrıca, kullanılmış ürünlerin geri alımında müşteriye sunulan satın alma fiyatlarının farklı kalite seviyelerine sahip kullanılmış ürünlerin miktarına bağlı olduğu varsayılmıştır. Ek olarak, iki aşamalı stokastik programlama kullanılarak, karma tamsayı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Talep ve olası geri dönüş belirsizliği ile başa

çıkılmak için Latin Hiperküp Örnekleme yöntemi uygulanmış ve senaryoların sayısını azaltmak için geriye dönük senaryo azaltma tekniği kullanılmıştır. Problem karmaşıklığına bağlı olarak, büyük boyutlu test problemlerini ele almak için yeni bir simülasyon tabanlı tavlama algoritması geliştirilmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlar, modelin uygulanabilirliğini ve çözüm yaklaşımının etkinliğini göstermiştir. Son olarak, problemin ana parametrelerine duyarlılık analizi de dahil olmak üzere birçok sayısal deneyler yapılmıştır.

Vahdat ve Vahdatzad (2017), belirsizlikler altında çok dönemli, çok aşamalı ve tek ürünlü entegre ileri ve tersine lojistik ağ tasarım problemlerini tasarlamak için iki aşamalı bir stokastik programlama modeli önermiştir. Sunulan model, ileri lojistikte tedarikçiler, imalatçılar ve dağıtım merkezlerinden oluşmakta, tersine lojistikte ise toplama merkezleri, yeniden üretim, yeniden dağıtım ve bertaraf merkezlerinden oluşturmaktadır. Problem, karma tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak formüle edilmiş ve Benders' in Ayrıştırma (BA) yaklaşımı kullanılarak çözülmüştür.

Rabbani ve diğ. (2017), CO2 emisyon miktarı gibi bazı çevresel konulara ağırlık vererek ileri ve tersine lojistik ağ tasarlamaya çalışmıştır. Bu lojistik ağ, müşteri memnuniyetini en üst düzeye çıkarmanın yanı sıra, toplam CO2 emisyon miktarını ve toplam maliyeti en aza indirmeyi de içeren bir amaç fonksiyonunu ele almaktadır. Bu durumdan dolayı araştırmacılar çok amaçlı optimizasyon yöntemlerini benimsemişlerdir. Bu nedenle, problemle başa çıkmak için, dominant olmayan sıralama genetik algoritmasını (DOSGA-II) ve çok amaçlı parçacık sürüntü optimizasyonunu (ÇAPSO) önermişlerdir. Son olarak, çeşitli test problemleri üzerindeki deneylerin sonuçları GAMS yazılımı tarafından da test edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında dominant olmayan sıralama genetik algoritmasının (DOSGA-II), çok amaçlı parçacık sürüntü optimizasyonuna (ÇAPSO) göre üstün olduğunu göstermiştir.

Nobari ve diğ. (2019), yeni giren rekabetçi bir kapalı döngü tedarik zincirinin dinamik ve entegre ağ tasarımı için iki amaçlı bir model sunmaktadır. Ağ tasarımı probleminde dinamizmi ve entegrasyonu göz önünde bulundurmak için, planlama ufku boyunca çoklu uzun vadeli dönem göz önünde bulundurulmakta, böylece her uzun vadeli dönem birkaç kısa vadeli dönem içermektedir. Ayrıca, iki rakip tedarik



zinciri arasındaki zincirleme rekabet hem ileri hem de geri lojistikte göz önünde bulundurulmuştur. İleri lojistikte rakiplerin satış fiyatı üzerinde rekabet etmesi gerekirken tersine lojistikte tedarik zincirleri daha fazla pazar payı elde etmek için teşvik edici alım fiyatı üzerinde rekabet eder. Önerilen modelin rekabetçi aşamasını çözmek için ileri ve geri lojistiğin satış ve teşvik alım fiyatlarını belirleyen bir oyun teorik yaklaşımı kullanılmıştır. Rekabet aşamasının çıktılarına dayanarak, ortaya çıkan dinamik ve entegre ağ tasarım aşaması, Pareto tabanlı çok amaçlı bir emperyalist rekabet algoritması kullanılarak çözülmüştür. Son olarak, önerilen modelin etkinliğini ve çözüm yaklaşımını değerlendirmek için sayısal bir çalışma uygulanmıştır.

Zarbakhshnia ve diğ. (2019), çevre konusunda daha fazla sorumluluk bilinci ve rekabetçi bir piyasada karlılığı sürdürme ihtiyacı ile tersine lojistiğin, tedarik zinciri yönetimi içerisinde önemli hale gelmesinden dolayı, yapmış oldukları çalışmada karma tamsayı doğrusal programlama modeliyle yeşil bir ileri ve geri lojistik ağının tasarımını ve planlanmasını göz önünde bulundurmaya amaçlamışlardır. Modeli, çok aşamalı, çok ürünlü ve çok amaçlı bir soruna uygulamışlardır. Burada yapmayı planladıkları ilk amaç, işletme maliyetlerini, süreçleri, nakliye ve tesisin sabit maliyetlerini en aza indirmektir. İkinci amaç, gram birimine dayanan CO2 emisyonu miktarını en aza indirmektir. Üçüncü amaç ise üretim hattındaki makine sayısını optimize etmektir. Yaptıkları çalışmayı doğrulamak için modeli, birkaç test problemi ile beyaz eşya endüstrisine uygulamışlardır. Çözüm yöntemi olarak, bir dizi Pareto çözümü elde etmek için optimizasyon alanı olarak epsilon-kısıtlama yöntemini geliştirmişlerdir. Son olarak, kullanılan ürünün talep, maliyet ve geri dönüş oranındaki değişimlerin objektif fonksiyon değerleri üzerindeki etkilerini anlamak için duyarlılık analizi yapmışlardır.

Tablo 3.1 kapsamında literatürde yer alan bu çalışmalar detaylı olarak karşılaştırılmıştır. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarla literatürde yer alan aşağıdaki boşlukların doldurulması amaçlanmıştır:

- Parsiyel, komple ve hibrit taşımanın tedarik zinciri ağ tasarımına olan etkisi literatürde ilk defa incelenmiştir.
- Belirsiz üçüncü parti taşıma maliyetinin etkisi literatürde ilk defa incelenmiştir.
- Müşterilere gönderilen üçüncü parti araçların dönerken dolu gelmeleri durumunda aracın iki yönlü kullanımı ile elde edilen indirim etkisi literatürde ilk defa incelenmiştir.
- Hibrit taşıma sisteminde depo alternatiflerinin etkisi literatürde ilk defa incelenmiştir.

**Tablo 3.1:** Literatür Tablosu

Eser	Ağ Yapısı		Ağ Aşamaları		Dönem		Ürün		Parametreler		Belirsizlik İçeren Parametreler	Kapasite		Matematiksel Model		Amaç Fonksiyonu		Çıktı		Çözüm Metodu							
	Entegre	İleri	Tersine	İleri	Tersine	Çok	Tek	Çok	Tek	Deterministik		Stokastik	Sınırsız	Sınırlı	KTDP	KTROP	TDP	Maliyet	Kar	Diğerleri	Tesis Yerleşimi	Taşıma Miktarı	Stok	Kapasite	Fiyat	Yöntem	Çözücü
Salema vd. (2006)			✓		✓		✓		✓				✓	✓			✓			✓	✓					Dem	
Listeş (2007)	✓	✓		✓	✓		✓			✓							✓			✓	✓				L-Shaped	Cplex	
Ko ve Evans (2007)	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓				✓	✓			✓			✓	✓				Genetik Algoritma	Lingo	
Pishvae vd. (2009)	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓		Talepler, Geri Dönüşler, Taşıma Maliyeti, Üretim / Geri Kazanım Maliyeti, İşleme Maliyeti, Elden Çıkarma Maliyeti, Ceza Maliyeti		✓	✓			✓			✓	✓					Lingo	
Pishvae vd. (2010)	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓				✓	✓			✓			✓	✓				Memetik	Lingo	
Sezer (2010)		✓	✓		✓									✓			✓									Gams	
El-Sayed vd. (2010)		✓	✓	✓	✓		✓		✓		Talepler		✓	✓			✓			✓	✓					XpressSP	
Demirel vd. (2011)		✓	✓	✓	✓		✓		✓				✓	✓			✓			✓					Genetik Algoritma	Gams	
Khajavi vd. (2011)	✓	✓	✓	✓	✓		✓						✓	✓			✓			✓	✓					Lingo	

**Tablo 3.1:** Literatür Tablosu (devam).

Eser	Ağ Yapısı		Ağ Aşamaları		Dönem		Ürün		Parametreler		Kapasite	Matematiksel Model	Amaç Fonksiyonu	Çıktı				Çözüm Metodu	
	Entegre İleri Tersine	İleri Tersine	Çok Tek	Çok Tek	Deterministik Stokastik	Belirsizlik İçeren Parametreler	Sınırsız Sınırlı	KTDP KTROP TDP	Maliyet Kar Diğerleri	Tesis Yerleşimi Taşıma Miktarı				Stok Kapasite Fiyat	Yöntem	Çözücü			
Gilanlı vd. (2012)	✓	✓																	
Vahdani vd. (2012)	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓	✓	✓				
Keyvansh okooh vd. (2013)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		Gams	
Ramezani vd. (2013)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Fiyat, Üretim Maliyetleri, İşletme Maliyetleri, Tahsilat Maliyetleri, Elden Çıkarma Maliyetleri, Talepler Ve Geri Dönüş Oranları	✓		✓	✓	✓	✓		Pareto	
Hatefi ve Jolai (2014)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Müşteri Talebi, Miktar ve Geri Dönen Ürünlerin Kalitesi	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Hatefi vd. (2015)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Değişken Taşıma Ve İşleme Maliyetleri, Talepler, Geri Dönen Ürün Miktarı Ve Kapasiteleri	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Hatefi ve Jolai (2015)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Talep	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Robust Optimizasyonu	Gams
Bhaumik (2015)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		Lingo	
Hatefi vd. (2016)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Talepler, Geri Dönen Ürünler, Sabit Açılış Maliyetleri Ve Kapasiteler	✓	✓	✓	✓	✓	✓		Robust Optimizasyonu	Gams

**Tablo 3.1:** Literatür Tablosu (devam).

	Ağ Yapısı		Ağ Aşaması		Dönem		Ürün		Parametreler		Kapasite			Matematiksel Model		Amaç Fonksiyonu		Çıktı			Çözüm Metodu						
Eser	Entegre	İleri	Tersine	İleri	Tersine	Çok	Tek	Çok	Tek	Deterministik	Stokastik	Belirsizlik İçeren Parametreler	Sınırsız	Sınırlı	KTDP	KTROP	TDP	Maliyet	Kar	Diğerleri	Tesis Yerleşimi	Taşıma Miktarı	Stok	Kapasite	Fiyat	Yöntem	Çözücü
Rahmani (2016)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓			✓			✓	✓				Robust Optimizasyonu, Genetik Algoritma	
Soleimani ve Zohal (2017)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Talep	✓		✓		✓	✓			✓	✓				Aco Algoritması	Lingo, Matlab
Fattahi ve Govindan (2017)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Talep ve Geri Dönüşler		✓	✓			✓			✓	✓				Tavlama Benzetimi	Gams, Matlab
Vahdat ve Vahdatzad (2017)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Ürün Talebi Ve Geri Dönen Ürün Miktarı	✓		✓			✓			✓	✓	✓			Benders' Ayrıştırması (Bd)	Gams, Ilog Cplex
Rabbani vd. (2017)	✓	✓	✓	✓	✓													✓								Genetik Algoritma, Mopso Algoritması	Gams, Matlab
Nobari vd. (2019)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓			✓			✓	✓	✓			Oyun Teorisi, MOICA	Minita, Matlab
Zarbakhs hnia vd. (2019)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓				✓			✓	✓	✓			Epsilon Kısıtlama	Gams

KTDP: Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama, KTROP: Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama, TDP: Tamsayılı Doğrusal Programlama

## 4. ENTEGRE İLERİ VE TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

### 4.1 Problemin Tanıtımı

Bu çalışma, en ekonomik müşteri hizmetinin verilmesini, açılması durumunda en uygun hibrit işleme merkezini seçebilmeyi ve bu sayede ileri ve tersine lojistik ağ tasarımını en verimli şekilde yapabilmeyi sağlayacak bilimsel araştırmaları ve çalışmaları barındırmaktadır. Böylece kararı alan tüzel veya gerçek kişi rekabet üstünlüğü sağlayabilmek, maliyetlerini azaltabilmek, kar oranını artırabilmek, verimliliğini artırabilmek ve dolayısıyla müşteri memnuniyetini artırabilmek adına avantaj sağlamış olacaktır.

Problem tanımı yapılarak problem parametreleri belirlenmiş ve matematiksel modelleme yapılmıştır. Matematiksel model, müşteri talebinde, taşıma miktarında, taşıma sefer sayısında, taşıma maliyetinde ve hibrit işleme merkezi açılması durumunda oluşacak maliyette belirsizlikler olmasından dolayı bulanık matematiksel model olarak oluşturulmuştur. Daha sonra bulanık matematiksel model üzerinde belirsizlik içeren girdiler belirgin hale getirilmiştir. Problem çözümünde ise yer seçimi ve atama kararları alınmıştır. Amaç toplam maliyeti en küçükmektir. Problem sistemin ekonomik olarak işletilip işletilmediğini sorgulamaktadır.

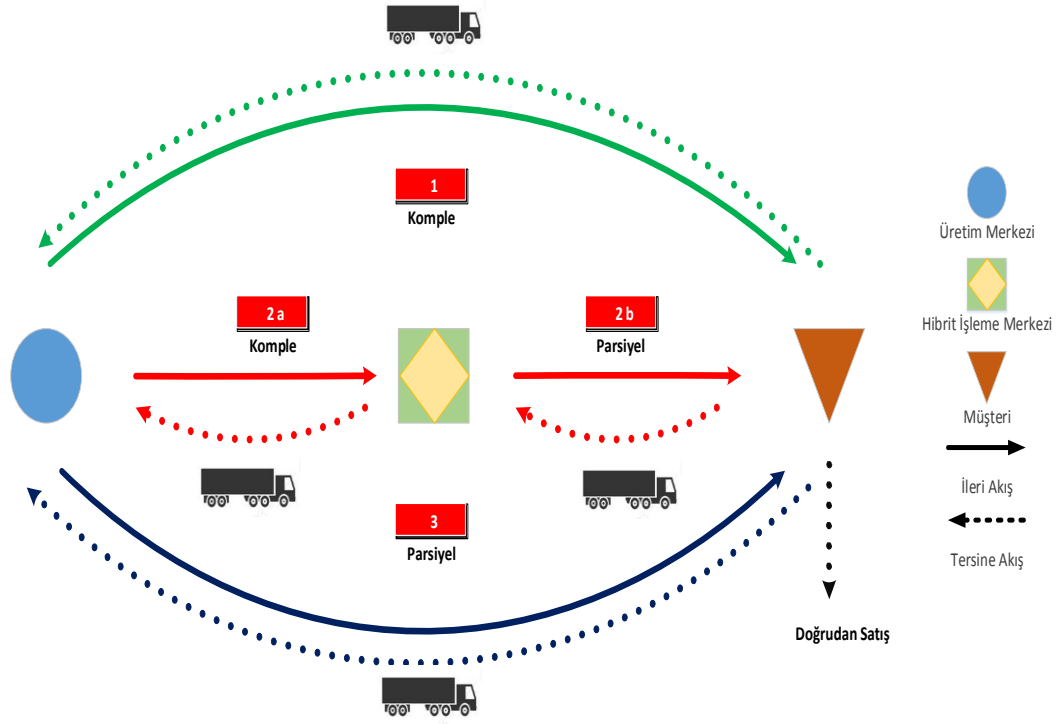
Her müşterinin talebi ulaşım güzergahlarından yalnızca biri ile karşılanmak zorundadır. Her müşteriden geri dönüşler ise yine ulaşım güzergahlarından yalnızca biri ile karşılanmak zorundadır. Bu ulaşım güzergahlarında taşımacılık komple ve parsiyel taşıma olarak gerçekleşmektedir. Parsiyel taşıma bir müşterinin vermiş olduğu siparişe göre üretim merkezinden müşteriye direk yapılan taşımacılıktır. Komple ise taşıma birden fazla müşterinin vermiş olduğu siparişe göre üretim merkezinden müşteriye direk yapılan taşımacılıktır. Bu bakımdan lojistik ağ tasarım ekonomik olması durumunda açılacak hibrit işleme merkezi sayesinde parsiyel

yüklemelerin azaltılarak komple yüklemelerin artışı sağlanarak lojistik maliyetlerin önemli ölçüde azaltılması amaçlanmaktadır. Hibrit taşıma ise hem parsiyel hem de komple taşımacılığı içeren bir taşıma şeklidir. Bu taşıma üretim merkezinden hibrit işleme merkezine komple taşıma, hibrit işleme merkezinden müşteriye parsiyel taşıma olarak gerçekleşmektedir. Ayrıca hibrit işleme merkezi sayısı belirlenen üst limiti aşmamakta ve ancak maliyet avantajı sağlıyorsa açılmaktadır. Her hibrit işleme merkezinin kapasite kısıtı bulunmaktadır. Hibrit işleme merkezlerine ölçek ekonomisi esasına dayanarak yalnızca komple yüklemeler ile gidişe izin verilmektedir.

## **4.2 Matematiksel Model**

Tez kapsamında oluşturulan bulanık entegre karma tamsayılı doğrusal matematiksel model ve dağıtım ağı bu bölümde açıklanmıştır. Daha sonra bulanık entegre karma tamsayılı doğrusal matematiksel model üzerinde belirsizlik içeren girdiler belirgin hale getirilmiştir. Son olarak da bulanık modelin çözümü ile elde edilen bulgular ve değerlendirmeler aktarılmıştır.

Çalışma, ileri ve tersine lojistik dağıtım ağı tasarım ve hibrit işleme merkezi (depo) yer seçim problemini kapsamaktadır. Ağ üretim merkezleri, hibrit işleme merkezileri ve müşterilerden oluşmakta ve hibrit işleme merkezlerin açılış ve elleçleme maliyetlerini de içermektedir.



Şekil 4.1: Entegre ileri ve tersine lojistik ağ yapısı (Polat ve diğ. 2019).

Problem 3 farklı ulaşım güzergahından oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla şekilde yeşil çizgi ile gösterilen üretim merkezinden müşteriye komple yüklemeye ile doğrudan hizmetin verilmesi, mavi çizgi ile gösterilen üretim merkezinden müşteriye parsiyel yüklemeye ile hizmet verilmesi ve son olarak kırmızı çizgi ile gösterilen üretim merkezinden hibrit işleme merkezine komple yüklemeye ile ulaşılarak müşteriye parsiyel yüklemeye ile hizmet verilmesidir. Her güzergâh için geri dönüşlerde söz konusudur.

Oluşturulmuş olan bulanık entegre karma tamsayılı doğrusal matematiksel model, Şekil 4.1 entegre ağ yapısı üzerinde de gösterilmiş olan 3 farklı taşıma tipi varsayımlarına göre oluşturulmuştur. Bu varsayımlara göre ürün ileri lojistikte komple, parsiyel ve hibrit taşıma tiplerinden birine göre taşınabileceği gibi tersine lojistikte de ürün bu taşıma tiplerinden birine göre taşınabilir.



### ***İndisler***

$f$  = üretim merkezi,

$m$  = müşteriler,

$d$  = hibrit işleme merkezi,

### ***Girdileri***

$\tilde{D}_m = m$ . müşterinin talebi,

$U_m = m$ . müşterinin bulunduğu bölgedeki ambalaj malzemesi satış fiyatı,

$\tilde{T}D_m = m$ . müşteride bulunan ambalaj malzemesi miktarı,

$\alpha_m = m$ . müşteriden geri toplanması zorunlu ambalaj malzemesi oranı,

$E_f = f$ . üretim merkezinde bir birim ambalaj malzemesinin dönüşünden elde edilen gelir,

$S_f = f$ . üretim merkezinde bir birim üretim maliyeti,

$\tilde{C}1_{fm} = f$ . üretim merkezinden  $m$ . müşteriye ulaşım komple yükleme sefer maliyeti,

$\tilde{C}2_{fd} = f$ . üretim merkezinden  $d$ . hibrit işleme merkezine ulaşım komple yükleme sefer maliyeti,

$\tilde{B}1_{fm} = f$ . üretim merkezinden  $m$ . müşteriye parsiyel yükleme birim ton maliyeti,

$\tilde{B}2_{dm} = d$ . hibrit işleme merkezinden  $m$ . müşteriye parsiyel yükleme birim ton maliyeti,

$\tilde{T}C1_{mf} = m$ . müşteriden  $f$ . üretim merkezine geri dönüş komple yükleme sefer maliyeti,

$\tilde{T}C2_{df} = d$ . hibrit işleme merkezinden  $f$ . üretim merkezine geri dönüş komple yükleme sefer maliyeti,

$\tilde{T}B1_{mf} = m$ . müşteriden  $f$ . üretim merkezine geri dönüş parsiyel yükleme birim maliyeti,

$\tilde{T}B2_{md} = m$ . müşteriden  $d$ . hibrit işleme merkezine geri dönüş parsiyel yükleme birim maliyeti,

$O_d = d$ . hibrit işleme merkezi sözleşme maliyeti,

$\tilde{H}_d = d$ . hibrit işleme merkezinin bir birimlik elleçleme maliyeti,

$K_d = d$ . hibrit işleme merkezi kapasitesi,  
 $M$  = Maksimum hibrit işleme merkezi sayısı,  
 $Q$  = Araç kapasitesi,  
 $QF_f = f$ . üretim merkezi üretim kapasitesi,  
 $L$  = Bir hibrit işleme merkezinin açılması için gerekli minimum gidecek konteynır miktarı,  
 $i$  = İndirim oranı

### ***Karar Değişkenleri***

$$A_d = \begin{cases} 1, & d. \text{ hibrit işleme merkezi açılırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$X_{fm} = f$ . üretim merkezinden  $m$ . müşteriye komple yükleme gönderim miktarı,

$XX_{fm} = f$ . üretim merkezinden  $m$ . müşteriye komple yükleme gönderim sefer sayısı,

$Y_{fm} = f$ . üretim merkezinden  $m$ . müşteriye parsiyel yükleme gönderim miktarı,

$Z_{fdm} = f$ . üretim merkezinden  $d$ . hibrit işleme merkezine gelen ürünü parsiyel yükleme ile  $m$ . müşteriye gönderim miktarı,

$N_{fd} = f$ . üretim merkezinden  $d$ . hibrit işleme merkezine ulaşım için komple yükleme sefer sayısı,

$R_m = m$ . müşteride satılacak ambalaj malzemesi miktarı

$TX_{mf} = m$ . müşteriden  $f$ . üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme geri dönüş miktarı,

$TXX_{mf} = m$ . müşteriden  $f$ . üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme toplam sefer sayısı,

$TXX1_{mf} = m$ . müşteriden  $f$ . üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimsiz sefer sayısı,

$TXX2_{mf} = m$ . müşteriden  $f$ . üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimli sefer sayısı,

$TY_{mf} = m$ . müşteriden  $f$ . üretim merkezine ambalaj malzemesi parsiyel yükleme geri dönüş miktarı,

$TZ_{mdf} = f$ . üretim merkezine ambalaj malzemesi geri dönüş için  $m$ . müşteriden  $d$ . hibrit işleme merkezine parsiyel yükleme ile gönderim miktarı,

$TN_{df} = d$ . hibrit işleme merkezinden  $f$ . üretim merkezine ambalaj malzemesi geri dönüş için komple yükleme toplam sefer sayısı,

$TN1_{df} = d$ . hibrit işleme merkezinden  $f$ . üretim merkezine ambalaj malzemesi geri dönüş için komple yükleme indirimsiz sefer sayısı,

$TN2_{df} = d$ . hibrit işleme merkezinden  $f$ . üretim merkezine ambalaj malzemesi geri dönüş için komple yükleme indirimli sefer sayısı,

$TA_m = m$ . müşteriden geri toplanan ambalaj malzemesi miktarı, şeklindedir.

## MODEL

### Amaç Fonksiyonu

Hibrit İşleme Merkezi Açma ve Elleçleme Maliyeti

$$\text{Min} \sum_d O_d \cdot A_d + \sum_f \sum_d \sum_m \tilde{H}_d \cdot Z_{fdm} + \sum_f \sum_d \sum_m \tilde{H}_d \cdot TZ_{mdf}$$

İleri Yönlü Taşıma Maliyeti

$$+ \sum_f \sum_m \tilde{C}1_{fm} \cdot XX_{fm} + \sum_f \sum_d \tilde{C}2_{fd} \cdot N_{fd} + \sum_f \sum_m \tilde{B}1_{fm} \cdot Y_{fm} + \sum_f \sum_d \sum_m \tilde{B}2_{dm} \cdot Z_{fdm}$$

Geri Yönlü Taşıma Maliyeti

$$+ \sum_f \sum_m \tilde{T}C1_{mf} \cdot TXX1_{mf} + \sum_f \sum_m \tilde{T}C1_{mf} \cdot (1-i) \cdot TXX2_{mf} + \sum_f \sum_d \tilde{T}C2_{df} \cdot TN1_{df} \\ + \sum_f \sum_d \tilde{T}C2_{df} \cdot (1-i) \cdot TN2_{df} + \sum_f \sum_m \tilde{T}B1_{mf} \cdot TY_{mf} + \\ \sum_f \sum_d \sum_m \tilde{T}B2_{md} \cdot TZ_{mdf}$$

Üretim Maliyeti

$$+ \sum_f \sum_m S_f \cdot X_{fm} + \sum_f \sum_m S_f \cdot Y_{fm} + \sum_f \sum_d \sum_m S_f \cdot Z_{fdm}$$

Ambalaj Malzemesi Satış ve Geri Dönüş Geliri

$$- \sum_m U_m \cdot R_m - \sum_f \sum_m E_f \cdot TX_{mf} - \sum_f \sum_m E_f \cdot TY_{mf} - \sum_f \sum_d \sum_m E_f \cdot TZ_{mdf}$$

(4.1)

### Kısıtlar

$$\sum_f X_{fm} + \sum_f Y_{fm} + \sum_f \sum_d Z_{fdm} \geq \tilde{D}_m \quad \forall m \quad (4.2)$$

$$\sum_m Z_{fdm} \leq Q \cdot N_{fd} \quad \forall f, d \quad (4.3)$$

$$X_{fm} \leq Q \cdot XX_{fm} \quad \forall f, m \quad (4.4)$$

$$\sum_f TX_{mf} + \sum_f TY_{mf} + \sum_f \sum_d TZ_{mdf} + R_m = \tilde{T}\tilde{D}_m \quad \forall m \quad (4.5)$$

$$\alpha_m TA_m = \tilde{T}\tilde{D}_m \quad \forall m \quad (4.6)$$

$$\sum_f TX_{mf} + \sum_f TY_{mf} + \sum_f \sum_d TZ_{mdf} \geq TA_m \quad \forall m \quad (4.7)$$

$$\sum_m TZ_{mdf} \leq Q \cdot TN_{df} \quad \forall f, d \quad (4.8)$$

$$TX_{mf} \leq Q \cdot TXX_{mf} \quad \forall f, m \quad (4.9)$$

$$TXX_{mf} = TXX1_{mf} + TXX2_{mf} \quad \forall f, m \quad (4.10)$$

$$XX_{fm} \geq TXX2_{mf} \quad \forall f, m \quad (4.11)$$

$$TN_{df} = TN1_{df} + TN2_{df} \quad \forall f, d \quad (4.12)$$

$$N_{fd} \geq TN2_{df} \quad \forall f, d \quad (4.13)$$

$$\sum_f \sum_m Z_{fdm} + \sum_f \sum_m TZ_{mdf} \leq K_d \cdot A_d \quad \forall d \quad (4.14)$$

$$\sum_f TN_{df} + \sum_f N_{fd} \geq A_d \cdot L \quad \forall d \quad (4.15)$$

$$\sum_m X_{fm} + \sum_m Y_{fm} + \sum_d \sum_m Z_{fdm} \leq QF_f \quad \forall f \quad (4.16)$$

$$\sum_d A_d \leq M \quad \forall d \quad (4.17)$$

$$A_d \in \{0, 1\} \quad \forall d \quad (4.18)$$

$$X_{fm}, XX_{fm}, TX_{mf}, TXX_{mf}, Y_{fm}, TY_{mf}, Z_{fdm}, TZ_{maf}, N_{fd}, TN_{df}, R_m, \quad \forall f, d, m \quad (4.19)$$

$$TXX1_{mf}, TXX2_{mf}, TN1_{df}, TN2_{df} \geq 0$$

Amaç fonksiyonu (4.1) hibrit işleme merkezi açılış maliyeti, hibrit işleme merkezi elleçleme maliyeti, üretim maliyeti, ileri lojistik ve geri lojistik maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti en küçükmeye çalışır. (4.2) kısıtı her müşterinin talebinin karşılanması gerektiğini ve 3 farklı ulaşım alternatifinden yalnızca birinin kullanılmasının zorunlu olduğunu ifade eder. (4.3) kısıtı hibrit işleme merkezinden müşteriye giden ürün miktarının üretim merkezinden hibrit işleme merkezine giden ürün miktarından büyük olamayacağını ifade eder. (4.4) kısıtı üretim merkezinden müşteriye sefer olduysa gidecek ürün miktarının araç kapasitesini aşamayacağını ifade eder. (4.5) kısıtı müşteride bulunan toplam ambalaj malzemesinin 3 farklı güzergahtan biriyle üretim merkezine ulaşması veya müşteride satılması zorunluluğunu belirtir. (4.6) kısıtı geri toplanması zorunlu ambalaj malzemesine ilişkin eşitliği sağlar. (4.7) kısıtı üretim merkezine geri dönmek zorunda olan ambalaj malzemesinin fabrikaya 3 farklı ulaşım güzergahından biri ile dönmek zorunda olduğunu belirtir. (4.8) kısıtı müşteriden hibrit işleme merkezine geri dönen ürün miktarının hibrit işleme merkezinden üretim merkezine geri dönen ürün miktarından büyük olamayacağını ifade eder. (4.9) kısıtı müşteriden üretim merkezine sefer olduysa geri dönecek ürün miktarının araç kapasitesini aşamayacağını ifade eder. (4.10) kısıtı müşteriden üretim merkezine komple yükleme geri dönüş miktarı toplam sefer sayısını dengeler. (4.11) kısıtları ancak müşteriye komple yükleme ile ileri yönde hizmet verilmişse indirimli geri dönüş yapabilmeyi sağlar. (4.12) kısıtı hibrit işleme merkezinden üretim merkezine komple yükleme geri dönüş miktarı toplam sefer sayısını dengeler. (4.13) kısıtı ancak hibrit işleme merkezine komple yükleme ile ileri yönde hizmet verilmişse indirimli geri dönüş yapabilmeyi sağlar. (4.14) kısıtı hibrit işleme merkezi kapasite kısıtıdır. (4.15) kısıtı hibrit işleme merkezi minimum elleçleme kısıtıdır. (4.16) kısıtı fabrikaların üretim kapasitelerinin aşılmayacağını belirtir. (4.17) kısıtı açılacak hibrit işleme merkezi sayısının belirlenen maksimum hibrit işleme merkezi sayısını aşamayacağını gösterir. (4.18) ve (4.19) kısıtları karar değişkenlerinin alabileceği değerleri göstermektedir.

### 4.3 Matematiksel Modelin Dönüştürülmesi

Gerçek dünya uygulamalarını daha etkili yansıtabilmek için parametreler bulanık sayılarla temsil edilebilir. Bulanık modelde, bulanık sayılar, belirli bir derecedeki tatmin edici işlevlerine göre belirsizleştirme kullanılarak net eşdeğerlerine dönüştürülebilir (Carlsson ve Korhonen, 1986). Literatürde belirli olmayan bulanık modelleri gerçek değerlere dönüştürmek için çeşitli yöntemler yer almaktadır (Chen ve Chen 2003; Inuiguchi ve Ramik 2000; Jiménez ve diğ. 2007; Lai ve Hwang 1993; Liou ve Wang 1992; Parra ve diğ. 2005; Yao ve Wu 2000). Bu çalışmada, Jiménez (1996) tarafından önerilen ve Jiménez ve diğ. (2007), Parra ve diğ. (2005) ve Pishvae ve Torabi (2010) tarafından geliştirilmiş, beklenen aralıklar yaklaşımının karşılaştırılması yoluyla bulanık sayı sıralaması yöntemi bulanık değerlerin belirli değerler haline getirilmesi için kullanılır. Jiménez (1996) ve Jiménez ve diğ. (2007), bulanık sayıyı “beklenen değer” ve “beklenen aralık” kavramlarına dayandırmıştır.  $\tilde{c}$  'nin üçgensel bulanık bir sayı olduğu ve  $c^p$  alt sınır,  $c^m$  tepe değeri ve  $c^o$  üst sınır olmak üzere Jiménez ve diğ. (2007) üyelik fonksiyonunu şu şekilde tanımlamıştır:

$$\mu_{\tilde{c}}(x) = \begin{cases} f_c(x) = \frac{x - c^p}{c^m - c^p} & \text{eğer } c^p \leq x \leq c^m \\ 1 & \text{eğer } x = c^m \\ g_c(x) = \frac{c^o - x}{c^o - c^m} & \text{eğer } c^p \leq x \leq c^o \\ 0 & \text{eğer } x < c^p \text{ veya } x > c^o \end{cases} \quad (4.20)$$

Jiménez (1996), sırasıyla denklem (4.21) ve (4.22)' de, üçgensel bulanık  $\tilde{c}$  sayısının beklenen aralığını (BA) ve beklenen değerini (BD) tanımlamıştır:

$$\begin{aligned} BA(\tilde{c}) &= [E_1^c, E_2^c] = \left[ \int_0^1 f_c^{-1}(x) dx, \int_0^1 g_c^{-1}(x) dx \right] \\ &= \left[ \frac{1}{2}(c^p + c^m), \frac{1}{2}(c^m + c^o) \right] \end{aligned} \quad (4.21)$$

$$BD(\tilde{c}) = \frac{E_1^c + E_2^c}{2} = \frac{c^p + 2c^m + c^o}{4} \quad (4.22)$$

Jiménez (1996)' nin sıralama metodu, bir çift bulanık sayı için bir üyelik fonksiyonunun ( $\mu_M$ ) hesaplanmasını gerektirir.  $\tilde{a}$  ve  $\tilde{b}$ ' nin bir çift bulanık sayı olduğunu varsayalım.  $\mu_M(\tilde{a}; \tilde{b})$ ,  $\tilde{a}$ 'nın  $\tilde{b}$ 'den büyük olduğu dereceyi açıklamak için aşağıdaki şekilde tanımlanır (Jiménez 1996):

$$\mu_m(\tilde{a}, \tilde{b}) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } E_2^a - E_1^b < 0 \\ \frac{E_2^a - E_1^b}{E_2^a - E_1^b - (E_1^a - E_2^b)} & \text{eğer } 0 \in [E_1^a - E_2^b, E_2^a - E_1^b] \\ 1 & \text{eğer } E_2^a - E_1^b > 0 \end{cases} \quad (4.23)$$

Eğer  $\mu_M(\tilde{a}; \tilde{b}) > \alpha$  ise, burada  $\alpha$  değeri bir derece ise,  $\tilde{a}$  ve  $\tilde{b}$  arasındaki ilişki  $\tilde{a} >_{\alpha} \tilde{b}$  olarak yazılabilir.  $\tilde{a} >_{\alpha/2} \tilde{b}$  ve  $\tilde{a} <_{\alpha/2} \tilde{b}$  ilişkileri aynı anda devam ettiğinde,  $\tilde{a}$ 'nın  $\alpha$  derecesine göre  $\tilde{b}$ 'ye eşit olduğu söylenebilir (Parra ve diğ. 2005). Bu, Denklem (4.24) 'te yeniden ifade edilebilir:

$$\frac{\alpha}{2} \leq \mu_m(\tilde{a}, \tilde{b}) \leq 1 - \frac{\alpha}{2} \quad (4.24)$$

Yukarıdaki tanımlara göre, üçgensel üyelik fonksiyonuna sahip aşağıdaki bulanık matematiksel denklemler, bulanıklığı netleştirmek için bir örnek olarak verilmiştir (Pishvae ve Torabi 2010):

$$\tilde{a}_i x \geq \tilde{b}_i \quad i=1, \dots, l \quad (4.25)$$

$$\tilde{a}_i x = \tilde{b}_i \quad i=l+1, \dots, m \quad (4.26)$$

Aşağıdaki denklemler, denklemler (4.23) ve (4.24) dikkate alınarak yapılmıştır:

$$\frac{E_2^{a_i x} - E_1^{b_i}}{E_2^{a_i x} - E_1^{a_i x} + E_2^{b_i} - E_1^{b_i}} \geq \alpha \quad i=1, \dots, l \quad (4.27)$$

$$\frac{\alpha}{2} \leq \frac{E_2^{a_i x} - E_1^{b_i}}{E_2^{a_i x} - E_1^{a_i x} + E_2^{b_i} - E_1^{b_i}} \leq 1 - \frac{\alpha}{2} \quad i=l+1, \dots, m \quad (4.28)$$

Denklemler (4.27) ve (4.28) aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir:

$$[(1 - \alpha)E_2^{a_i} + \alpha E_1^{a_i}] x \geq \alpha E_2^{b_i} + (1 - \alpha) E_1^{b_i} \quad i=1, \dots, l \quad (4.29)$$

$$\left[ \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) E_2^{a_i} + \frac{\alpha}{2} E_1^{a_i} \right] x \geq \frac{\alpha}{2} E_2^{b_i} + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) E_1^{b_i} \quad i=1+1, \dots, m \quad (4.30)$$

$$\left[ \frac{\alpha}{2} E_2^{a_i} + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) E_1^{a_i} \right] x \leq \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) E_2^{b_i} + \frac{\alpha}{2} E_1^{b_i} \quad i=1+1, \dots, m$$

veya

$$\left[ \left(1 - \alpha\right) \frac{a_i^m + a_i^o}{2} + \alpha \frac{a_i^p + a_i^m}{2} \right] x \geq \alpha \frac{b_i^m + b_i^o}{2} + \left(1 - \alpha\right) \frac{b_i^p + b_i^m}{2} \quad i = 1, \dots, l \quad (4.31)$$

$$\left[ \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{a_i^m + a_i^o}{2} + \left(\frac{\alpha}{2}\right) \frac{a_i^p + a_i^m}{2} \right] x \geq \left(\frac{\alpha}{2}\right) \frac{b_i^m + b_i^o}{2} + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{b_i^p + b_i^m}{2} \quad i = l + 1, \dots, m \quad (4.32)$$

$$\left[ \left(\frac{\alpha}{2}\right) \frac{a_i^m + a_i^o}{2} + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{a_i^p + a_i^m}{2} \right] x \leq \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{b_i^m + b_i^o}{2} + \left(\frac{\alpha}{2}\right) \frac{b_i^p + b_i^m}{2} \quad i = l + 1, \dots, m$$

Bulanık sayıların bulanıklığını netleştirmek için gerekli kısıtların verilmesinden sonra, bu çalışma için önerilen modeli eşdeğer net modele dönüştürmeye başlayabiliriz. Bu dönüştürmeyi yapabilmek için Jiménez' in beklenen aralıklar yaklaşımının karşılaştırılması yoluyla bulanık sayı sıralaması yönteminden yararlanılmış olup önerilen bulanık modelin dönüştürülmesinde aşağıdaki bulanık parametreler kullanılmıştır: m. müşterinin talebi ( $\tilde{D}_m$ ), m. müşteride bulunan ambalaj malzemesi miktarı ( $\tilde{T}\tilde{D}_m$ ), f. üretim merkezinden m. müşteriye ulaşım komple yükleme sefer maliyeti ( $\tilde{C}1_{fm}$ ), f. üretim merkezinden d. hibrit işleme merkezine ulaşım komple yükleme sefer maliyeti ( $\tilde{C}2_{fd}$ ), f. üretim merkezinden m. müşteriye parsiyel yükleme birim ton maliyeti ( $\tilde{B}1_{fm}$ ), d. hibrit işleme merkezinden m. müşteriye parsiyel yükleme birim ton maliyeti ( $\tilde{B}2_{dm}$ ), m. müşteriden f. üretim merkezine geri dönüş komple yükleme sefer maliyeti ( $\tilde{T}\tilde{C}1_{mf}$ ), d. hibrit işleme merkezinden f. üretim merkezine geri dönüş komple yükleme sefer maliyeti ( $\tilde{T}\tilde{C}2_{df}$ ), m. müşteriden f. üretim merkezine geri dönüş parsiyel yükleme birim maliyeti ( $\tilde{T}\tilde{B}1_{mf}$ ), m. müşteriden d. hibrit işleme merkezine geri dönüş parsiyel yükleme birim maliyeti ( $\tilde{T}\tilde{B}2_{md}$ ), d. hibrit işleme merkezinin bir birimlik elleçleme maliyeti ( $\tilde{H}_d$ )' dir.



İlk olarak müşteri talebine karşılık gelen kısıt (4.2), kısıt (4.31) dikkate alınarak kısıt (4.33) olarak değiştirilmiştir.

$$\sum_f X_{fm} + \sum_f Y_{fm} + \sum_f \sum_d Z_{fdm} \geq \alpha \left( \frac{D_m^m + D_m^o}{2} \right) + (1 - \alpha) \left( \frac{D_m^p + D_m^m}{2} \right) \quad \forall m \quad (4.33)$$

Kısıt (4.5), kısıt (4.32) dikkate alınarak kısıt (4.34) olarak değiştirilmiştir.

$$\begin{aligned} \sum_f TX_{mf} + \sum_f TY_{mf} + \sum_f \sum_d TZ_{mdf} + R_m &\geq \left( \frac{\alpha}{2} \right) \frac{TD_m^m + TD_m^o}{2} + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \frac{TD_m^p + TD_m^m}{2} \\ &\forall m \quad (4.34) \\ \sum_f TX_{mf} + \sum_f TY_{mf} + \sum_f \sum_d TZ_{mdf} + R_m &\leq \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \frac{TD_m^m + TD_m^o}{2} + \left( \frac{\alpha}{2} \right) \frac{TD_m^p + TD_m^m}{2} \end{aligned}$$

Kısıt (4.6), kısıt (4.32) dikkate alınarak kısıt (4.35) olarak değiştirilmiştir.

$$\begin{aligned} \alpha_m TA_m &\geq \left( \frac{\alpha}{2} \right) \frac{TD_m^m + TD_m^o}{2} + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \frac{TD_m^p + TD_m^m}{2} \\ &\forall m \quad (4.35) \\ \alpha_m TA_m &\leq \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \frac{TD_m^m + TD_m^o}{2} + \left( \frac{\alpha}{2} \right) \frac{TD_m^p + TD_m^m}{2} \end{aligned}$$

Son olarak, amaç fonksiyonunda (4.1) bulunan bulanık girdiler, kısıt (4.22) dikkate alınarak amaç fonksiyonu (4.36) olarak değiştirilmiştir.

### **Amaç Fonksiyonu**

#### *Hibrit İşleme Merkezi Açma ve Elleçleme Maliyeti*

$$\text{Min} \sum_d O_d \cdot A_d + \sum_f \sum_d \sum_m \frac{H_d^p + 2 \cdot H_d^m + H_d^o}{4} \cdot Z_{fdm} + \sum_f \sum_d \sum_m \frac{H_d^p + 2 \cdot H_d^m + H_d^o}{4} \cdot TZ_{mdf}$$

*İleri Yönlü Taşıma Maliyeti*

$$\begin{aligned}
 & + \sum_f \sum_m \frac{C1_{fm}^p + 2 \cdot C1_{fm}^m + C1_{fm}^o}{4} \cdot XX_{fm} + \sum_f \sum_d \frac{C2_{fd}^p + 2 \cdot C2_{fd}^m + C2_{fd}^o}{4} \cdot N_{fd} \\
 & \quad + \sum_f \sum_m \frac{B1_{fm}^p + 2 \cdot B1_{fm}^m + B1_{fm}^o}{4} \cdot Y_{fm} \\
 & \quad + \sum_f \sum_d \sum_m \frac{B2_{dm}^p + 2 \cdot B2_{dm}^m + B2_{dm}^o}{4} \cdot Z_{f dm}
 \end{aligned}$$

*Geri Yönlü Taşıma Maliyeti*

$$\begin{aligned}
 & + \sum_f \sum_m \frac{TC1_{mf}^p + 2 \cdot TC1_{mf}^m + TC1_{mf}^o}{4} \cdot TXX1_{mf} \\
 & + \sum_f \sum_m \frac{TC1_{mf}^p + 2 \cdot TC1_{mf}^m + TC1_{mf}^o}{4} \cdot (1 - i) \cdot TXX2_{mf} \\
 & + \sum_f \sum_d \frac{TC2_{df}^p + 2 \cdot TC2_{df}^m + TC2_{df}^o}{4} \cdot TN1_{df} \\
 & + \sum_f \sum_d \frac{TC2_{df}^p + 2 \cdot TC2_{df}^m + TC2_{df}^o}{4} \cdot (1 - i) \cdot TN2_{df} \\
 & + \sum_f \sum_m \frac{TB1_{mf}^p + 2 \cdot TB1_{mf}^m + TB1_{mf}^o}{4} \cdot TY_{mf} \\
 & + \sum_f \sum_d \sum_m \frac{TB2_{md}^p + 2 \cdot TB2_{md}^m + TB2_{md}^o}{4} \cdot TZ_{mdf}
 \end{aligned}$$

*Üretim Maliyeti*

$$+ \sum_f \sum_m S_f \cdot X_{fm} + \sum_f \sum_m S_f \cdot Y_{fm} + \sum_f \sum_d \sum_m S_f \cdot Z_{f dm}$$

*Ambalaj Malzemesi Satış ve Geri Dönüş Geliri*

$$- \sum_m U_m \cdot R_m - \sum_f \sum_m E_f \cdot TX_{mf} - \sum_f \sum_m E_f \cdot TY_{mf} - \sum_f \sum_d \sum_m E_f \cdot TZ_{mdf}$$

(4.36)

## 5. UYGULAMA

Tez kapsamında bir firmanın entegre ileri ve tersine lojistik ağ tasarımı problemi ele alınmıştır. Tez kapsamında ele alınan işletmenin Avrupa’ da yer alan müşterilerine daha kısa sürede hizmet vermek ve taşıma maliyetlerini düşürmek amacıyla ileri ve tersine şekilde ayrı ayrı olan ağın entegre edilmesi hedeflenmiştir. Sonuçlar modelin ekonomik açıdan etkin olduğunu göstermekte, operasyonel ve stratejik düzeyde hizmet ağının oluşturulması ve yatırım kararlarının alınmasında yardımcı olabileceğini göstermektedir. Tez, müşterilerine taşıma hizmeti veren işletmelerin hem en ekonomik güzergâh seçimleri yapmasına hem de hibrit işleme merkezi kullanma kararlarını almasına destek olabilir. Uygulama gerçekleştirilen işletmede Avrupa’da yer alan müşterilere verilen hizmet kalitesinin artması sonucunda ihracat oranlarının artması beklenebilir. İhracat oranlarındaki artış ülkenin cari açığını azaltacak ve ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

### 5.1 Uygulama Çalışması

Tez kapsamında firmanın mevcut duruma bakıldığında işletmenin ihracat satışlarının %78’ inin yapıldığı Avrupa kıtasındaki müşteriler, önce tek bir fabrika üzerinden değerlendirilmişlerdir. Daha sonra mevcut durumu daha iyi analiz edebilmek için iki fabrika üzerinden bir değerlendirme yapılmıştır. Firmanın Avrupa kıtasında 18 ülkede 90 müşterisi vardır. Ayrıca firmanın bu müşterilere hizmet vermek için 8 hibrit işleme merkezi alternatifi vardır. Problemin çözümü işletmenin bir dönemlik talebi için gerçekleştirilmiştir.

Problemin çözümü hibrit işleme merkezi sayısına bağlı olarak farklı sonuçlar vermektedir. Açılacak maksimum hibrit işleme merkezi sayısı önceden karar verildiği ve en ekonomik hibrit işleme merkezi sayısı model tarafından belirlendiği için model hem eksojen hem de endojen olma özelliğini taşımaktadır. Probleminde ele alınan bulanık entegre matematiksel model karma tamsayılı doğrusal programlama olup, tüm deneyler IBM ILOG CPLEX 12.8.0 çözücü kullanılarak

yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan probleme özgü parametreler Tablo 5.1-5.7' de verilmiştir. Matematiksel modeldeki bulanık yani belirsiz girdiler üçgensel bulanık sayılar olarak tabloda yer almışlardır. Üçgensel değerler firmanın mevcut durumdaki verilerinin uzman görüşleri doğrultusunda belirlenen aralıklarda düzgün dağılımla oluşturulan rastsal sayılarla çarpılması ile oluşturulmuştur. Tabloda yer alan ortanca değerler firmanın mevcut verilerini, mevcut verilerin 0.8-0.9 arası değer ile çarpılmasıyla elde edilen sayı küçük sayıyı ve mevcut verilerin 1.2-1.3 arası değer ile çarpılmasıyla elde edilen sayı büyük sayıyı temsil edecek şekilde oluşturulmuştur.

**Tablo 5.1:** İlgili parametreler için problem verileri.

F	m	d	E <sub>f</sub>	M	L	Q	S <sub>f</sub>	QF <sub>f</sub>	i
1	90	8	0	0	5	20	0	50000	0.75

**Tablo 5.2:** Müşterilerle ilgili parametre değerleri.

m	D <sub>m</sub> (ton)	U <sub>m</sub>	TD <sub>m</sub>	Alfa <sub>m</sub>	C1 <sub>lm</sub> (ton)	B1 <sub>lm</sub> (ton)	TC1 <sub>ml</sub> (ton)	TB1 <sub>ml</sub> (ton)
1	[69.30, 77.87, 98.89]	180	[12.70, 18.68, 23.36]	1	[1899.62, 2922.50, 4763.67]	[136.77, 175.35, 233.21]	[2571.8, 2923, 3565.45]	[122.74, 175, 238.47]
2	[0.59, 0.68, 0.86]	180	[0.10, 0.16, 0.21]	0.9	[1400.99, 2335.00, 3689.29]	[179.66, 253.05, 361.86]	[2054.79, 2335, 2825.34]	[192.31, 253, 354.27]
3	[57.95, 61.65, 77.06]	180	[11.24, 14.79, 17.31]	1	[1277.13, 2365.07, 3855.05]	[130.16, 169.05, 240.05]	[2033.95, 2365, 3074.58]	[130.16, 169, 226.52]
4	[0, 0, 0]	180	[0, 0, 0]	1	[1292.10, 1872.61, 2808.92]	[159.86, 183.75, 270.11]	[1647.90, 1873, 2340.76]	[145.16, 184, 238.87]
5	[35.41, 41.66, 50.41]	180	[7.09, 9.99, 11.79]	0.8	[1472.54, 1963.39, 3318.12]	[123.75, 174.30, 250.99]	[1649.24, 1963, 2414.96]	[123.75, 174, 228.33]
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
90	[7.22, 8.91, 11.14]	180	[1.49, 2.14, 2.48]	0.8	[1470, 2333.33, 3733.33]	[110.76, 143.85, 192.75]	[2030, 2333, 2986.66]	[112.20, 144, 198.51]

**Tablo 5.3:** 2. Üretim merkezi için müşterilerle ilgili parametre değerleri.

m	C1 <sub>lm</sub> (ton)	B1 <sub>lm</sub> (ton)	TC1 <sub>ml</sub> (ton)	TB1 <sub>ml</sub> (ton)
1	[949.81, 1461.25, 2381.84]	[68.39, 87.68, 116.61]	[1285.90, 1461.25, 1782.73]	[61.37, 87.68, 119.24]
2	[700.50, 1167.50, 1844.65]	[89.83, 126.53, 180.93]	[1027.40, 1167.50, 1412.67]	[96.16, 126.53, 177.14]
3	[638.57, 1182.53, 1927.53]	[65.08, 84.53, 120.03]	[1016.98, 1182.53, 1537.29]	[65.08, 84.53, 113.26]
4	[646.05, 936.31, 1404.46]	[79.93, 91.88, 135.06]	[823.95, 936.31, 1170.38]	[72.58, 91.88, 119.44]
5	[736.27, 981.69, 1659.06]	[61.88, 87.15, 125.50]	[824.62, 981.69, 1207.48]	[61.88, 87.15, 114.17]
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
90	[735, 1166.67, 1866.67]	[55.38, 71.93, 96.38]	[1015, 1166.67, 1493.33]	[56.10, 71.93, 99.26]

**Tablo 5.4:** Alternatif hibrit işleme merkezi konumlarıyla ilgili parametre değerleri.

	$O_d$	$H_d$	$K_d$	$C2_{d1}$ (ton)	$TC2_{d1}$ (ton)
1	800	[4.80, 5.11, 5.77]	20000	[1649.86, 1896.40, 2446.35]	[1706.76, 1896, 2161.89]
2	2000	[12.42, 13.22, 14.93]	20000	[1268.66, 1547.16, 1918.47]	[1423.38, 1547, 1732.81]
3	1300	[7.46, 8.29, 9.45]	20000	[865.38, 1042.63, 1324.13]	[948.79, 1043, 1188.59]
4	850	[4.91, 5.34, 5.87]	20000	[1620.84, 1841.87, 2339.17]	[1712.93, 1842, 2099.73]
5	850	[5.01, 5.34, 6.03]	20000	[1754.95, 2114.40, 2685.29]	[2008.68, 2114, 2431.56]
6	850	[4.80, 5.34, 5.98]	20000	[1534.61, 1871.48, 2395.50]	[1777.91, 1871, 2133.49]
7	1000	[6.25, 6.73, 7.53]	20000	[1510.65, 1865.01, 2349.90]	[1771.75, 1865, 2144.75]
8	2000	[11.89, 13.22, 14.67]	20000	[1405.50, 1693.38, 2099.79]	[1591.77, 1693, 1947.38]

**Tablo 5.5:** 2. Üretim merkezi için alternatif hibrit işleme merkezi konumlarıyla ilgili parametre değerleri.

d	$C2_{2d}$ (ton)	$TC2_{d2}$ (ton)
1	[824.93, 948.20, 1223.18]	[853.38, 948.20, 1080.95]
2	[634.33, 773.58, 959.24]	[711.69, 773.58, 866.41]
3	[432.69, 521.31, 662.07]	[474.40, 521.31, 594.30]
4	[810.42, 920.94, 1169.59]	[856.47, 920.94, 1049.87]
5	[877.48, 1057.20, 1342.65]	[1004.34, 1057.20, 1215.78]
6	[767.31, 935.74, 1197.75]	[888.96, 935.74, 1066.75]
7	[755.33, 932.50, 1174.95]	[885.88, 932.50, 1072.38]
8	[702.75, 846.69, 1049.90]	[795.89, 846.69, 973.69]

**Tablo 5.6:** Hibrit işleme merkezi d ve müşteri m arasındaki  $B_{dm}^2$  (ton) parametre değerleri.

		d							
m	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	[35.82, 41.65, 51.65]	[49.25, 56.61, 66.8]	[53.41, 56.82, 66.48]	[40.62, 43.68, 53.29]	[40.66, 47.28, 58.63]	[32.37, 36.78, 43.04]	[34.98, 37.61, 45.13]	[29.25, 32.14, 38.25]	
2	[49.57, 57.64, 68.01]	[34.15, 40.18, 50.23]	[54.17, 59.52, 69.05]	[75.56, 80.38, 92.44]	[70.85, 83.35, 97.52]	[68.48, 72.86, 91.07]	[70.62, 75.13, 93.16]	[59.11, 66.41, 79.69]	
3	[51.43, 56.52, 68.95]	[35.42, 41.19, 48.6]	[57.04, 61.33, 72.98]	[68.96, 79.27, 91.16]	[78.12, 82.23, 97.86]	[62.41, 71.74, 87.52]	[64.39, 74.01, 89.55]	[60.07, 65.29, 77.05]	
4	[28.85, 33.16, 41.12]	[43.87, 51.01, 62.74]	[52.22, 58.02, 71.36]	[40.9, 43.52, 54.39]	[40.99, 47.12, 58.9]	[32.59, 36.62, 43.21]	[34.45, 37.45, 44.56]	[30.68, 33.34, 41.01]	
5	[24.79, 27.24, 31.6]	[23.48, 26.99, 32.39]	[42.01, 45.17, 52.4]	[43.21, 50.84, 61.51]	[48.45, 54.44, 64.23]	[43.94, 43.94, 51.41]	[39.11, 46.21, 56.38]	[33.37, 37.5, 44.99]	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
90	[38.79, 42.16, 49.33]	[52.22, 57.38, 65.99]	[50.21, 57.05, 67.32]	[30.83, 33.15, 39.45]	[30.07, 31.99, 37.75]	[29.14, 32.02, 37.78]	[20.6, 24.23, 28.83]	[30.11, 32.37, 39.17]	

**Tablo 5.7:** Müşteri m ve hibrit işleme merkezi d arasındaki  $TB_{md}^2$  (ton) parametre değerleri.

		d							
m	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	[39.15, 41.65, 53.73]	[52.65, 56.61, 70.2]	[52.84, 56.82, 71.59]	[41.5, 43.68, 56.35]	[42.55, 47.28, 60.05]	[33.47, 36.78, 44.51]	[34.6, 37.61, 46.26]	[28.93, 32.14, 41.14]	
2	[52.45, 57.64, 73.2]	[36.16, 40.18, 49.42]	[55.36, 59.52, 77.38]	[74.75, 80.38, 102.08]	[75.02, 83.35, 107.52]	[67.76, 72.86, 92.53]	[71.37, 75.13, 92.41]	[59.77, 66.41, 86.33]	
3	[53.13, 56.52, 68.39]	[38.71, 41.19, 49.83]	[56.42, 61.33, 76.05]	[71.34, 79.27, 102.25]	[78.12, 82.23, 99.5]	[66, 71.74, 93.26]	[67.35, 74.01, 94.73]	[58.76, 65.29, 83.58]	
4	[29.84, 33.16, 39.79]	[47.95, 51.01, 61.72]	[55.12, 58.02, 75.43]	[40.03, 43.52, 56.14]	[44.76, 47.12, 57.48]	[34.06, 36.62, 46.14]	[35.57, 37.45, 46.43]	[30.34, 33.34, 42.01]	
5	[25.34, 27.24, 33.51]	[24.56, 26.99, 34.55]	[42.91, 45.17, 54.21]	[46.26, 50.84, 64.56]	[50.63, 54.44, 70.77]	[39.55, 43.94, 54.49]	[41.59, 46.21, 55.92]	[33.75, 37.5, 47.24]	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
90	[40.06, 42.16, 52.28]	[52.79, 57.38, 72.3]	[54.2, 57.05, 69.6]	[29.84, 33.15, 39.78]	[30.07, 31.99, 41.59]	[29.78, 32.02, 41.3]	[22.29, 24.23, 29.8]	[30.76, 32.37, 40.47]	

İlk olarak, hiçbir hibrit işleme merkezi açılmadığı mevcut durumu, matematiksel modeli  $\alpha = 0,5$  için fabrikanın mevcut değerleri ile doğrulamak için çözdürülmüştür. Tablo 5.8’ de mevcut durumun mali değerleri verilmiştir. Bu tabloya göre, matematiksel modelin nesnel değerinin 265.151 civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu, birinci veya üçüncü seçeneği kullanarak malların doğrudan mevcut tesisten dağıtılması durumunda müşteri hizmetleri için en iyi çözümdür. Bu durumda, aynı araç ileri ve geri yükleri taşıırken indirim oranının uygulanmaması unutulmamalı, çünkü ağların tasarımında entegrasyon yoktur. Bu değer, şirketin mevcut lojistik maliyetleri ile tutarlıdır.

**Tablo 5.8:** Mevcut Durumdaki Mali Değerler.

	$\alpha$		
	0	0.5	1
Amaç değeri	196.446,52	265.151,91	333.769,34
Hibrit işleme merkezi maliyeti	0	0	0
Geri lojistik maliyeti	60821	65557	69882
İleri lojistik maliyeti	260240	286810	313710
Makara satış geliri	124610	87220	49826

Önerilen matematiksel modele göre Tablo 5.1-5.7’ de verilmiş olan parametreler önce tek bir üretim merkezi için IBM ILOG CPLEX 12.8.0 kullanılarak çözdürülmüştür.

Daha sonra ikinci üretim merkeziyle alakalı verilerde hesaba katılarak eldeki veriler IBM ILOG CPLEX 12.8.0’ de tekrardan çözdürülmüştür. Ayrıca bu çalışmada, modelin sonuçlarının nasıl değiştiğini görmek için farklı bulanık değerler altında çalışma yapılmıştır. Bu değerler 0, 0.5 ve 1 olarak belirlenmiştir. Burada 0 gerçekçi olmayan değeri, 1 tamamen gerçekçi değeri yansıtmaktadır. Çözüm sonuçlarına ilişkin değerler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

### 5.1.1 Tek Bir Üretim Merkezine Göre Çözüm Sonuçları

Bulanık değerleri belirli hale getirirken kullanmış olduğumuz formüldeki  $\alpha$  değerinin değişmesine bağlı olarak sonuçların nasıl değiştiğini görmek için  $\alpha$  değeri 0, 0.5, 1 alınarak ILOG CPLEX’ de çözdürülmüştür. Amaç değeri için Tablo 5.9’ daki sonuçlara bakıldığında  $\alpha$  değerindeki artışa bağlı maliyet değerlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca çözüm sonucunda elde edilmiş diğer maliyet sonuçları da

tabloda verilmiştir. 3 farklı  $\alpha$  değeri için sonuçlara baktığımızda  $\alpha$  değerindeki artışa bağlı maliyetlerin arttığı, gelirin ise azaldığını görmekteyiz.

**Tablo 5.9:** Mali Değerler.

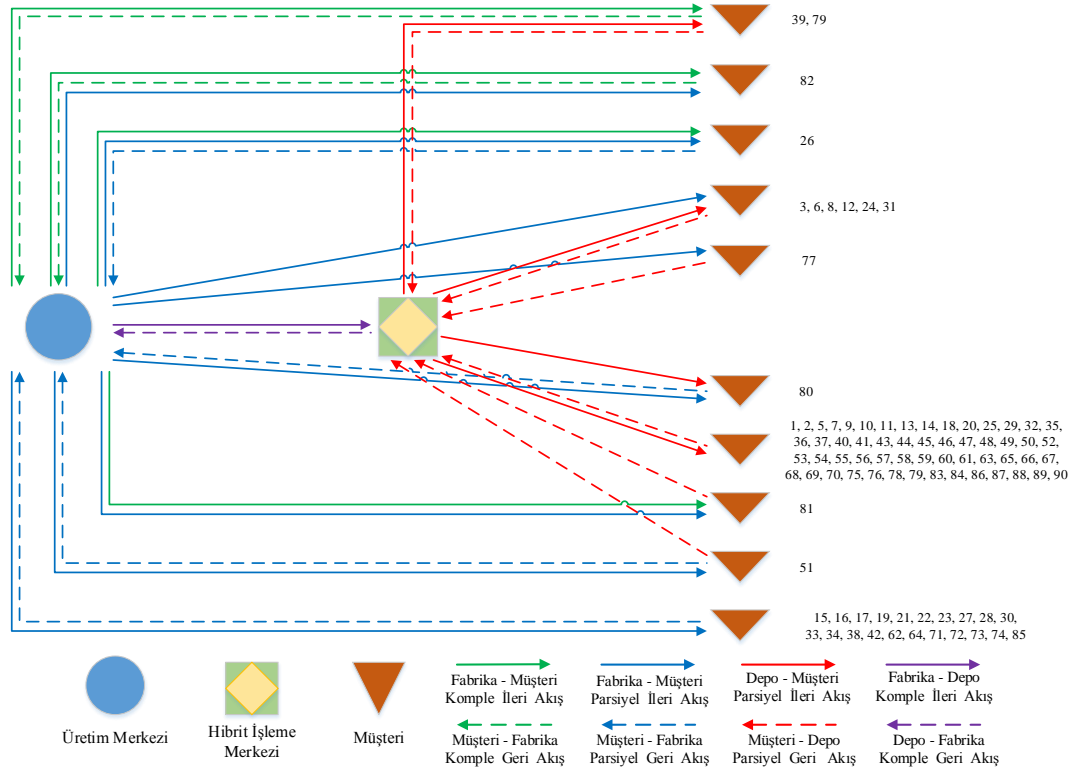
	$\alpha$		
	0	0.5	1
Amaç değeri	161.970,55	227.440,07	292.769,10
Hibrit işleme merkezi maliyeti	10008	10678	11682
Geri lojistik maliyeti	44807	48233	51659
İleri lojistik maliyeti	231770	255750	279250
Makara satış geliri	124610	87220	49826

Modelde  $A_d$  karar değişkeni olarak tanımlanan, 8 hibrit işleme merkeziden hangilerinin açılıp açılmadığını gösteren karar Tablo 5.10' da verilmiştir. Tabloya göre her üç  $\alpha$  değeri içinde 3. dağıtım merkezinin açılmasına karar verilmiştir.

**Tablo 5.10:**  $A_d$  hibrit işleme merkezi açma kararı.

d	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	0	0	0
2	0	0	0
3	1	1	1
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0

Firmanın ileri ve tersine ürün akış ağ yapısı  $\alpha$  değeri 0.5' te elde edilen sonuçlara göre Şekil 5.1' de verilmiştir. Burada yeşil çizgiyle verilmiş olan akışta üretim merkezi ile müşteri arasındaki komple ileri ve tersine ürün akışı, mavi çizgiyle verilmiş olan akışta üretim merkezi ile müşteri arasındaki parsiyel ileri ve tersine ürün akışı, mor çizgiyle verilmiş olan akışta üretim merkezi ile hibrit işleme merkezi arasındaki komple ileri ve tersine ürün akışı ve kırmızı çizgiyle verilmiş olan akışta hibrit işleme merkezi ile müşteri arasındaki parsiyel ürün akışı olarak verilmiştir.



Şekil 5.1: İleri ve tersine ürün akış ağ yapısı.

Modelde hibrit işleme merkezi ve üretim merkezi arasındaki komple yükleme sefer sayıları olarak tanımlanmış karar değişkenlerine ait sefer sayıları Tablo 5.11’ de verilmiştir.  $\alpha$  değerindeki artışa bağlı olarak komple taşıma sefer sayıları artmıştır.

Tablo 5.11: Hibrit işleme merkezi ve üretim merkezi arasında komple yükleme sefer sayıları.

	$\alpha$		
	0	0.5	1
$N_{13}$	41	44	49
$TN_{13}$	11	12	13
$TN1_{13}$	0	0	0
$TN2_{13}$	11	12	13

Modelde  $R_m$  karar değişkeni olarak tanımlanan, müşteride satılacak olan ambalaj malzemesi miktarı Tablo 5.12’ de verilmiştir. Müşteride satılacak ambalaj malzemesi miktarı,  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e doğru değiştikçe azalmaktadır. Modelde  $TA_m$  karar değişkeni olarak tanımlanan, müşteriden geri toplanacak olan ambalaj malzemesi miktarı Tablo 5.13’ de verilmiştir.  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e doğru değiştikçe müşteriden geri toplanması zorunlu ambalaj malzemesi miktarı artmaktadır.



**Tablo 5.12:**  $R_m$  müşteride satılacak ambalaj malzemesi miktarı.

$\alpha$			
m	0	0.5	1
1	26.35	18.43	10.51
2	0.23	0.15	0.08
3	19.09	13.56	8.03
4	0	0	0
5	11.11	7.07	3.02
...	...	...	...
90	2.35	1.49	0.64

**Tablo 5.13:**  $TA_m$  müşteriden geri toplanması zorunlu ambalaj malzemesi miktarı.

$\alpha$			
m	0	0.5	1
1	15.70	17.03	18.36
2	0.15	0.16	0.18
3	13.02	13.78	14.54
4	0	0	0
5	10.69	11.42	12.16
...	...	...	...
90	2.27	2.43	2.58

Modelde  $TX_{m1}$  karar değişkeni olarak tanımlanmış olan m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme geri dönüş miktarı Tablo 5.14’ te verilmiştir. m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme geri dönüş sadece geri dönüşün gerçekleştiği 39, 79 ve 82’ nci müşteriler için gerçekleşmektedir. 39 ve 79’ uncu müşteriler için komple geri dönüş miktarı 3  $\alpha$  değeri içinde aynıken 82’ nci müşteride  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e doğru değıştikçe komple geri dönüş miktarı artmaktadır. Modelde  $TXX_{m1}$  karar değişkeni olarak tanımlanan, m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme toplam sefer sayısı Tablo 5.15’ de verilmiştir. 39, 79 ve 82’ nci müşteriler için gerçekleşen komple yükleme toplam sefer sayısı  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e doğru değıştikçe aynı kalmış sefer sayılarında herhangi bir değışiklik olmamıştır. Bu müşteriler arasında en fazla sefer 79’ uncu müşteriden üretim merkezine gerçekleşmiştir.

**Tablo 5.14:**  $TX_{m1}$  m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme geri dönüş miktarı.

$\alpha$			
m	0	0.5	1
39	20	20	20
79	60	60	60
82	17.13	18.44	19.75

**Tablo 5.15:** TXX<sub>m1</sub> m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme toplam sefer sayısı.

$\alpha$			
m	0	0.5	1
39	1	1	1
79	3	3	3
82	1	1	1

Modelde TXX1<sub>m1</sub> karar değişkeni olarak tanımlanmış, m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimsiz sefer sayısı Tablo 5.16’ da verilmiştir. m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimsiz sefer sayısına baktığımızda  $\alpha$  değerinde de indirimsiz seferin gerçekleşmediğini görmekteyiz. Modelde TXX2<sub>m1</sub> karar değişkeni olarak tanımlanmış, m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimli sefer sayısı Tablo 5.17’ de verilmiştir. m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimli sefer sadece 39, 79 ve 82’ nci müşteriler için gerçekleşmektedir. Bu müşteriler için  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e değiştikçe indirimli sefer sayısı değişmemiştir. Fakat en fazla sefer 79’ uncu müşteriden üretim merkezine doğru gerçekleşmiştir.

**Tablo 5.16:** TXX1<sub>m1</sub> m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimsiz sefer sayısı.

$\alpha$			
m	0	0.5	1
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
...	...	...	...
90	0	0	0

**Tablo 5.17:** TXX2<sub>m1</sub> m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimli sefer sayısı.

$\alpha$			
m	0	0.5	1
39	1	1	1
79	3	3	3
82	1	1	1

Modelde TY<sub>m1</sub> karar değişkeni olarak tanımlanmış, m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi parsiyel yükleme geri dönüş miktarı Tablo 5.18’ de verilmiştir. m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi parsiyel

yükleme geri dönüş miktarına baktığımızda  $\alpha$  değeri 0' dan 1' e değıştikçe m. müşteriden geri dönen miktar artmıştır.

**Tablo 5.18:** TY<sub>m1</sub> m. müşteriden 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi parsiyel yükleme geri dönüş miktarı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
15	1.77	1.87	1.97
16	1.94	2.06	2.17
17	10.62	11.25	11.89
19	0.72	0.75	0.79
21	11.12	11.95	12.78
22	1.76	1.89	2.03
23	4.74	5.10	5.46
26	5.71	6.15	6.58
27	6.27	6.82	7.36
28	2.49	2.73	2.97
30	25.40	27.06	28.71
33	1.73	1.83	1.93
34	16.81	18.14	19.46
38	1.45	1.56	1.66
42	7.81	8.41	9.01
51	0.10	3.21	6.31
62	7.38	7.93	8.49
64	7.21	7.75	8.28
71	2.31	2.49	2.67
72	1.28	1.38	1.48
73	0.34	0.36	0.38
74	3.60	3.76	3.91
80	1.04	1.11	1.18
85	0.11	0.11	0.12

Modelde  $X_{1m}$  karar değışkeni olarak tanımlanmış, 1. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim miktarı Tablo 5.19' da verilmiştir. 1. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme miktarı  $\alpha$  değerinin 3 değeri içinde en fazla 79' uncu müşteri için gerçekleşmiştir. Modelde  $XX_{1m}$  karar değışkeni olarak tanımlanmış, 1. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim sefer sayısı Tablo 5.20' de verilmiştir. 1. fabrikadan m. müşteriye komple yükleme gönderim sefer sayısı  $\alpha$  değerinin 3 değeri içinde en fazla 79' uncu müşteri için gerçekleşmiştir.

**Tablo 5.19:**  $X_{1m}$  1. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim miktarı (ton).

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
3	59.81	60	60
6	40	40	40
8	20	20	20
12	20	20	20
24	20	20	20
26	20	20	20
31	20	20	20
32	0	0	19.94
38	0	0	8.25
39	20	20	20
77	0	17.54	18.83
79	260	300	320
81	20	20	20
82	20	20	20

**Tablo 5.20:**  $XX_{1m}$  1. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim sefer sayısı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
3	3	3	3
6	2	2	2
8	1	1	1
12	1	1	1
24	1	1	1
26	1	1	1
31	1	1	1
32	0	0	1
38	0	0	1
39	1	1	1
77	0	1	1
79	13	15	16
81	1	1	1
82	1	1	1

Modelde  $Y_{1m}$  karar değişkeni olarak tanımlanmış, 1. üretim merkezinden m. müşteriye parsiyel yükleme gönderim miktarı Tablo 5.21’ de verilmiştir. 1. üretim merkezinden m. müşteriye parsiyel yükleme gönderim miktarı genel itibariyle  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e değiştikçe artsa da 38 ve 80’ inci müşterilerde bir farklılık söz konusudur.

**Tablo 5.21:**  $Y_{1m}$  1. üretim merkezinden m. müşteriye parsiyel yükleme gönderim miktarı (ton).

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
15	7.63	8.46	9.29
16	8.83	9.82	10.82
17	46.51	52.71	58.90
19	3.22	3.57	3.92
21	49.80	54.83	59.86
22	8.79	9.37	9.96
23	21.08	23.26	25.45
26	5.00	7.84	10.67
27	28.33	31.85	35.37
28	12.17	13.22	14.27
30	118.70	127.26	135.83
33	7.96	8.57	9.17
34	77.70	88.53	99.35
38	6.60	7.42	0
42	36.08	39.90	43.72
51	65.25	77.47	75.10
62	28.31	30.69	33.08
64	33.50	37.93	42.37
71	11.14	12.13	13.12
72	5.79	6.52	7.25
73	1.56	1.73	1.90
74	15.42	16.96	18.50
80	0	4.45	0
81	2.50	5.50	8.50
82	58.92	68.16	77.40
85	0.48	0.54	0.60

Modelde  $TZ_{md1}$  karar değişkeni olarak tanımlanmış, 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi geri dönüş için m. müşteriden d. hibrit işleme merkezine parsiyel yükleme ile gönderim miktarı Tablo 5.22’ de verilmiştir. 1. üretim merkezine ambalaj malzemesi geri dönüş için m. müşteriden d. hibrit işleme merkezine parsiyel yükleme ile gönderim miktarı  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e değişikçe artmıştır.

**Tablo 5.22:**  $TZ_{md1}$  1. üretim merkezine ambalaj malzemesi geri dönüş için m. müşteriden d. hibrit işleme merkezine parsiyel yükleme ile gönderim miktarı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	15.70	17.03	18.36
2	0.15	0.16	0.18
3	13.02	13.78	14.54
4	0	0	0
5	10.69	11.42	12.16
...	...	...	...
90	2.27	2.43	2.58

Modelde  $Z_{1dm}$  karar değişkeni olarak tanımlanmış, 1. üretim merkezinden d. hibrit işleme merkezine gelen ürünü parsiyel yükleme ile m. müşteriye gönderim miktarı Tablo 5.23’ de verilmiştir. 1. üretim merkezinden d. hibrit işleme merkezine gelen ürünü parsiyel yükleme ile m. müşteriye gönderim miktarı  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e değıştikçe artmıştır.

**Tablo 5.23:**  $Z_{1dm}$  1. üretim merkezinden d. hibrit işleme merkezine gelen ürünü parsiyel yükleme ile m. müşteriye gönderim miktarı (ton).

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	73.59	80.98	88.38
2	0.64	0.71	0.78
3	0	4.58	9.36
4	0	0	0
5	38.54	42.29	46.04
...	...	...	...
90	8.07	9.05	10.03

### 5.1.2 İki Üretim Merkezine Göre Çözüm Sonuçları

Firma alternatif olarak Avrupa’ya ikinci bir fabrikayı açmayı planlamaktadır. Bu durum için çözülen model sonucu oluşan mali değerler Tablo 5.24’ te 2 üretim merkezi için gösterilmiştir. Matematiksel modelde bulanık değerleri belirli hale getirirken kullanmış olduğumuz formüldeki  $\alpha$  değerinin değışmesine bağılı olarak sonuçların nasıl değıştiğini görmek için  $\alpha$  değeri 0, 0.5, 1 alınarak ILOG CPLEX’ de çözdürülmüştür. Amaç değeri için Tablo 5.24’ teki sonuçlara bakıldığında  $\alpha$  değerindeki artışa bağılı maliyet değerlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca çözüm sonucunda elde edilmiş diğeri maliyet sonuçları da verilmiştir. Tabloya bakıldığında  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e doğru değıştikçe maliyetlerin arttığı, gelirin ise azaldığı görülmektedir.

**Tablo 5.24:** Mali Değerler.

	$\alpha$		
	0	0.5	1
Amaç değeri	288.029,61	370.966,73	453.976,41
Hibrit işleme merkezi maliyeti	6491.2	7161	7663.4
Geri lojistik maliyeti	26482	28427	30036
İleri lojistik maliyeti	168380	191460	215110
Makara satış geliri	133430	96702	59973

Modelde  $A_d$  karar değişkeni olarak tanımlanan, 8 hibrit işleme merkezinden hangilerinin açılıp açılmadığını gösteren karar Tablo 5.25’ de verilmiştir. Tabloya göre her üç  $\alpha$  değeri içinde 3. dağıtım merkezi açılmıştır.

**Tablo 5.25:**  $A_d$  hibrit işleme merkezi açma kararı.

d	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	0	0	0
2	0	0	0
3	1	1	1
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0

Modelde hibrit işleme merkezi ve üretim merkezi arasındaki komple yükleme sefer sayıları olarak tanımlanmış karar değişkenlerine ait sefer sayıları Tablo 5.26’ da verilmiştir. 2. üretim merkezinden d. hibrit işleme merkezine ulaşım için komple yükleme sefer sayısı olarak tanımlanmış olan  $N_{13}$  karar değişkeni sadece 1. üretim merkezi için sefer sayılarını vermektedir. Diğer karar değişkenleri ise 2. üretim merkezi için sefer sayılarını vermektedir.  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e doğru değiştikçe  $N_{13}$  karar değişkeni için sefer sayısı artarken diğer karar değişkenlerinde bir değişiklik olmamıştır.

**Tablo 5.26:** Hibrit işleme merkezi ve üretim merkezi arasında komple yükleme sefer sayıları.

	$\alpha$		
	0	0.5	1
$N_{13}$	30	34	37
$TN_{23}$	1	1	1
$TN_{123}$	1	1	1
$TN_{223}$	0	0	0

Modelde  $R_m$  karar değişkeni olarak tanımlanan, müşteride satılacak olan ambalaj malzemesi miktarı Tablo 5.27’ de verilmiştir. Müşteride satılacak ambalaj malzemesi miktarı,  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e doğru değiştikçe azalmaktadır. Modelde  $TA_m$  karar değişkeni olarak tanımlanan, müşteriden geri toplanacak olan ambalaj malzemesi miktarı Tablo 5.28’ de verilmiştir.  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e doğru değiştikçe müşteriden geri toplanması zorunlu ambalaj malzemesi miktarı artmaktadır.

**Tablo 5.27:**  $R_m$  müşteride satılacak ambalaj malzemesi miktarı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	26.35	18.43	10.51
2	0.23	0.15	0.08
3	19.09	13.56	8.03
4	0	0	0
5	11.11	7.07	3.02
...	...	...	...
90	2.35	1.49	0.64

**Tablo 5.28:**  $TA_m$  müşteriden geri toplanması zorunlu ambalaj malzemesi miktarı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	15.70	17.03	18.36
2	0.15	0.16	0.18
3	13.02	13.78	14.54
4	0	0	0
5	10.69	11.42	12.16
...	...	...	...
90	2.27	2.43	2.58

Modelde 2. üretim merkezi için  $TX_{m2}$  karar değişkeni olarak tanımlanmış olan m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme geri dönüş miktarı Tablo 5.29’ da verilmiştir. m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme geri dönüş  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e doğru değiştikçe genel itibariyle artmaktayken sadece 39 ve 79’ uncu müşterilerde bir değişiklik olmamaktadır. Modelde  $TXX_{m2}$  karar değişkeni olarak tanımlanan, m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme toplam sefer sayısı Tablo 5.30’ da verilmiştir. m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme toplam sefer sayısı  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e doğru değiştikçe genel itibariyle değişmemiştir.

**Tablo 5.29:** 2. Üretim merkezi için  $TX_{m2}$  m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme geri dönüş miktarı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	0	0	18.36
3	13.02	13.78	14.54
5	10.69	11.42	12.16
39	20	20	20
79	60	60	60
82	0	18.44	19.75



**Tablo 5.30:** 2. Üretim merkezi için  $TXX_{m2}$  m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme toplam sefer sayısı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	0	0	1
3	1	1	1
5	1	1	1
39	1	1	1
79	3	3	3
82	0	1	1

Modelde  $TXX1_{m2}$  karar değişkeni olarak tanımlanmış, m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimsiz sefer sayısı her iki fabrika içinde Tablo 5.31’ de verilmiştir. m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimsiz sefer sayısına baktığımızda  $\alpha$  değerinin üçünde de indirimsiz seferin gerçekleşmediğini görmekteyiz. Modelde  $TXX2_{m2}$  karar değişkeni olarak tanımlanmış, m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimli sefer sayısı ise sadece 2. üretim merkezi için Tablo 5.32’ de verilmiştir. m. müşteriden 2. fabrikaya ambalaj malzemesi komple yükleme indirimli seferi sadece belirli müşteriler gerçekleşmekte olduğunu görmekteyiz. Ayrıca bu müşteriler için  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e doğru değiştiğinde genel itibariyle sefer sayılarının değişmediğini görmekteyiz.

**Tablo 5.31:**  $TXX1_{m2}$  m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimsiz sefer sayısı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
...	...	...	...
90	0	0	0

**Tablo 5.32:**  $TXX2_{m2}$  m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi komple yükleme indirimli sefer sayısı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	0	0	1
3	1	1	1
5	1	1	1
39	1	1	1
79	3	3	3
82	0	1	1

Modelde  $TY_{m2}$  karar değişkeni olarak tanımlanmış, m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi parsiyel yükleme geri dönüş miktarı 2. üretim merkezi için Tablo 5.33’ de verilmiştir. m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi parsiyel yükleme geri dönüş miktarına baktığımızda  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e değiştikçe m. müşteriden geri dönen miktar genel itibariyle artmıştır. Sadece 1 ve 82’ inci müşterilerde bir azalma söz konusudur.

**Tablo 5.33:** 2. Üretim merkezi için  $TY_{m2}$  m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi parsiyel yükleme geri dönüş miktarı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	15.70	17.03	0
8	6.48	7.15	7.82
10	2.86	3.05	3.24
12	5.99	6.38	6.78
15	1.77	1.87	1.97
16	1.94	2.06	2.17
17	10.62	11.25	11.89
18	0.86	0.93	1.00
19	0.72	0.75	0.79
20	5.56	5.91	6.25
21	11.12	11.95	12.78
22	1.76	1.89	2.03
23	4.74	5.10	5.46
24	5.87	6.38	6.90
25	1.13	1.23	1.32
26	5.71	6.15	6.58
27	6.27	6.82	7.36
28	2.49	2.73	2.97
29	1.29	1.37	1.45
30	25.40	27.06	28.71
31	4.95	5.24	5.53
32	3.52	3.81	4.11
33	1.73	1.83	1.93
34	16.81	18.14	19.46
38	1.45	1.56	1.66
39	7.00	8.80	10.60
40	2.53	2.66	2.80
42	7.81	8.41	9.01
43	5.52	6.03	6.53
44	0.19	0.21	0.23
45	2.54	2.74	2.94
46	0.22	0.23	0.24
47	5.64	6.05	6.47
48	6.27	6.70	7.14
49	0	0.26	1.64
50	4.51	4.80	5.10
51	14.15	15.25	16.35
52	0.24	0.25	0.26
53	1.69	1.82	1.95
54	1.24	1.34	1.43
55	3.83	4.11	4.39

**Tablo 5.33:** 2. Üretim merkezi için TYm2 m. müşteriden 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi parsiyel yükleme geri dönüş miktarı (devamı).

56	2.18	2.34	2.51
57	0.54	0.57	0.60
58	0.48	0.52	0.56
59	5.83	6.24	6.66
60	3.23	4.63	4.90
61	0.09	0.10	0.11
62	2.18	7.93	8.49
63	0.54	1.66	1.80
64	0.48	7.75	8.28
65	5.83	0.54	0.58
66	3.23	0.37	0.39
67	0.09	1.46	1.58
68	0.39	0.42	0.44
69	4.95	5.33	5.71
71	2.31	2.49	2.67
72	1.28	1.38	1.48
73	0.34	0.36	0.38
74	3.60	3.76	3.91
76	3.58	3.79	3.99
77	3.24	3.58	3.92
78	2.75	2.97	3.18
79	1.37	6.49	11.60
80	1.04	1.11	1.18
81	5.25	5.61	5.97
82	17.13	0	0
83	0.84	0.89	0.94
84	0.14	0.15	0.16
85	0.11	0.11	0.12
86	2.42	2.64	2.86
87	9.96	10.89	11.82
89	13.39	14.66	15.93
90	2.27	2.43	2.58

Modelde  $X_{fm}$  karar değişkeni olarak tanımlanmış, f. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim miktarları 2 üretim merkezi için ayrı ayrı Tablo 5.34' te ve Tablo 5.35' de verilmiştir. 1. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim sadece 6, 8 ve 77' nci müşteriler için gerçekleşmiştir. 2. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderimde  $\alpha$  değeri 0' dan 1' e değiştikçe genel itibariyle değişmese de bazı müşterilerde gönderim miktarında bir artış söz konusudur. Modelde  $XX_{fm}$  karar değişkeni olarak tanımlanmış, f. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim sefer sayıları da 2 üretim merkezi için Tablo 5.36' da ve Tablo 5.37' de verilmiştir. 1. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim seferi sadece 6, 8 ve 77' nci müşteriler için gerçekleşmiştir. 2. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim miktarı  $\alpha$  değeri 0' dan 1' e değiştikçe genel itibariyle değişmese de bazı müşterilerde gönderim miktarında bir artış söz konusudur.

**Tablo 5.34:** 1. Üretim merkezi için  $X_{1m}$  1. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim miktarı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	0	0	0
3	0	0	0
5	0	0	0
6	40	40	40
8	20	20	20
12	0	0	0
20	0	0	0
24	0	0	0
26	0	0	0
31	0	0	0
32	0	0	0
38	0	0	0
39	0	0	0
77	0	0	18.83
79	0	0	0
81	0	0	0
82	0	0	0

**Tablo 5.35:** 2. Üretim merkezi için  $X_{2m}$  2. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim miktarı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	0	0	20
3	59.81	60	60
5	20	20	20
6	0	0	0
8	0	0	0
12	20	20	20
20	20	20	20
24	20	20	20
26	20	20	20
31	20	20	20
32	16.56	18.25	19.94
38	0	0	8.25
39	120	120	140
77	16.25	17.54	0
79	278.15	300	320
81	20	20	20
82	0	20	20

**Tablo 5.36:** 1. Üretim merkezi için  $XX_{1m}$  1. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim sefer sayısı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	0	0	0
3	0	0	0
5	0	0	0
6	2	2	2
8	1	1	1
11	0	0	0
12	0	0	0
20	0	0	0
24	0	0	0
26	0	0	0
31	0	0	0
32	0	0	0
38	0	0	0
39	0	0	0
77	0	0	1
79	0	0	0
81	0	0	0
82	0	0	0

**Tablo 5.37:** 2. Üretim merkezi için  $XX_{2m}$  2. üretim merkezinden m. müşteriye komple yükleme gönderim sefer sayısı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	0	0	1
3	3	3	3
5	1	1	1
6	0	0	0
8	0	0	0
11	0	0	0
12	1	1	1
20	1	1	1
24	1	1	1
26	1	1	1
31	1	1	1
32	1	1	1
38	0	0	1
39	6	6	7
77	1	1	0
79	14	15	16
81	1	1	1
82	0	1	1

Modelde  $Y_{fm}$  karar değişkeni olarak tanımlanmış, f. üretim merkezinden m. müşteriye parsiyel yükleme gönderim miktarı 2 üretim merkezi için Tablo 5.38’ de ve Tablo 3.39’ da verilmiştir. Her iki üretim merkezinden de m. müşteriye parsiyel yükleme gönderim miktarı  $\alpha$  değeri 0’ dan 1’ e değıştikçe genel itibariyle artmıştır.

**Tablo 5.38:** 1. Üretim merkezi için  $Y_{1m}$  1. üretim merkezinden m. müşteriye parsiyel yükleme gönderim miktarı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
15	7.63	8.46	9.29
16	8.83	9.82	10.82
17	46.51	52.71	58.90
19	3.22	3.57	3.92
20	0	0	0
21	0	0	0
22	8.79	9.37	9.96
23	0	0	0
24	0	0	0
25	0	0	0
26	0	0	0
27	0	0	0
28	12.17	13.22	14.27
30	0	54.17	135.83
31	0	0	0
33	0	0	0
34	77.70	88.53	99.35
38	0	0	0
42	0	0	0
51	68.73	77.47	84.25
58	0	0	0
62	28.31	30.69	33.08
64	33.50	37.93	42.37
71	11.14	12.13	13.12
72	0	0	0
73	0	0	0
74	0	0	0
78	0	0	0
79	0	0	0
80	0	0	0
81	0	0	0
82	34.54	68.16	77.40
83	0	0	0
85	0	0	0.03

**Tablo 5.39:** 2. Üretim merkezi için  $Y_{2m}$  2. üretim merkezinden m. müşteriye parsiyel yükleme gönderim miktarı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
19	0	0	0
20	3.98	7.31	10.64
21	49.80	54.83	59.86
22	0	0	0
23	21.08	23.26	25.45
24	5.52	7.82	10.12
25	5.29	5.83	6.38
26	5.00	7.84	10.67
27	28.33	31.85	35.37
28	0	0	0

**Tablo 5.39:** 2. Üretim merkezi için Y2m 2. üretim merkezinden m. müşteriye parsiyel yükleme gönderim miktarı (devamı).

30	118.70	73.09	0
31	2.18	4.85	7.51
33	7.96	8.57	9.17
34	0	0	0
38	6.60	7.42	0
42	36.08	39.90	43.72
51	0	0	0
58	0	2.50	0
62	0	0	0
64	0	0	0
71	0	0	0
72	5.79	6.52	7.25
73	1.56	1.73	1.90
74	15.42	16.96	18.50
78	0	1.16	0
79	0	7.31	5.96
80	4.65	5.19	5.73
81	2.50	5.50	8.50
82	44.39	0	0
83	3.95	4.23	4.52
85	0.48	0.54	0.56

Modelde  $TZ_{md2}$  karar değişkeni olarak tanımlanmış, 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi geri dönüş için m. müşteriden d. hibrit işleme merkezine parsiyel yükleme ile gönderim miktarı 2. üretim merkezi için Tablo 5.40’ da verilmiştir. 2. üretim merkezine ambalaj malzemesi geri dönüş için m. müşteriden d. hibrit işleme merkezine parsiyel yükleme ile gönderim sadece 2’ inci müşteri için gerçekleşmiştir.  $\alpha$  değerindeki değişmeye bağlı 2’ inci müşteriden d. hibrit işleme merkezine parsiyel yükleme ile gönderim miktarı artmaktadır.

**Tablo 5.40:**  $TZ_{md2}$  2. üretim merkezine ambalaj malzemesi geri dönüş için m. müşteriden d. hibrit işleme merkezine parsiyel yükleme ile gönderim miktarı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	0	0	0
2	0.15	0.16	0.18
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
...	...	...	...
90	0	0	0

Modelde  $Z_{1dm}$  karar değişkeni olarak tanımlanmış, 1. üretim merkezinden d. hibrit işleme merkezine gelen ürünü parsiyel yükleme ile m. müşteriye gönderim miktarı 1. üretim merkezi için Tablo 5.41’ de verilmiştir. 1. üretim merkezinden d.

hibrit işleme merkezine gelen ürünü parsiyel yükleme ile m. müşteriye gönderim miktarı  $\alpha$  değeri 0' dan 1' e doğru değıştikçe artış gösterse de sadece 1' inci müşteri için bir farklılık söz konusudur.

**Tablo 5.41:**  $Z_{1dm}$  1. üretim merkezinden d. hibrit işleme merkezine gelen ürünü parsiyel yükleme ile m. müşteriye gönderim miktarı.

m	$\alpha$		
	0	0.5	1
1	73.59	80.98	68.38
2	0.64	0.71	0.78
3	0	4.58	9.36
4	0	0	0
5	18.54	22.29	26.04
...	...	...	...
90	8.07	9.05	10.03

## 5.2 Duyarlılık Analizi

Elde mevcut verilere göre durumu daha iyi analiz edebilmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu kapsamda 2 farklı analiz yapılmıştır. Bunlardan birincisi veride kullanılmış olan  $\alpha$  değerinin 0-1 arasındaki tüm değerleri için IBM ILOG CPLEX 12.8.0' de çözdürülerek maliyet durumundaki değışiklikler analiz edilmiştir. İkincisi  $\alpha$  değeri 0.5 olarak düşünülerek veride yer alan talep değerini 0.25' den 2' ye kadar 0.25 artıracak şekilde mevcut talep değerleriyle çarpılmış ve elde edilen yeni talep değerleri IBM ILOG CPLEX 12.8.0' de çözdürülerek maliyet durumundaki değışiklikler analiz edilmiştir.

$\alpha$  değerinin 0-1 arasındaki tüm değerleri için IBM ILOG CPLEX 12.8.0' de çözdürülerek elde edilen maliyet değerleri Tablo 5.42' de verilmiştir. Çözüm değerlerine baktığımızda maliyeti minimum yapmak üzere kurulmuş olan amaç fonksiyonu değerinin  $\alpha$  değerindeki 0' dan 1' e doğru değışmeye bağlı maliyet değerinin arttığını görmekteyiz. Benzer şekilde  $\alpha$  değerindeki 0' dan 1' e doğru değışime bağlı hibrit işleme merkezi maliyeti, geri lojistik maliyeti, ileri lojistik maliyeti gibi maliyeti oluşturan değerlerin attığını görmekteyiz. Geliri oluşturan makara satışında ise  $\alpha$  değerindeki 0' dan 1' e doğru değışmeye bağlı bir azalma söz konusudur. Sonuç olarak bulanık değerleri belirli hale getirirken kullanmış



olunan formülde  $\alpha$  değerine göre bulanık değerler ne kadar hesaba katılırsa belirsizliğin artmasına bağlı olarak maliyetlerin arttığı görülmektedir.

**Tablo 5.42:**  $\alpha$  değeri 0-1 arasındaki değerlere göre maliyet tablosu.

	$\alpha$ değeri										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Amaç değeri	161970.55	174978.75	188162.28	201323.83	214272.79	227440.08	240614.96	253665.45	266574.0	279663.1	292769.1
Hibrit işleme merkezi maliyeti	10008	10008	10343	10510	10510	10678	11013	11013	11180	11347	11682
Geri lojistik maliyeti	44807	45551	46104	46797	47491	48233	48804	49494	50188	50914	51659
İleri lojistik maliyeti	231770	236550	241370	246190	250970	255750	260540	265420	269990	274710	279250
Makara satış geliri	124610	117130	109660	102180	94698	87220	79741	72262	64783	57305	49826
Total	161970	174980	188160	201320	214270	227440	240610	253670	266570	279660	292770

$\alpha$  değeri 0.5 olarak düşünülerek veride yer alan talep değerini 0.25' den 2' ye kadar 0.25 artıracak şekilde mevcut talep değerleriyle çarpılarak elde edilen yeni talep değerleri IBM ILOG CPLEX 12.8.0' de çözdürülerek elde edilen maliyet değerleri Tablo 5.43' de gösterilmiştir. 0.25' den 2' ye kadar talepteki değişikliğe bağlı maliyeti minimum yapmak üzere kurulmuş olan amaç fonksiyonu değerinin arttığı görülmektedir. Benzer şekilde maliyeti oluşturan depo maliyeti ve ileri lojistik maliyeti 0.25' den 2' ye doğru artmıştır. Yapılan bu değerlendirme analizine göre bulanık değerlerdeki artışa bağlı maliyetlerde bir artışın olduğu sonucuna ulaşılır.

**Tablo 5.43:**  $\alpha = 0.5$  değerinde talep verilerine göre maliyet sonuçları.

$\tilde{D}_m$	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2
Amaç değeri	30791.38	96848.39	161794.73	227440.08	292762.77	357387.54	422644.65	488474.20
Hibrit işleme merkezi maliyeti	5653.9	7495.9	9170.5	10678	12520	14027	16036	17878
Geri lojistik maliyeti	48233	48233	48233	48233	48233	48233	48233	48233
İleri lojistik maliyeti	64125	128340	191610	255750	319230	382350	445600	509580
Makara satış geliri	87220	87220	87220	87220	87220	87220	87220	87220
Total	30791	96848	161790	227440	292760	357390	422640	488470

$\alpha$  değeri 0.5 olarak düşünülerek veride yer alan indirim oranı 0-1 arasındaki tüm değerleri için IBM ILOG CPLEX 12.8.0' de çözdürülerek elde edilen maliyet değerleri Tablo 5.44' te verilmiştir. Tabloya göre 0 değeri %100 indirim yapıldığını 1 değeri ise hiç indirim yapılmadığını göstermektedir. İndirim oranı müşteriden

Üretim merkezine komple taşıma ve hibrit işleme merkezinden üretim merkezine komple taşıma için geçerli olmaktadır. Tabloya baktığımızda ise indirim oranının azalmasına bağlı amaç değerinin arttığını görülmektedir.

**Tablo 5.44:**  $\alpha = 0.5$  değerinde indirim oranına göre maliyet sonuçları.

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Amaç değeri	191594,22	200541,51	208236,31	214099,56	218074,54	220977,91	223678,95	226220,31	228659,83	231032,18	233103,97
Hibrit işleme merkezi maliyeti	6740.5	7998.3	9003.1	10175	10678	10845	10845	10678	10678	10510	10678
Geri lojistik maliyeti	8302.5	18083	27305	33385	37489	41603	44304	47013	49452	52075	54171
İleri lojistik maliyeti	263770	261680	259150	257760	257130	255750	255750	255750	255750	255670	255480
Makara satış geliri	87220	87220	87220	87220	87220	87220	87220	87220	87220	87220	87220
Total	191590	200540	208240	214100	218070	220980	223680	226220	228660	231030	233100

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, entegre ileri ve tersine lojistik ağ tasarım problemi ele alınmıştır. Uygulama aşamasında üretim merkezleri, hibrit işleme merkezi ve müşterilerden oluşan, hibrit işleme merkezlerinin açılış ve elleçleme maliyetlerini de içeren çok katmanlı dağıtım ağı ele alınmıştır. Dağıtım merkezi kapasite kısıtı, hibrit işleme merkezi minimum elleçleme kısıtı, minimum geri dönüş sağlanacak ambalaj malzemesi miktarı ve maksimum hibrit işleme merkezi sayısı kısıtları belirsizlik altında çok aşamalı karma tamsayılı bir model olarak geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonu toplam maliyeti en küçükmektir. Oluşturulan matematiksel modelin çözümünde *ILOG CPLEX* çözücüsü kullanılmıştır.

Uygulama öncelikle bir üretim merkezi, 8 hibrit işleme merkezi ve 90 müşteri yer alacak şekilde yapılmıştır. Daha sonra 2 üretim merkezli olmasına göre uygulama tekrarlanmıştır. Uygulamada her müşterinin talebi ulaşım alternatiflerinden yalnızca biri ile karşılanmak zorundadır. Hibrit işleme merkezi sayısı belirlenen üst limiti aşamamakta ve ancak maliyet avantajı sağlıyorsa açılmaktadır. Her hibrit işleme merkezinin kapasite kısıtı bulunmaktadır. Katmanlar arası akış gerçekleşirken parsiyel veya komple yükleme yöntemlerinden yalnızca biri kullanılmaktadır. Dağıtım merkezlerine yalnızca komple yüklemeler ile gidişe izin verilmektedir. Problem çözümünde yer seçimi ve atama kararları alınmıştır. Model hibrit işleme merkezlerinin açılma kararlarını vermekte, hangi tesisin açılmasının daha uygun olduğunu belirlemekte, her müşteriye verilen taşımacılık hizmetinin en düşük maliyete sahip olan güzergahı seçilmekte, en uygun geri dönüş güzergahını belirlemekte ve ekonomik bir kazanç olması durumunda ambalaj malzemelerinin müşteride satışını gerçekleştirmektedir.

Yapılan uygulama sonucunda bir üretim merkezi ve açılacak olan bir hibrit işleme merkezi için  $\alpha = 0.5$  değerinde amaç değeri 227.440 olarak bulunmuştur. Mevcut değer  $\alpha = 0.5$  değerinde 265.151 olduğu düşünülürse yapılan uygulamada maliyetin düştüğü görülmektedir. İkinci uygulama olarak yapılan iki üretim merkezi ve açılacak olan bir hibrit işleme merkezi için  $\alpha = 0.5$  değerinde amaç

değeri 370.966 olarak bulunmuştur. Bu sonucu hem mevcut değerle hem de bir üretim merkezi sonucuna göre karşılaştırdığımızda her iki duruma göre de iki üretim merkezinden elde edilen amaç değeri büyüktür. Yani iki üretim merkezli durumda maliyet artmıştır.

Elde edilen sonuçlar ve yapılan karşılaştırmalara göre bir üretim merkezi ve açılacak olan bir hibrit işleme merkezinin ekonomik açıdan daha etkin olduğunu göstermektedir. Ayrıca sonuçları daha iyi analiz edebilmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu analize göre  $\alpha$  değerindeki artmaya bağlı maliyette de artma görülmüştür. Model, operasyonel düzeyde hizmet ağının oluşturulması ve stratejik düzeyde yatırım kararlarının alınmasına yardımcı olabilecek seviyededir. Hibrit işleme merkezi kurma kararını almak isteyen, ileri ve tersine lojistik ağı tasarımını entegre bir şekilde gerçekleştirmek isteyen, yükleme tipi kullanım kararını taktiksel anlamda almak isteyen işletmeler için çalışmanın faydalı olacağı düşünülmektedir.

Gelecek çalışmalarda, yapılmış olan bu çalışmanın üzerine belirsizliğin üretim aşamasında üretim planlamaya etkisi, ürün çeşitliliğinin artırılması durumunda işleyişte nasıl bir değişimin olacağı, sadece parsiyel veya komple taşıma durumunda sonuçlarda nasıl bir değişimin olacağına yönelik çalışmalar yapılabilir. Ayrıca yapılacak olan bu çalışmalar farklı sektörler için de uygulama yapma olanağı sağlayacaktır.

## 7. KAYNAKLAR

Akcali, E., Cetinkaya, S., Uster, H., "Network design for reverse and closed-loop supply chains: an annotated bibliography of models and solution approaches", *Networks*, 53, 231–248, (2009).

Alegöz, M., "Tedarik zinciri ağ tasarımı problemleri için çok amaçlı ve çok aşamalı çözüm yaklaşımları", Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, (2015).

Bayhan, M., "Tedarik zinciri yönetimi ve örnek bir uygulama", (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi), *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İşletme Anabilim Dalı, Denizli, (2005).

Bhaumik, P.K., "Supply chain network design based on integration of forward and reverse logistics", *Global Business Review*, 16(4), 680–699, (2015).

Brito M.P., Flapper S.D.P., Dekker, R. "Reverse logistics: a review of case studies", *Econometric Institute Report EI 2002-21*, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands, 1-32, (2002).

Budak, E., "Kapalı devre tedarik zinciri problemine bulanık karar verme yaklaşımı", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Matematik Anabilim Dalı, İstanbul, (2012).

Carlsson, C., Korhonen, P., "A parametric approach to fuzzy linear programming", *Fuzzy Sets Syst.*, 20, 17-30, (1986).

Chen, S.-J., Chen, S.-M., "A new method for handling multicriteria fuzzy decision-making problems using FN-IOWA operators", *Cybern. Syst.*, 34, 109-137, (2003).

Demirel N., Gökçen H., Akçayol M.A., Demirel E., "Çok aşamalı bütünleşik lojistik ağı optimizasyonu probleminin melez genetik algoritma ile çözümü", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 26, 4, 929-936, (2011).

Dowlatshahi, S., "Developing a theory of reverse logistics", *Interfaces*, 30(3), 143-155, (2000).

El-Sayed M., Afia N., & El-Kharbotly A., "A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk", *Computers & Industrial Engineering*, 58(3), 423-431, (2010).

Erdal, M., “Tedarik zinciri karar aşamaları”, *Satınalma Dergisi*, (10), (2013).

Fattahi M., & Govindan K., "Integrated forward/reverse logistics network design under uncertainty with pricing for collection of used products", *Annals of operations research*, 253(1), 193-225, (2017).

Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Dekker, R., Van Der Laan, E., Van Nunen, J.A.E.E., ve Van Wassenhove, L.N., “Quantitative models for reverse logistics: A review”, *European Journal of Operational Research*, 103 (1), 1-17, (1997).

Ganeshan, R., Harrison, T.P., “An introduction to supply chain management”, *Penn State University Department of Management Science and Information Systems*, 1-20, (1995).

Gilanlı E., Altuğ N., Oğuzhan A., "İşletmelerde ileri ve ters lojistik karşılaştırması", *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Haziran 2012, 14, 1, 149-166, (2012).

Giudice, F., La Rosa, G. and Risitano, A., “Product design for the environment: a life cycle approach”, *CRC Press*, U.S.A., (2006).

Giuntini, R., Andel, T., "Advance in reverse logistics: part 1", *Transportation and Distribution*, 36(2), 73-7, (1995).

Guide, V.D.R., Jayaraman, V., Srivastava, R., Benton, W.C., “Supply chain management for recoverable manufacturing systems”, *Interfaces*, 30(3), 125-142, (2000).

Güngör, A., ve Gupta, S.M., “Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey”, *Computers & Industrial Engineering*, 36 (4), 811-853, (1999).

Hatefi S. M., & Jolai F., "Robust and reliable forward–reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions", *Applied Mathematical Modelling*, 38(9), 2630-2647, (2014).

Hatefi S. M., Jolai F., Torabi S. A., & Tavakkoli-Moghaddam R., "A credibility-constrained programming for reliable forward–reverse logistics

network design under uncertainty and facility disruptions", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28(6), 664-678, (2015).

Hatefi, S. M., & Jolai, F., "Reliable forward-reverse logistics network design under partial and complete facility disruptions", *International Journal of Logistics Systems and Management*, 20(3), 370-394, (2015).

Hatefi S.M., Jolai F., Torabi S.A., Tavakkoli-Moghaddam R., "Integrated forward-reverse logistics network design under uncertainty and reliability consideration", *Scientia Iranica Transactions E: Industrial Engineering*, 23(2), 721-735, (2016).

Hillegersberg, J., Zuidwijk, R., Nunen, J. ve Eijk, D., "Supporting return flows in the supply chain", *Communications Of The ACM*, 44(6), 74-79, (2001).

Inuiguchi, M., Ramík, J., "Possibilistic linear programming: a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem", *Fuzzy Sets Syst.*, 111, 3-28, (2000).

Jimenez, M., "Ranking fuzzy numbers through the comparison of its expected intervals", *Int. J. Uncertain. Fuzziness Knowledge-Based Syst.* 04, 379-388, (1996).

Jimenez, M., Arenas, M., Bilbao, A., Rodríguez, M.V., "Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution", *Eur. J. Oper. Res.* 177, 1599-1609, (2007).

Kağncıoğlu, C.H., "Tedarik zinciri yönetiminde tedarikçi seçimi", *Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları*; 1723, (2007).

Keskin, M. Hakan, Lojistik: Tedarik zinciri yönetimi, *Nobel Yayınları*, Ankara, (2006).

Keyvanshokoooh E., Fattahi M., Seyed-Hosseini S. M., & Tavakkoli-Moghaddam R., "A dynamic pricing approach for returned products in integrated forward/reverse logistics network design", *Applied Mathematical Modelling*, 37(24), 10182-10202, (2013).

Ko H. J., & Evans G. W., "A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs", *Computers & Operations Research*, 34(2), 346-366, (2007).

- Khajavi L. T., Seyed-Hosseini S. M., & Makui A., "An integrated forward/reverse logistics network optimization model for multi-stage capacitated supply chain", *iBusiness*, 3(02), 229, (2011).
- Krikke, H.R., "Recovery strategies and reverse logistic network design", PhD Disertation, *University of Twente*, The Netherlands, 1-268, (1998).
- Lai, Y.-J., Hwang, C.-L., "Possibilistic linear programming for managing interest rate risk", *Fuzzy Sets Syst.*, 54, 135-146, (1993).
- Lambert, Douglas M. ve James R. Stock, "Strategic physical distribution management", *R.D. Irwin*, (1981).
- Lee, H.L., Billington, C., "The evaluation of supply chain management models and practice at Hewlett Packard", *Interfaces*, 25, 42-63, (1995).
- Liou, T.-S., Wang, M.-J.J., "Ranking fuzzy numbers with integral value", *Fuzzy Sets Syst.*, 50, 247-255, (1992).
- Listeş O., "A generic stochastic model for supply and return network design", *Computers & Operations Research*, 34, 417-442, (2007).
- Lourenço, H., Soto, J., "Reverse logistics models and applications: A recoverable production planning model", *Document de Treball / Working Paper 3*, (2002).
- Mentzer, J.T., DeWitt, W., Keebler, J.S., Min, S., Nix, N., W, Smith, C.D. ve Zacharia, Z.G., "Defining supply chain management", *Journal of Business Logistics*, 22 (2), 1-26, (2001).
- Meyer H., "Many happy returns", *The Journal of Business Strategy* 20(4), 27-31, (1999).
- Min, H., Zhou, G., "Supply chain modelling: past, present, future", *Computers and Industrial Engineering*, 43, 231-249, (2002).
- Nakıboğlu, G., "Tersine lojistik: önemi ve dünyadaki uygulamaları", *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9 (2), 181-196, (2007).
- Nobari A., Kheirkhah A., Esmaili M., "Considering chain to chain competition in forward and reverse logistics of a dynamic and integrated supply chain network design problem", *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 12, 1, 147-166, (2019).



Özmen, A., “Kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı: türkiye cep telefonu yeniden üretimi karma tamsayılı model önerisi”, Doktora Tezi, *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İşletme Anabilim Dalı, Bolu, (2013).

Polat, O., Ünal, Ö.F., Özgür Polat, L., Güngör, A. (2019) “Integrated forward-reverse logistics network design: an application on the electrolytic copper conductor reel distribution”, *Responsible Manufacturing: Issues Pertaining to Sustainability*, CRC Press, Boca Raton, FL, ISBN 978-081-537-507-4, 85-103

Parra, M.A., Bilbao, A.B., Perez, B.G., Rodriguez, M.V.U., “Solving a multiobjective possibilistic problem through compromise programming”, *Eur. J. Oper. Res.*, 164, 748-759, (2005).

Patel G.S., “A stochastic production cost model for remanufacturing systems”, Yüksek Lisans Tezi, *University of Texas-Pan American*, Texas, 1-16, (2006).

Pishvae M. S., Jolai F., & Razmi J., "A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design", *Journal of Manufacturing Systems*, 28(4), 107-114, (2009).

Pishvae M. S., Farahani R. Z., & Dullaert W., "A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design", *Computers & operations research*, 37(6), 1100-1112, (2010).

Pishvae, M.S., Torabi, S.A., “A possibilistic programming approach for closedloop supply chain network design under uncertainty”, *Fuzzy Sets Syst.*, 161, 2668-2683, (2010).

Rabbani A., M., Saravi, N. A. and Farrokhi-Asl, H., “Design of a forward / reverse logistics network with environmental considerations”, *International Journal of Supply and Operations Management*, 4(2), 115-132, (2017).

Rahmani A., “A stochastic facility location and inventory balancing in a multi-echelon multi-objective for integrated forward/reverse logistics network design”, (2016).

Ramezani M., Bashiri M., & Tavakkoli-Moghaddam R., "A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level", *Applied Mathematical Modelling*, 37(1), 328-344, (2013).

Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R.S., "An examination of reverse logistics practices", *Journal of Business Logistics*, 22(2), 129-148, (2001).

Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R.S., "Differences between forward and reverse logistics in a retail environment", *Supply Chain Management: An International Journal*, 7(5), 271-282, (2002).

Salema M.I., Pova A.P.B., Novais A.Q., "A warehouse based design model for reverse logistics", *Journal of Operational Research Society*, 57, 615-629, (2006).

Sezer Ö., "İleri/geri akışları dikkate alan lojistik ağ tasarımı: basın-yayın sektöründe bir uygulama", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (2010).

Soleimani H. & Zohal M., "An ant colony approach to forward-reverse logistics network design under demand certainty" *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 10(22), 103-114, (2017).

Stock, J.R., "Reverse logistics in the supply chain", *Transport & Logistics*. Retrieved February 12, 2012, (2001), from [http://www.revistavirtualpro.com/files/TIE03\\_200702.pdf](http://www.revistavirtualpro.com/files/TIE03_200702.pdf)

Swaminathan, J.M., Smith S.F., Sadeh, N., "Modeling the dynamics of supply chains", *Proceedings AAAI-SIGMAN Workshop on Intelligent Manufacturing*, Seattle, WA, 113-122, (1994).

Şengül, Ü., "Kapalı döngü tedarik zinciri kavramı işleyişi ve işletme modelleri", *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Kars, 4(2009), 125-139, (2009).

Thierry, M.C., Salomon, M., van Nunen, J. ve Van Wassenhove, L., "Strategic issues in product recovery management", *California Management Review*, 37 (2), 114-135, (1995).

Vahdani B., Tavakkoli-Moghaddam R., Modarres M., & Baboli A., "Reliable design of a forward/reverse logistics network under uncertainty: a robust-M/M/c queuing model", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(6), 1152-1168, (2012).

Vahdat, V., & Vahdatzad, M. A., "Accelerated benders' Decomposition for integrated forward/reverse logistics network design under uncertainty", *Logistics*, 1(2), 11, (2017).

Yao, J.S., Wu, K., “Ranking fuzzy numbers based on decomposition principle and signed distance”, *Fuzzy Sets Syst.*, 116, 275-288, (2000).

Wang, H. F. and Hsu, H.W., “Resolution of an uncertain closed-loop logistics model: an application to fuzzy linear programs with risk analysis”, *Journal of Environmental Management*, 91 (11), 2148–2162, (2010).

## 8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sefa YATAĞANBABA

Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli / 11.01.1993

Lisans Üniversite : Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği

Elektronik posta : sefayataganbaba@gmail.com

İletişim Adresi : Adalet Mah. Alparslan Cad. 10097 Sok.  
No:4/3 Merkezefendi/DENİZLİ

**Yayın Listesi** :

**Konferans listesi** :