



**T.C. İSTANBUL TİCARET
ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ ARAÇLARIN GERİ KAZANIMI İÇİN
SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇOK AMAÇLI TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI**

Sezin Balcı

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Berk Ayvaz**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İSTANBUL - 2017**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Sezin BALCI tarafından hazırlanan "**Ömrünü Tamamlamış Araçların Geri Kazanımı için Sürdürülebilir Çok Amaçlı Tersine Lojistik Ağ Tasarımı**" adlı tez çalışması 19/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Berk AYVAZ
İstanbul Ticaret Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Ali Osman KUŞAKCI
İstanbul Ticaret Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Fatih ÖZTÜRK
İstanbul Medeniyet Üniversitesi



Onay Tarihi : 21./07/2017


Doç. Dr. Necip ŞİMŞEK
Enstitü Müdürü

AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

Tarih : 19.07.2017

İmza

Sezin Balcı



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. TERSİNE LOJİSTİK KAVRAMI.....	5
2.1. Tersine Lojistik Tanımı ve Kapsamı	5
2.2. Tersine Lojistiğin Önemi.....	7
2.3. İleri ve Ters Lojistik Arasındaki Farklılıklar	8
2.4. Tersine Lojistikteki Aktörler	10
2.5. Tersine Lojistikte Proses Adımları	11
2.5.1. Toplama	12
2.5.2. Kontrol ve Ayıklama.....	13
2.5.3. Yeniden İşleme	13
2.5.4. Yeniden Dağıtma.....	14
2.5.5. Elden Çıkarma/Bertaraf	15
2.6. Tersine Lojistiğin Önündeki Engeller	15
2.7. Tersine Lojistikte İade Çeşitleri	16
2.7.1. Üretim Dönüşleri	16
2.7.2. Dağıtım Dönüşleri	17
2.7.3. Müşteri Dönüşleri.....	17
2.8. E-Ticaret ve Tersine Lojistik	18
3. LİTERATÜR TARAMASI	20
4. METODOLOJİ	28
4.1. Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama (MILP)	28
4.2. Hedef Programlama Yöntemi.....	29
5. MODELİN FORMÜLASYONU	32
5.1. Problem Tanımı.....	32
5.2. Model Varsayımları.....	34
5.3. Model Gösterimi.....	35
5.4. Model Formülasyonu	39
5.4.1. Amaç Fonksiyonu	39
5.4.2. Kısıtlar.....	41
6. UYGULAMA.....	44
6.1. Uygulama Verileri.....	45
6.2. Problem Çözümü.....	49
6.2.1. Hedef Programlama Yaklaşımı.....	50
6.2.2. Sayısal Sonuçlar	52
6.2.3. Duyarlılık Analizi	56
7. SONUÇLAR.....	58
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ.....	65

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ ARAÇLARIN GERİ KAZANIMI İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇOK AMAÇLI TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI

Sezin Balcı

İstanbul Ticaret Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Berk Ayvaz

2017, 65 sayfa

Günümüzde, her sektörde olduğu gibi otomotiv sektöründe de sürdürülebilirlik kavramı büyük önem arz etmektedir. Son yıllarda ülkeler sürdürülebilirlik yaklaşımının farkındalığına erişmiş olup, sürdürülebilir gelişmeyi destekleyen faaliyetlerde bulunmaktadır. Bu yaklaşım ile ekonomik çıkarlar, çevresel etkiler ve sosyal kalkınma dengede tutulmaktadır.

Ülkemiz ekonomisi açısından çok önemli yere sahip olan Türk otomotiv sektörü de, gerek otomotiv üretiminde, gerekse yaşam döngüsünü tamamlamış olan otomotivlere yönelik gerçekleştirdiği faaliyetlerde sürdürülebilirlik yaklaşımı ile hareket etmektedir. Otomotiv üretiminde geri dönüşümü zor olan materyallerin yerine geri kazanımı olan ürünlerin kullanımını artıran Türk otomotiv sektörü, yaşam döngüsünü tamamlamış veya diğer bir adıyla hurdaya çıkmış araçların çevreye olan etkilerini minimum düzeyde tutmak için hurda araçların toplanması, yeniden kullanılabilir olacak parçalarının ayıklanması ve sökülmesi ile ikincil pazarda satışının gerçekleşmesi, kullanılmayacak parçalarının yeniden işlenerek başka bir ürünün hammaddesi olarak üretime dahil edilmesi veya elden çıkarılması için tersine lojistik faaliyetini uygulamaktadır.

Bu çalışmada, ömrünü tamamlamış araçların çevreye olan zararlı etkilerini azaltmak, aynı zamanda otomotiv sektörü için de katma değer sağlamak üzere tersine lojistik ağ tasarım problemi ele alınmış ve çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Model, maliyet minimizasyonu, karbon salınım minimizasyonu ve istihdam maksimizasyonu olmak üzere üç amaçlıdır. Önerilen model İstanbul'da ÖTA geri dönüşüm ağ tasarımı için uygulanmıştır. Çok amaçlı modelin çözümünde hedef programlama metodu kullanılmıştır. Problem GAMS 23.5.1 çözücüsü ile çözüme kavuşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çok amaçlı programlama modeli, Ömrünü tamamlamış araç, Sürdürülebilirlik, Tersine Lojistik.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

SUSTAINABLE MULTI-OBJECTIVE REVERSE LOGISTICS NETWORK DESIGN FOR THE RECOVERY OF END OF LIFE VEHICLES

Sezin Balci

**İstanbul Commerce University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Industrial Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Berk Ayvaz

2017, 65 pages

Today, as in every sector, the concept of sustainability is of great importance in the automotive sector as well. In recent years, countries have reached awareness of the sustainability approach and are involved in activities that promote sustainable development. With this approach, economic interests, environmental impacts and social development are kept in balance.

In terms of our country's economy, the Turkish automotive sector has a very important place. It operates with a sustainability approach in the activities that it carries out for automotive production in our country and for the automotives which have completed the life cycle. The Turkish automotive sector, which has increased the use of recyclable products in place of materials that are difficult to recycle in automotive production, has been also in activities that will keep environmental impacts of the vehicles which have completed their product life cycle to a minimum. These activities are the collection of scrap vehicles, dismantling of reusable parts and sale its at the secondary market, recycling of unusable parts or the use in production as raw material of another product or disposal of product.

This study is about the issue of reverse logistics network design which aims to reduce the polluting effects of vehicles completed their life cycle as well as provide added value for the automotive sector. A multi-objective mixed integer programming model has been developed for the problem. The model has three objectives: cost minimization, carbon emission minimization and employment maximization. The proposed model was applied for the design of the ÖTA recycling network in Istanbul. In the model solution, the goal programming method and the weighting method were used. The problem has been solved with GAMS 23.5.1 solvent.

Keywords: Multi-objective programming model, End of life vehicle, Sustainability, Reverse logistics.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın her aşamasında benden yardımlarını ve deneyimlerini esirgemeyen, bilgi ve önerilerini benimle paylaşan çok değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Berk Ayvaz'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmanın birçok safhasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ali Osman Kuşakçı'ya teşekkür ederim.

Çalışmamın yürütülmesinde manevi yardımlarını fazlaca gördüğüm tüm Organik ve Star aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma boyunca beni destekleyen arkadaşlarım Aylin Seymenoğlu Gencal'a, Sinem Erişiş'e, Aslı Yıldırım Ekinci'ye teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan başta canım kardeşim Esin'e ve sonrasında aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Sezin Balcı
İSTANBUL, 2017

ŞEKİLLER

	Sayfa
Şekil 2.1. Tersine Lojistik Ağındaki Aktörler	11
Şekil 2.2. Tersine Lojistik Akış Diyagramı.....	12
Şekil 4.1. Model Kurulumu için Tamamlanması Gereken Aşamalar.....	28
Şekil 5.1. ÖTA Geri Dönüşüm Süreci	33
Şekil 6.1. 2005-2016 Yılları Arasında İstanbul'da Trafikten Kaydı Silinen Araç ve Otomobil Sayısı.....	45
Şekil 6.2. İstanbul'da Ömrünü Tamamlamış Araçların Geri Dönüşüm Ağındaki Aktörleri ve Konumları.....	47



ÇİZELGELER

	Sayfa
Çizelge 1.1. Avrupa Birliği'nin Ömrünü Tamamlamış Araç Yönergesinde Yer Alan Hedefleri	2
Çizelge 1.2. Tipik Bir Aracın Zamana Göre Malzeme Miktar Değişimi.....	2
Çizelge 2.1. Tersine Lojistik ve İleri Lojistiğin Kıyaslanması.....	9
Çizelge 2.2. İleri ve Tersine Lojistiğin Maliyet Kalemi Bazında Karşılaştırması.....	9
Çizelge 2.3. E-ticaret Kapsamında Tersine Lojistik Faaliyetleri	18
Çizelge 5.1. Kurulan Modelin Özellikleri.....	43
Çizelge 6.1. Problem Ağ Datası	44
Çizelge 6.2. Trafikten Kaydı Silinen Toplam Araç ve Otomobil Sayısı Verileri.....	46
Çizelge 6.3. İstanbul İlinin İlçeleri ve Nüfus Bazlı ÖTA Miktarları.....	47
Çizelge 6.4. Hesaplanan Amaç Fonksiyon Değerleri	50
Çizelge 6.5. Karar Değişkenlerinin Optimal Değerleri	52
Çizelge 6.6. Optimal Sonuçların Sapma Miktarları	55
Çizelge 6.7. Trafikten Kaydı Silinen Araç Sayısı Değişikliğine Duyarlılık	56
Çizelge 6.8. Karbon Salınım Maliyet Değişikliğine Duyarlılık.....	57
Çizelge 6.9. Asgari Ücretli Vergi Oran Değişikliğine Duyarlılık	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
B2C	İşletmeden Tüketiciye
GAMS	Genel Matematiksel Modelleme Sistemi
MAX	Maksimum
MILP	Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama
MIN	Minimum
OEM	Orijinal Ekipman Üreticileri
ÖTA	Ömrünü Tamamlamış Araç



1. GİRİŞ

Otomotiv sanayi, Dünya’da ve Türkiye’de gerek teknolojik gelişmeye yaptığı katkılar, gerek gelişmesine etken olduğu sektörler, gerekse ekonomiye kattığı değerle tartışmasız en önemli sektörlerin başında gelmektedir. Elbette otomotiv sanayiye olan ilgi ve talep büyüdükçe otomobillerin çevreye verdiği zarar da buna bağlı olarak artmaktadır. Otomobillerin yaydığı karbon salınımlarının yanı sıra ömrünü tamamlamış araçların veya diğer bir ifadeyle hurda araçların, katı ve sıvı içerikli zararlı maddeler içermesi çevre sorunlarına sebebiyet vermektedir. Küresel ısınma tehdidi ile birlikte artan çevre bilinci, otomotiv endüstrisinin yönünü tayin edecek kadar önemli bir dinamiktir. Son yıllarda gelişmiş ya da gelişmekte olan çok sayıda ülkenin çevre standartlarında sıkılaştırmaya gittiği görülmektedir (Dekker vd., 2004).

AB tarafından geliştirilen Ömrünü Tamamlamış Araçlar Direktifi (2000/53/EC), tüm dünyadaki otomobil üreticilerini, ürün ömrü sonlanan araçlarını uygun çevre yönetimi için mali sorumluluk almaya zorunlu kılan bir yönetmelik geliştirmiştir (Johnson vd., 2002). Bu yönetmelikle müşteri farkındalığı, sosyal sorumluluk ve ekonomik faydalar ile üretici firmaların çevre dostu ürünler üretmesini ve ömrü sonlanmış olan ürünlerinin sorumluluğunu almasını planlamaktadır (Ene vd., 2014).

Ülkemizde ise AB tarafından geliştirilen Ömrünü Tamamlamış Araçlar Direktifi (2000/53/EC), ulusal mevzuatla uyumlaştırılarak, “Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Yönetmeliği” olarak çevre ve insan sağlığının korunması için araçlardan kaynaklanan atıkların oluşumunu engellemek, ömrünü tamamlamış araçların ve araç parçalarının yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım işlemleri ile çevreye yayılan atık miktarını azaltmak amacıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca 27448 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanmıştır.

Sektörün ürettiği tehlikeli atık miktarı incelendiğinde, otomobil başına 11 kg, otobüs başına 326 kg, kamyon başına 77 kg olarak araçların tehlikeli atık içerdiği hesaplanmıştır (Ayberk vd., 2015).

ÖTA'lar üzerindeki AB Direktifi, ÖTA'ların geri dönüşüm ve yeniden kullanım ve geri kazanım ve yeniden kullanım oranları için 2006 ve 2015 yıllarını kapsayan hedefler belirlemiş olup, bu hedeflere Çizelge 1.1.'de yer verilmiştir (Wordsworth vd.,2011).

Enerji geri kazanımını da hedef olarak belirleyen direktifin amacı, 2006 hedeflerini karşılamak için araçların 5%'inden ve 2015 yılı içinse 10%'undan fazlasının enerji geri kazanımında kullanılmamasını sağlamaktır.

Çizelge 1.1. Avrupa Birliği'nin Ömrünü Tamamlamış Araç Yönergesinde Yer Alan Hedefleri (Wordsworth vd., 2011)

AB Hedef Tarihi	Geri Dönüşüm ve Yeniden Kullanım (%)	Toplam Geri Kazanım, Geri Dönüşüm, Yeniden Kullanım (%)
2006	80%	85% (5% enerji geri kazanımını içerir)
2015	85%	95% (10% enerji geri kazanımını içerir)

Türkiye'de Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkındaki Yönetmeliğe göre ise 2020 tarihinden itibaren ömrünü tamamlamış araçların yeniden kullanım-geri kazanım oranları ortalama araç ağırlığının en az 95%'ine; yeniden kullanım-geri dönüşüm oranının ise ortalama araç ağırlığının en az 85%'ine çıkarılması hedef olarak atanmıştır.

Tipik bir araçta kullanılan malzemelerin yaklaşık ağırlıkları, yakıt verimliliğini arttırmak için zaman içerisinde değişiklik göstermiş olup, hafif ağırlıktaki plastik bileşenler metal bileşenlerin yerini almıştır. Bu eğilim çizgilerine Çizelge 1.2.'de yer verilmiştir.

Çizelge 1.2. Tipik Bir Aracın Zamana Göre Malzeme Miktar Değişimi (Wordsworth vd.,2011)

Parça/Malzeme/Bileşen	2006 (kg)	2015 (kg)
Demirli Metal	680	650
Demir İçermeyen Metal	80	90
Plastik ve Proses Polimerler	100	120
Lastikler	30	30
Cam	30	30
Akü	13	13
Akıcı Madde/Sıvılar	17	17
Tekstil Malzemeleri	10	10
Kauçuk	20	20

Diğerleri	20	20
Toplam	1000	1000

Ömrünü tamamlamış araçların ve Çizelge 1.2.'de görüldüğü gibi bu araçlara ait parça ve bileşenlerin ekonomiye geri kazandırılması veya işe yaramayan araç parçalarının uygun şekilde yok edilmesi tersine lojistik faaliyeti ile gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, İstanbul'da ömrünü tamamlamış araçların geri kazanım süreçlerinin verimli bir şekilde yürütülmesi için ÖTA tersine lojistik ağı tasarım problemi ele alınmış, çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak sürdürülebilir yaklaşımı ile ilişkili olan ekonomik, sosyal ve çevresel üç etken dikkate alınmıştır. Model, maliyet minimizasyonu, karbon salınım minimizasyonu ve istihdam maksimizasyonu olmak üzere üç amaçlıdır. Çok amaçlı modelin çözümünde hedef programlama metodu ve ağırlıklandırma metodu kullanılmıştır.

Problem GAMS 23.5.1 çözücüsü ile çözüme kavuşturulmuş olup, hedefler arasındaki etkileşim analiz edilmiştir.

Çalışmanın giriş bölümünden sonra gelen ikinci kısmında tersine lojistik kavramı detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde, tersine lojistik konusunda yazın taraması yapılmıştır. Bu bölümde öncelikle ömrünü tamamlamış araçlar için ağ tasarım modelleri ile ilgili yüksek lisans ve doktora tezleri, makaleler ve projeler incelenmiş, hemen akabinde çok amaçlı model formülasyonları araştırılarak bu konudaki çalışmalar özetlenmiştir.

Dördüncü bölümde, çalışmanın metodolojisinden bahsedilerek ele alınan problem tanımlanmış, beşinci bölümde problemin matematiksel formülasyonu geliştirilmiştir.

Altıncı bölümde, geliştirilen sürdürülebilir çok amaçlı ÖTA geri dönüşüm modeli İstanbul için ÖTA atık yönetim problemine uygulanmıştır. Ayrıca bu bölümde duyarlılık analizleri yapılarak, parametrelerdeki değişimin çözüme olan etkisi araştırılmıştır.

Son olarak yedinci bölümde sonuç ve değerlendirmeler yapılarak, gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.



2. TERSİNE LOJİSTİK KAVRAMI

Temelleri 1972’de atılan sürdürülebilir kalkınma kavramı, var olan kaynakların etkin kullanılmaya çalışılması, ekonomi ve çevre koşullarının bir arada ele alınması gerekliliği olarak tanımlanmaktadır (Ozmehmet, 2008).

Sürdürülebilir kalkınmanın birçok boyutu olmakla birlikte bunlardan en önemlileri sosyal, ekonomik ve çevresel boyutudur. Sürdürülebilir kalkınma ancak sürdürülebilir bir çevrenin var olması ile mümkün kılınabilir (Bilgili, 2017).

Sürdürülebilir kalkınmanın devamlılığının sürdürülebilir bir çevreden geçtiğini anlayan dünya ülkeleri, çevreye duyarlılık anlayışıyla birçok strateji geliştirmiş olup, yasal düzenlemelerle çevreci uygulamaları zorunlu hale getirmiştir.

Kirlilik ve kaynak israfından en çok sorumlu tutulan üretim firmaları, müşteri ihtiyaçlarını daha az enerji ve materyal kullanarak karşılamak durumundadır. İhtiyacı karşılamamanın alternatiflerinden biri de ürünü oluşturan bileşenlerin bir kısmının veya tamamının yeniden kullanılmasının sağlanması ve ürünün yeniden zincire kazandırılmasıdır. Bu faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi işletmede tersine lojistik faaliyetinin uygulanması ile mümkün kılınmaktadır.

2.1. Tersine Lojistik Tanımı ve Kapsamı

Literatürde tersine lojistik kavramı ile ilgili çok sayıda tanıma rastlamak mümkündür:

Tersine lojistik ile ilgili ilk tanımlar Lambert ve Stock tarafından 1981 yılında ifade edilmiş olup, tersine lojistiği; üreticiden tüketiciye doğru olan ürün gönderiminin önemini vurgulayarak tek yönlü bir yolda yanlış yönde gitmek olarak tanımlamıştır (Karaçay, 2005).

1990'lı yılların başında tersine lojistikle ilgili bilinen ilk tanım Lojistik Yönetim Konseyi (The Council of Logistics Management) tarafından ortaya atılmıştır. Onlar tersine lojistiği, "Hammaddelerin, halen süreçte bulunan envanterlerin, bitmiş malların ve bunlar hakkındaki bilginin tüketim noktasından üretim noktasına tekrar değer elde etme veya düzgün bir şekilde elden çıkarma amacıyla verimli ve maliyet avantajlı akışını planlama, yürütme ve kontrol etme süreci" olarak tanımlamıştır (Yongsheng vd., 2008). 1992 yılında ise Pohlen ve Farris, tersine lojistiği; bir dağıtım kanalında tüketiciden üreticiye doğru olan ürün veya malzeme hareketi şeklinde tanımlamıştır (Dekker vd., 2004).

Rogers ve Tibben-Lembke (1998), tersine lojistiği ürünlerin en son varış noktalarında değerlerini korumak ya da ürünleri doğru bir şekilde imha etmek için taşıma olarak ifade etmektedir (Şengül, 2011).

Tersine Lojistik Avrupa Çalışma Grubu (The European Working Group on Reverse Logistics) ise 1998 yılında daha ustaca bir tanım ortaya koymuştur. Bu tanıma göre; "Üretim, dağıtım veya kullanım noktasından iyileşme noktasına veya uygun bir şekilde elden çıkarma noktasına kadar hammadde akışlarını, envanter stoklarında ve mamul akışlarını planlama, uygulama ve kontrol etme süreci olarak ifade etmektedir (De Brito vd., 2013).

Jayaraman vd. (2003), tersine dağıtım, hem kusurlu ve çevreye zararlı ürünlerin, hem de kullanılabilir ama ömürlerinin sonuna gelmiş ürünlerin müşterilerin ellerinden alınıp taşınmasını kapsayan faaliyetler olarak ifade etmişlerdir (Demirel vd.,2008).

Koban vd. (2007), tersine lojistiği, istenmeyen malzemelerin (atık madde, kutu, şişe, kağıt vb.) geri dönüştürülmesi ve yeniden üretime kazandırılması ve iade veya defolu ürünlerin farklı satış kanallarında yeniden satışa sunulması ile değerlendirilmesi yönlerini ele alarak çevreye duyarlı bir lojistik olarak ifade etmişlerdir (Şengül, 2011).

Fleischmann (2000), tersine lojistiği, temel olarak üç açıdan karakterize edilebilir bulmuş ve buna uygun tanımlarda bulunmuştur. Bunlar (Ayvaz, 2013):

1. Tersine lojistik, lojistik sistemlerin büyüyen elemanı olarak görölmektedir. Geleneksel olarak tedarik zincirleri, iyi tanımlanmış bir hiyerarşiye sahip tek yönlü yapı olarak algılanmıştır. Ganeshan ve diğerlerinin (1998) de ifade ettiği gibi "Tedarik zinciri; tedarikçi, üretici, distribütör, perakendeci ve müşterilerden oluşan, malzemelerin tedarikçilerden müşterilere doğru yönde aktığı, her iki yönde de bilgi akışı olan bir sistemdir." Bununla birlikte lojistik sistemlerin genel ağ şebekelerine dönüştürülebileceği, tüm malzemelerin aşığı doğru bir akışla sipariş edilemeyeceği görölmektedir. İleri ve geri akışlar arasındaki ayrımın yerine bütünsel bir tedarik zinciri algılamasına gidilmesinin önemli olduğu düşünölmektedir.

2. Tersine lojistik, asıl kullanımını tamamlamış ve kullanılması artık imkansız hale gelen ikincil ürünlerin akışı olarak düşünölmüştür. Dolayısıyla tersine lojistik planlanan veya gerçekleşen geçmiş kullanımların türevlerini ele almaktadır. Amaç, bertaraf veya bazı geri kazanım fonksiyonları ile ortaya çıkan ürünlerin ekonomik değerini maksimum seviyeye çıkarmaktır.

3. Tersine lojistik daha çok alıcı tarafı ifade etmektedir. Bu yüzden tersine lojistik, tedarik lojistiğinin özel bir boyutudur, denilebilir.

2.2. Tersine Lojistiğin Önemi

Tersine lojistik, tedarik zinciri yönetiminin önemli fonksiyonlarından biridir. Önceleri tersine lojistik yönetimine ve anlayışına fazlaca önem vermeyen birçok şirket, çevresel kaygılar, ekonomik nedenler vb. birçok sebepten dolayı tersine lojistiği anlamaya ve faaliyetleri için çaba sarf etmeye başlamıştır (Şengöl, 2011).

Şirketlerin çoğunda pazarlama iadesi, hasar veya kalite problemleri, yenileme gibi konulardan dolayı bazı doğal dönüşler gerçekleşmektedir. İade işlemleri, şirketler için büyük bir zorluk teşkil ederken, birçok durumda müşterilerin

memnuniyetini belirli bir seviyede tutmanın bir zorunluluğu haline gelmiştir. Bir tedarik zincirinde ters lojistik operasyonları, şirketin portföyünün yenilikçi hizmetlerinden biri olarak düşünölmektedir. Tersine lojistik faaliyeti sayesinde, hesap özelleştirme, hizmet artırma ve gelişmiş müşteri memnuniyeti nedeniyle pazar büyümesi yoluyla şirket gelirini artırmak mümkün olabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı tersine lojistik şirketler için rekabet avantaj alanı anlamına gelmektedir (Elmas vd., 2011).

Tersine lojistik operasyonları yeşil lojistik denilen çevresel etkileri azaltma çabaları, ürün geri dönüşleri, bakım onarım ve yenileme faaliyetleri gibi çeşitli etkinlikleri desteklemektedir. Tersine lojistiğin aşağıdaki sebeplerden ötürü sektör için çok önemli olumlu yönleri belirtilmiştir (Kokkinaki, 2001).

- Pozitif Çevresel Etki: Üretici sorumluluk yasaları olarak da adlandırılan yasama eylemleri, üreticilerin yaşam döngüsünü tamamlayan ürünlerini toplamasına ve yeniden kullanılmasına ilişkin bir politika geliştirmesini içermektedir.
- Rekabetçilikte İlerleme: Getirilerin etkin bir şekilde kullanılması, maliyetlerin azalmasına, artan karların ve müşteri hizmetlerinin geliştirilmesine yol açmaktadır.
- Değerin Geri Kazanılması: Etkin tersine lojistik, yeniden kullanılan ürün ve parçalardan veya geri dönüştürölen materyallerden değer elde edilmesidir.

2.3. İleri ve Ters Lojistik Arasındaki Farklılıklar

Tersine lojistik, geleneksel lojistik veya ileri lojistik olarak adlandırılan lojistik faaliyetinden oldukça farklıdır. İleri lojistik hammaddelerden son kullanıcıya kadar olan bir lojistik faaliyet, tersine lojistik ise son kullanıcıdan yeni bir kullanıcıya bir ürünün, malzemenin veya bir parçanın nakliyatını kapsayan bir faaliyettir. Tersine lojistikte hammaddenin ne olacağı ve hangi amaçla kullanılacağı önceden belli değildir (Alamması, 2014). Min, Ko ve arkadaşları

tarafından tersine ve ileri lojistik arasındaki farklar Çizelge 2.1.'de özetlenmiştir (Alumur vd., 2012).

Çizelge 2.1. Tersine Lojistik ve İleri Lojistiğin Kıyaslanması

	İleri Lojistik	Tersine Lojistik
Tahmin	Göreceli olarak belli	Çok zor
Kalite	Ürün kalitesi aynı	Ürün kalitesi aynı değil
Paketleme	Ürün ambalajı aynı	Ürün ambalajı sıklıkla hasarlı
Envanter Yönetimi	Tutarlı envanter yönetimi	Stok yönetimi tutarlı değil
Miktar	Büyük miktarda standartlaştırılmış ürünler	Küçük miktarlar
Bilgi Takibi	Parçaları takip etmek için kullanılan otomatik ve manuel bilgi sistemlerinin kombinasyonu	Parçaları izlemek için kullanılan otomatik bilgi sistemleri
Sipariş Çevrim Süresi	Kısa sipariş çevrim süresi	Orta ile uzun sipariş çevrim süresi
Ürün Değeri	Yüksek Ürün Değeri	Orta ile düşük ürün değeri
Stok Kontrolü	Odaklandı	Odaklanmadı
Öncelik	Yüksek	Düşük
Maliyet Unsurları	Daha saydam	Daha gizli
Ürün Akışı	Tek yönlü (çekme)	İki yönlü (itme ve çekme)
Kanal	Daha az karmaşık (tekli veya çok kademeli)	Daha karmaşık ve çeşitli

Tibben-Lembke ve Rogers (2002), Çizelge 2.2.'de verilen çeşitli faaliyetler veya kategorilere göre ters lojistik maliyetleri ve ileri lojistik maliyetlerinin bir karşılaştırmasını özetlemektedir (Karaçay, 2005).

Çizelge 2.2. İleri ve Tersine Lojistiğin Maliyet Kalemi Bazında Karşılaştırması

Maliyet kalemleri	İleri Lojistik ile Karşılaştırma
Taşıma	Daha yüksek maliyetlidir.
Envanter Bulundurma Maliyeti	Daha düşük maliyetlidir.
Fire/Eksilme	Miktarı çok azdır
Eskime/Yıpranma	Daha yüksek maliyet söz konusu olabilir.
Toplama	Daha yüksek maliyetlidir.
Tasnifleme/Kategorize Etme	Daha yüksek maliyetlidir.
Yenileme	Tersine lojistik için önemiyet seviyesi çok yüksek olmakla birlikte ileri lojistikte böyle bir durum söz konusu değildir.

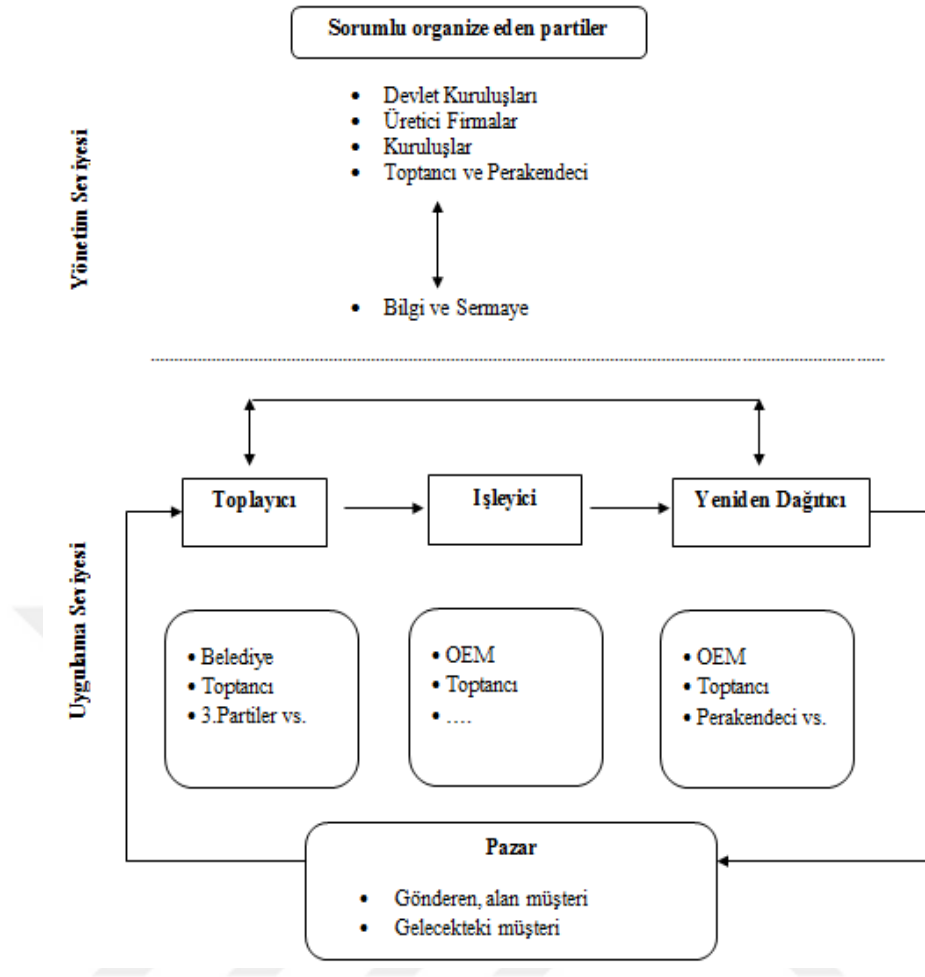
2.4. Tersine Lojistikteki Aktörler

Tersine lojistikteki aktörler aşağıdaki gibi bölümlendirilebilir (Dekker vd., 2004).

- İleri tedarik zincir aktörleri (tedarikçi, imalatçı (OEM), perakendeci, dağıtıcı vb.)
- Uzmanlaşmış ters zincir aktörleri (toptancı, ayıklama kontrol uzmanı, geri kazanım uzmanı vb.)
- Koşulları değerlendiren aktörler (vakıf kuruluşları)
- Kamu kurumları veya özel kuruluşlar

Zincirde bulunan bu aktörlerin farklı gayeleri vardır. İmalatçının (OEM) geri kazanım faaliyetindeki amacı, revizyonlu ürün satıcının (toptancı) ürünleri daha uygun fiyata satmasını engellemek olabilir (Dekker vd., 2004).

Şekil 2.1.'de tersine lojistik ağındaki aktörlerin sorumlu olduğu seviyeler gösterilmektedir.

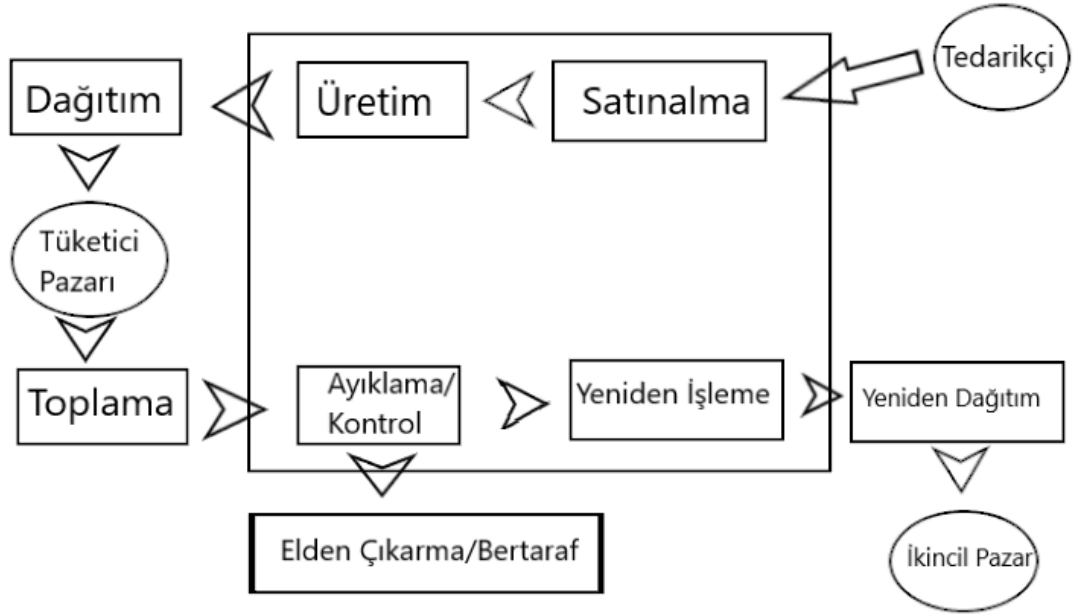


Şekil 2.1. Tersine Lojistik Ağındaki Aktörler (Dekker vd., 2004)

Şeklin en üst kısmında yer alan aktörler, ileri tedarik zinciri aktörleridir. Bu aktörler, yürütülen faaliyetin idaresinden sorumlu veya idari sorumluluğu yasa ile zorunlu hale getirilmiş olanlardır. Yürütme seviyesinde ise toplayıcılar, işleyiciler, dağıtıcılar gibi farklı taraflar ya da devletin kendisi de olabilir. Bu toplama, işleme vb. faaliyetler farklı taraflar tarafından yerine getirilebilir ve pazara dağıtımı yapılabilir (Dekker vd., 2004).

2.5. Tersine Lojistikte Proses Adımları

Tersine lojistik sürecine dahil olacak ürünler, son tüketiciden geri kazanım noktasına gelene kadar birçok aşamadan geçer (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Tersine Lojistik Akış Diyagramı (Fleischmann vd., 2000)

2.5.1. Toplama

Toplama faaliyeti tersine lojistiğin ilk ve en önemli unsurudur (Schwartz,2000). Kullanılmış ürünlerin yeniden kullanıma hazır hale getirilmesi için fiziksel olarak onları bir noktaya getiren tüm faaliyetleri kapsamaktadır (Sasikumar vd., 2008).

Literatürde 3 farklı toplama yönetiminden bahsedilmektedir (Demirel vd., 2008).

- Kullanılmış ürün ve malzemelerin orijinal ekipman üreticisi (OEM) tarafından toplanması,
- 3. Parti lojistik sağlayıcılar veya perakendeciler tarafından toplanmasıdır.

Toplama faaliyetinin, kullanılmış olan ürünün elde edilmesi ve toplanmasının yanında depolanma sürecini kapsadığını da göz ardı etmemek gerekmektedir (Kumar vd., 2006).

2.5.2. Kontrol ve Ayıklama

Toplanan ürün ve malzemenin kontrol edilmesi ve ayıklanması sürecini kapsamaktadır. Kontrol ve ayıklama sürecinde, toplanan ürün ve malzemenin yeniden kullanılabilirliğine veya hangi işlemlere tabi tutularak kullanılabilceğine karar verilmektedir (Fleischmann, 2001).

Bu süreçte öncelikle tedarik zinciri içerisinde yer alamayacak ürünler ayıklanmaktadır. Bu işlem göz ardı edildiği takdirde ekonomik değeri bulunmayan ürünlerin gereksiz sevkine ve yükleme-boşaltma faaliyetlerinden doğan nakliye maliyeti vb. maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır.

Ekonomik değere sahip olan ürünler yeniden kullanım için çevrimdeki yoluna devam ederken, değersiz bulunan ürünler elden çıkarmak üzere ayrılmaktadır (Karaçay, 2005). Kontrol ve ayıklama sürecinde demontajlama, küçük parçalara ayırma işlemleri de yapılmaktadır (Alamması, 2014).

2.5.3. Yeniden İşleme

Kullanılmış ürünün veya malzemenin belirli işlemlerden geçerek yeniden kullanıma hazır hale dönüştürülme aşamasıdır. Ürün değerinin geri kazanılması işlemidir. Bu işlemler; geri dönüşüm dahil olmak üzere onarım, parça değiştirme, ürün yenileme ve yeniden üretim gibi farklı faaliyetleri kapsamaktadır.

Onarım: Onarımın amacı, tüketiciden dönen kullanılmış ürünün veya ömrünü tamamlamış olan ürünün yeniden çalışılabilir veya kullanılabilir hale dönüştürülmesidir. Tamir genellikle oldukça sınırlı düzeyde, parçaları sökme ve montaj gerektirir. Tamir edilmiş ürünün kalitesi genellikle yeni ürün kalitesine göre düşüktür (Fleischmann vd., 2000).

Ürün Yenileştirme: Kullanılmış ürünü, belirli bir kalite düzeyine ulaştırmak esastır. Ürün iyileştirme, ürün geliştirme ve yeniden üretme esnasında ürüne değer katan işlemlerdir. Ürün, sökme işlemi ile modüllerine ayrılır, ehemmiyete

sahip modüller kontrol edilir ve gerekiyorsa değiştirilir (Fleischmann vd., 2000). Böylece ürünün kalitesi artırılmış, yaşam süresi uzatılmış olur.

Yeniden Üretim: Yeniden üretimin amacı, ürünleri daha yüksek düzeyde kalite seviyesine getirmektir. Kullanılmış ürünün tüm parçaları tamamen sökülür ve tüm parçalar kapsamlı olarak test edilir. Aşınmış ve eskimiş olan parçalar yenileri ile değiştirilir. Tamir edilebilir parçalar yoğun bir şekilde test edilir. Uygun parçalara modül seviyesine göre alt montajda bulunulur. BMW yıllardan beri yeniden üretim faaliyetinde bulunan şirketlerden biri olarak göstermek mümkündür (Schwartz, 2000).

Ürün Yamyamlaştırma: Başka bir ürünün yeniden üretiminde, onarımında değerlendirmek üzere kullanılmış ürünün bazı kısımlarının üründen ayrılma işlemidir. Yamyamlaştırma işleminde onarım, yeniden üretim ve ürün yenileştirme işlemlerine göre ürünün daha az miktarda parça veya bileşeni yeniden kullanılmaktadır (Sasikumar vd., 2008).

Geri Dönüşüm: Geri dönüşüm faaliyetinde ürün veya parçanın kimliği korunmaz. Burada amaç, kullanılan ürünlerden onları oluşturan malzeme ve bileşenlerin tekrar kullanılmasının sağlanmasıdır. Kalite gerekliliği, geri dönüşümü sağlanmış malzeme ve bileşenin kullanılacağı sürece bağlı olarak değişmektedir (Schwartz, 2000). Kullanılmış parça ve bileşenleri oluşturan metallerin 75%'i Almanya, İngiltere gibi Avrupa ülkelerinde geri dönüştürülmektedir (Kumar vd., 2006).

2.5.4. Yeniden Dağıtma

Belirli işlemlere tabi tutularak geri kazanılmış ürünün yeniden piyasada yer edinmesi işlemidir (Fleischmann, 2001). Geri kazanılan ürünlerin, parça ve malzemelerin potansiyel birincil veya ikincil pazarlara doğru hareketidir. Satış, taşıma ve stoklama faaliyetlerini içermektedir. Geleneksel tedarik zincirinde ürünün taşınacağı alanlar önceden bilinirken tersine tedarik zincirinde ürünün taşınacağı alanlar muayene ve ayıklama süreci sonunda ortaya çıkmaktadır (Şengül, 2011).

2.5.5. Elden Çıkarma/Bertaraf

Teknik ve ekonomik nedenlerden dolayı yeniden kullanımı sağlanamayacak ürünlerin, parça ve bileşenlerin yok edilme veya elden çıkarılma sürecidir. Bu durum aşırı düzeyde onarım gerekliliğinden dolayı muayene ve kontrol seviyesinde reddedilen aynı zamanda pazardaki potansiyeli tatmin edici olmayan ürünler için geçerlidir. Bertaraf faaliyeti için yakma, gömme, nakliye gibi alternatifler bulunmaktadır (Fleischmann, 2001).

2.6. Tersine Lojistiğin Önündeki Engeller

Rogers ve Tibben-Lembke'e göre rekabetçiliği artırmak ve ürün getirilerinin ilave değer kazanması, şirketlerin tersine lojistik yönetimi için stratejik bir vizyona sahip olmalarından geçmektedir (Alamassi, 2014). Ancak tersine lojistik, ileri tedarik zincirine göre çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorluklar aşağıda belirtilmiştir.

Kalite, Miktar ve Zamandaki Farklılıklar: Değer, kalite, miktar ve getirilerin zamanlaması arasındaki büyük farklılıklar, erken tahmin ve planlama gereksinimlerinin ve geri dönüş zincirleri yoluyla ürün iade işlemleri için gerekli olan kaynakların oluşturulmasında güçlükler neden olmaktadır (Blackburn vd., 2004).

Performans Ölçütlerinin Eksikliği: İleri tedarik zincirinde kullanılan performans ölçüm teknikleri, çeşitli yönlerden farklılıklar nedeniyle ters tedarik zincirine uygulanamamaktadır (Alamassi, 2014). Skjott-Larsen ve diğerleri, şirketlerin proses dönüşleri için nadiren verimlilik ölçümünde bulunduğunu öğrenmiştir (Pochampally vd., 2009). Tersine tedarik zincirinin performansını artırmak için kusurlu ürünün müşteri şikayetinden ne kadar süre sonra değiştirildiği, ürün geri dönüş miktarı, geri gönderilen ürünün kalitesi, geri dönüşlerde maliyet gibi performans kriterlerinin ele alınması oldukça önemlidir (Blackburn vd., 2004).

Finansal Yetersizlik: Çoğu işletme tersine lojistik uygulamalarında bulunabilmek için mali desteğe ihtiyaç duymaktadır. Etkin bilgi ve teknolojik sistemlerle tersine lojistik faaliyetlerinde bulunulabilmekte ve bu sistemler için ise büyük yatırımlar yapmak gerekmektedir (Cingöz, 2014).

Perakendeci-Üretici Çatışması: Perakendeciler ve üreticiler arasında çelişen amaçlar, işleme süresini uzatan verimsizliklere ve iade edilen ürünlerin değer ve durumlarıyla ilgili uyuşmazlıklardan kaynaklanan çatışmalara neden olabilir (Alamassi, 2014).

2.7. Tersine Lojistikte İade Çeşitleri

Ürünün fonksiyonunu yerine getiremediği durumlarda, kullanıcı ürünü iade ederken, perakendeci ürünün paketlemesini beğenmediği veya ürünün yeni modelinin geliştirildiği ve piyasaya sürüldüğü durumlarda eskiyen ürününü iade etmektedir (Cingöz, 2014).

Ürün iadeleri 3 başlık altında toplanmaktadır. Bunlar;

- Üretim iadeleri
- Dağıtım iadeleri
- Tüketici iadeleridir.

2.7.1. Üretim Dönüşleri

İmalat esnasında ürün ve parçaların yeniden değerlendirilmesini gerektiren bütün durumlar üretim dönüşlerini kapsamaktadır. Bu durumun yaşanmasının altında çeşitli sebepler yatmaktadır. Hammadde de miktar fazlalığı, ara ve nihai ürünlerin kalite kontrolden geçememesi ve tekrardan işlenerek yeniden kullanılabilir hale dönüştürülme gerekliliği, üretim sürecinde yaşanan problem dolayısıyla ürünün atıl duruma düşmesi ve yarı mamul olarak başka bir ürünün üretim sürecinde kullanılabilirliği yaşanan durumlardandır. Özetlemek gerekirse imalat dönüşleri şunları içerir (Dekker vd., 2004):

- Hammadde fazlası
- Kalite kontrol geri dönüşleri
- Üretim sürecinden kalanlar

2.7.2. Dağıtım Dönüşleri

Dağıtım getirileri, ürün üretildikten sonra dağıtım sırasında bir tedarik zinciri aktörü tarafından başlatılan tüm dönüşleri (üretici dahil) ifade etmektedir. Bu ürün dönüşleri, ticari dönüşleri, stok ayarlamaları ve işlevsel dönüşleri ifade etmektedir (Köse, 2009). Ürünlerin dağıtımdan dönüşleri genellikle ürünlerde güvenlik veya sağlık sorunlarının tespit edilmesi sonucu yaşanılır. Üretici veya tedarikçi genellikle bu dönüşleri başlatmaktadır (Ayvaz, 2013). Stok ayarlamaları, genel itibariyle mevsimlik geçiş sürelerinde gerçekleşir (Dekker vd., 2004) İşlevsel geri dönüşler, ileri-geri faaliyette bulunan özellikle dağıtım aşamasında kullanılan konteynır, palet gibi ürünlerin dönüşlerini kapsamaktadır (Östlin vd., 2008).

2.7.3. Müşteri Dönüşleri

Müşteri geri dönüşleri, tüketiciye ulaştırılan ürünün belirli sebeplerden dolayı ilgili kuruma geri gönderilmesini kapsamaktadır. Müşteri dönüşlerinin sebebi olarak;

- Garanti kapsamında dönüşler, müşteriye ulaştırılan ürünlerin garanti süresi dahilinde veya ürünlerin müşteriye teslim edilme sürecinde ortaya çıkan hatalardan dolayı gerçekleşen dönüşlerdir (Duyguvar, 2010).
- Kullanım sonu geri dönüşler, kullanım ömrünü tamamlayan ürünlerin herhangi bir dağıtım kanalıyla üretici veya tedarikçiye ulaştırılmasıdır.
- B2C kapsamında ticari dönüşler, satın alınan ürünle ilgili olarak müşteriye sunulan değişim fırsatının müşteri tarafından değerlendirilmesi sonucu meydana gelmektedir.

- Hizmet dönüşleri, satın alınan ürünle ilgili kullanıcının bakım onarım faaliyetlerine ihtiyaç duyması halinde gerçekleşen bir dönüş çeşididir (De Brito vd., 2003).
- Yaşam sonu geri dönüşleri, ekonomik ömrünü tamamlayan ürünlerin dönüşlerini kapsamaktadır.

2.8. E-Ticaret ve Tersine Lojistik

Son zamanlarda, e-ticarette ters lojistiğin önemi analiz edilmeye başlanmıştır. Kokkinaki ve diğerleri (1999), tersine lojistikte e-ticaretin önemi üzerine araştırmalarda bulunmuş olup, araştırmalar sonucunda tersine lojistiği cezbedici hale getiren üç e-ticaret modeli olduğunu tespit etmişlerdir (Karabulut, 2009). Bunlar; yeni ve kullanılmış ürünlerin satışa sunulduğu elektronik pazarlar, kullanılmış bileşen ve komponentler veya yeniden üretime tabi tutulan ürünlerin satışa sunulduğu web tabanlı siteler ve son olarak toplama, yeniden kullanma, yeniden dağıtma vb. içeren web tabanlı paradigmalardır. Lourenço ve Soto (2002) tarafından belirlenen E-ticaret aktiviteleri Çizelge 2.3'te gösterilmiştir (Karabulut, 2009).

Çizelge 2.3. E-ticaret Kapsamında Tersine Lojistik Faaliyetleri (Karabulut, 2009)

E-Ticaret Uygulamaları	Tersine Lojistik Faaliyetleri
Pazarlama	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kullanılmış ürün, parça ve bileşenlerin reklamı ➤ Satın alınmak için müşteri tarafından aranan ürün, parça ve bileşenlerinin varlığının bildirim
Satınalma	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tedarikçi ve müşteri araştırmaları ➤ Satın almak için aranan ürün, parça ve bileşenler için Satınalma faaliyeti ➤ Beklenen teslimatla ilgili bilgi alımı
Satış	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Siparişlerin takibi ➤ Ürün satışına yönelik satış fiyatı üzerinden iskonto faaliyetleri ➤ Faturalama, tahsilat ve ödeme işlemleri

Satış Sonrası Hizmet	<ul style="list-style-type: none">➤ Ürünün takibi➤ Müşteriye destek verilmesi
----------------------	--



3. LİTERATÜR TARAMASI

Tersine lojistik ekonomik ve ekolojik nedenler, sosyal sorumluluklar, yasalar, sürdürülebilir gelişme, doğal kaynakların korunması vb. birçok nedenden dolayı günümüzde oldukça önem arz eden tedarik zincirinin anahtar süreçlerinden biridir (Dirik, 2012).

Literatürde tersine lojistikle ilgili farklı atık türleri için birçok çalışma olmasına rağmen ÖTA'larla ilgili çok kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Schultmann ve diğerleri (2004 ve 2006), Almanya'da ömrünü tamamlamış araç tedavisi için kapalı devre tedarik zinciri modeli önermiştir. ÖTA'nın sökülen termoplastik parçalarının toplanması ve yeniden işlenmesi ile birlikte geri dönüşüm alanlarının konumlandırma planını birleştirmiş ve çalışmanın optimum çözüme kavuşturulması için bir depo içerisinde simetrik güzergahlı araç yönlendirme planlamasında bulunmuştur.

Cruz-Rivera ve Ertel (2009), Meksika'da ömrünü tamamlamış araçlar için toplama tesis lokasyonlarının belirlenmesi üzerine çalışmalarda bulunmuştur. Çalışma için kapasite kısıtı olmayan tesis yerleşim modeli önermiştir. Toplama tesislerinde araç toplama, temizleme ve sökme işlemlerinin gerçekleştirildiğini varsaymışlar ve taşıma maliyetlerinin model tasarımında önemli bir etken olduğu üzerinde durmuşlardır.

Zarei, Mansour ve diğerleri (2008), ÖTA'lar için oluşturulan yönetmeliğin yerine getirilmesi ve ÖTA'ların geri kazanımında maksimum fayda sağlamak amacıyla çok aşamalı bir tersine lojistik modeli önermiştir. Model önerisinde, ÖTA toplama merkezleri ve söküm tesisleri lokasyonlarının erişilebilir bir mesafede bulunmalarının gerekliliği üzerinde durulmuştur. Genetik algoritma yaklaşımı, modeli çözmek için kullanılmıştır.

Harras ve Galal (2011), Mısır'daki ÖTA'lar için sürdürülebilir bir kurtarma ağı oluşturmak için karma tamsayı hedef programlama modeli sunmuştur. Önerilen

model, farklı tesisler için yer ve farklı yaşam sonları seçeneklerine tahsis edilen miktarı içermektedir.

Vidovic ve diğerleri (2011), Sırbistan Belgrad'ta ÖTA'lar için toplama noktalarının konumunun tersine lojistik ağ tasarımında optimum çözüme ulaşılmasında önemli bir etken olduğu üzerinde durmuş ve toplama noktalarının ideal konumlarının belirlenmesinde kullanılabilecek tersine lojistik ağ tasarımı için bir modelleme yaklaşımı geliştirmiştir. Geliştirilen model Belgrad şehir alanı üzerinde gösterilmiştir.

Farel, Yannou ve diğerleri (2013), Fransa'daki ÖTA cam geri dönüşüm ağı modelleme için farklı senaryolarda sistem dinamikleri benzetim yaklaşımını kullanmıştır.

Ene ve Öztürk (2014), Türkiye'de ÖTA'lar için iki aşamalı toplama ağı problemi üzerinde çalışmış ve minimum maliyet ile toplama ağı içerisinde yer alacak tesislerin açılma kararlarının ve tesisler arası taşınacak ürün ve parça miktarlarının belirlenmesi için öncelik tabanlı genetik algoritma, probleme özgü olarak geliştirilmiştir.

Simic (2015), belirsizlik altında ÖTA tahsisinin yönetimi için iki aşamalı aralık-stokastik programlama modeli önermiştir. ÖTA tahsis hedefleri açısından farklı ekonomik cezalar için farklı politika senaryoları oluşturulmuştur. Önerilen model, deneysel bir vaka çalışmasında uygulanmıştır.

Chen ve diğerleri (2015), politikaların Çin'de ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşümünü nasıl etkileyebileceğini araştırmak için dinamik modelleme ve maliyet-fayda analizi uygulamış ve parametre belirsizliğinin daha da araştırılması gerektiğini bildirmiştir.

Demirel, Demirel ve Gökçen (2016), ömrünü tamamlamış araçların ağ tasarımı için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önermiştir. Önerile modelin

performansı ve otomotiv endüstrisindeki uygulanabilirliği çeşitli senaryolarla tartışılmıştır.

Simic (2016), ömrünü tamamlamış araçların tahsisini planlamak için çok aşamalı interval-stokastik programlama modeli önermiştir. Geliştirilen model çok bölgeli bir atık yönetim sisteminden çoklu araç geri dönüşüm fabrikalarına ÖTA tahsisi kararlarıyla dinamikleri çok dönemli bir bağlamda yansıtabilmektedir. Belirsiz parametreler olasılık dağılımları ve kesikli aralıklarla ifade edilmiştir.

Özceylan ve arkadaşları (2017), geriye doğru malzeme akışını, ileri tedarik zinciri ile yeniden bütünleştirmek amacıyla bir doğrusal programlama modeli (DP) geliştirmiştir ve çeşitli senaryolar oluşturarak, modelin performansını ve uygulanabilirliğini araştırmıştır.

Literatürde çok amaçlı optimizasyon modeli geliştiren çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibidir:

Nozick ve Turnquist (2001), potansiyel sitelerdeki tesislerin yerini bulmak için çok amaçlı bir tesis yeri tamsayı programlama modeli geliştirmiştir. Çalışmanın amacı, tesis yatırım maliyetleri, stok maliyetleri, ulaşım maliyetleri ve müşteri yanıt verme oranı arasındaki dengelerin araştırılmasıdır. Önerilen modelde, maliyet minimizasyon hedefleri tesislerin merkezileşmesine yol açmaktadır. Bununla birlikte, müşteri yanıt vermenin azamileştirilmesi, mümkün olduğunca nihai müşterilere yakın malların bulunması ve sonucunda da tesislerin merkezden uzaklaştırılması gerektiği düşünülmüştür. Maliyet ve müşteriye yanıt verme arasında etkili bir denge elde edilmesi istenmiştir. Problem ağırlıklandırma yöntemi ile çözüme kavuşturulur. Çok amaçlı modelin tek bir amaca dönüştürülmesi için talep edilen hedeflere ağırlıklar atanmıştır. Hedeflere atanan ağırlık değerleri değiştirilerek, baskın olmayan çeşitli çözümler elde edildi. Ağırlığın büyük miktarının müşteriye cevap verme seviyesinde bulunmasının daha efektif sonuçlar doğurduğu belirlenmiştir. Bu model, ABD otomobil endüstrisinde uygulanmıştır.

Krikke ve diğerleri (2003), entegre tedarik zinciri tasarımı problemini çözmek için çok amaçlı kapalı döngü karma tamsayı doğrusal programlama modeli önermiştir. Çoklu ürün ve çoklu ürün kazanım seçeneğinin, ileri ve geri akışta kapsayıcı olacağı üzerinde durulmuştur. Çalışmada iki amaç belirtilmiştir. Bu amaçlar, faaliyetleri gerçekleştirirken tedarik zinciri genel maliyetlerinin minimize edilmesi ve çevresel etkilerin asgari seviyede tutulmasıdır. Tamir edilebilirlik, geri dönüştürülebilirlik gibi ürünün, ürün tasarım yapısının yanı sıra lojistik sistem içerisinde uygun malzeme akış dağılımına ve optimal tesis konumlarına ulaşılmaya çalışılmıştır. Ürün tasarımının ve ağ tasarımının etkileşimlerini analiz etmek ve sonuçların kontrolünü test etmek üzere bir vaka çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu vaka çalışması, bir Japon buzdolabı üreticisinde gerçekleştirilmiştir. Çeşitli ürün tasarımları ve ürün iadesi nicelikleri ve nitelikleri gibi farklı parametrelere sahip çeşitli senaryolarla çalışmalar yapılmış ve yönetimsel kullanım için karşılaştırmalarda bulunulmuştur.

Du ve diğerleri (2008), tersine lojistik ağ tasarımı için iki amaçlı karma tam sayılı programlama optimizasyon modeli önermiştir. Problem olarak, bir dizi potansiyel yerden satış sonrası garanti iadesi kapsamında dönen ürünler için onarım tesisi açılması konusunda karar verilmesi ve onarım tesisi kapasitelerinin belirlenmesini ele almıştır. Modelde ulaşım, lojistik ağı kurmuş olan üçüncü parti lojistik sağlayıcısından dışarıdan karşılanmıştır. Modelde üçüncü parti lojistik sağlayıcısı, üretici ve müşteriler için nakliye hizmetlerini destekler ve geri dönen ürünlerin alımında görev almaktadır. Belirlenen iki hedef, toplam maliyetin minimize edilmesi ve çevrim süresi toplam gecikmesinin asgari seviyede tutulmasıdır. Modeli çözmek için üç algoritmanın birleşiminden oluşan bir çözüm yaklaşımı tasarlanmıştır. İlk olarak, potansiyel tesisler arasındaki kapasite düzenlemesini temsil eden ikili karar değişkenleri üzerinde karar vermek için dağılım araştırması uygulanmıştır. Sonrasında, belirlenmiş ikili değişkenler kümesine dayanarak, iki amaçlı fonksiyona binaen ulaşım düzenlemesini temsil eden sürekli değişkenler için optimum çözümleri bulmak adına dual simplex yöntem kullanılmıştır. Son olarak, belirlenmemiş çözümlerden oluşan bir dizi elde etmek için sınırlama yöntemi uygulanmıştır.

Pati ve diğeri (2008), kağıt geri dönüşümü için karma tam sayılı hedef programlama modeli sunmuştur. Model üç amaçlı olarak tasarlanmıştır. Modelin üç hedefi, toplam maliyetin minimizasyonu, ürün kalitesinin maksimizasyonu, atık kağıt kurtarmanın maksimizasyonudur. Problem, tesislerin yanı sıra farklı türlerde geri dönüşümlü rota ve akışların belirlenmesidir. Modelde üç hedefe dayanarak, hedef düzenlemelerini farklı kombinasyonlarını dikkate alarak altı öncelikli yapı oluşturulmuştur. Bu oluşumun, farklı senaryolardaki hedeflerin dengesinin araştırılmasına ve politika yapıcıların, her bir hedefin sistem davranışı üzerindeki etkisini anlamaya yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Önerilen modelin kullanımı, Hindistan'da kağıt geri dönüşümünde uygulanmıştır.

Erkut ve diğeri (2008), Kuzey Yunanistan'da katı atık yönetiminin konum tahsisi problemini çözmek için çok amaçlı bir karışık tam sayılı programlama modeli geliştirmiştir. Model ekonomik ve çevresel kriterler açısından beş çakışan hedefi içermektedir. Bu hedefler şunlardır: Sera etkisi minimizasyonu, bertaraf/elden çıkarma minimizasyonu, enerji kurtarma maksimizasyonu, malzeme kurtarma maksimizasyonu ve toplam maliyet minimizasyonudur. Sera etkisi, bu tesislerle bağlantılı sera emisyon katsayısına dayalı olarak tesislerde üretilen atıkların bir ürünü olarak çevrilmektedir. Depolama atıklarının giderilmesi, geri kazanılamayan atık miktarının en aza indirilmesi olarak tanımlanmıştır. Son olarak, toplam maliyet, tesis açılış maliyetini, taşıma maliyetlerini ve tedavi maliyetlerini içermektedir. Problem, tesislerin yerlerini bulmak ve bu yerler arasındaki atık akışı hakim olmayan bir çözümü temel olarak bulmaktır. Problem, lexicographic minimax yaklaşımı ile çözülmüştür.

Rahmatian (2008), birden fazla metale sahip çok amaçlı bir tesis ve tahsis modeli üzerine çalışmıştır. Model, genel maliyet minimizasyonu, ürün toplama maksimizasyonu ve ürün iyileştirme maksimizasyonunu olmak üzere üç hedefi içermektedir. Amaç, potansiyel tesisler arasında, tesis düzenleme kapsamında tesisler ve müşteriler arasında ilişkili malzeme akışı için bir dizi hakim olmayan çözüm elde edilmesidir. Tesis kapasiteleri ayrı parametreler olarak tanımlanır ve her biri bağımsız olarak, ürün tipi üzerinde uygulanır. Modelin çözümünde

kısıtlama yöntemi kullanılmış olup, modelin performansını analiz etmek için farklı sayısal örnekler kullanılmıştır.

Yımsırı (2009), hem maliyet hem de çevresel hedefleri karşılayan çok amaçlı bir tersine lojistik ağı tasarlayarak, tersine lojistiğin doğal karmaşıklığına odaklanmıştır. Ulaşım mesafesinin azalması ile birlikte tersine lojistik ağı ile ilişkili toplam maliyetin en aza indirgenmesi hedeflenmektedir. Başlangıçta Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) metodolojisi ile tersine lojistik ağ modeline uygun bir çözüm elde edilmesi planlanmıştır. Bununla birlikte, araştırma döneminde ileri tedarik zinciri lojistiğindeki çok amaçlı problemlerin performansını kanıtlayan Genetik Algoritma'nın (GA) kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Çok amaçlı optimizasyonda, Evrimsel Programlama (EC), çözüm bulmada etkinliği ve sağlamlığı nedeniyle dikkat çekmektedir. Genetik Algoritma, en çok bilinen evrimsel programlama sınıfı olarak bilinmektedir. Onlar doğal evrim sürecini taklit eden stokastik arama teknikleridirler. Pareto optimalliğine dayanan Çok Amaçlı Genetik Algoritma (MOGA), zorlu kombinasyonel optimizasyon problemlerinden (COP) biri olarak düşünülen çok amaçlı ters lojistik ağı tasarım problemlerini çözmek için önerilmiştir. Tipik toplama tabanlı çok amaçlı genetik algoritmalar ile bu çalışmada geliştirilen Pareto tabanlı genetik algoritmalar arasındaki sağlamlık ve kararlılığı karşılaştırmak için vaka çalışması yapılmış ve duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

Pishvae ve diğerleri (2009), entegre ileri/ters lojistik ağ tasarımı için çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama (MINLP) modeli sundu. Model, toplam maliyetin minimize edilmesi ve lojistik ağın duyarlılığının maksimizasyonu olmak üzere iki hedefi içermektedir. Modelin çözümünde memetik algoritma kullanılmış olup, bir dizi hakim olmayan çözüm elde edilmiştir. Önerilen çözüm algoritması, üç farklı yerel arama kullanılarak oluşturulan yeni bir dinamik arama stratejisidir. Yeni çözüm yaklaşımının kalitesi, Pareto-optimal çözümlerin kalitesi, çok amaçlı bir genetik algoritma ile üretilen çözümlerin kalitesiyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Li ve diğeri (2012), üreticinin satış sonrası onarım hizmeti problemini çözmek için çok amaçlı tersine lojistik ağ tasarım optimizasyon modeli önermiştir. Problemden, toplam maliyetin minimize edilmesinin yanı sıra hizmet seviyesiyle ilişkili olan iki ek hedef de düşünülmüştür. Bu nedenle çalışma üç amaçtan oluşmaktadır. Bu hedefler toplam tersine lojistik maliyetin minimize edilmesi, çevrim süresinde toplam gecikmenin en aza indirilmesi ve toplama noktalarında kabul edilebilir hizmet kapsamındaki müşteri bölgeleri oranının en üst düzeye çıkarılmasıdır. Problemin amacı, potansiyel tesis yerleri arasındaki toplama noktalarının ve onarım merkezlerinin sayısının ve yerinin tespit edilmesini ve müşteri bölgeleri ile servis tesisleri arasındaki ilişkili nakliye akışlarının belirlenmesidir. Pareto optimal çözümler seti elde etmek için önerilen modelde NSGA-II uygulanmıştır. NSGA-II'nin performansını ölçümlemek için ağırlıklı toplam yaklaşım (GA WShereafter) ve MOSA'ya dayalı bir genetik algoritma uygulanmaktadır. Üç algoritmanın performansını karşılaştırmak için hesaplamalı analizler gerçekleştirilmiş ve modelin anahtar parametreleri test edilmiştir.

Ramezani ve diğeri (2012), ileri yöndeki üç takım (tedarikçiler, tesisler ve dağıtım merkezleri) ve geriye dönük olarak iki takım (toplama ve bertaraf merkezi) olmak üzere ileri / geri lojistik ağ tasarımı için stokastik çok amaçlı bir model üzerine çalışmıştır. Lojistik ağın hedefleri olarak, karlılığı, müşteriye yanıt verme seviyesini ve kaliteyi en üst düzeye çıkaran sistematik tedarik zinciri yapılandırmasını değerlendiren bir model geliştirmeyi belirledi. İnteraktif çok amaçlı yaklaşımlardan farklı olarak tek aşamalı bir teknik olan e-kısıt yöntemi model çözümünde kullanılmıştır. E-kısıt, bir amaç fonksiyonunun optimizasyonuna ve diğer hedeflerin izin verilen sınırlarla kısıtlar olarak düşünülmesine dayanmaktadır. Ardından, diğer pareto-optimal çözümleri üretmek için sınırlar ardışık olarak değiştirilmektedir. Sonrasında pareto-optimal çözüm kümesi elde edilmiştir. Sonuçlar karar verme sürecini desteklemek için önemli bilgiler sağlamaktadır.

Temur (2012), Elektronik atık yönetiminde tesis yeri seçim ve atama konusuna yönelik matematiksel modeller önermiştir. Mevcut dönem (atık yönetmeliğinin

uygulanmaya başlanmadığı dönem) ve gelecek döneme ait modelleme çalışmaları gerçekleştirmiştir. Çalışmada çok amaçlı model üzerinde durmuştur. Amaç fonksiyonu olarak sürdürülebilir yaklaşımı ile ilişkili üç etkeni dikkate almıştır. Problemden, toplam maliyetin minimize edilmesinin yanı sıra çevresel etki minimizasyonu ve sosyal fayda maksimizasyonunu da amaç fonksiyonunda değerlendirmiştir. Modelin çözümünde istatistiksel modellere göre çok daha iyi sonuç veren yapay sinir ağları (YSA) metodundan yararlanmıştır. Modelin performansını ölçümlemek için uç değer analizi yönteminden faydalanılmış, meydana gelebilecek değişikliklere karşı model sonuçlarının nasıl değişeceğinin ölçülmesi için duyarlılık analizleri gerçekleştirmiştir.

Alamassi (2014), hedeflenen tek periyotlu, çok kademeli ve çok ürünlü tersine lojistik ağ tasarımı için, iki aşamalı ve iki amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önermiştir. Önerilen iki hedefli model şunları içermektedir. sabit, nakliye, yer değiştirme, toplama, denetim, kurtarma ve bertaraf masrafları toplamını da içeren toplam maliyetlerin asgariye indirilmesi ve şebeke içindeki ulaşım modlarından kaynaklanan emisyonları en aza indirmektir. Araştırmanın ana hedeflerini gerçekleştiren uygun ağ yapılandırma kümesini bulmak için iki aşamalı stokastik model formüle edilmiştir. Önerilen modelde, Pareto-optimal çözümlerin listesini elde etmek için ϵ -kısıt yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada ele alınan konuya istinaden, ilk etapta ömrünü tamamlamış araçlar için ağ tasarım modelleri ile ilgili yüksek lisans ve doktora tezleri, makaleler ve projeler incelenmiş, sonrasında çok amaçlı model formülasyonları ve olası etkileri araştırılmıştır.

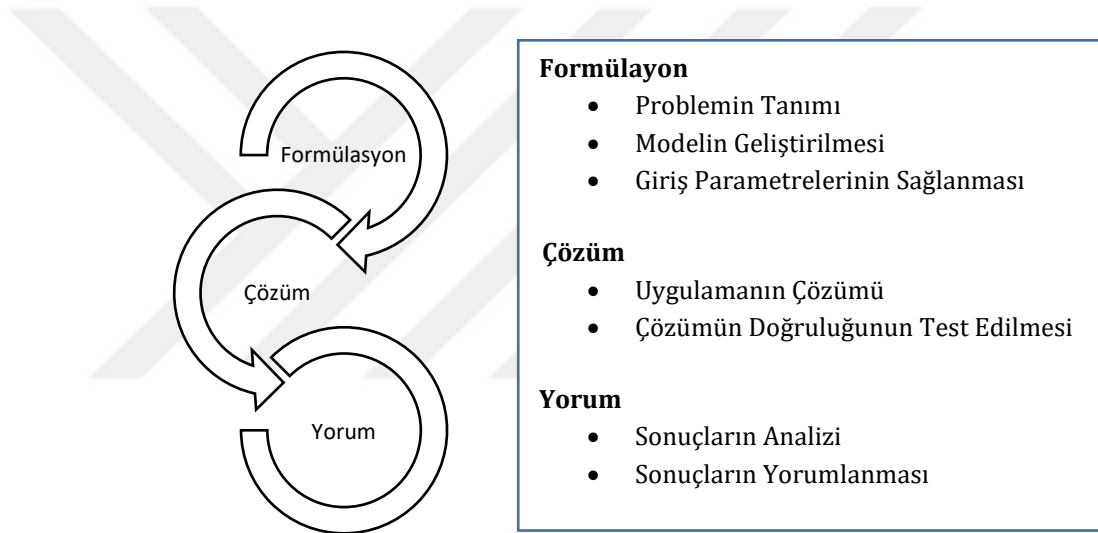
Bu araştırmalardan hareketle İstanbul'da ÖTA geri dönüşüm süreçlerinin etkin yönetimi için ekonomik, sosyal ve çevresel sorunların bir arada düşünüldüğü ve hedeflendiği çok amaçlı programlama modeli geliştirilmiş ve çözümü için hedef programlama metodu önerilmiştir.

4. METODOLOJİ

4.1. Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama (MILP)

Modelde kullanılacak değişkenlerin bir kısmı tam sayılı değerler bir kısmı ise sürekli değişken değerlerdir. Dolayısıyla kurulacak olan model karma tam sayılı doğrusal programlama modelidir.

Karma tam sayılı doğrusal programlama modelinin kurulumu için tamamlanması gereken aşamalar Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Model Kurulumu için Tamamlanması Gereken Aşamalar

Karma tam sayılı doğrusal programlama probleminin gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$\text{min: } ax + by$$

$$\text{kısıtlar: } Cx + Dy \geq b$$

$$x \geq 0$$

$$y \geq 0 \text{ ve tamsayıdır.}$$

x , sürekli değişkenlerin vektörünü; a , x' in amaç fonksiyonu içerisindeki coefficient vektörünü, C de x' in kısıtlar içerisindeki katsayı matrisini göstermektedir (Temur, 2012).

4.2. Hedef Programlama Yöntemi

Çok amaçlı programların çözümünde birden fazla çözüm metotları kullanılabilir. Bu tür problemleri çözmek için en sık kullanılan yöntemler ağırlıklandırma yaklaşımı, küresel kriter yaklaşımı ve hedef programlama yaklaşımıdır.

Ağırlıklandırma yönteminde, çok amaçlı bir sorunda çelişen nesnel işlevler tek bir amaca dönüştürülür. Bunu yapmak için, orijinal amaç fonksiyonlarını birleştirerek ve her birine bir ağırlık atayarak tek bir amaç fonksiyonu elde edilir. Modelde her bir amaç için bir ağırlık (w_i) belirlenmesinin yanında, kısıtlayıcılar kümesine de bu ağırlıklarla ilgili koşul eklenir (Atlas, 2008). Ağırlıkları değiştirerek ve tek objektif problemi çözmek için klasik bir çözüm yaklaşımını uygulayarak, çok objektif problem için hakim olmayan bir dizi çözüm elde edilebilir.

Çok amaçlı problemlerde sıklıkça kullanılan yöntemlerden biri de küresel kriter veya bir diğer adıyla toplu kriter yöntemidir. Toplu kriter yöntemi çok amaçlı bir problem için uzlaşmacı bir çözüm sunmaktadır. Bu yöntem, ideal çözümlerin ilgili amaç fonksiyonlarından türetilmesiyle toplamı en aza indirgemenin bir yoludur (Chakraborty vd., 2014).

Çok amaçlı problemleri çözmeye yaygın olarak kullanılan bir diğer çözüm yöntemi ise hedef programlamadır. Bu çalışma için de çözüm yaklaşımı olarak hedef programlama kullanılmıştır.

Hedef programlama yönteminde karar verici ulaşmayı arzu ettiği her bir hedef için matematiksel bir değer belirler. Çözüm neticesinde matematiksel değerlerden sapmaları en aza indirgeyen çözüm, kabul edilen çözüm olarak belirlenir.

Hedef programlama modelinin klasik matematiksel gösterimi şu şekildedir (Atlas, 2008):

$$\text{Min } Z = [\sum_{i=1}^m (d_i^+ + d_i^-)^a]^{1/a} \quad (a=1)$$

Kısıtlar:

$$g_k(X) \leq 0, \quad k=1,2,\dots,p$$

$$f_i(X) - d_i^- + d_i^+ = b_i \quad i=1,2,\dots,m$$

$$d_i^- * d_i^+ = 0, \quad \forall i$$

$$X, d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad \forall i$$

Burada d_i^- ve d_i^+ sapmaları ifade etmekte olup, d_i^- , hedeften negatif yönde sapmayı ve d_i^+ , hedeften pozitif yönde sapmayı temsil etmektedir. Bu tanımlar, hedefi istediğimiz gibi karşılamamıza veya ihlal etmemize izin vermektedir (Taha, 2001).

Çok amaçlı hedefler ağırlıklandırılarak veya önceliklendirme ile sıralandırılabilir. Böyle bir durumda belirlenen öncelikli hedefe önce ulaşılmaya çalışılır. Sonrasında sırasıyla, belirlenen diğer öncelikli hedefler göz önünde bulundurulur. Ancak optimal bir çözüm elbette her hedefin ihlal edildiği miktarın minimum tutulduğu bir çözümdür (Ersöz vd., 2010).

Hedef programlama probleminin çözümünde çok sayıda amaç fonksiyonun tek bir amaç fonksiyonuna dayandırıldığı ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır.

Ağırlıklandırma yönteminde, tek bir amaç fonksiyonu, problemin hedeflerini temsil eden fonksiyonların ağırlıklandırılmış toplamı haline dönüştürülür.

Hedef programlama problemi için kullanılacak ağırlıklandırma yönteminin gösterimi şu şekildedir (Marter vd., 2004):

p hedefli hedef programlama yönteminin k. hedefi aşağıdaki gibi verilmiş olsun.

$$\text{min } g_k, \quad k=1,2,\dots,p$$

Ağırlıklandırma yönteminde kullanılan birleştirilmiş amaç fonksiyonu

Min $z = w_1 g_1 + w_2 g_2 + \dots + w_p g_p$ olarak ifade edilir.

w_k , $k=1,2,\dots,p$ her bir hedef için karar verici tarafından belirlenmiş pozitif amaç ağırlıklarıdır. Örneğin; $w_k = 1$ ise, bütün hedefler eşit ağırlıklara sahiptir.

Çalışmada tesisler arası mesafeler öklid bağıntısı yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve modelin çözümünde mesafeler dikkate alınmıştır. Tesis konumları ArcGIS adlı ölçeklendirilebilir entegre coğrafi bilgi sistemi yazılımı ile haritalandırılmıştır.

Modelin çözümünde ise GAMS 23.5.1 çözücü kullanılmış ve optimal sonuca ulaşılmıştır. Çözüme kavuşturulan problem için duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiş, sistem parametreleri hakkında yeni bilgilerin gelişmesi halinde değişimlerin problem çözümünü nasıl etkilediği araştırılmıştır.

5. MODELİN FORMÜLASYONU

Bu bölümde, araştırmada incelenen problemin ayrıntıları sunulmuş olup, ömrünü tamamlamış araçların tersine lojistik ağ tasarımı için geliştirilen matematiksel modelin formülasyonuna yer verilmiştir.

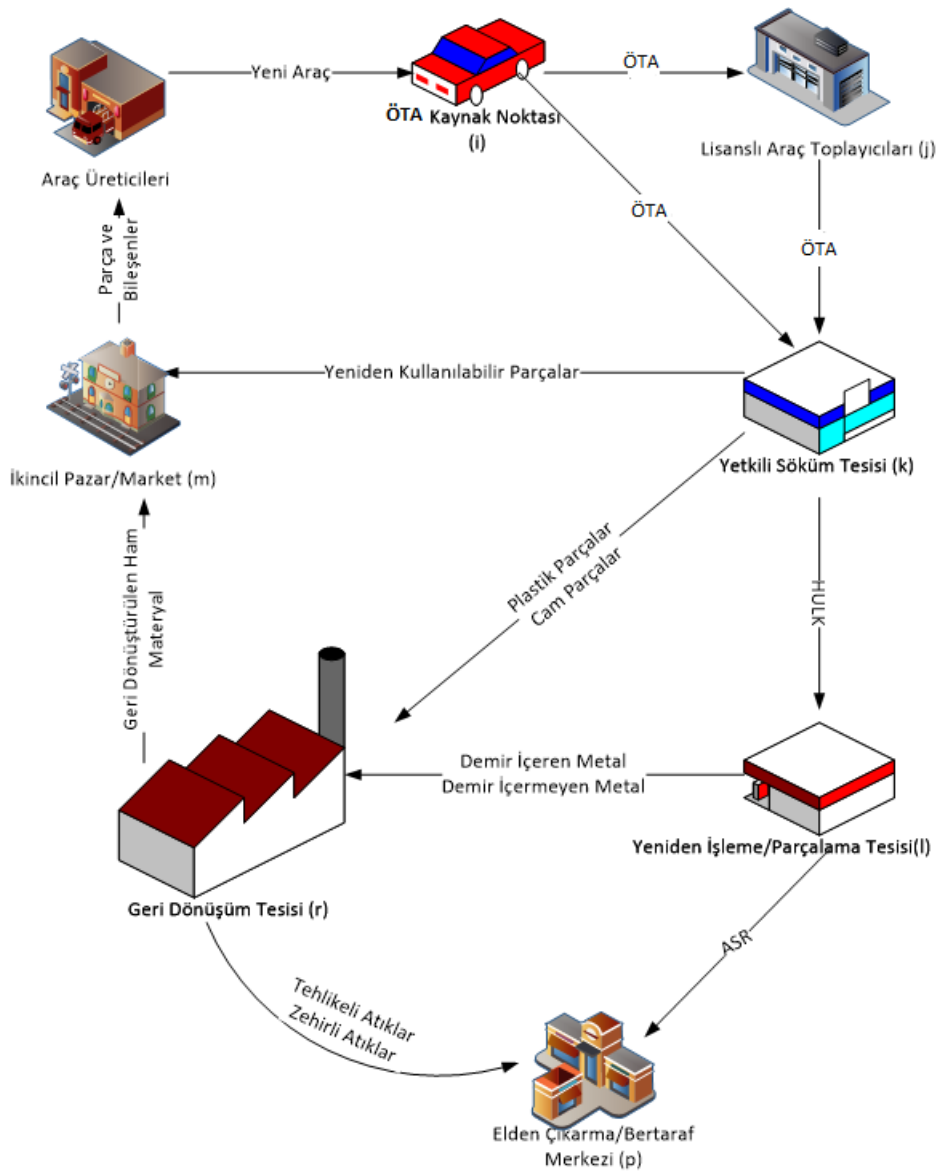
5.1. Problem Tanımı

Bu çalışmada, ömrünü tamamlamış araçlar için ekonomik, çevresel ve sosyal amaçları içeren çok amaçlı sürdürülebilir bir tersine lojistik ağ tasarım problemi ele alınmıştır.

ÖTA'lar için tersine lojistik ağı, ömrünü tamamlamış olan araçların, ÖTA kaynak noktalarından lisanslı araç toplayıcılarına veya yetkili söküm tesislerine transfer edilmesiyle başlamaktadır. Yetkili söküm tesisi veya lisanslı araç toplayıcısına gelen ÖTA'lar için trafik tescil tarafından onaylanan kayıttan düşme ve bertaraf formu doldurulmakta ve aracın yasal olarak kayıttan düşürülme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Lisanslı araç toplayıcılarına gelen ÖTA'lar hiçbir işleme tabi tutulmadan doğrudan yetkili söküm tesisine gönderilmektedir. Yetkili söküm tesisine gelen ÖTA'ların önce yakıt, motor yağı, transmisyon yağı, hidrolik yağ, soğutucu, klima sıvısı, fren sıvısı, direksiyon sıvısı gibi akışkan kısımları boşaltılmakta ve sonrasında söküm işlemi gerçekleştirilmektedir. Söküm işlemi sonucunda elde edilen plastik, cam gibi materyaller geri dönüşüm tesisine gönderilirken, "hulk" adı verilen ÖTA gövdesi parçalarına ayrıştırılmak üzere yeniden işleme/parçalama tesisine gönderilmektedir. Söküm işlemi sonucunda bir diğer ortaya çıkan değerli ve yeniden kullanılabilir parçalardan motor, diferansiyel, transmisyon (şanzıman), gövde paneller (kaporta, kapılar, tampon) ve tekerlekler ikincil pazarlara/marketlere satılmaktadır. Hulk adı verilen araç gövdesine (araç iskeleti) uygulanan parçalama işlemi sonucunda ASR olarak bilinen araç parça kalıntıları ve demir ve demir içermeyen metaller(alüminyum,

bakır, çinko ve kurşun) elde edilmektedir. ASR'ler bertaraf merkezine gönderilerek elden çıkarılırken, demir ve demir içermeyen metaller geri dönüşüm tesisine ulaştırılmaktadır. Yetkili söküm tesisi ve yeniden işleme/parçalama tesisinden geri dönüşüm tesisine gönderilen materyaller geri kazanım işlemine tabi tutulmakta ve geri dönüşümü sağlanan ham materyallerin tedarikçilere satışı yapılmaktadır. Geri kazanımı sağlanamayan tehlikeli ve zararlı atıklar ise ASR'ler gibi bertaraf merkezine gönderilerek elden çıkarılmaktadır. Ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşüm süreci Şekil 5.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. ÖTA Geri Dönüşüm Süreci

Problem, çok amaçlı, tek ürünli, karma tam sayılı doğrusal programlama modeli olarak formüle edilmiştir.

Çok amaçlı analizin tek amaçlı analize göre birçok avantajı bulunmaktadır. Çok amaçlı analiz, stratejik kararların etkilerini analiz etmek için sistematik bir metodoloji sağlamaktadır. Belirli bir dizi hedef için alternatif çözüm imkânı sunmakta ve hedeflerin dengelenmesi, karar alıcılara farklı ve önemli faktörleri göz önünde bulundurarak daha dengeli kararlar vermeyi sağlamaktadır.

Kurulan modelde ilk hedef, toplam maliyeti en aza indirmektir. Tesislerin açılması için sabit masraflar toplamının ve tesisler (ÖTA kaynak noktası, lisanslı araç toplayıcıları, yetkili söküm tesisi, yeniden işleme/parçalama tesisi, geri dönüşüm tesisi, bertaraf merkezi) arası taşınan malzemelerden doğan toplam ulaşım maliyetinin minimum tutulması hedeflenmiştir.

İkinci amaç, problemin çevresel yönleriyle ilgilidir. Tesislerin açılışı ve malzemelerin tesisler arası taşınması sırasında ortaya çıkan karbon salınımından doğan maliyetin minimum seviyede tutulması istenmiştir.

Üçüncü amaç, açılacak olan tesislerde istihdam edilecek personel sayısının maksimuma ulaştırılarak devletin asgari ücretli vergi maliyetinden doğan kazancını maksimum seviyeye ulaştırılması hedeflenmiştir.

5.2. Model Varsayımları

Önerilen matematiksel modelin geliştirilmesinde aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır:

- Kaynak noktalarındaki tüm ÖTA'lar toplanmalıdır.
- Araç kullanıcıları ömrünü tamamlamış araçlarını (ÖTA), lisanslı araç toplama merkezlerine veya yetkili söküm tesislerine göndermek durumundadır.
- Tüm tesislerin kapasiteleri sınırlıdır.

- Taşınan malzemeler ağırlık birimi halinde uygulanabilen bölünebilir miktarlıdır.
- Her bir tesise taşınan malzeme için taşınma esnasında karbon salınımının gerçekleştiği kabul edilir.
- Taşımadan gelen CO_2 emisyonu, seyahat edilen mesafeye bağlıdır.
- Talepler için yeterli olan kapasiteden dolayı stok veya birikmiş siparişe izin verilmez.
- Amaç fonksiyonun katsayıları deterministiktir ve önceden bilinir.
- ÖTA'ların malzeme olarak yüzdesel bileşenleri bilinmektedir.
- Hali hazırda yetkili sökülme tesisi ve yeniden işleme/parçalama tesisi aday alanlar olarak kabul edilir. Final yer seçimi, potansiyel alanlar arasından yapılır.

5.3. Model Gösterimi

Göstergeler:

n:	Bileşen/Malzeme Dizisi	n:1,2,3...N
i:	ÖTA Kaynak Noktası	i:1,2,3...I
j:	Lisanslı Araç Toplayıcısı	j:1,2,3...J
k:	Yetkili Söküm Tesisi	k:1,2,3...K
l:	Yeniden İşleme/Parçalama Tesisi	l:1,2,3...L
p:	Elden Çıkarma/Bertaraf Merkezi	p:1,2,3...P
r:	Geri Dönüşüm Tesisi	r:1,2,3...R
m:	İkincil Pazar/Market	m:1,2,3...M

Parametreler:

Z_i : i araç kullanıcısı tarafından gönderilen ÖTA miktarı (ton)

Açılış Maliyeti

f_l : l yeniden işleme/parçalama tesisinin sabit açılış maliyeti (TL)

f_k : k yetkili sökülme tesisinin sabit açılış maliyeti (TL)

İşlem Maliyeti

dc_k :	k yetkili söküm tesisinde birim başına söküm maliyeti (TL/ton)
sc_l :	l yeniden işleme/parçalama tesisinde birim başına parçalama maliyeti (TL/ton)
lc_p :	p elden çıkarma/bertaraf merkezinde birim başına bertaraf maliyeti (TL/ton)
rc_r :	r geri dönüşüm tesisinde birim başına geri dönüştürme maliyeti (TL/ton)

Taşıma Maliyeti

t_{jk} :	k yetkili söküm tesisleri ve j lisanslı araç toplayıcıları arasında ÖTA'ların birim başına taşınma maliyeti (TL/ton km)
t_{kr} :	r geri dönüşüm tesisi ve k yetkili söküm tesisleri arasında komponent veya materyallerin birim başına taşınma maliyeti (TL/ton km)
t_{kl} :	k yetkili söküm tesisi ve l yeniden işleme/parçalama tesisi arasında Hulk'ların birim başına taşınma maliyeti (TL/ton km)
t_{lr} :	r geri dönüşüm tesisi ve l yeniden işleme/parçalama tesisi arasında komponent ve materyallerin birim başına taşınma maliyeti (TL/ton km)
t_{lp} :	p elden çıkarma/bertaraf merkezi ve l yeniden işleme/parçalama tesisi arasında ASR'lerin birim başına taşınma maliyeti (TL/ton km)
t_{rp} :	p elden çıkarma/bertaraf merkezi ve r geri dönüşüm tesisi arasında komponent ve materyallerin birim başına taşınma maliyeti (TL/ton km)
t_{km} :	m ikincil pazar/market ve k yetkili söküm tesisi arasında komponent ve materyallerin birim başına taşınma maliyeti (TL/ton km)
t_{rm} :	m ikincil pazar/market ve r geri dönüşüm tesisi arasında komponent ve materyallerin birim başına taşınma maliyeti (TL/ton km)

Karbon Salınımı

c_s :	Tesisler arası taşınan malzeme ve bileşenlerden dolayı oluşan karbon salınımının km başına miktarı (kg/km)
cop :	Kg başına karbon salınım maliyeti (TL/kg)
f_{lco} :	l yeniden işleme/parçalama tesisi açılınca ortaya çıkan CO2 miktarı
f_{kco} :	k yetkili söküm tesisi açılınca ortaya çıkan CO2 miktarı

İstihdam

- c_{ist} : İstihdam için personel SGK maliyeti (TL)
- f_{list} : l yeniden işleme/parçalama tesisi açılınca ortaya çıkan istihdam miktarı
- f_{kist} : k yetkili söküm tesisi açılınca ortaya çıkan istihdam miktarı

Taşıma Mesafesi

- d_{jk} : k yetkili söküm tesisleri ve j lisanslı araç toplayıcıları arasındaki mesafe (km)
- d_{kl} : l yeniden işleme/parçalama tesisi ve k yetkili söküm tesisleri arasındaki mesafe (km)
- d_{kr} : r geri dönüşüm tesisi ve k yetkili söküm tesisi arasındaki mesafe (km)
- d_{lr} : r geri dönüşüm tesisi ve l yeniden işleme/parçalama tesisi arasındaki mesafe (km)
- d_{lp} : p elden çıkarma/bertaraf merkezi ve l yeniden işleme/parçalama tesisi arasındaki mesafe (km)
- d_{rp} : p elden çıkarma/bertaraf merkezi ve r geri dönüşüm tesisi arasındaki mesafe (km)
- d_{km} : k yetkili söküm tesisi ve m ikincil pazar/marketler arasındaki mesafe (km)
- d_{rm} : r geri dönüşüm tesisi ve m ikincil pazar/marketler arasındaki mesafe (km)

Kapasite

- cap_j : j lisanslı araç toplayıcılarının kapasitesi (ton)
- cap_k : k yetkili söküm tesisinin kapasitesi (ton)
- cap_l : l yeniden işleme/parçalama tesisinin kapasitesi (ton)
- cap_{nr} : n komponent/materyal için r geri dönüşüm tesisinin kapasitesi (ton)
- cap_p : p elden çıkarma/bertaraf merkezinin kapasitesi (ton)

Diğer Parametreler

- a_1 : ÖTA içerisindeki Hulk ağırlık yüzdesi
- a_2 : Hulk içerisindeki ASR'nin ağırlık yüzdesi
- a_3 : ÖTA içerisindeki n komponent/materyalin yeniden kullanılabilir ağırlık yüzdesi

a_4 :	ÖTA içerisindeki n komponent/materyalin yeniden kullanılmayacak olan ağırlık yüzdesi
a_5 :	Hulk içerisindeki n materyalinin geri dönüştürülebilir ağırlık yüzdesi
a_6 :	Geri dönüştürülebilir materyal içerisindeki n bertaraf ağırlık yüzdesi
w_1 :	Maliyet minimizasyonu amaç ağırlığı
w_2 :	CO_2 minimizasyonu amaç ağırlığı
w_3 :	İstihdam maksimizasyonu amaç ağırlığı

Karar Değişkenleri:

X_{ij} :	i araç kullanıcısı tarafından j lisanslı araç toplayıcılarına gönderilen ÖTA miktarı
Y_{ik} :	i araç kullanıcısı tarafından k yetkili söküm tesislerine gönderilen ÖTA miktarı
W_{jk} :	j lisanslı araç toplayıcılarından k yetkili söküm tesisine gönderilen ÖTA miktarı
S_{nkm} :	k yetkili söküm tesisinden m ikincil pazara gönderilen yeniden kullanılabilir n komponent/materyal miktarı
A_{nkr} :	k yetkili söküm tesisinden r geri dönüşüm tesisine gönderilen yeniden kullanılmayacak olan n komponent/materyal miktarı
B_{kl} :	k yetkili söküm tesisinden l yeniden işleme/parçalama tesisine gönderilen Hulk miktarı
G_{nlr} :	l yeniden işleme/parçalama tesisinden r geri dönüşüm tesisine gönderilen n materyalinin miktarı
E_{nlp} :	l yeniden işleme/parçalama tesisinden p elden çıkarma/bertaraf merkezine gönderilen ASR' nin miktarı
F_{nrp} :	r geri dönüşüm tesisinden p elden çıkarma/bertaraf merkezine gönderilen n bertaraf miktarı
F_m :	r geri dönüşüm tesisinden m ikincil pazara gönderilen yeniden kullanılabilir n komponent/materyal miktarı
e_l :	l yeniden işleme/parçalama tesisinin açılıp açılmama kararı (1/0)
e_k :	k yetkili söküm tesisinin açılıp açılmama kararı (1/0)

5.4. Model Formülasyonu

Bu araştırmada çok amaçlı tersine lojistik ağı tasarım modeli şu şekilde formüle edilmiştir:

5.4.1. Amaç Fonksiyonu

Genel olarak, çok amaçlı karar modellerinde amaçlar birbirleri ile çelişkilidir. Örneğin; bu modelde toplam maliyetin en aza indirgenmesi istenirken, açılacak olan tesislerde istihdam edilecek olan personel sayısı ile doğru orantılı olan devletin asgari ücretli vergi maliyetinden doğan kazancının maksimize edilmesi, tesislerin açılışı ve malzemelerin tesisler arası taşınması sırasında ortaya çıkan karbon salınımından doğan maliyetin minimum seviyede tutulması ve tesis sabit maliyetler toplamının ve tesisler arası taşınan malzemelerden doğan toplam ulaşım maliyetinin minimum tutulması istenmektedir. Bu nedenle, her üç hedef için de en uygun olan herhangi bir çözüm mevcut olmayabilir.

Bununla birlikte çok amaçlı problemler karar vericiler için daha elverişlidir. Çok amaçlı çalışmalarla hedeflerin birbirleri üzerinde etkileşimleri incelenebilmektedir.

Model kapsamında üç hedef şu şekilde düşünülmektedir.

$$\text{Min } z1 = \sum_l f_l \cdot e_l + \sum_k f_k \cdot e_k \quad [1]$$

$$\sum_j \sum_k W_{jk} \cdot t_{jk} \cdot d_{jk} + \sum_n \sum_k \sum_r A_{nkr} \cdot t_{kr} \cdot d_{kr} + \sum_k \sum_l B_{kl} \cdot t_{kl} \cdot d_{kl} + \quad [2]$$

$$\sum_n \sum_l \sum_r G_{nlr} \cdot t_{lr} \cdot d_{lr} + \sum_n \sum_k \sum_m S_{nkm} \cdot t_{km} \cdot d_{km} +$$

$$\sum_n \sum_l \sum_p E_{nlp} \cdot t_{lp} \cdot d_{lp} + \sum_n \sum_r \sum_p F_{nrp} \cdot t_{rp} \cdot d_{rp} +$$

$$\sum_n \sum_r \sum_m F_{nrm} \cdot t_{rm} \cdot d_{rm} +$$

$$\sum_i \sum_j X_{ij} \cdot cc_j + \sum_i \sum_k Y_{ik} \cdot cc_k + \sum_j \sum_k W_{jk} \cdot cc_k + \quad [3]$$

$$\sum_j \sum_k W_{jk} \cdot dc_k + \sum_i \sum_k Y_{ik} \cdot dc_k + \quad [4]$$

$$\sum_k \sum_l B_{kl} \cdot sc_l + \quad [5]$$

$$\sum_n \sum_k \sum_r A_{nkr} \cdot rc_r + \sum_n \sum_l \sum_r G_{nlr} \cdot rc_r + \quad [6]$$

$$\sum_n \sum_l \sum_p E_{nlp} \cdot lc_{lp} + \sum_n \sum_r \sum_p F_{nrp} \cdot lc_p \quad [7]$$

İlk hedef toplam maliyeti minimize etmektir. İlk hedef için oluşturulan amaç fonksiyonu yedi bileşene sahiptir. Birinci bileşen, tayin edilmiş yeniden işleme/parçalama tesisi ve geri dönüşüm tesisinin, tesis sabit kurulum maliyetini göstermektedir. İkinci bileşen, ağın her aşamasında ulaşım maliyetini, üçüncü bileşen ÖTA'ların toplanma maliyetini, dördüncü bileşen yetkili söküm tesisine gönderilen ÖTA'ların söküm maliyetini, beşinci bileşen yeniden işleme/parçalama tesisine gönderilen Hulk'ların yeniden işleme/parçalama maliyetini, altıncı bileşen geri dönüşüm tesisine gönderilen parça ve bileşenlerin geri dönüşüm maliyetini ve son olarak yedinci bileşen geri dönüşüm tesisine gönderilen ASR'lerin ve tehlikeli ve zehirli atıkların elden çıkarma/ bertaraf maliyetini temsil etmektedir [1-7]. Yeniden kullanılabilir metallerin ve geri dönüşümü sağlanan ham materyallerin satışı amaç fonksiyonunda değerlendirilmemiştir. Ayrıca ömrünü tamamlamış araç kaynak noktalarından, lisanslı araç toplayıcılarına veya yetkili söküm tesisine taşınan ÖTA'ların taşınma maliyetleri amaç fonksiyonunda göz ardı edilmiştir.

İkinci hedef, tesislerin açılışı ve malzemelerin tesisler arası taşınması sırasında ortaya çıkan karbon salınımindan doğan maliyetin minimize edilmesidir.

$$Min z2 = \sum_l f_{lco} \cdot e_l \cdot cop + \sum_k f_{kco} \cdot e_k \cdot cop \quad [8]$$

$$\sum_i \sum_j X_{ij} \cdot c_s \cdot d_{ij} \cdot cop + \sum_i \sum_k Y_{ik} \cdot c_s \cdot d_{ik} \cdot cop + \sum_j \sum_k W_{jk} \cdot c_s \cdot d_{jk} \cdot cop + \quad [9]$$

$$\begin{aligned} & \sum_n \sum_k \sum_r A_{nkr} \cdot c_s \cdot d_{kr} \cdot cop + \sum_k \sum_l B_{kl} \cdot c_s \cdot d_{kl} \cdot cop + \\ & \sum_n \sum_l \sum_r G_{nlr} \cdot c_s \cdot d_{lr} \cdot cop + \sum_n \sum_k \sum_m S_{nkm} \cdot c_s \cdot d_{km} \cdot cop + \\ & \sum_n \sum_l \sum_p E_{nlp} \cdot c_s \cdot d_{lp} \cdot cop + \sum_n \sum_r \sum_p F_{nrp} \cdot c_s \cdot d_{rp} \cdot cop + \\ & \sum_n \sum_r \sum_m F_{nrm} \cdot c_s \cdot d_{rm} \cdot cop \end{aligned}$$

İkinci hedef için oluşturulan amaç fonksiyonu iki bileşene sahiptir. Birinci bileşen, tayin edilmiş yeniden işleme/parçalama tesisi ve yetkili söküm tesisinin açılışı sonucu ortaya çıkan karbon salınıminin maliyetini göstermektedir. İkinci bileşen, ağın her aşamasında taşınan malzeme ve bileşenler için taşınma esnasında ortaya çıkan karbon salınıminin maliyetini temsil etmektedir.

Üçüncü hedef, yetkili söküm ve yeniden işleme/parçalama tesisi açılış kararının verilmesinde, açılacak tesise istihdam edilecek asgari ücretli personel sayısının maksimum tutularak devletin asgari ücretli net vergi maliyetinden doğan karını veya diğer bir ifadeyle kurumun asgari ücretli için katlanmak durumunda olduğu yasal maliyeti maksimuma çıkarmaktır

$$Maks z3 = \sum_l f_{list} \cdot e_l \cdot c_{ist} + \sum_k f_{kist} \cdot e_k \cdot c_{ist} \quad [10]$$

Üçüncü hedef için oluşturulan amaç fonksiyonu tek bir bileşene sahiptir. Bu bileşen, tayin edilmiş yeniden işleme/parçalama tesisi ve yetkili söküm tesisinin açılışı sonucu tesise istihdam edilen asgari ücretlinin net vergi maliyetini temsil etmektedir.

5.4.2. Kısıtlar

$$\sum_j X_{ij} + \sum_k Y_{ik} = Z_i \quad \forall i \quad [11]$$

$$\sum_i X_{ij} = \sum_k W_{jk} \quad \forall j \quad [12]$$

$$\sum_l B_{kl} = a1. (\sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk}) \quad \forall k \quad [13]$$

$$\sum_m \sum_n S_{nkm} = a2. (\sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk}) \quad \forall k \quad [14]$$

$$\sum_r A_{nkr} = a3. \delta(n). (\sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk}) \quad \forall k, n \quad [15]$$

$$\sum_p E_{nlp} = (1 - a5). \theta(n). (\sum_k B_{kl}) \quad \forall l \quad [16]$$

$$\sum_r G_{nlr} = a5. \beta(n) \sum_k B_{kl} \quad \forall l, n \quad [17]$$

$$\sum_p F_{nrp} = a6. (\sum_k A_{nkr}) \quad \forall r, n \quad [18]$$

$$\sum_p F_{nrp} = a6. (\sum_l G_{nlr}) \quad \forall r, n \quad [19]$$

$$\sum_m Fm_{nrm} = (1 - a6). (\sum_k A_{nkr}) \quad \forall r, n \quad [20]$$

$$\sum_m Fm_{nrm} = (1 - a6). (\sum_l G_{nlr}) \quad \forall r, n \quad [21]$$

$$\sum_i X_{ij} \leq cap_j \quad \forall j \quad [22]$$

$$\sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk} \leq cap_k \cdot e_k \quad \forall k \quad [23]$$

$$\sum_k B_{kl} \leq cap_l \cdot e_l \quad \forall l \quad [24]$$

$$\sum_k A_{nkr} + \sum_l G_{nlr} \leq cap_{nr} \quad \forall r, n \quad [25]$$

$$\sum_l E_{nlp} + \sum_r F_{nrp} \leq cap_p \quad \forall p, n \quad [26]$$

$$X_{ij}, Y_{ik}, W_{jk}, S_{nkm}, A_{nkr}, B_{kl}, G_{nlr}, E_{nlp}, F_{nrp} > 0 \quad \forall i, j, k, m, r, l, p, n \quad [27]$$

$$e_k \cdot e_l = \{0,1\}$$

$$\forall k, l$$

[28]

Kısıt [11], araç kullanıcılarından, lisanslı araç toplayıcıları ve yetkili söküm tesislerine taşınan ÖTA miktarının, araç kullanıcılarında bulunan toplam ÖTA miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt [12], araç kullanıcılarından lisanslı araç toplayıcılarına taşınan ÖTA miktarının, lisanslı araç toplayıcılarından yetkili söküm tesisine gelen ÖTA miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt [13], k yetkili söküm tesisinden l yeniden işleme/parçalama tesisine taşınan Hulk miktarının, j lisanslı araç toplayıcıları ve i araç kullanıcılarından gelen ÖTA'ların söküm işleminden sonra ortaya çıkan Hulk miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt [14], k yetkili söküm tesisinden m ikincil pazara/markete taşınan yeniden kullanılabilir komponent/materyal miktarının, j lisanslı araç toplayıcıları ve i araç kullanıcılarından gelen ÖTA'ların söküm işleminden sonra ortaya çıkan yeniden kullanılabilir komponent/materyal miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt [15], k yetkili söküm tesisinden r geri dönüşüm tesisine taşınan yeniden kullanılmayacak olan n komponent/materyal miktarının, j lisanslı araç toplayıcıları ve i araç kullanıcılarından gelen ÖTA'ların söküm işleminden sonra ortaya çıkan yeniden kullanılmayacak olan komponent/materyal miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt [16], l yeniden işleme/parçalama tesisinden p bertaraf merkezine taşınan ASR miktarının, k yetkili söküm tesisinden gelen Hulk'ların parçalama işleminden sonra ortaya çıkan ASR miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt [17], l yeniden işleme/parçalama tesisinden r geri dönüşüm tesisine taşınan demirli ve demir içermeyen metal miktarının, k yetkili söküm tesisinden gelen Hulk'ların parçalama işleminden sonra ortaya çıkan demirli veya demir içermeyen metal miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt [18,19], r geri dönüşüm tesisinden p bertaraf merkezine taşınan tehlikeli ve zehirli atık miktarının, k yetkili söküm tesisi ve l yeniden işleme/parçalama tesisinden gelen komponent/materyallerin geri dönüşüm işlemi sonucu ortaya çıkan tehlikeli ve zehirli atık miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt [20,21] geri dönüşüm tesisinden ikinci el pazara giden malzemelerin k yetkili söküm tesisi ve l yeniden işleme/parçalama tesisinden gelen komponent/materyallerdeki geri dönüştürülebilir malzeme miktarına eşit olma kısıtıdır. Kısıt [22-26] sırasıyla, lisanslı araç toplayıcılarının, yetkili söküm tesislerinin, yeniden

işleme/parçalama tesisinin, geri dönüşüm tesisinin ve bertaraf merkezinin kapasitesinin aşılma durumunu gösteren kısıttır. Kısıt [27], karar değişkenlerinin negatif olmama kısıtıdır. Son olarak kısıt [28], tesis açma kararını gösteren değişkenlerin alabileceği değerlerin 0 ya da 1 olmasını temin etmektedir.

Bu çalışmadaki ters lojistik ağının özellikleri Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1. Kurulan Modelin Özellikleri

Tersine/İleri Lojistik	Tersine Lojistik
Açık Döngü/Kapalı Döngü	Açık Döngü
Kapasiteleri	Kapasiteli
Çoklu/Tekli Amaç	Çoklu
Tek Ürün/Çok Ürün	Tek Ürün
Matematiksel Programlama	Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama (MILP)

6. UYGULAMA

Bu bölümde, geliştirilen modelin İstanbul'daki ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşümü için kurulması düşünülen tersine lojistik ağ tasarım probleminde uygulaması yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, ÖTA direktifi kapsamında İstanbul içerisinde bulunan ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşüm ağı parametrelerini tanımlayarak minimum maliyetle çözüme kavuşturulmasıdır.

Buna göre İstanbul'da ÖTA kaynağı olarak 39 ilçe belirlenmiştir. Ayrıca Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2016 yılı verilerine göre, İstanbul'da ÖTA'ların toplandığı 52 adet lisanslı araç toplayıcıları ve araç söküm işlemlerinin yapıldığı 5 adet yetkili söküm tesisi, yetkili söküm tesisinden gelen Hulk'un yeniden işleme tabi tutulduğu 4 adet yeniden işleme/parçalama tesisi, akülerin, akışkanların ve lastiklerin geri dönüştürüldüğü 3 adet geri dönüşüm tesisi ve ASR, tehlikeli ve zehirli atıkların elden çıkartıldığı 2 adet bertaraf merkezi bulunmaktadır. Çizelge 6.1.'de problem ağ datası gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Problem Ağ Datası

Ağın Üyeleri	Toplam
Lisanslı Araç Toplayıcıları	52
Yetkili Söküm Tesisi	5
Yeniden İşleme/Parçalama Tesisi	4
Geri Dönüşüm Tesisi	3
Bertaraf Merkezi	2

Şekil 6.1.'de İstanbul içerisinde ömrünü tamamlamış araçlar için geri dönüşüm ağı içerisinde yer alan; lisanslı araç toplayıcıları, yetkili söküm tesisleri, yeniden işleme/parçalama tesisleri, geri dönüşüm tesisleri ve bertaraf merkezlerinin konumları gösterilmiştir. Tesislerin konumları ArcGIS adlı ölçeklendirilebilir entegre coğrafi bilgi sistemi yazılımı ile haritalandırılmıştır.



Şekil 6.1. İstanbul'da Ömrünü Tamamlamış Araçların Geri Dönüşüm Ağındaki Aktörleri ve Konumları

Tesisler arasında taşınacak olan malzeme miktarının minimum maliyetle karşılanmasına, taşınacak olan malzemeler için minimum karbon salınım miktarının açığa çıkmasına ve açılacak tesislere istihdam edilecek personel sayısını maksimum kılınarak devletin asgari ücretli net vergi maliyetinden doğan kazancını maksimuma ulaştırmasına dikkat edilerek bir ağ tasarım modeli önerilmiş olup, problem çözümünde GAMS 23.5.1 çözücüsü kullanılmıştır. Bu işlemler 2.40 GHz Intel Çekirdekli İşlemci ve 8 GB RAM içeren bir sunucu ile çalışılarak gerçekleştirilmiştir.

6.1. Uygulama Verileri

Çalışmada, Türkiye İstatistik Kurumu ve Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın verileri kullanılarak minimum maliyetle ÖTA'lar için geri dönüşüm ağı tasarlanmaya çalışılmıştır. Geri dönüşüm ağı tasarlanırken, tesisler arası malzeme taşınması sırasında taşıma mesafesi ile doğru orantılı olarak açığa çıkan

karbon salınımının minimize edilmesine ve ÖTA'ların geri kazanım süreci için önemli iki tesisten yetkili sökülme tesisi ve parçalama tesisinin açılıp açılmama kararında etkili olan personel istihdam sayısının maksimize edilerek devletin asgari ücretli vergi oranından kazanç elde edilmesine dikkat edilmiştir.

Geri dönüşüm için ömrünü tamamlamış araçlardan, M1 kategorisinde yer alan toplam otomobil sayısı dikkate alınmıştır. ÖTA'ların ortalama ağırlığının 1000 kg olduğu varsayılmıştır.

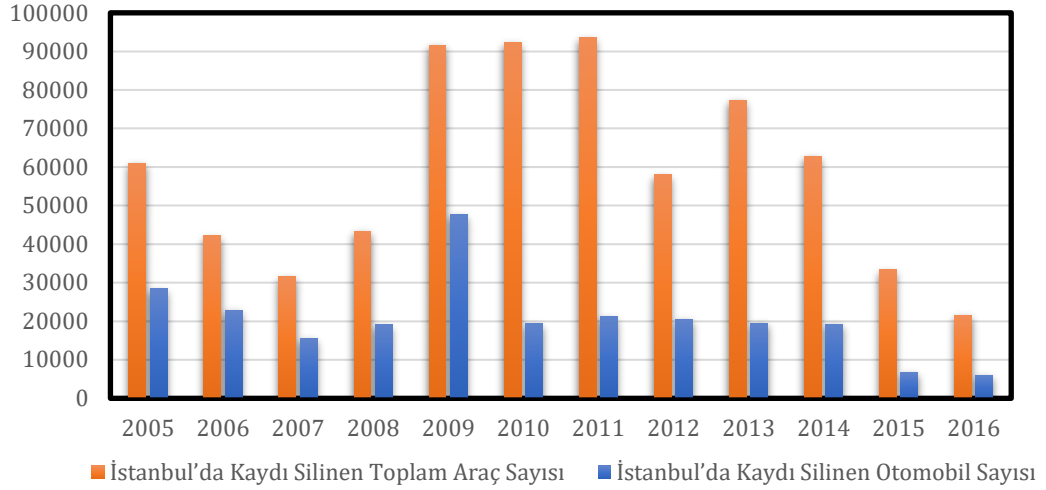
İstanbul Türkiye'nin kuzeybatısında, 280 01' ve 290 55' doğu boylamları ile 410 33' ve 400 28' kuzey enlemleri arasında bulunur. Ülkenin en kalabalık, ekonomik ve sosyo-kültürel açıdan en önemli şehridir. Türkiye İstatistik Kurumu'na göre 2016 yılsonu itibariyle İstanbul nüfusu 14.804.116'dır.

İstanbul'da ikamet eden bu kadar büyük insan popülasyonu olması beraberinde İstanbul'da trafiğe kayıtlı ve trafikten kaydı silinen araç sayısının diğer illere oranla daha fazla olması anlamını taşımaktadır.

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre İstanbul'da 2016 yılsonu itibari ile trafiğe kayıtlı araç sayısı 3.875.145 iken bu sayının 69%'u olan 2.669.296'sını otomobiller oluşturmaktadır. 2005-2016 yılları arasında İstanbul İlinde trafikten kaydı silinen toplam araç ve otomobil sayısı bilgilerine ise Çizelge 6.2. ve Şekil 6.2.'de yer verilmiştir.

Çizelge 6.2. Trafikten Kaydı Silinen Toplam Araç ve Otomobil Sayısı Verileri

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Kayıtlı Silinen Toplam Araç Sayısı	60986	42164	31485	43306	91652	92256	93616	58025	77345	62753	33303	21475
Kayıtlı Silinen Otomobil Sayısı	28479	22832	15548	19081	47665	19358	21191	20492	19516	19281	6677	6034



Şekil 6.2. 2005-2016 Yılları Arasında İstanbul'da Trafikten Kaydı Silinen Araç ve Otomobil Sayısı

İstanbul İl'ine bağlı 39 ilçe bulunmaktadır ve bu 39 ilçenin tamamı ÖTA kaynağı olarak belirlenmiştir.

İstanbul'da kaydı silinen otomobiller için 2012-2016 yıllarını kapsayan ortalama değeri hesaplanmış ve bu değer 14.400 olarak bulunmuştur. 2016 yılı ilçe nüfus verilerine dayanarak son 5 yıllık ortalama ÖTA sayıları ilçelere dağıtılmıştır. Çizelge 6.3.'de İstanbul ilçe nüfusu ile orantılı olarak belirlenen ilçe bazlı ÖTA sayıları verilmiştir.

Çizelge 6.3. İstanbul İlinin İlçeleri ve Nüfus Bazlı ÖTA Miktarları

İlçeler	Enlem	Boylam	Nüfus	ÖTA
Adalar	40.877888	29.089782	14478	14
Arnavutköy	41.240101	28.642005	247507	241
Ataşehir	40.983535	29.127746	422513	411
Avcılar	40.982205	28.720328	430770	419
Bağcılar	41.045638	28.836723	751510	731
Bahçelievler	40.997719	28.850524	598097	582
Bakırköy	40.968317	28.822832	222437	216
Başakşehir	41.086518	28.775242	369810	360
Bayrampaşa	41.050844	28.901213	273148	266
Beşiktaş	41.075594	29.026280	189356	184
Beykoz	41.132889	29.105679	250410	244
Beylikdüzü	40.989202	28.654232	297420	289
Beyoğlu	41.037171	28.977511	238762	232
Büyükkçekmece	41.048110	28.451656	237185	231
Çatalca	41.141889	28.460900	68935	67
Çekmeköy	41.063939	29.243649	239611	233
Esenler	41.058428	28.864317	457231	445

Esenyurt	41.041533	28.694037	795010	773
Eyüp	41.055227	28.934401	377650	367
Fatih	41.019635	28.934572	417285	405
Gaziosmanpaşa	41.076631	28.888226	499766	486
Güngören	41.023010	28.875366	298509	290
Kadıköy	40.990458	29.054813	452302	440
Kağıthane	41.088974	28.981015	439685	428
Kartal	40.905018	29.174769	459298	447
Küçükmece	41.036977	28.776066	766609	746
Maltepe	40.951173	29.144557	490151	477
Pendik	40.915796	29.300535	691681	673
Sancaktepe	41.007395	29.207393	377047	367
Sarıyer	41.163520	29.047396	342753	333
Şile	41.169069	29.608533	34241	33
Silivri	41.066167	28.066211	170523	166
Şişli	41.060230	28.988132	272803	265
Sultanbeyli	40.979397	29.268199	324709	316
Sultangazi	41.113391	28.855865	525090	511
Tuzla	40.875535	29.332648	242232	236
Ümraniye	41.046154	29.108367	694158	675
Üsküdar	41.040665	29.068670	535537	521
Zeytinburnu	41.003851	28.907630	287897	280

Toplam ağırlığı 1000 kilogram olan ÖTA'da bulunan bileşenlerin ağırlık oranları 0,65; 0,09; 0,12; 0,03; 0,03; 0,013; 0,017; 0,05'tir. Bu oranlar sırasıyla demirli metal (n1), demir içermeyen metal (n2), plastik (n3), lastik (n4), cam (n5), akü (n6), akışkanlar (n7) ve diğer malzemelerdir (n8). Bunun yanında yetkili söküm tesisinden geri dönüşüme giden malzeme oranları $\delta(n)$ şu şekildedir: n3= 0,45, n4=0,12, n5=0,12, n6=0,05, n7=0,07, n8=0,19. Parçalama tesisinden bertarafa giden malzeme oranları $\theta(n)$; n6=0,16, n7=0,21, n8=0,63; ve parçalama tesisinden geri dönüşüm tesisine giden malzeme oranları $\beta(n)$ ise n1=0,88 ve n2=0,12 olarak belirlenmiştir. Ayrıca ÖTA içerisindeki Hulk ağırlık yüzdesi (a1) 0,810, Hulk içerisindeki ASR'nin ağırlık yüzdesi (a2) 0,185, ÖTA içerisindeki n materyalinin yeniden kullanılabilir ağırlık yüzdesi (a3) 0,137, ÖTA içerisindeki n materyalinin yeniden kullanılamayacak olan ağırlık yüzdesi (a4) 0,864, a Hulk içerisindeki n materyalinin geri dönüştürülebilir ağırlık yüzdesi (a5) 0,815 ve geri dönüştürülen n materyali içerisindeki bertaraf ağırlık yüzdesi (a6) 0,15 olarak alınmıştır.

Maliyet tahminlerini isabetli olarak gerçekleştirmek için, Türkiye İstatistik Kurumu araştırmalarından yararlanılmış, literatür taramaları ve endüstriyel araştırmalarda bulunulmuştur. Yetkili söküm tesisi ve yeniden işleme/parçalama tesisi açılış maliyetlerinin sırasıyla 630.000 TL ve 2.500.000 TL olarak belirlenmiştir.

Yetkili söküm tesislerinin tamamı için işlem maliyeti; 980 TL/ton, yeniden işleme/parçalama tesisleri için işlem maliyetleri; 135 TL/ton, geri dönüşüm tesislerinin işlem maliyetleri; 500 TL/ton ve bertaraf merkezlerinin işlem maliyetleri ise 250 TL/ton olarak belirlenmiştir.

Yetkili söküm tesisi ve yeniden işleme/parçalama tesisi açıldığında ortaya çıkan CO_2 emisyon miktarı iki tesis için de 5.000.000 kg olarak tespit edilmiştir. Ayrıca km başına karbon salınım miktarı 0,918 kg/km ve karbon fiyatı 0,012 TL/kg 'dir. Yetkili söküm tesisi ve yeniden işleme/parçalama tesisi için sırasıyla istihdam edilecek personel sayısı 3 kişi ve 10 kişi olarak belirlenmiştir.

Lisanslı toplama merkezleri, yetkili söküm tesisleri, yeniden işleme/parçalama tesisleri, geri dönüşüm tesisleri ve bertaraf merkezleri kapasiteleri ile alakalı olarak İstanbul'da ilgili faaliyetlerde bulunan mevcut tesislerden ayrıntılı bilgi alınamadığında endüstri araştırmaları ve literatür taramalarından yararlanarak tesis kapasite tahminlerinde bulunulmuş olup, tahminlerin isabetli olduğu varsayılmıştır. Modelde tesis kapasiteleri; lisanslı toplama tesisleri için 1.000 ton, yetkili söküm tesisleri için 5.000 ton, yeniden işleme/parçalama tesisleri için 15.000 ton ve bertaraf merkezleri için ise 10.000 ton olduğu kabul edilmiştir. Geri dönüşüm tesisleri için aküye ayrılan kapasite 1,726 ton, akışkana ayrılan kapasite 5,910 ton ve lastiğe ayrılan kapasite 2,364 ton kabul edilmiştir. Ayrıca modelin amaç ağırlıklarının sırasıyla 0,334, 0,333, 0,333 olduğu varsayılmıştır.

Tesisler arası mesafeler için ise öklid bağıntısı yöntemi kullanılmış, uzaklıklar hesaplanmıştır.

6.2. Problemin Çözümü

Tersine lojistik ağ tasarım modeli çok amaçlı, tek ürünlü, karma tam sayılı doğrusal programlama modeli olarak geliştirilmiştir. Model kodlanarak, GAMS 23.5.1 çözücüsü kullanılarak optimal çözüme ulaşılmıştır. Model çözümünde hedef programlama ve ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır.

Modelin kompleks olmayan gösterimi aşağıdaki gibidir.

Amaç: Minimum Maliyet ($z_1(x)$)
Minimum Karbon Salınım Maliyeti ($z_2(x)$)
Maksimum Devlet Asgari Ücretli Vergi Maliyeti Kazancı ($z_3(x)$)

Kısıt: Denge Kısıtları
Kapasite Kısıtları
Mantık Kısıtları

Hedef programlama yönteminde ilk adım olarak, üç amaç fonksiyonu için ayrı optimizasyon modelleri kurularak çözümlere ulaşılmıştır. Bunu yapmaktaki amaç sapmaların minimum düzeyde tutulmasını sağlamaktır. Sonuçlar z_1 , z_2 ve z_3 için sırasıyla 115.202.622,65, 378.622,297, 20.539,20'dir ve Çizelge 6.4.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. Hesaplanan Amaç Fonksiyon Değerleri

Amaç Fonksiyonu	Sonuç
z_1	115.202.622,65
z_2	378.622,297
z_3	20.539,20

İkinci adım olarak, hedef programlama problemi için çok sayıda amaç fonksiyonun tek bir amaç fonksiyonu gibi temsil edilmesine olanak sağlayan ağırlıklandırma yönteminin kullanılmasıdır. Çok amaçlı model, her bir amaç ağırlıklandırılarak amaç fonksiyonu üç amacı da kapsayacak şekilde tek bir amaç olarak modelde yerini almıştır.

$$\text{Min } z = w_1 \cdot d_1^+ + w_2 \cdot d_2^+ + w_3 \cdot d_3^+$$

w_1, w_2 ve w_3 olarak belirtilenler, amaç ağırlıklandırmaları ve d_1^+, d_2^+, d_3^+ ve d_1^-, d_2^-, d_3^- olarak ifade edilenler ise hedeflerin sapma değişkenleridir. d_1^-, d_2^-, d_3^- hedeften negatif yönde sapmayı ve d_1^+, d_2^+, d_3^+ hedeften pozitif yönde sapmayı temsil etmektedir.

Önceki bölümlerde gösterilen kısıtlara ilave olarak, amaç denklemleri, ayrı kısıtlar halinde modelde belirtilmiş olup, her bir amaç denklemine ait sapma değişkenleri de kısıta ilave edilmiştir. z1 olarak belirtilen birinci amaç denklemi aşağıdaki gibi kısıta dönüştürülerek modelde yerini almıştır.

$$\begin{aligned}
& \sum_l f_l \cdot e_l + \sum_k f_k \cdot e_k + \\
& \sum_j \sum_k W_{jk} \cdot t_{jk} \cdot d_{jk} + \sum_n \sum_k \sum_r A_{nkr} \cdot t_{kr} \cdot d_{kr} + \sum_k \sum_l B_{kl} \cdot t_{kl} \cdot d_{kl} + \\
& \sum_n \sum_l \sum_r G_{nlr} \cdot t_{lr} \cdot d_{lr} + \sum_n \sum_k \sum_m S_{nkm} \cdot t_{km} \cdot d_{km} + \sum_l \sum_p E_{lp} \cdot t_{lp} \cdot d_{lp} + \\
& \sum_n \sum_r \sum_p F_{nrp} \cdot t_{rp} \cdot d_{rp} + \sum_n \sum_r \sum_m F_{nrm} \cdot t_{rm} \cdot d_{rm} + \\
& \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot cc_j + \sum_i \sum_k Y_{ik} \cdot cc_k + \sum_j \sum_k W_{jk} \cdot cc_k + \\
& \sum_j \sum_k W_{jk} \cdot dc_k + \sum_i \sum_k Y_{ik} \cdot dc_k + \\
& \sum_k \sum_l B_{kl} \cdot sc_l + \\
& \sum_n \sum_k \sum_r A_{nkr} \cdot rc_r + \sum_n \sum_l \sum_r G_{nlr} \cdot rc_r + \\
& \sum_l \sum_p E_{lp} \cdot lc_p + \sum_n \sum_r \sum_p F_{nrp} \cdot lc_p + d1^+ - d1^- = e = 115.210.145,56
\end{aligned}$$

z2 olarak belirtilen ikinci amaç denklemi aşağıdaki gibi kısıta dönüştürülerek modelde belirtilmiştir.

$$\begin{aligned}
& \sum_l f_{lco} \cdot e_l \cdot cop + \sum_k f_{kco} \cdot e_k \cdot cop \\
& \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot c_s \cdot d_{ij} \cdot cop + \sum_i \sum_k Y_{ik} \cdot c_s \cdot d_{ik} \cdot cop + \sum_j \sum_k W_{jk} \cdot c_s \cdot d_{jk} \cdot cop + \\
& \sum_n \sum_k \sum_r A_{nkr} \cdot c_s \cdot d_{kr} \cdot cop + \sum_k \sum_l B_{kl} \cdot c_s \cdot d_{kl} \cdot cop + \\
& \sum_n \sum_l \sum_r G_{nlr} \cdot c_s \cdot d_{lr} \cdot cop + \sum_n \sum_k \sum_m S_{nkm} \cdot c_s \cdot d_{km} \cdot cop + \\
& \sum_l \sum_p E_{lp} \cdot c_s \cdot d_{lp} \cdot cop + \sum_n \sum_r \sum_p F_{nrp} \cdot c_s \cdot d_{rp} \cdot cop + \\
& \sum_n \sum_r \sum_m F_{nrm} \cdot c_s \cdot d_{rm} \cdot cop + d2^+ - d2^- = e = 378.622,30
\end{aligned}$$

Önceki bölümde z3 olarak belirtilen üçüncü amaç denklemi de kısıta dönüştürülerek modelde yerini almıştır.

$$\sum_l f_{list} \cdot e_l \cdot cist + \sum_k f_{kist} \cdot e_k \cdot cist + d3^+ - d3^- = e = 20.539,20$$

6.2.2.1. Sayısal Sonuçlar

Problem çözümünde GAMS 23.5.1 çözücüsü kullanılmıştır ve 2.40 GHz Intel Çekirdekli İşlemci ve 8 GB RAM içeren bir sunucu ile çalışılarak işlemler gerçekleştirilmiştir. Optimal çözüm için gereken hesaplama süresinin 62 CPU saniye olduğu tespit edilmiştir.

Problem için optimal çözüm değerinin 4.476,7987 olduğu belirlenmiştir. Yetkili sökülüm tesislerinden 3 tanesinin (k2:Başakşehir, k3:Ataşehir, k4:Maltepe) ve yeniden işleme/parçalama tesislerinden bir tanesinin (l2:Tuzla) en uygun çözümde açılmalarına karar verilmiştir. Karar değişkenlerinin optimal değerleri Çizelge 6.5.'te gösterilmiştir. ÖTA'lar ve ÖTA parça ve bileşenlerinin geri dönüşüm ağı içerisinde hangi tesislerden geçerek işlemlere tabi tutulduğunu da Çizelge 6.5.'te görmek mümkündür.

Çizelge 6.5. Karar Değişkenlerinin Optimal Değerleri

Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer
$X_{1,11}$	14	$X_{34,21}$	67	$A_{8,4,1}$	52,25
$X_{2,50}$	241	$X_{34,25}$	249	$B_{2,2}$	3.564
$X_{3,8}$	411	$X_{35,9}$	511	$B_{3,2}$	4.050
$X_{4,13}$	373	$X_{36,50}$	236	$B_{4,2}$	4.050
$X_{4,50}$	46	$X_{37,25}$	151	$G_{2,3}$	9.506,16
$X_{5,21}$	460	$X_{37,44}$	83	$G_{1,2,1}$	8.365,42
$X_{5,37}$	271	$X_{37,49}$	441	$G_{2,2,1}$	1.140,739
$X_{6,28}$	109	$X_{38,37}$	521	$E_{2,2}$	2.157,84
$X_{6,37}$	134	$X_{39,35}$	280	$E_{6,2,1}$	345,254
$X_{6,41}$	339	$W_{8,3}$	1.000	$E_{7,2,1}$	435,146
$X_{7,8}$	216	$W_{9,3}$	1.000	$E_{8,2,1}$	1.359,439
$X_{8,35}$	360	$W_{11,4}$	1.000	$F_{1,1,1}$	1.254,813
$X_{9,44}$	266	$W_{13,3}$	1.000	$F_{2,1,1}$	171,11
$X_{10,21}$	184	$W_{21,3}$	1.000	$F_{3,1,1}$	37,95
$X_{11,50}$	244	$W_{25,2}$	400	$F_{3,2,1}$	16,698
$X_{12,21}$	289	$W_{28,4}$	1.000	$F_{4,1,1}$	4,248
$X_{13,47}$	232	$W_{35,4}$	1.000	$F_{4,2,1}$	5,058
$X_{14,39}$	231	$W_{37,2}$	1.000	$F_{4,3,1}$	4,95
$X_{15,13}$	67	$W_{39,4}$	1.000	$F_{5,1,1}$	9,306
$X_{16,50}$	233	$W_{41,2}$	1.000	$F_{5,3,1}$	4,95
$X_{17,13}$	97	$W_{44,4}$	1.000	$F_{6,2,1}$	4,125
$X_{17,41}$	348	$W_{47,3}$	1.000	$F_{6,3,1}$	1,815
$X_{18,11}$	476	$W_{49,2}$	1.000	$F_{7,2,1}$	2,888
$X_{18,13}$	297	$W_{50,2}$	1.000	$F_{7,3,1}$	5,429
$X_{19,39}$	23	$S_{1,3,13}$	675	$F_{8,1,1}$	22,572
$X_{19,47}$	344	$S_{2,4,13}$	675	$Fm_{1,1,29}$	7.110,608
$X_{20,28}$	405	$S_{8,2,12}$	594	$Fm_{2,1,29}$	969,625

X _{21,28}	486	A _{3,2,2}	111,32	Fm _{3,1,6}	207,053
X _{22,49}	290	A _{3,3,1}	126,5	Fm _{3,1,17}	7,997
X _{23,9}	440	A _{3,4,1}	126,5	Fm _{3,2,28}	94,622
X _{24,47}	159	A _{4,2,2}	29,04	Fm _{4,1,28}	24,072
X _{24,49}	269	A _{4,3,3}	33	Fm _{4,2,28}	28,662
X _{25,8}	373	A _{4,4,1}	28,320	Fm _{4,3,13}	28,050
X _{25,37}	74	A _{4,4,2}	4,68	Fm _{5,1,29}	52,734
X _{26,39}	746	A _{5,2,1}	29,04	Fm _{5,3,13}	28,050
X _{27,11}	477	A _{5,3,3}	33	Fm _{6,2,28}	23,375
X _{28,35}	360	A _{5,4,1}	33	Fm _{6,3,13}	10,285
X _{28,41}	313	A _{6,2,3}	12,1	Fm _{7,2,28}	16,363
X _{29,9}	49	A _{6,3,2}	13,75	Fm _{7,3,13}	30,762
X _{29,44}	318	A _{6,4,2}	13,75	Fm _{8,1,29}	127,908
X _{30,44}	333	A _{7,2,3}	16,94		
X _{31,11}	33	A _{7,3,2}	19,25		
X _{32,13}	166	A _{8,2,1}	45,98		
X _{33,47}	265	A _{8,3,1}	52,25		

Çizelge 6.5.'te görüldüğü gibi ÖTA'lar 8(Sahrayıcedid, Kadıköy), 9(Çakmak Mah., Ümraniye), 11(Gülsuyu Mah., Maltepe), 13(Küçükbakkalköy Mah., Ataşehir), 21(Çobançeşme Mah., Yenibosna-Bahçelievler), 25(Cemal Ulusoy Cad., Bahçelievler), 28(Hürriyet Mah., Kartal), 35(Büyükbakkalköy Mah., Maltepe), 37(İkitelli OSB, Başakşehir), 39(Altayçeşme Mah., Maltepe), 41(İkitelli OSB, Başakşehir), 44(Bağlarbaşı Mah., Maltepe), 47(İçerenköy Mah, Ataşehir), 49(Kaptan-ı Derya Cad., Sultanbeyli), 50(İkitelli OSB, Başakşehir) numaralı lisanslı araç toplayıcılarına taşınmaktadır. ÖTA kaynak noktaları ile diğer lisanslı araç toplayıcıları arasında ulaşım bulunmamaktadır.

Optimal sonuçlara göre toplam 14.400 adet ÖTA, ÖTA kaynak noktasından lisanslı araç toplayıcısına taşınmıştır. 8, 9, 11, 13, 21, 28, 35, 37, 39, 41, 44, 47, 49 ve 50 numaralı lisanslı araç toplayıcısına, ÖTA kaynak noktasından 1.000 adet ÖTA ve 25 numaralı lisanslı araç toplayıcısına ise 400 minimum ÖTA adedi nakledilmiştir.

Sonrasında lisanslı araç toplayıcılarında depolanan bütün ÖTA'lar 2 (İkitelli OSB, Başakşehir), 3(İçerenköy Mah., Ataşehir) ve 4(Büyükbakkalköy Mah., Maltepe) numaralı yetkili söküm tesislerine transfer edilmiştir. Lisanslı araç toplayıcılarından 2 numaralı yetkili söküm tesisine 4.400 adet, 3 numaralı yetkili söküm tesisine 5.000 adet ve 4 numaralı yetkili söküm tesisine 5.000 adet ÖTA

taşınmıştır. ÖTA kaynak noktasından yetkili sökülme tesisine direkt olarak ÖTA, ÖTA parça ve bileşenleri taşınmamıştır.

Yetkili sökülme tesislerinden, 1(Dudullu OSB, Sancaktepe), 2(Saray Mah., Ümraniye) ve 3(İçerenköy Mah., Ataşehir) numaralı geri dönüşüm tesisine 780,67 ton bileşen ve materyal gönderilmiştir.

2, 3 ve 4 numaralı yetkili sökülme tesislerinden, sadece 2(Orta Mah., Tuzla) numaralı yeniden işleme/parçalama tesisine 11.664 ton Hulk transfer edilmiştir. Son olarak 2, 3 ve 4 numaralı yetkili sökülme tesisinden, 12(Ziya Gökalp Mah., İkitelli OSB, Başakşehir) ve 13(İçerenköy Mah., Bostancı Oto Sanayi Sitesi, Ataşehir) numaralı ikincil pazara toplam 1.944 ton yeniden kullanılabilir parça ve komponent taşınmıştır.

2(Orta Mah., Tuzla) numaralı yeniden işleme/parçalama tesisinden, 1(İstanbul Deri Organize Sanayi Bölgesi, Tuzla) numaralı bertaraf merkezine 2.139,839 ton ve 2(Karakiraz Köyü, Şile) numaralı bertaraf merkezine 2.157,84 ton ASR transfer edilmiştir. 1 numaralı bertaraf merkezine transfer edilen ASR'nin 345,254 tonunu akü, 435,146 tonunu akışkanlar, 1.359,44 tonunu diğer malzemeler oluşturmaktadır.

2(Orta Mah., Tuzla) numaralı yeniden işleme/parçalama tesisinden, 1(Dudullu OSB, Sancaktepe) numaralı geri dönüşüm tesisine 8.365,42 ton demirli metal, 1.140,74 ton demir içermeyen metal olmak üzere toplam 9.506,16 ton bileşen ve materyal transfer edilmiştir. 2(Orta Mah., Tuzla) numaralı yeniden işleme/parçalama tesisinden, 3(İçerenköy Mah., Ataşehir) numaralı geri dönüşüm tesisine ise 9.506,16 ton materyal taşınmıştır.

1(İstanbul Deri Organize Sanayi Bölgesi, Tuzla) numaralı bertaraf merkezine, 1(Dudullu OSB, Sancaktepe), 2(Saray Mah., Ümraniye) ve 3(İçerenköy Mah., Ataşehir) numaralı geri dönüşüm tesislerinden 1.254,81 ton demirli metal, 171,11 ton demir içermeyen metal, 54,648 ton plastik, 14,256 ton lastik, 14,256 ton cam, 5,94 ton akü, 8,317 ton akışkanlar ve 22,572 ton diğer malzemeler

bertaraf edilmek üzere transfer edilmiştir. Son olarak 1 numaralı geri dönüşüm tesisinden 6(Dudullu OSB, Ümraniye), 17(İmes Sanayi Sitesi, Ümraniye), 28(Güven Sanayi Sitesi, Ümraniye) ve 29(Kadosan Oto Sanayi Sitesi, Ümraniye) numaralı ikincil pazara, 8.500 ton yeniden kullanılabilir parça ve bileşen, 2 numaralı geri dönüşüm tesisinden 163,022 ton yeniden kullanılabilir parça ve bileşen 28(Güven Sanayi Sitesi, Ümraniye) numaralı ikincil pazara ve 3 numaralı geri dönüşüm tesisinden 97,147 ton yeniden kullanılabilir parça ve bileşen 13(İçerenköy Mah., Bostancı Oto Sanayi Sitesi, Ataşehir) numaralı ikincil pazara nakledilmiştir.

Amaç fonksiyonu üç amaçlıdır ve optimal sonuç farklı kriterlerin dengelenişini sunmaktadır. Dolayısıyla tek amaçlı hedefler için uzlaşmacı sonuçlar elde edilmiş olup, optimal sonuçlardan sapma miktarları Çizelge 6.6.'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.6. Optimal Sonuçların Sapma Miktarları

Tek Amaçlı Hedeflerin Sapma Miktarları	
$d1^+ = 0$	$d1^- = 2.498.416,248$
$d2^+ = 0$	$d2^- = 0$
$d3^+ = 0$	$d3^- = 13.443,840$

Tesislerin açılması için sabit maliyetler toplamının ve tesisler arası taşınan malzemelerden doğan toplam ulaşım maliyetinin minimum tutulması hedefinden 2.498.416,248 miktar sapma gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu değer tek amaçlı hedefin optimal sonucundan 2.498.416,248 miktar az olduğunu ifade etmektedir. Tesislerin açılışı ve malzemelerin tesisler arası taşınması sırasında ortaya çıkan karbon salınımından doğan maliyetin minimum seviyede tutulması hedefi için optimal sonuçtan sapma olmamıştır.

Üçüncü amaç, açılacak olan tesislerde istihdam edilecek personel sayısının maksimuma ulaştırılarak devletin asgari ücretli vergi maliyetinden doğan kazancını maksimum seviyeye ulaştırılması hedefinden 13.443,840 değerinde sapıldığı tespit edilmiştir.

6.2.3. Duyarlılık Analizleri

Trafikten silinen araç sayısı değişikliği, karbon salınım maliyeti değişikliği ve asgari ücretli vergi maliyeti değişikliği için duyarlılık analizleri yapılmış olup, aşağıda ayrıntılı olarak izah edilmiştir.

Trafikten kaydı silinen araç sayısında artış yaşanıldığı düşünülmüş, bu artışın açılacak olan yetkili söküm tesisi ve yeniden işleme/parçalama tesisini nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Yapılan araştırmalar sonucunda Çizelge 6.7.'deki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 6.7. Trafikten Kaydı Silinen Araç Sayısı Değişikliğine Duyarlılık

Artış Miktarı (%)	Sökme Tesisi	Yeniden İşleme/Parçalama Tesisi	Amaç Fonksiyonu Değeri
10%	K1, K2, K3, K5	L3	4.141,0162
20%	K1, K2, K3, K4	L2	4.269,1207
50%	K1,K2,K3,K4,K5	L2, L3	2.487,1104
100%	-	-	0

Trafikten kaydı silinen araç sayısında artış yaşanması, artış oranlarına bağlı olarak amaç fonksiyonu optimum değerini ve yetkili sökme tesisi ve yeniden işleme/parçalama tesisi sayılarını etkilemiştir.

Bir başka analiz örneğinde, karbon salınım maliyetinde artış yaşanıldığı düşünülmüş, bu artışın açılacak olan yetkili söküm tesisi ve yeniden işleme/parçalama tesisini nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Yapılan araştırmalar sonucunda Çizelge 6.8.'deki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 6.8. Karbon Salınım Maliyet Değişikliğine Duyarlılık

Artış Miktarı (%)	Sökme Tesisi	Yeniden İşleme/Parçalama Tesisi	Amaç Fonksiyonu Değeri
20%	K2,K3,K4	L2	215.755,8440
40%	K2,K3,K4	L2	215.755,8441
80%	K2,K3,K4	L2	215.755,8440
100%	K2,K3,K4	L2	215.755,8440

Karbon salınım maliyetinde artış yaşanması amaç fonksiyonu optimum değerini ve yetkili sökme tesisi ve yeniden işleme/parçalama tesisi sayıları üzerinde hiçbir değişikliğe neden olmamıştır.

Son olarak gerçekleştirilen duyarlılık analizi örneğinde ise asgari ücretli için ödenen vergi oranında artış yaşanacağı düşünülmüş ve açılacak olan yetkili söküm tesis ve yeniden işleme parçalama tesis sayılarını nasıl etkilediği ve amaç fonksiyonunda nasıl bir değişiklik yaratacağı araştırılmıştır (Çizelge 6.9.).

Çizelge 6.9. Asgari Ücretli Vergi Oran Değişikliğine Duyarlılık

Artış Miktarı (%)	Sökme Tesisi	Yeniden İşleme/Parçalama Tesisi	Amaç Fonksiyonu Değeri
10%	K2,K3,K4	L2	4.924,4786
20%	K2,K3,K4	L2	5.372,1585
30%	K2,K3,K4	L2	5.819,8383

Asgari ücretli vergi oranında artış yaşanması amaç fonksiyonunun optimum değerini değiştirirken, açılacak yetkili sökme tesisi ve yeniden işleme/parçalama tesisi sayıları üzerinde bir değişikliğe neden olmamıştır.

7. SONUÇLAR

Küresel ısınma tehdidi ile artan çevre bilinci, gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeleri çevre standartları konusunda çeşitli tedbirler almaya itmektedir. Çeşitli sektörler için AB Direktifi tarafından oluşturulan yönetmeliklerden biri, ülke ekonomilerinin gelişmesine büyük katkı sunan otomotiv sektörü içindir.

Ülkemizde büyük önem verilen, sürdürülebilirlik olgusunun merkezinde olan çevreye duyarlılık ilkesi gereği, AB Direktifi tarafından geliştirilen yönetmelik ulusal mevzuatla uyumla hale getirilerek ömrünü tamamlamış araçların kontrolü yönetmeliği oluşturulmuştur.

Bu çalışmada ulusal mevzuatla uyumlu hale getirilen yönetmelikten yola çıkarak, ömrünü tamamlamış araçların ve araç parçalarının yeniden kullanımının sağlanması, geri dönüşümü ve geri kazanım işlemleri ile çevreye yayılan atık miktarının azaltılması amaçlanmış ve İstanbul'da ömrünü tamamlamış araçlar için tersine lojistik ağ tasarımı yapılmıştır.

Çalışmada sürdürülebilirlik olgusu da dikkate alınarak, ömrünü tamamlamış araçların geri kazanım süreçlerinin etkin yürütülmesi için çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak sürdürülebilirlik yaklaşımı ile ilişkili olan ekonomik, sosyal ve çevresel üç etken dikkate alınmıştır. Model, maliyet minimizasyonu, karbon salınım minimizasyonu ve istihdam maksimizasyonu olmak üzere üç amaçlıdır.

Modelin çözümünde hedef programlama metodu ve ağırlıklandırma metodu kullanılmıştır. Problem GAMS 23.5.1 çözücüsü ile çözüme kavuşturulmuş olup, hedefler arasındaki etkileşim analiz edilmiştir. Gelecekteki değişimler için üç farklı duyarlılık analizi yapılmış ve modelin davranışı analiz edilmiştir.

Çalışmanın ana katkıları, İstanbul ili için ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşümü üzerine daha önceden bir çalışma yapılmaması, bu çalışmanın ilk

olması ve tersine lojistik ve geri kazanım ađ tasarımı için çok amaçlı bir model formülasyonunun geliştirilmesidir.

Model tamamen deterministik olarak kurulduğu için pek çok ürün geri kazanım sisteminin doğasında olan belirsizlikleri yakalayamamaktadır. Bir sonraki çalışmalarda, belirsizlik üzerine bazı parametreler tanımlanarak ve stokastik bir model kurularak sonuçlar analiz edilebilir.

Buna ek olarak, önerilen model açık döngüdür. Bir sonraki çalışmalarda, model kapalı döngü olarak tasarlanarak, kapalı döngü aktörlerinden üreticiler ve tedarikçilerde modele dahil edilebilir ve daha anlamlı sonuçlara ulaşılabilir.



KAYNAKLAR

- Alamması, M.F.N., 2014. Reverse Logistics Network Design with Uncertainty, Republic of Turkey Yıldız Technical University, Graduate School of Natural And Applied Sciences, MSc. Thesis, Istanbul.
- Alumur, S., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F. and Verter, V., 2012. MultiPeriod Reverse Logistics Network Design, European Journal of Operational Research, 220(1), 67-78.
- Atlas, M., 2008. Çok Amaçlı Programlama Çözüm Tekniklerinin Sınıflandırılması, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 8, 1, 47-68.
- Ayberk, H.S., 2015. Elektrikli ve Hibrit Araçların Otomotiv Sektörü ve Çevre Üzerindeki Etkileri, Okan Üniversitesi, Ulaştırma Teknolojileri ve Akıllı Otomotiv Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, ISTKA TR10/14/YEN/0088.
- Ayvaz, B., 2013. Miktar ve Kalite Belirsizliği Altında Tersine Lojistik Ağ Tasarımı İçin Bir Stokastik Programlama Modeli Önerisi: Elektronik Atık Sektöründe Bir Uygulama, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.
- Bilgili, M.Y., 2017. Ekonomik, Ekolojik ve Sosyal Boyutlarıyla Sürdürülebilir Kalkınma, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 10, 49, 1307-9581.
- Blackburn, J. D., Guide, V. D. R., Souza, G. C. and Van Wassenhove, L. N., 2004. Reverse Supply Chains for Commercial Returns, California Management Review, 46, 2, 6-22.
- Chakraborty, D., Jana, K. D., Roy, T.K., 2014. Multi-objective multi-item solid Transportation Problem with Fuzzy Inequality Constraints", Journal of Inequalities and Applications, 338, 1-21.
- Chen, Z., Chen, D., Wang, T., Hu, S., 2015. Policies on End-of-Life Passenger Cars in China: Dynamic Modeling and Cost-Benefit Analysis. Journal of Cleaner Production 108, 1140-1148.
- Cingöz, K., 2014. Tersine Lojistik Ağlarının Tasarımı Ve Analizi: Mersin İlinde Atık Toplama Üzerine Bir Uygulama, Mersin Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Mersin.
- Cruz-Rivera, R., Ertel, J., 2009. Reverse Logistics Network Design for the Collection of End-of-Life Vehicles in Mexico, European Journal of Operational Research, 196, 3, 930-939.

- De Brito, M.P., Dekker, R., 2003. A Framework for Reverse Logistics, Erasmus Research Institute of Management Report Series Research in Management, pp.29. Rotterdam, The Netherlands.
- Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K. and Wassenhove, L.N.V., 2004. Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains, Verlag, Heidelberg.
- Demirel, N., Gökçen, H., 2008. Geri Kazanımlı İmalat Sistemleri İçin Lojistik Ağ Tasarımı: Literatür Araştırması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 23, 4, 903-912.
- Demirel, E., N. ve Gökçen, H., 2016. A Mixed Integer Linear Programming Model to Optimize Reverse Logistics Activities of End-of-Life Vehicles in Turkey, Journal of Cleaner Production, 112, 2101-2113.
- Dirik, M., 2012. Tersine Lojistik Ve Karaman Organize Sanayi Bölgesinde Gıda Sektöründe Tersine Lojistiğin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Uygulama, Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Programı, Karaman.
- Du F., Evans G.W., 2008. A Bi-Objective Reverse Logistics Network Analysis for Post Sale Service. Computers & Operations Research, 35, 2617-2634.
- Duyguvar, A. S., 2010. Tersine Lojistik Ağ Tasarımı ve Ağdaki Malzeme Akışının Web Tabanlı Yönetimi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Elmas, G., Erdoğan, F., 2011. The Importance of Reverse Logistics, International Journal of Business and Management Studies, 3, 1, 161-171.
- Ene S ve Öztürk, N., 2014. Ömrünü Tamamlamış Araçlar için Toplama Ağının Tasarımı, Uludağ Üniversitesi, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa.
- Erkut E., Karagiannidis A., Perkoulidis G., Tjandra S.A., 2008. A Multicriteria Facility Location Model for Municipal Solid Waste Management in North Greece., European Journal of Operational Research, 187, 1402-1421.
- Ersöz, F., Kabak, M., 2010, Savunma Sanayi Uygulamalarında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Literatür Araştırması, Savunma Bilimleri Dergisi, 9, 1, 97-125.
- Farel, R., Yannou, B., Bertoluci, G., 2013. Finding Best Practices for Automotive Glazing Recycling: A Network Optimization Model. Journal of Cleaner Production, 52, 446-461.

- Fleischmann, M., Krikke, H.R., Dekker, R., Flapper, S.D.P., 2000. A Characterisation of Logistics Networks for Product Recovery, *Omega : The International Journal of Management Science*, 28, 653-666.
- Fleischmann, M., 2001, *Quantitative Models For Reverse Logistics*, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Harraz, N. A. and Galal, N. M., 2011. Design of Sustainable End-of-life Vehicle Recovery Network in Egypt, *Ain Shams Engineering Journal*, 2, 3, 211-219.
- Jonson, M. R., Wang, M. H., 2002. Evaluation policies and automotive recovery options according to the European Union Directive on end-of-life vehicles (ELV), University of Windsor, Ontario, Canada.
- Karaçay, G., 2005. Tersine Lojistik: Kavram ve İşleyiş, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14, 317-331.
- Karabulut, N., 2009. Reverse Logistics, T.C. Marmara University Institute For Graduate Studies in Pure And Applied Sciences, Thesis for the Degree of Master of Science in Industrial Engineering, Istanbul.
- Krikke H.R, Bloemhof-Ruwaard J., Van Wassenhove L., 2003. Concurrent Product and Closed-Loop Supply Chain Design with an Application to Refrigerators, *International Journal of Production Research*, 41, 3689-719.
- Kokkinaki, A. I., 2001. Integrating a Web-Based System with Business Processes In Closed Loop Supply Chains, *Econometric Institute Report Series EI2001-31*, Erasmus University, Rotterdam, 1566-7294, The Netherlands.
- Köse, S., 2009, *Tersine Lojistik ve Atık Kızartma Yağları Geri Kazanım Ağı Tasarımı*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Kumar S, Malegeant P, 2006. Strategic Alliance in a Closed-Loop Supply Chain, a Case Of Manufacturer And Eco-Non-Profit Organization”, *Technovation*, 26, 10, 1127-1135.
- Li, S., Wang, N., He, Z., Che, A., Ma, Y., 2012. Design of a Multiobjective Reverse Logistics Network Considering the Cost and Service Level, *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering*.
- Mansour, S., Zarei, M., A., 2008, Multi-Period Reverse Logistics Optimisation Model For End Of-Life Vehicles Recovery Based on EU Directive. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21, 764-77.
- Marter, R.L., Arora, J.S., 2004, Survey of Multi-Objective Optimization Methods For Engineering, *Structural and Multidisciplinary Optimization* 26, 369-395.

- Nozick L.K., Turnquist M.A., 2001. Inventory, Transportation, Service Quality and The Location Of Distribution Centers. *European Journal of Operational Research*, 129, 365-371.
- Ozmehmet, E., 2008. Dünyada ve Türkiye’de Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımları, *Yaşar Üniversitesi Dergisi*, 3, 12, 1826-1852.
- Östlin, J., Sundin, E., & Björkman, M., 2008. Importance of closed-loop supply chain relationships for product remanufacturing, *International Journal of Production Economics*, 115, 336-348.
- Özceylan E., Demirel N., Çetinkaya, C. ve Demirel E., 2017. A Closed-Loop Supply Chain Network Design for Automotive Industry in Turkey, *Computers and Industrial Engineering*, 1, 1-27.
- Pati R.K., Vrat P., Kumar P. A., 2008. A Goal Programming Model for Paper Recycling System, *International Journal of Management Science*, 36, 405-417.
- Pishvae, M.S., Jola, F., Razmi, J., 2009. A Stochastic Optimization Model for Integrated Forward/Reverse Logistics Network Design, *Journal of Manufacturing Systems*, 28, 4, 107-114.
- Pochampally, K. K., Nukala, S. and Gupta, S. M., 2009. “Strategic Planning Models For Reverse And Closed-Loop Supply Chains”, RC Press, Boca Raton, Florida.
- Rahmatian, M., 2008. Multi-objective Reverse Logistics Network Design and Analysis, Concordia University, A Thesis in The Department of Mechanical and Industrial Engineering Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Applied Science, Montreal, Quebec, Canada.
- Ramezani, M., Bashiri, M., Moghaddam, R.T., 2012. A New Multi-Objective Stochastic Model for a Forward/Reverse Logistic Network Design with Responsiveness and Quality Level, *Applied Mathematical Modelling*, 37, 328-344.
- Sasikumar, P. and Kannan, G., 2008. Issues in reverse supply chains, part I: end of life product recovery and inventory management, *International Journal of Sustainable Engineering*, 1, 3, 154-172.
- Schultmann, F., Zumkeller, M., Rentz, O., 2004. Integrating spent products’ material into supply chains: the recycling of end-of-life vehicles as an example. *Supply chain management and reverse logistics*, 35-59.
- Schultmann, F., Zumkeller, M., Rentz, O., 2006. Modeling reverse logistic tasks within closedloop supply chains: an example from the automotive industry, *European Journal of Operational Research*, 171, 1033-50.

- Schwartz, B., 2000. Reverse logistics strengthens supply chains, *Transportation Distribution*, 41, 5, 95-100.
- Simic, V., 2015. A two-stage interval-stochastic programming model for waste management under uncertainty, *University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Resources, Conservation and Recycling* 98, 19-29.
- Simic, V., 2016. A multi-stage interval-stochastic programming model for planning end-of-life vehicles allocation, *Journal of Cleaner Production*, 115,366-381.
- Şengül, Ü., 2011. Tersine Lojistik Kavramı ve Tersine Lojistik Ağ Tasarımı, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı, 407-429.
- Taha, H. A., 2007. *Operations Research: An Introduction*, Prentice Hall, 8. bs., New Jersey.
- Temur, G.T., 2012. Tersine Lojistik Ağlarında Sürdürülebilirlik Yaklaşımına Yönelik Çok Amaçlı Bir Model Önerisi: Elektronik Atık Sektöründe Bir Uygulama, *İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İşletme Mühendisliği Programı, Doktora Tezi, İstanbul*.
- T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Genel Müdürlüğü, 2012. *Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2013-2016*, 113, Ankara.
- Vidovic, M., Dimitrijevic, B., Ratkovic, B., Simic, V., 2011. A novel covering approach to positioning ELV collection points, *University Of Belgrade, Faculty of transport and traffic engineering, Resources, Conversation and Recycling*, 57,1-9.
- Wordsworth, A., Miller, S., 2011. "Improving the Management of End-of-life Vehicles in Canada, Chicago, CELA Publication, Illinois.
- Yımsırı, S., 2009. *Designing Multi-Objective Reverse Logistics Networks Using Genetic Algorithms*, The University of Texas at Arlington, Presented to the Faculty of the Graduate School of The University of Texas at Arlington in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.
- Yongsheng Z. ve Shouyang W., 2008, Generic Model of Reverse Logistics Network Design, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 8, 3, 71-78.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sezin BALCI
Doğum Yeri ve Yılı : İstanbul, 17/10/1991
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : sezinbbalci@gmail.com

Taranmış
Fotoğraf
(3.5cmx3cm)

Eğitim Durumu

Lise : Kazım İşmen Anadolu Lisesi, 2005-2009
Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi,
Fen Bilimleri Enstitüsü,
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2009-2014

Mesleki Deneyim

Organik İnsan Kaynakları ve Danışmanlık Hizmetleri Ltd. Şti., 2015-... (devam ediyor)

Yayımlar

Balcı S. ve Ayvaz B. (2017). Recycling Network Design with Mixed Integer Linear Programming for ELV, Southeast Europe Journal of Soft Computing. Vol:6, Sayı:1, s.20-31.