

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERSİNE LOJİSTİK AĞLARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMINA
YÖNELİK ÇOK AMAÇLI BİR MODEL ÖNERİSİ:
ELEKTRONİK ATIK SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

DOKTORA TEZİ

Gül Tekin TEMUR

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

EKİM 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERSİNE LOJİSTİK AĞLARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMINA
YÖNELİK ÇOK AMAÇLI BİR MODEL ÖNERİSİ:
ELEKTRONİK ATIK SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

DOKTORA TEZİ

**Gül Tekin TEMUR
(507062003)**

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bersam BOLAT

EKİM 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507062003 numaralı Doktora Öğrencisi **Gül Tekin TEMUR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**TERSİNE LOJİSTİK AĞLARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMINA YÖNELİK ÇOK AMAÇLI BİR MODEL ÖNERİSİ: ELEKTRONİK ATIK SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Bersam BOLAT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Demet BAYRAKTAR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **31 Temmuz 2012**
Savunma Tarihi : **15 Ekim 2012**

Aileme, Semiha'ya ve Atık Toplayıcılarına,

ÖNSÖZ

Bu tezin tamamını okuyacak kişiler olabileceği gibi, sadece giriş ve sonuç bölümleriyle ilgilenecek olan, kime ithaf edildiğine bakıp kapağını kapayacak olan ya da önsözde kendisine teşekkür edilip edilmediğine göz gezdirecek olan kişiler de olabilecektir. Tez çalışmamın merak uyandıracak niteliği kazanmasında katkıları bulunan herkese teşekkürlerimi sunuyorum. Sadece bu teşekkür bölümünü yazmak için bile bu tez çalışmasını gerçekleştirmeye değerdi. Pek çok doktora öğrencisi gibi, henüz tezin yazım aşamasına gelmeden önce teşekkür edeceğim kişilerin listesini çıkarmaya başlamıştım. Fakat şimdi görüyorum ki, önsöz bölümünün sınırlarına listedeki isimlerin hepsini sığdırabilmem, bir mucizeden çok daha fazlasını gerektiriyor. Siz, candan teşekkürlerimi sunmak istediğim canım arkadaşlarım ve hocalarım, umarım ki aniden çaldığım kapınızdan yanınıza süzülüp, sonrasında yanınızdan huzurla ayrılırken gözlerimdeki sevinci ve minneti görmenize fırsat vermişimdir. Siz, her türlü şükran duygusunun yetersiz kaldığı sevgili ailem, bu tez çalışmasını size teşekkürlerin en yücesini sunmanın bahanesi olarak görün lütfen. Siz her güzelliği başlatansınız, bu tezi elinize almak biraz olsun mutlu ederse sizi, başardığıma o zaman inanacağım.

Okula adımlımı attığım andan itibaren her türlü sorunumda yanımda olan, bilgisini ve şefkatini her an sunma özverisinde bulunan, her birlikteliğimizde yanından huzurla ayrıldığı sayın tez hocam Doç. Dr. Bersam Bolat'a teşekkürlerimi sunuyorum. Herkes bu süreçteki karanlık noktalara bir ışıktı, siz bundan çok daha fazlasını yaptınız. Tez çalışmamız üzerine gerçekleştirdiğimiz kimi buluşmalar, yeri geldi hayatı paylaşmaya vesile oldular. Bir an bile sıkılmadan çalışmamızın belki de en büyük dayanağı o anlardı. Bundan sonraki hayatımızı konuşmaya devam etmek ve paylaşımlarımızı arttırmak için daha çok çalışma yapmamız gerektiğini düşündükçe yüzüme, sevinçle karışık hınzır bir gülümseme yerleşiyor. Ve her adımda "Ne güzel ki buradayım," dediğim fakültemde her şeyin başlangıcı olan sayın hocam Prof. Dr. Sıtkı Gözlü, kısıtlı vakitlerinde benimle bizzat ilgilenererek süreci takip etme özverisinde bulundu. Onun değerli tavsiyeleriyle bu süreçteki heyecanımı bir an olsun yitirmemeyi ve geleceğe umutla bakmayı öğrenebildim. Tezin hazırlanmasında büyük katkıları olan ve kendilerini her gördüğümde sorduğum ani sorulara bile büyük bir nezaket ve yardımseverlikle yanıt veren sayın hocam Prof. Dr. Demet Bayraktar ve Doç. Dr. Mehmet Mutlu Yenisey hocama çok teşekkür ederim. Kilitlendiğim çoğu noktada beni çözüme ulaştıracak sihirli anahtarlar uzatmakta hiç gecikmediler. Beni buna layık gördükleri için çok şanslıyım. Almanya'da olduğum süre boyunca desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Karl Inderfurth ve Otto Von Guericke Magdeburg Üniversitesi üretim ve lojistik çalışma grubundaki arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Ve sevgili Exitcom Geri Dönüşüm firması genel müdürü sayın Murat Ilgar, ve sevgili Esra Eken, sizlere erişebilirliğimiz ve bir özel sektör çalışanı olarak yaklaşımınızın ne olacağına dair tedirginliklerimizi tepetaklak eden içten davranışlarınız, iyi niyetiniz, yeri geldikçe bizi bizden önce düşünen anlayışınız, tez sürecine dair her türlü yardımınız için çok teşekkür ederim.

"Bir işi tek başına yapmaktan âciz" olarak algılanmaktan korkmadan belirtmeliyim ki arkadaşlarım Pınar Dursun'un sevecenlikle sunduğu yardımları, sohbeti ve

muhteşem yemekleri, Murat Engin Ünal'ın özel desteği, Çağatay İris, Özgür Kabak ve Didem Çınar'ın yardımları, Dilek Özdemir'in sabrı ve işlerimi kolaylaştırma çabası, Kaya Tokmakçioğlu'yla güleç ve umut dolu paylaşımlarımız ve tabii ki yol arkadaşım Berk Ayvaz'ın olağanüstü yardım ve tavsiyeleri olmasaydı bu tez çalışmasının tamamlanması mümkün olmazdı. Sevgili Sibel, Özsev ve Bahar, sizinle bir arada geçirdiğim tüm güzel anları, bu tez çalışmasının yazım diline uygun olup olmadığını göz ardı ederek, şairden alıntıyla “eşdeğeriyle yan yana yürümeye” benzetmekten kaçınmayacağım. Son süreçteki yoğun dönemde sizlere yaşattığım sıkıntılara rağmen hâlâ yanımda olduğunuzu görmek her şeye bedel. Ve Semiha'm, sana buradaki birkaç teşekkür cümlesi yetmeyeceğini düşünerek bu tezi sana adama kararı aldığımda bir kez daha fark ettim ki, hiçbir şey sana yetecek kadar güzel değil. “Tez konunuzu iyi seçin, sonunda ondan sıkılacaksınız,” öğütlerindeki gerçekliği tersine döndüren, şu anda da içimde konuyla ilgili bir çok çalışma konusu biriktirmemi ve bunları heyecanla gerçekleştirme isteği bulundurmamı sağlayan, bana sundukları bakış açıları ve aydınlatıcı bilgileriyle destek olan ve adını burada anmadığım tüm hocalarım ve arkadaşlarıma da teşekkür ederim. Umarım sizlere olan minnetimi yeri geldiğinde size hissettirmekte geciktirmemişimdir.

Temmuz 2012

Gül Tekin Temur
(İşletme Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. TERSİNE LOJİSTİKTE GENEL KAVRAMLAR ve TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI.....	5
2.1 Tersine Lojistikte Temel Kavramlar	5
2.1.1 Ürünlerin tersine lojistik sürecine dâhil olma nedenleri ve tersine lojistikte itici güçler	6
2.1.2 Tersine lojistik geri kazanım faaliyetleri	7
2.1.3 Tersine lojistikte yer alan aktörler	11
2.1.4 Tersine lojistik uygulama alanları	12
2.2 Tersine Lojistik Ağ Tasarımı	14
2.2.1 Tersine lojistik ağ yapılarında karşılaşılan temel zorluklar	15
2.2.2 Tersine lojistik ağ yapıları içerisinde ele alınan dönemsel kararlar	15
2.2.3 Tersine lojistik ağ tasarımı alanında temel amaçlar	17
2.2.3.1 Tersine lojistik ağ tasarımı alanında ekonomik amaçlar.....	17
2.2.3.2 Tersine lojistik ağ tasarımı alanında çevresel amaçlar	17
2.2.3.3 Tersine lojistik ağ tasarımı alanında sosyal amaçlar	20
2.2.3.4 Tersine lojistik ağ tasarımında sürdürülebilirlik.....	20
2.3 Elektronik Atık (E-Atık) Geri Kazanımı	22
2.3.1 E-atıklar ve yasal yükümlülükler	24
2.3.2 Türkiye’de e-atık yönetmelikleri.....	27
3. TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI ÜZERİNE YAZIN ARAŞTIRMASI.....	31
3.1 TLAT Çalışmalarının Tespit Edilmesi	33
3.2 TLAT Çalışmalarının Değerlendirilmesi.....	36
3.2.1 Kesin çözüm içeren modeller.....	37
3.2.1.1 Model ve ağ yapısı.....	37
3.2.1.2 Uygulama alanı.....	39
3.2.2 Sezgisel çözüm içeren modeller.....	40
3.2.2.1 Model ve ağ yapısı.....	40
3.2.2.2 Uygulama alanı.....	42
3.3 TLAT Yazın Araştırması Sonuçlarının Yorumlanması.....	48
4. TEZ KAPSAMINDA KULLANILAN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ.....	51
4.1 Yapay Sinir Ağları (YSA)	51

4.1.1 YSA temel elemanları ve yapısı	52
4.1.2 YSA öğrenme stratejileri	53
4.1.3 YSA modelleri ve çalışma sistemleri	54
4.1.3.1 Tek katmanlı algılayıcılar (TKA)	54
4.1.3.2. Çok katmanlı algılayıcılar (ÇKA)	54
4.1.4 YSA eğitim süreci	56
4.1.5 YSA'ların avantajları	58
4.1.6 YSA'ların dezavantajları	58
4.2 Çok Amaçlı Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (KTDP) ve Toplu Kriter Yöntemi (TKY)	59
4.3 Tedarik Zinciri Yönetiminde Yöneylem Araştırması Tekniklerinin Kullanımı	60
5. TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI METODOLOJİSİ.....	63
5.1 Modellerin Yapısı	66
5.2 Modellerin Varsayımları ve Karşılaşılan Zorluklar	69
5.3 Model 1: AEEE Yönetmeliği'nin Uygulanmadığı Mevcut Döneme Ait, Geri Dönüş Miktarı Tahmin Modeliyle Bütünleşik Melez Model	70
5.3.1 Geri dönüş miktarının hesaplanması – YSA modeli	70
5.3.2 Model 1: AEEE yönetmeliğinin uygulanmadığı mevcut döneme ait matematiksel model	72
5.4 Model 2: AEEE Yönetmeliği'nin Uygulanacağı Döneme Ait Model	81
5.4.1 Geri dönüş miktarlarının hesaplanması – AEEE modeli	81
5.4.2 AEEE yönetmeliğinin uygulanacağı döneme ait matematiksel model	81
5.5 Model 1 ve Model 2'nin Özgün Katkıları	97
6. UYGULAMA.....	99
6.1 Uygulamada Yer Alan E-Atık TLAT Yapısının Kapsamı	99
6.2 Model 1: AEEE Yönetmeliği'nin Uygulanmadığı Mevcut Döneme Ait Matematiksel Modelin Çözümü	102
6.2.1 Model 1'in Verileri	104
6.2.1.1 YSA yapısının oluşturulması: eğitim ve test aşamaları ile geri dönüşüm miktarı tahmini	104
6.2.1.2 Model 1'in sonuçları	111
6.3 Model 2: AEEE Yönetmeliği'nin Uygulanacağı Döneme Ait Matematiksel Modelin Çözümü	114
6.3.1 Model 2'nin verileri	115
6.3.2 Model 2'nin sonuçları	117
6.4 Çalışmanın Geçerlilik ve Duyarlılık Analizleri	121
6.4.1 Geçerlilik analizi	121
6.4.1.1 Geri dönüşün gerçekleşmediği varsayılan durum	121
6.4.1.2 Mevcut tesis kapasitelerinin çok yüksek olduğu varsayılan durum	122
6.4.2 Duyarlılık analizi	122
6.4.2.1 Kapasite değişikliğinin mevcut optimal çözüme etkileri	122
6.4.2.1.1 Model 1	123
6.4.2.1.2 Model 2	123
6.4.2.2 Geri dönüş miktarı değişikliğinin mevcut optimal çözüme etkileri	125
6.4.2.2.1 Model 1	125
6.4.2.2.2 Model 2	126
7. TARTIŞMA	129
8. ARAŞTIRMANIN KISITLARI	133
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	135

9.1 Tersine Lojistikte Yer Alan Aktörler İçin Öneriler.....	137
9.2 Araştırmacılar İçin Öneriler.....	138
KAYNAKLAR.....	141
EKLER.....	159
ÖZGEÇMİŞ	161

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AÇ	: Açık Çevrim Ağ Yapısı
AEEE	: Atık Elektrikli Elektronik Eşyalar
AGKM	: Alternatif Geri Kazanım Merkezi
ATM	: Alternatif Toplama Merkezi
AToM	: Maksimum Atık Toplama
AÜM	: Bir Merkezden Diğetine Aktarılan Maksimum Ürün Miktarı
BDP	: Bulanık Doğrusal Programlama
BHP	: Bulanık Hedef Programlama
BKTP	: Bulanık Karma Doğrusal Programlama
BKTDp	: Bulanık Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
BM	: Bertaraf Merkezi
BMM	: Minimum Beklenen Maliyet
ÇA	: Çok Aşamalı
ÇKA	: Çok Katmanlı Algılayıcılar
ÇÜ	: Çok Ürünlü
ÇZM	: Çevrim Zamanında Minimum Gecikme
D	: Deterministik
DM	: Değişken Maliyet
DOP	: Doğrusal Olmayan Programlama
DP	: Doğrusal Programlama
E-Atık	: Elektronik Atık
EÇO	: Elden Çıkarma Oranı
EM	: Minimum Çevresel Etki/Risk
ETM	: Minimum Enerji Tüketimi
FM	: Maksimum Fayda
GA	: Genetik Algoritma
GenP	: Generik Programlama
GDK	: Geri Dönüş Kalitesi
GDM	: Geri Dönüş/Arz Miktarı/Oranı
GKM	: Geri Kazanım Merkezi
GKM1	: Maksimum Geri Kazanım Miktarı
GKM2	: Geri Dönüşümde Beklenen Maksimum Malzeme Miktarı
GM	: Maksimum Güvenilirlik
HAR	: Harbinger Metodu
HS	: Hammadde Sağlayıcılar
HSM	: Maksimum Hizmet Seviyesi
HP	: Hedef Programlama
K	: Kapasite
KÇ	: Kapalı Çevrim Ağ Yapısı
KDM	: Minimum Konu Dışı Atık Miktarı
KK	: Kapasite Kısıtlı
KKY	: Kapasite Kısıtsız

KM	: Maksimum Kâr
KTDP	: Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama
KTDP	: Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
KTHP	: Karma Tamsayılı Hedef Programlama
KTP	: Karma Tamsayılı Programlama
MM	: Minimum Maliyet
MTM	: Maksimum Müşteri Talebi
O	: Olasılıklı
OKH	: Ortalama Karesel Hata
OKTP	: Olasılıklı Karma Tamsayılı Programlama
OPÜ	: Orjinal Parça Üreticileri
PAP	: Parçalı Aralıklı Programlama
R	: Rafineri
S	: Stokastik
SKTP	: Stokastik Karma Tamsayılı Programlama
SKTDP	: Stokastik Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
SKTDOP	: Stokastik Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama
SM	: Maksimum Sosyal Fayda
TA	: Tek Aşamalı
TaM	: Talep Miktarı
TKA	: Tek Katmanlı Algılayıcılar
TKY	: Toplu Kriter Yöntemi
TL	: Tersine Lojistik
TLAT	: Tersine Lojistik Ağ Tasarımı
TN	: Toplama Noktası
TM	: Mevcut Toplama Merkezi
TS	: Termin Süresi
TÜM	: Maksimum Toplanan Ürün Miktarı
TÜ	: Tek Ürünlü
TZ	: Teslimat ve İşlem Zamanı
UM	: Ulaştırma Maliyeti
UM1	: Yerleşim Yeri ve Transfer Noktası Arası Minimum Uzaklık
UM2	: İmha ve Transfer Noktası Arası Maksimum Uzaklık
V	: Var
Y	: Yok
YDD	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
YİM	: Geri Dönüşüm/Yeniden İmalat Miktarı/Oranı
YM	: Maksimum Geri Dönüş İşlemleri Yük Dengesi
YSA	: Yapay Sinir Ağları
YVM	: Maksimum Yanıt Verebilirlik
WEEE	
Direktifi	: Avrupa Birliği Elektrik ve Elektronik Gereç Atıkları Yönetmeliği

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Ürün geri kazanım seçenekleri arasındaki farklılıklar, Thierry ve diğ. (1995)'den uyarlanmıştır.	10
Çizelge 2.2 : Tersine lojistik kapsamında ele alınan konular, Dekker ve diğ. (2009)'den uyarlanmıştır.	16
Çizelge 2.3 : Yeniden kullanım ve geri dönüşüm hedefleri, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı (2008a)'ndan uyarlanmıştır.	28
Çizelge 2.4 : Geri kazanım hedefleri, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı (2008a)'ndan uyarlanmıştır.	29
Çizelge 3.1 : Dergi/akademik yayın listesi.	33
Çizelge 3.2 : Konferans listesi.	34
Çizelge 3.3 : Kesin çözüm içeren TLAT modellerinin sınıflandırılması.	43
Çizelge 3.4 : Sezgisel çözüm içeren TLAT modellerinin sınıflandırılması.	46
Çizelge 3.5 : Sınıflandırma türlerine göre çalışma sayıları.	50
Çizelge 4.1 : Terminoloji, Mehrotra (2000)'dan uyarlanmıştır.	52
Çizelge 5.1 : Geri dönüş miktarını etkileyen mikro ve makro faktörler.	71
Çizelge 5.2 : Modeller arası farklılıklar.	95
Çizelge 5.3 : Model 1'in özgün katkıları.	97
Çizelge 5.4 : Model 2'nin özgün katkıları.	98
Çizelge 6.1 : Geri alma fiyatı beklenen değerleri.	105
Çizelge 6.2 : Mevcut şehirlere ait bilgiler.	105
Çizelge 6.3 : Geri dönüş miktarı tahmini gerçekleştirilecek şehirlere ait bilgiler.	106
Çizelge 6.4 : YSA sonuçları: Potansiyel şehirlerin geri dönüş miktarları (kg).	110
Çizelge 6.5 : AEEE yönetmeliğinin uygulanması durumunda oluşacak geri dönüş miktarları (ton).	116
Çizelge 6.6 : Model 1 ve Model 2'nin sonuçları.	121
Çizelge 7.1 : Trend analizi sonucu elde edilen tahmini geri dönüş miktarları.	131

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tedarik zincirinde geri kazanım piramidi, De Brito ve Dekker (2005)'den uyarlanmıştır.....	8
Şekil 2.2 : Entegre tedarik zinciri, Thierry ve diğ. (1995)'den uyarlanmıştır	9
Şekil 2.3 : Geriye doğru akışları içeren tedarik zinciri, Pagell ve diğ. (2007)'den uyarlanmıştır	12
Şekil 2.4 : Tersine dağıtım taslağı, Fleischmann ve diğ. (1997)'den uyarlanmıştır .	14
Şekil 2.5 : YDD uygulamasının sınırları, Clift ve diğ. (2000)'den uyarlanmıştır	19
Şekil 2.6 : Üçlü temel esası ve sürdürülebilirlik, Carter ve Rogers (2008)'den uyarlanmıştır	22
Şekil 2.7 : Tersine lojistiğin elektrik elektronik sanayisinde uygulanma nedenleri, Lau ve Wang (2009)'dan uyarlanmıştır	24
Şekil 3.1 : Error! Reference source not found.	35
Şekil 3.2 : Error! Reference source not found.	36
Şekil 3.3 : Çözüm metoduna göre çalışma sayılarının yıllar içerisinde dağılımı	37
Şekil 3.4 : Error! Reference source not found.	48
Şekil 4.1 : Bir sinir hücresinin genel yapısı	52
Şekil 4.2 : Bir yapay sinir hücresi	53
Şekil 4.3 : İleri beslemeli YSA modeli	55
Şekil 4.4 : İterasyon sayısı ve OKH değeri ilişkisi	57
Şekil 5.1 : TLAT metodolojisi genel aşamaları	65
Şekil 5.2 : TL ağı genel yapısı	67
Şekil 6.1 : Açma/kapama kararı verilecek olan açık ve potansiyel tesisler	102
Şekil 6.2 : Model 1 için uygulamanın gerçekleştiği ağıın genel yapısı	103
Şekil 6.3 : Error! Reference source not found.	109
Şekil 6.4 : En uygun YSA yapısı	110
Şekil 6.5 : Model 1 sonuçları: açılan tesisler	112
Şekil 6.6 : Model 1'in optimum sonucuna göre elde edilen atama miktarları (ton).	113
Şekil 6.7 : Model 2 için uygulamanın gerçekleştiği ağıın genel yapısı	115
Şekil 6.8 : Model 2 sonuçları: açılan tesisler	119
Şekil 6.9 : Model 2'nin optimum sonucuna göre elde edilen atama miktarları (ton)	120
Şekil 6.10 : Kapasite azaltımının Model 1 için toplam maliyete etkisi	123
Şekil 6.11 : Kapasite azaltımının Model 2 için toplam maliyete etkisi	124
Şekil 6.12 : Kapasite azaltımının Model 2 için toplam karbon dioksit emisyonu miktarına etkisi	125
Şekil 6.13 : Error! Reference source not found.	126
Şekil 6.14 : Geri dönüş miktarı artışının Model 2 için toplam maliyete etkisi	127
Şekil 6.15 : Geri dönüş miktarı artışının Model 2 için toplam karbon dioksit miktarına etkisi	127

Şekil 7.1 : Model 1 için elde edilen gelir ve maliyet ilişkisi	130
---	-----

TERSİNE LOJİSTİK AĞLARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMINA YÖNELİK ÇOK AMAÇLI BİR MODEL ÖNERİSİ: ELEKTRONİK ATIK SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

ÖZET

Son yıllarda artan çevresel bilinç sonucunda, kamusal ve özel alandaki kurumlar, içerisinde bulundukları tüm sistem ve süreçleri, ekonomik, çevresel ve sosyal amaçları bir arada sağlayan sürdürülebilirlik yaklaşımına uygun olarak yapılandırma çabası içerisine girmişlerdir. Bu duruma paralel olarak, kullanım ömrünü tamamlamış olan ya da kullanılamaz durumda olan ürünlerin yeniden değerlendirilmesine yönelik faaliyetler, sürdürülebilirliğin yani gelecekte kullanılabilir kaynak durumunu tehlikeye atmadan kalkınmanın sağlanması açısından büyük önem kazanmaya başlamıştır. Kullanım noktalarından geri kazanım noktalarına, kullanılmayan durumdaki ürün ya da bileşen akışının planlanması ve kontrol edilmesi yaklaşımı olan Tersine Lojistik'in, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında büyük rolü vardır. Tersine Lojistik'in etkin olarak yönetilebilmesi için, ürün geri dönüşlerine yönelik belirsizliklerin en aza indirilmesi, tesis sayı ve yerlerinin belirlenmesi, tesisler arası uygun ürün akış miktarlarının ortaya çıkarılması kararlarının stratejik anlamda iyi planlanması gerekmektedir. Tersine Lojistik Ağ Tasarımı başlığında ele alınan tesis yeri seçim ve ürün atama kararlarının başarılı olması neticesinde organizasyonlar hem ekonomik anlamda hem de kurumsal olarak çevreye ve topluma sundukları fayda sonucu kurum imajlarına sağlayacakları katkı bakımından büyük kazançlar elde edeceklerdir. Aynı şekilde ürün geri dönüşlerindeki belirsizliklere yönelik geliştirilen karar destek sistemleri ile gelecek döneme ait ürün geri dönüş miktarları gerçeğe mümkün olan en iyi yakınlıkla tahmin edilebilecek ve geri kazanım faaliyetlerine yönelik etkin planlamalar gerçekleştirilebilecektir. Tüm bu süreçlerin başarılı olması ve ivme kazanmasında yasal yaptırımların rolü çok belirleyicidir. Türkiye'de yakın dönemde belirli ürün grupları atıklarına yönelik yönetmelikler devreye girecektir.

Bu çalışmada, elektronik atık yönetiminde tesis yeri seçim ve atama konusuna yönelik matematiksel modeller önerilmiştir. Mevcut dönem yani yönetmeliğin uygulanmaya başlanmadığı döneme ait ve uygulanacağı varsayılan gelecek döneme ait durumlar için iki ayrı model önerisinde bulunulmuştur. Mevcut dönem için önerilen modelde, amaç fonksiyonu olarak sadece maliyet minimizasyonu geliştirilmiştir. Modelde yer alan geri dönüş miktarı belirsizliği için, istatistiksel metotlardan çok daha başarılı sonuçlar verdiği bilinen Yapay Sinir Ağları metodundan faydalanılmıştır. Bu metodun uygulanması sonucu elde edilen geri dönüş miktarları, önerilen modeldeki geri dönüş miktarı parametresi verileri olarak modele dâhil edilmiştir. Gelecek dönem için önerilen çok amaçlı modelde, amaç fonksiyonu olarak sürdürülebilirlik yaklaşımındaki üç temel kriter dikkate alınmış ve bu nedenle maliyet minimizasyonunun yanı sıra, çevresel etki minimizasyonu ve sosyal fayda maksimizasyonunu amaçları da modele dahil edilmiştir. Modeldeki geri dönüş miktarı belirsizliği için, yönetmeliğin belirlediği kişi başı yıllık geri dönüş miktarı

hedef değerleri dikkate alınmıştır. Tüm modeller Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama'ya uygun olarak geliştirilmiş ve modellerin czmnde GAMS 21.6-CPLEX 9 programından yararlanılmıştır. Modellerin geğerliliğin sınanması için uç değer analizi yönteminden faydalanılmış, geri dönüş miktarı ve kapasite değerlerinin değişmesi halinde modellerin optimum sonuçlarında meydana gelecek değişikliklerin ortaya çıkarılması için duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Tez alışması, Tersine Lojistik faaliyetlerinde yer alan aktörler ve Tersine Lojistik Ağ Tasarımı konusunda alışma yapmak isteyen araştırmacılara yönelik nerilerle son bulmaktadır.

A MODEL FOR SUSTAINABLE APPROACH IN REVERSE LOGISTICS NETWORKS: A CASE STUDY IN ELECTRONIC WASTE SECTOR

SUMMARY

Due to the raising environmental consciousness, companies and researchers have begun to attach more importance to product return. The forces such as regulation pressure, profit advantage, the necessity of strengthening green image and social responsibility make firms develop strategies on sustainability and integrate sustainable systems to their own systems. Process of product return and recovery of returned products are disciplined by the management approach named as Reverse Logistics. In general, Reverse Logistics can be defined as a business strategy that acts as the driving force of putting recovery activities in action effectively in order to increase sustainability.

The most important reasons of growing interest to Reverse Logistics is environmental protection regulations. Many regulatory initiatives have been developed imposing certain responsibilities and environmental obligations on original equipment manufacturers, suppliers, municipalities and customers. For instance, the European Union with its Directives 2002/96/EC and 2002/95/EC regarding the waste electrical and electronic equipment has imposed strict obligations in order to increase the recycling of electrical and electronic equipments by enforcing producers to be responsible for taking back the products and reprocessing them. Even though Reverse Logistics has been widely recognized in many developed countries, it is still fairly a new approach for many developing countries. In Turkey, with the effect of the waste electrical and electronic equipment directive which will come into force in the near future, it is expected that Reverse Logistics of electronic wastes will become an exponentially growing issue in both scientific and business environment.

Looking at all problem areas available in the Reverse Logistics literature, it is seen that the topics range from strategic decisions to tactical and operational decisions. Optimization of logistic networks generated for facility location and allocation problems is one of the most commonly studied topics in Reverse Logistics Network Design problem area. The solution of optimization models mostly becomes optimal for any particular scenario that all parameters are known or assumed as known. However in real, the complexity of these kinds of problems increases due to high uncertainty in quantity, quality and time parameters of product returns. This situation makes development of processes for decreasing uncertainty complicated. Therefore it becomes critical to develop a decision making approach for forecasting product return amount which is used in the optimization model as a parameter. An effective forecasting system could decrease uncertainty and give chance to decision makers have more realistic future directions by evaluating the results.

In the scope of these necessities, this study proposes two quantitative optimization models which are formulated and evaluated for existing system (the waste electrical and electronic equipment directive is not carried out: Model 1) and future system (the waste electrical and electronic equipment directive is carried out: Model 2) separately in order to see what kind of changings will happen if the directive comes into force. Both of models are general, multi echelon (collection points – collection centers – recycling centers – disposal centers/refineries/material suppliers), multi product, capacity constrained, a particular time period Reverse Logistics network optimization model.

Model 1 refers the current situation of recycling activities in Turkey. Therefore, the model is built by excluding situations resulted from complying with electrical and electronic equipments directive. Model 1 decides on opening the collection and recycling centers, and allocation of products/materials between centers by aiming the minimization of the total cost of the selected network. In order to decrease uncertainty of product return amount, a decision making approach by using Artificial Neural Network systems is improved. Artificial Neural Network system comprises of three main layers: input, hidden and output layers. Input layer includes factors affecting output layer. Output layer includes the values which will be forecasted. For defining the input layer values of Model 1, the most important factors affecting product return amount are defined by literature search and conducting interviews with managers as the following: *take back price, population density, income, product category, investment on environment, electronic waste quantity*. These factors are used as input factors of Artificial Neural Network system. Product return amount refers to output layer values. As a next step, it is necessary to decide on the number of hidden layers and neurons at each hidden layer. The successful accomplishment of this step directly affects the success of Artificial Neural Network system development. By training many networks with different hidden layer and neurons combinations, the best structure which has the minimum generalization error is found. The results are used in the optimization model as return amount data. On the other hand, in Model 2, it is assumed that electrical and electronic equipments directive comes into force in practical, and responsibilities are fulfilled by all actors in the chain. Similar with Model 1, Model 2 decides on opening the collection and recycling centers, and allocation of products/materials between centers, but it does not only aim the minimization of the total cost of the selected network, but also minimization of environmental risk and maximization of social benefit. Model 2 is proposed as a multi objective mathematical model which take requirements of sustainable economy into account. As directive imposes, 4 kg electronic waste which is collected per inhabitant is taken into consideration as data of product return amount.

The proposed models are generalizable and flexible to solve larger problems. The models are illustrated through a recycling center in Turkey. Recycling centers have an important role at Reverse Logistics networks. They are responsible for taking out legal licenses from ministry and using appropriate technologies and techniques for recycling operations. Unless appropriate technologies and techniques are used, hazards for environment and health could increase and recycling of wastes could be done mostly by unskilled labour. Moreover, most of original equipment manufacturers operate Reverse Logistics activities by collaborating with recycling firms. It is clear that the role of recycling centers is significant for fulfillment of an effective Reverse Logistics network. Therefore, in this study, case study is carried

out with the data of the waste electrical and electronic equipment collection and recycling facility which operates in İzmit-Turkey. The selected facility is the first licensed recycling firm built in Turkey. It has the highest market share as a recycling firm in this sector. The most of recycled e-wastes are monitors, televisions and information technology/telecommunication equipments. The facility is in collaboration with municipalities, distributors and original equipment manufacturers for collection of used or scrapped electrical and electronic equipments. In the network of the recycling firm, there are collection points (municipalities, original equipment manufacturers, distributors), existing and alternative collection and recycling center locations, and disposal centers, material suppliers and refinery centers.

Strategically, the firm plans to extend its recycling operations to different locations in Turkey. For that reason, alternative locations are discussed in negotiations with related entities of municipalities. The managers determined some alternative locations for collection and recycling centers. The alternative locations for collection centers determined by managers are; Tekirdağ, Erzurum, Antalya, Kayseri, Diyarbakır and Zonguldak. The alternative locations for recycling centers determined by managers are Ankara, İzmir, Adana and Samsun. An effective network design process is followed that will lead to select the best locations and allocations with the aim of minimum cost for Model 1; minimum cost, minimum environmental risk and maximum social benefit for Model 2.

All necessary data related to parameters and constraints are provided by the facility. The proposed models are optimized with Mixed Integer Linear Programming. It is coded in GAMS (general algebraic modeling system) CPLEX solver. In the future, it is expected that the return quantity of e-wastes will increase after the waste electrical and electronic equipment directive comes into force. In order to explore the effect of product return amounts on the results, sensitivity analysis is proposed for both of models. One more sensitivity analysis is also conducted in order to reveal if the defined capacities are enough for the system.

The results of Model 1 indicate that the cost of the network is 19172958.64 \$ under the given conditions. The existing collection and recovery centers at İzmit are not closed. Additionally, one collection center at Kayseri and recovery center at Ankara should be opened. In sensitivity analysis phase, the model is run for decreasing capacities of all collection and recovery centers from 1% to 7%. It is evident that the total cost converges with decreasing volume. Also, when the capacities are decreased more than 7%, the model gives infeasible solution. That means if the capacities decreased to 7%, the new centers should be open for recycling of existing products. In order to explore the effect of return amounts on the results, a sensitivity analysis is proposed. The model is run for increasing return amounts of all collection points from 5% to 10%. It is evident that the total cost converges with increasing volume. Also, when the amounts are increased more than 10%, the model gives infeasible solution. That means if the return amount is increased to 10%, the new centers should be open for recycling of total products.

The results of Model 2 indicate that the cost of the network is 92273125 \$ under the given conditions. The existing collection and recovery centers at İzmit are not closed. Additionally, collection centers at Kayseri, Tekirdağ, Antalya and Diyarbakır; and recovery centers at Ankara, İzmir, Adana and Samsun should be opened. In sensitivity analysis phase, the model is run for decreasing capacities of all collection

and recovery centers from 10% to 40%. It is evident that the total cost converges with decreasing volume. Also, when the capacities are decreased more than 40%, the model gives infeasible solution. That means if the capacities decreased to 40%, the new centers should be open for recycling of existing products. In order to explore the effect of return amounts on the results, a sensitivity analysis is proposed. The model is run for increasing return amounts of all collection points from 10% to 70%. It is evident that the total cost converges with increasing volume. Also, when the amounts are increased more than 70%, the model gives infeasible solution. That means if the return amount is increased to 70%, the new centers should be open for recycling of total products.

1. GİRİŞ

Günümüzde firmalar, ekonomik performanslarını arttırmanın yanı sıra sosyal sorumluluk alanında da rekabet gücünü arttıran stratejiler belirleme yolunu tercih etmektedirler. Ağır sanayi kuruluşlarından hizmet sektöründeki kuruluşlara kadar tüm şirketlerde, dünyadaki iklimsel değişiklikler, nüfus artışları, hızlı kentleşme ve doğal kaynakların azalmasının bir sonucu olarak, kaynakların ve/veya üretilen ürünlerin etkin ve tekrar kullanılmasına yönelik çalışmalara olan ilgi de artmaya başlamıştır. Bu durumun oluşmasında kuşkusuz, müşterilerin tercih yaparken, firmaların çevresel duyarlılık derecelerini de dikkate alarak karar vermelerinin ve giderek artan yasal yaptırımların etkisi de büyüktür. Sosyal sorumluluk anlamında çevreye duyarlılığı benimseyen firma yöneticileri ve bu konu ile ilgilenen araştırmacılar açısından, zamanla eskiyecek kullanılamayacak hale gelen veya yaşam döngüsünün özellikle son aşamalarında olan ürün ya da bileşenlerin nasıl yeniden değerlendirilebileceği konusu, önemli bir problem olmaya başlamıştır. Bu ilgiye paralel olarak, bir ürünün ya da bileşenin müşterilerden alınarak tekrar yeni müşterilere kazandırılması sürecindeki fiziksel akışla ilgili olan tersine lojistik kavramı, gerek iş dünyasında gerekse akademik alanda oldukça rağbet görmeye başlamıştır.

Tersine Lojistik (TL); ürün geri dönüşlerini, kaynak azaltımını, geri dönüşümü, malzeme değişimini, malzemelerin tekrar kullanımını, atıkların elden çıkarılmasını, tamir faaliyetlerini, onarımı ve yeniden imalatı içeren (Richey ve diğ, 2005) ve bilinçli müşteri talebinin arttırılması ile firmalara “yeşil imaj” sağlayan bir anlayıştır (Demirel ve Gökçen, 2008a). Tersine lojistikte geri dönen ürünlerin uygunluğu/kabulü, geri dönen ürünlerin nakliyesi, geri dönen ürünlerin denetimi, geri dönen ürün üzerinde işlem yapılması ve geri dönecek ürünlerin nereden geleceklerine, nasıl toplanacaklarına yönelik bilgi toplama işlemleri yer almaktadır (Skinner ve diğ, 2008). Tersine lojistik kapsamında ele alınan bu işlemlerin etkin bir biçimde tasarlanması için, lojistik ağında hangi ürün, bileşen ve işlemlerden ne miktarlarda yer alacağına karar verilmesi ve tüm maliyetlerin dikkate alınarak

demontaj, toplama ve dağıtım merkezleri gibi merkezlere olan ihtiyacın belirlenmesi, merkezler arası ürün ve/veya bileşen akışının optimize edilmesi problemlerine çözüm üretilmesi gerekmektedir. Bu problem, literatürde tersine lojistik ağ tasarımı (TLAT) problemi olarak tanımlanmaktadır. Bir TLAT probleminin etkin bir şekilde çözümlenebilmesi için, tersine lojistikte en sık karşılaşılan belirsizliklerden biri olan ürün geri dönüş miktarı belirsizliğinin giderilmesi gerekmektedir. Ürün geri dönüş miktarlarının belirsizliğinin giderilmesinde kullanılabilecek yöntemlerden biri, geçmiş dönem verilerinden faydalanılarak geliştirilen Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemidir. YSA, insan beyninin çalışma prensibinden esinlenerek geliştirilmiştir. Ağırlıklandırılmış bağlantılar ile birbirine bağlanan proses elemanlarından meydana gelen paralel ve dağıtık bilgi işleme yapılarından oluşmaktadır. YSA'nın temelinde, deneyimlerden (tecrübelerden) yararlanarak öğrenebilme özelliği yatmaktadır. Böylece YSA, yeni değerlerle karşılaştığında, öğrenme sırasında girdilere atanan ağırlıkları işlemde geçirerek çıktı değerlerine ulaşır. Geçmiş verilere dayanarak oluşturulan YSA ile, geri kazanımı gerçekleştirilecek ürünlerin miktarının belirlenmesi gibi temel problemlere çözüm sağlanabilir.

Bu çalışma, tersine lojistik ağlarının açık çevrimli yapı içerdiği durumlar için, elektronik atık yönetiminde, ürün geri dönüş miktarı tahminine yönelik karar destek sistemi oluşturma ve tesis yeri seçim ve atama konusuna yönelik matematiksel modelleri kapsamaktadır. Bu çalışma ile, çevresel yönetmeliklerinin etkisinin olmadığı durumlardaki ürün geri dönüşlerine yönelik belirsizliklerin en aza indirilmesi için ilgili yazında yer alan modellere alternatif bir sistem geliştirerek ekonomik hedeflere yönelik matematiksel model geliştirmek, ve çevresel yönetmeliklerin yaptırımlarının etkileri göz önüne alınarak ekonomik, çevresel ve sosyal hedefleri gözetken ve geri dönüşüm ve toplama tesislerinin sayı ve yerlerinin belirlenmesi, tesisler arası uygun ürün akış miktarlarının ortaya çıkarılmasına yönelik bir matematiksel model geliştirmek amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada, ilk olarak Türkiye'deki e-atık sektörünün mevcut durumuna uygun olarak, ürün miktarı tahminine yönelik YSA modelini içeren tek amaçlı, çok ürünlü, çok aşamalı, kapasite kısıtlı bir TLAT modeli önerilmiştir. Bu modelde yer alan amaç fonksiyonu, sadece ekonomik performansa yönelik olup maliyet minimizasyonu şeklinde tanımlanmıştır. Oluşturulan bu temel modelin, pazarda beklenen değişimler sonrasında yetersiz kalacağı öngörülmüştür. Bu nedenle, bu

modele ek olarak, e-atık sektöründeki aktörlere ciddi sorumluluklar getirecek olan ve yakın gelecekte uygulamaya geçirilmesi beklenen “Atık Elektrikli Elektronik Eşyaların (AEEE) Kontrolü Yönetmeliği”nden sonraki süreç için, çok amaçlı, çok ürünli, çok aşamalı, kapasite kısıtlı ve sürdürülebilirlik yaklaşımına yönelik bir TLAT modeli önerilmiştir. İkinci modelde, yönetmeliğin devreye girmesiyle sürdürülebilirlik kavramının gerekleri olan ekonomik performans, çevresel performans ve sosyal performans göstergelerinin de dikkate alınmaya başlanacağı düşünülmüştür. Bu nedenle modelde maliyet minimizasyonu amacının yanı sıra, karbon dioksit emisyonu miktarını en küçükleyen ve sağlanan işgücü katkısını en büyükleyen toplam üç amaç bulunmaktadır. Stratejik kararlar alınırken, pazarda beklenen mikro ve makro değişimlerin de dikkate alınarak karar verilmesinin gerektiği gerçeği göz önüne alındığında, ikinci modelin çıktılarını değerlendirmenin daha uygun olacağı açıktır. Uygulamada her iki modelin de sonuçları karşılaştırılmış ve yönetmeliğin devreye girmesi sonucunda amaç ve kararlarda ne gibi değişiklikler olacağına dair görüşler, tahmini olarak ortaya çıkarılmıştır.

Modeller geliştirilirken “tersine lojistik”, “tersine lojistik ağ tasarımı”, “ürün geri kazanımı” ve “yeşil tedarik zinciri” literatüründen faydalanılmıştır. Modellerin uygulaması, Türkiye elektronik atık (e-atık) geri dönüşüm sektöründe gerçekleştirilmiştir. Bu modeller ile, açık olan toplama ve geri dönüşüm merkezlerine yönelik devam etme ya da kapama kararı verilmesi, potansiyel toplama ve geri dönüşüm merkezlerine yönelik açma ya da açmama kararı verilmesi ve açılan birimler arası ürün ve/veya bileşen akış miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. AEEE Yönetmeliği’nin uygulanacağı varsayılan döneme ait ikinci modelde bunlara ek olarak, birimler arası ulaşım türü kararı da verilecektir. Mevcut koşullar gözetilerek geliştirilen birinci modelde, geri dönüşüm miktarı parametresine yönelik verilerin belirsizliğini gidermede, yapay sinir sistemi geliştirilmiştir. Sayısal ve sayısal olmayan çok sayıda bağımsız değişkenin yer aldığı tahmin modellerinde istatistiksel modellere göre çok daha iyi sonuç veren yöntemlerden olan YSA metodundan faydalanılmıştır. Geri dönüş miktarına etki eden faktörler ilgili literatürden derlenerek ve uzman kişilerle görüşülerek belirlenmiştir. YSA metoduyla elde edilen tahmin miktarları, karma tamsayılı doğrusal programlama (KTDP) modeline dâhil edilmiştir. Modellerin geçerliliklerini analiz edilirken, deterministik matematiksel modellerin geçerliliğini test etmede sıkça kullanılan uç değer analizi

yönteminden faydalanılmıştır. Kullanılan parametrelerde gerçekleşen değişimlerin, optimum sonuca etkilerini görmek için ise, duyarlılık analizleri geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasının ilgili çalışma ve uygulama alanına katkıları şöyle sıralanabilir: (1) Şu ana kadar gerçekleştirilmiş TLAT çalışmalarını geniş ve sistematik bir sınıflandırma çalışmasıyla analiz etmek, (2) TLAT yazınındaki değerlendirilmemiş alanlardan hareketle, ürün geri dönüş miktarına yönelik olarak geliştirilmiş olan modellere alternatif bir tahmin modeli geliştirmek, (3) sürdürülebilirliğin üç boyutunu da (ekonomik, çevresel ve sosyal) ele alan çok amaçlı bir matematiksel model oluşturmak, (4) düzenli ve sistematik veri derleme faaliyetlerinin, verilerin karmaşık ve belirsiz nitelikte olması nedeniyle zor olduğu e-atık geri dönüşüm sektöründe gerçek verilere dayalı uygulama gerçekleştirmek. Çalışmanın sektörde yer alan karar vericilere katkıları ise (1) AEEE Yönetmeliği'nin stratejik kararlara etkisini tahmin etmek, (2) tesis yeri seçimi ve atama problemi gibi bir stratejik problemin çözümüne yönelik geniş kapsamlı ve ilgili sektörde genelleştirilebilir, farklı zamanlarda da uygulanabilir yardımcı bir karar verme metodolojisi geliştirmek. Bu çalışma ile ürün geri dönüş miktarının ilk defa YSA ile tahmini geliştirilmiş, daha önce kullanılmayan “iş gücü artış oranı” hedefi, sosyal amaç olarak modele dâhil edilmiş, Türkiye'deki AEEE Yönetmeliği'nin tesis yeri yerleşim yeri seçimi ve atama kararlarına etkisi ele alınmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde tersine lojistik ve TLAT üzerine genel kavramlar incelenmiştir. Üçüncü bölümde, sadece matematiksel modellemeye dayalı TLAT problemlerini içeren ilgili literatürün detaylı incelemesi yapılmıştır. Dördüncü bölümde TLAT problemlerinde kullanılan yöntemlere dikkat çekilmiştir. Beşinci bölümde, geliştirilen metodoloji ve model tanıtılmıştır. Altıncı bölümde uygulama gerçekleştirilmiş, yedinci bölümde uygulamaya yönelik tartışma konuları ele alınmıştır. Çalışma, sonuçların değerlendirilmesi ve öneriler ile son bulmaktadır.

2. TERSİNE LOJİSTİKTE GENEL KAVRAMLAR ve TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI

2.1 Tersine Lojistikte Temel Kavramlar

Tersine Lojistik (TL) kavramı hem teorik hem de pratik anlamda farklı biçimlerde tanımlanmakta ve bu nedenle kavram karmaşasına yol açabilmektedir. Literatürde, tersine lojistik kavramının tanımına yönelik olarak tam bir uzlaşma sağlandığı söylenemez (Fleischmann ve diğ, 2000). “Yeniden kullanım” ifadesi tersine lojistik yerine kullanılan genel bir terim olarak ele alınabilir; fakat önemli olan malzeme geri kazanımı (geri dönüşüm) ve katma değerli geri kazanım (onarım, yeniden imalat vb.) kavramlarının farklı olduğunun bilinmesidir. Ayrıca, tersine lojistik kavramının, atık yönetimi ve yeşil tedarik zinciri kavramlarından farklı bir kavram olduğu unutulmamalıdır (De Brito ve Dekker, 2004).

Tersine lojistik kavramı üzerine yapılan ilk tanımlamalardan birisi, Lambert ve Stock (1981) tarafından yapılmıştır (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001). Bu tanımda, tek yönlü bir sokakta ürünlerin ters yönde gitmesi, tersine lojistik olarak ifade edilmiştir. Bir başka görüşe göre ise Murphy, tersine lojistik tanımını ilk kullanan kişidir ve “dağıtım yolları içerisinde tüketiciden üreticiye doğru ürünlerin hareketi”ni tersine lojistik olarak adlandırmıştır (Ravi ve diğ, 2006). 1990’lı yılların başında Lojistik Yönetimi Konseyi (Council of Logistics Management), tersine lojistiği şöyle tanımlamıştır: “Geri dönüşüm, atık bertarafı ve zararlı malzemelerin yönetiminde lojistiğin rolü, daha geniş anlamda kaynak azaltımı, geri dönüşüm, malzeme ikamesi, malzemelerin yeniden kullanımı ve bertarafı”. Kopicky ve diğ. (1993), bu tanıma benzer olarak tersine lojistiği, ürün ve bilginin normal lojistik faaliyetlerinin tersine hareketine neden olan tersine dağıtım şeklinde ele almışlardır (De Brito ve Dekker, 2002). 1998’de Stock, tersine lojistiğin tanımını “ürün dönüşleri, kaynak azaltımı, geri dönüşüm, malzeme ikamesi, malzemelerin yeniden kullanımı, atıkların bertarafı ve yenilenmesi, tamir ve yeniden üretimi aşamalarında lojistiğin rolü” olarak daha kapsamlı bir kavram olarak ele almışlardır (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001). Hu ve diğ. (2002)’ne göre tersine lojistik, “atıkların yeniden kullanım ya da tamamen

bertarafı (imha edilmesi) için gerçekleştirilen ve planlama, yönetim ve kontrol aşamalarını içeren bir lojistik yönetim süreci”dir. Dowlatsahi (2010)’ye göre ise, ürün ya da parçaların olası geri dönüşüm, yeniden imalat ya da bertaraf işlemlerine dâhil edilmek üzere, tüketim noktalarından sistematik bir şekilde geri alınması sürecidir. En çok kullanılan ve bilinen tanımlardan biri, Avrupa Tersine Lojistik Çalışma Grubu’nun yaptığı tanımdır: “Tersine lojistik, süreç içi envanter ya da nihai ürünün, üretim, dağıtım ya da kullanım noktalarından geri dönüşüm ya da bertaraf noktalarına akışının planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi sürecidir” (De Brito ve Dekker, 2004).

Ürün geri kazanım yönetimlerinin amacı, olabildiğince çok ekonomik ve ekolojik değeri geri kazanmak, böylece atık miktarını azaltmaktır (Fleischmann ve diğ, 1997, Thierry ve diğ, 1995). Tersine lojistiğin kapsamı; hangi atıkların, hangi sebeplerle, hangi faaliyetlerden faydalanılarak ve kimler aracılığıyla tersine lojistik sürecine dâhil edileceği konuları üzerinden değerlendirilmektedir.

2.1.1 Ürünlerin tersine lojistik sürecine dâhil olma nedenleri ve tersine lojistikte itici güçler

Ürünlerin geri dönüşü; üretim sürecinden, dağıtım sürecinden ya da müşteriden kaynaklı olabilmektedir. Üretim süreci kaynaklı geri dönüşler genellikle; hammadde fazlalığından, kalite kontrolden gelen dönüşlerden ya da üretim fazlalıklarından kaynaklanmaktadır. Dağıtım süreci kaynaklı geri dönüşler, ürünlerin geri toplanması, B2B (şirketlerarası) ticari dönüşler (satılamayan ürünler ya da hasarlı teslimatlar nedeniyle), stok düzenlemeleri, fonksiyonel dönüşler (dağıtım parçaları, taşıyıcılar, paketler) şeklinde olmaktadır. Müşteri kaynaklı geri dönüşler ise, B2C (işletmeden tüketiciye) ticari dönüşler (geri ödeme garantisi), garanti dönüşleri, hizmet dönüşleri (onarım, yedek parça), kullanım ömrü tamamlanmış ürün dönüşleri, yaşam sonuna gelmiş ürün dönüşleri şeklinde olmaktadır (De Brito ve Dekker, 2004).

Şirketlerde genellikle risklerin azaltılması, iş süreçlerinin yeniden organize edilmesi ve maliyetleri düşürme çerçevesinde ele alınan bir “yeşil”leşme anlayışı hakimdir. Fakat “yeşil”leşme, ancak firma stratejilerinin ya da teknolojik gelişmenin bir parçası haline geldiğinde birçok avantaj sunmaktadır (Hart, 1997). Firmalar açısından rekabeti arttırıcı çok önemli bir faaliyet olan değer kazanımı, son kullanıcılar yani tüketiciler açısından ise, özellikle de yukarıda belirtilen nedenlerle ürünlerin geri

iadesinin söz konusu olduğu durumlarda önem kazanmaktadır. Örneğin müşteriler, aldıkları hediyein beğenilmemesi ya da internet üzerinden aldıkları ürünlerin kullanımlarına uymaması durumlarında, ürünün geri iadesini yani satıcı firma tarafından alınmasını önemsemektedirler (Skinner ve diğ., 2008). Aynı şekilde televizyonda pazarlanan ürünlerde, sipariş üzerine alınan ürünlerde ve perakendeciden alınan ürünlerde, müşteriden geri dönmeler söz konusu olmaktadır (AME, 2007). Bu ürün ya da bileşenler, tedarik zincirine yeniden alınarak bazı işlemlerden geçirilmektedir. Ürünler tamir edilerek, yenilenerek, yeniden imal edilerek, geri dönüştürülerek ya da bunlardan birkaçı kullanılarak tekrar kazanılır, kazanılamıyorsa yok edilme yoluna gidilir. Kimi dönen ürünler ise ihtiyacı olan yerlere bağış yapılarak verilir (Demirel ve Gökçen, 2008b).

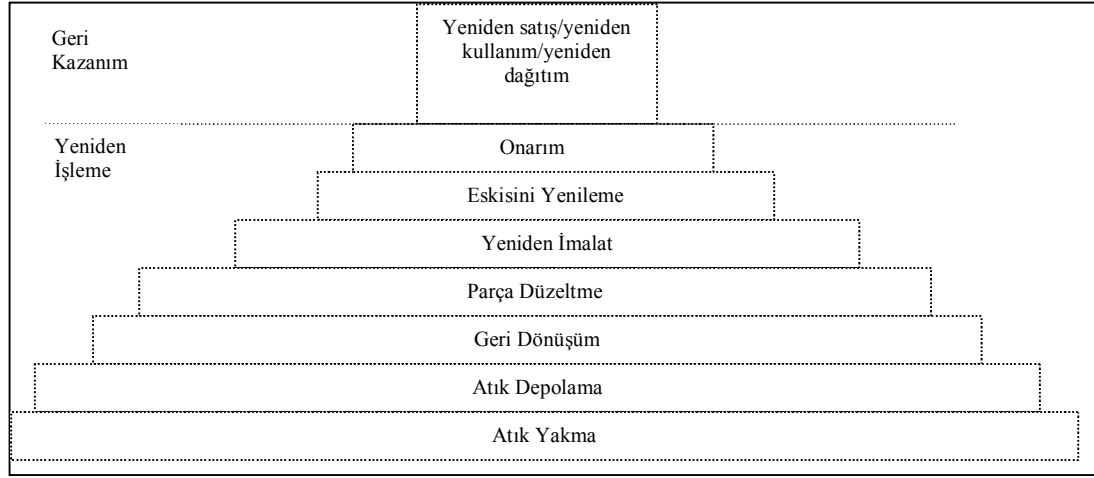
Tersine lojistiğin büyük önem taşıdığı ülkelerde olduğu gibi tüm dünyada geri kazanıma verilen önemin artışında üç önemli etken olduğu söylenebilir. İlki, hızla artan çevresel kanun düzenlemeleri, ikincisi müşterilerin geri kazanımlı ürünlere olan duyarlılıklarının artması, üçüncüsü ise firmaların geri kazanım stratejilerinden yararlanarak kâr kaynaklarını daha çok arttırmalarıdır (AME, 2007). Benzer bir şekilde De Brito ve Dekker (2004) de tersine lojistik seçim nedenleri bu kapsamda, üç kritere ayırmışlardır: ekonomik kriterler, yasal kriterler ve kurumsal vatandaşlık kriterleri.

2.1.2 Tersine lojistik geri kazanım faaliyetleri

Tersine lojistikte, geri dönen ürünlerden değer yaratılırken pek çok faaliyetten yararlanılmaktadır. Firmaların ağırlık vereceği geri kazanım işlemleri hangi stratejinin benimsendiğine göre değişecektir. Bir firmanın hedefi, tersine lojistiği garanti kapsamındaki müşteri hizmetleri için kullanmak veya geri dönen parçaları ya da ürünleri almak ise; toplamak, depolamak ve teslimat önemli hale gelecektir. Eğer ana hedef daha çevresel ise, örneğin atıkları ıslah etmekse, sınıflandırma yapmak, parçaların tekrar ileri tedarik zincirine dâhil etmekten daha önemli hale gelecektir (Meade ve Sarkis, 2002).

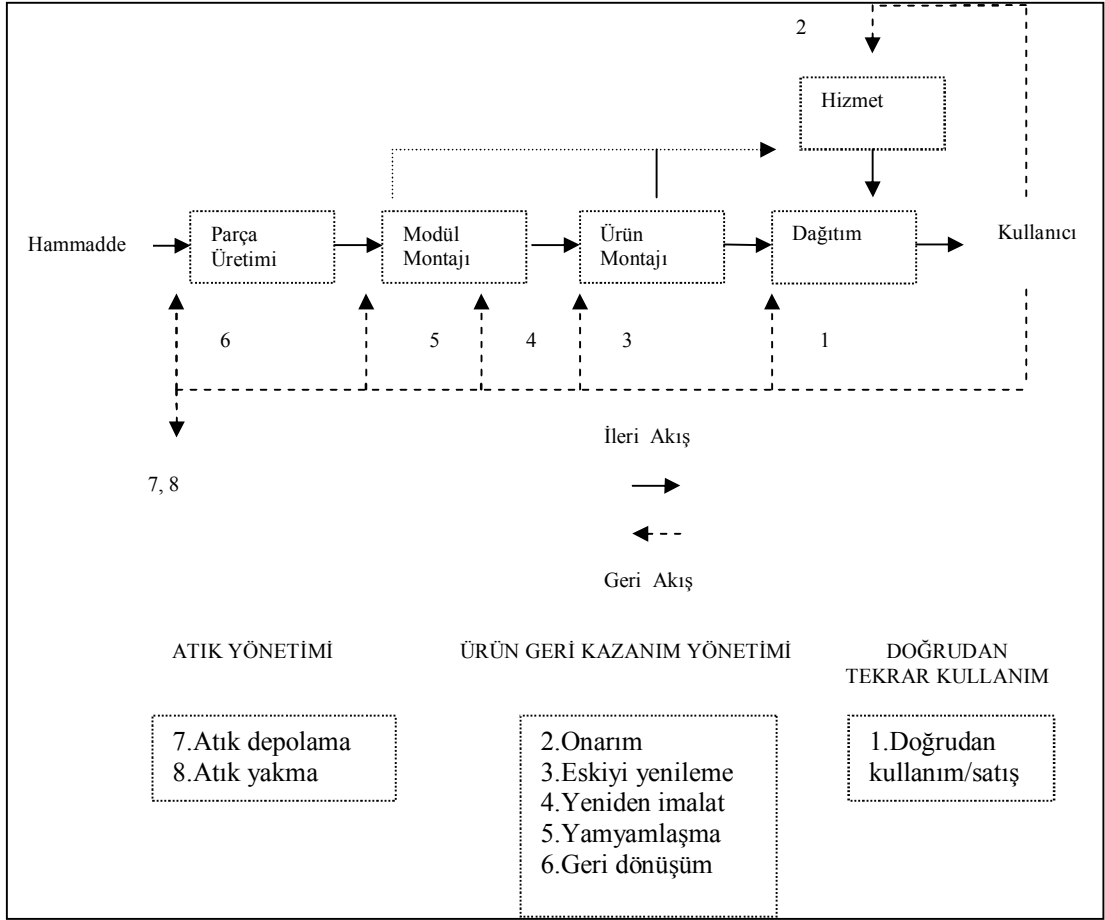
Ürünler herhangi bir işlem yapılmadan doğrudan kullanılabilirdiği gibi (örneğin şişe, palet, konteynır gibi ambalaj ürünleri), yeniden bir işleme tabi tutularak da kullanılabilir hale getirilmektedir (Fleischmann ve diğ., 1997). Yeniden işleme süreçlerinde yer alan faaliyetler, ürün seviyesi (yeniden onarım), modüler seviye

(eskisini yenileme), bileşen seviyesi (yeniden imalat), seçici parça seviyesi (parça düzeltme), malzeme seviyesi (geri dönüşüm) ve enerji seviyesi (atık yakma) gibi farklı seviyelerde gerçekleşmektedir (De Brito ve Dekker, 2004) (Bkz. Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Tedarik zincirinde geri kazanım piramidi (De Brito ve Dekker, 2004).

Thierry ve diğ. (1995)' e göre ise, bu seviyeler altında gerçekleştirilen geri kazanım faaliyeti seçenekleri: kullanım (ve yeniden satış) ve ürün geri kazanım yönetimi (onarım), eskiyi yenileme, yeniden imalat, yamyamlaşma, geri dönüşüm ve atık yönetimi (atık yakma) ve düzenli depolama şeklinde sınıflandırılmaktadır (Bkz. Şekil 2.2). Geri kazanım çeşitleri, demonte edilme seviyeleri ve beklenen kaliteye göre belirlenmektedir (Fleischmann ve diğ, 1997).



Şekil 2.2 : Entegre tedarik zinciri (Thierry ve diğ, 1995).

Onarım işlemi yapılan ürünler, genellikle yeni üründen daha az kaliteli olmaktadır. Ürün üzerindeki onarımlar genellikle hasarlı parçaların değiştirilmesi ya da yenisinin takılması şeklinde gerçekleşmektedir. Diğer parçalar üzerinde bir değişiklik olmamaktadır. Çok sınırlı sayıda demonte işlemi gerektirir. Müşterinin bulunduğu yerde ya da üreticinin onarım merkezlerinde gerçekleştirilir (Thierry ve diğ, 1995). Hasarlı ürünlerin tekrar işlevsel hale gelmesi için işlem yapılması, onarım olarak adlandırılır (Fleischmann ve diğ, 1997).

Eskisini yenileme, kullanılan ürünlerin belirli bir kalite seviyesine yükseltilmesini hedefler. Kalite standartları, yeni ürün kalitesine göre daha az yoğundur. Tüm kritik modüller kontrol edilmekte, düzeltilmekte ya da yerleri değiştirilmektedir. Parçaların, teknolojik olarak daha kaliteli olanlarıyla yerlerinin değiştirilmesi söz konusu olmaktadır. Askeri ve ticari uçaklar bu işlemlere örnek olarak gösterilebilir (Thierry ve diğ, 1995).

Yeniden imalat, yeni ürün ile aynı kalitede olmaya yönelikken, eskiyi yenileme işlemi aynı kaliteye ulaşmayı hedeflemez (De Brito ve Dekker, 2004). Yeniden

imalatta, ürün tamamıyla demonte edilmekte ve tüm parçalar kontrol edilmektedir. Çalışmaz durumdaki parçalar yenileriyle değiştirilmektedir (Thierry ve diğ, 1995). Yeniden imalat, ürünlerin yeni ürün kalitesi ve teknik performansı ile aynı olacak şekilde işlem gördüğü geri kazanım seçeneğidir. Kullanılan ürünün “yeni gibi” olması için, demonte ve kontrol süreçleri geliştirilmelidir. Yeniden imalatı gerçekleştirilen ürünlere örnek olarak; otomobil parçaları, medikal gereçler, bilgisayar parçaları, lastikler, fişekler, büro mobilyaları vb. ürünler gösterilebilir (Demirel ve Gökçen, 2008a). Bir yeniden imalat süreci demonte ve muayene faaliyeti ile başlar. Sonraki adımda bileşenlerin yerlerinin değişimi ya da onarımı gerçekleştirilir. Aynı zamanda ekipmanın genel yapısı, yeni parçaları ve onarılan parçaları kabul edebilir hale getirilmek üzere modifiye edilmelidir. Yeniden imalat süreci, daha sonra montaj ve son muayene ile tamamlanır. Yeniden imalat işlemlerini kontrol etmenin güçlüğü, her bir işlemin değişken doğasından ileri gelmektedir. Her bir bileşen için yöneticiler ve teknik ekip, onarım ya da yok etme kararı almaktadır.

Yamyamlaşmada, ürünün sadece çok küçük bir kısmı değerlendirilir. Kullanılan ürün ya da bileşendeki yeniden kullanılabilir parçalar alınır (Thierry ve diğ, 1995).

Geri dönüşümde, ürün ya da bileşenin işlevsellik özelliği yitirilmektedir. Amaç, kullanılan ürün ya da bileşenin malzemesini yeniden kullanmaktır (Thierry ve diğ, 1995). Geri dönüşüm, ürün yapısını koruma kaygısı olmadan malzeme geri kazanımını sağlamak demektir. Bu durum özellikle de ıskarta malzemeler, kâğıt, şişe, plastik vb. gibi ürünler için geçerlidir. Buna karşılık, yeniden imalatta ürün özelliği korunmakta ve ürünün “yeni gibi” olması sağlanmakta, bunun için de demonte, kontrol ve yenileme gibi işlemler yapılmaktadır (Fleischmann ve diğ, 1997). Ürün geri kazanım seçenekleri arasındaki farklılıklar, Çizelge 2.1’de görülmektedir (Thierry ve diğ, 1995).

Çizelge 2.1 : Ürün geri kazanım seçenekleri arasındaki farklılıklar (Thierry ve diğ, 1995).

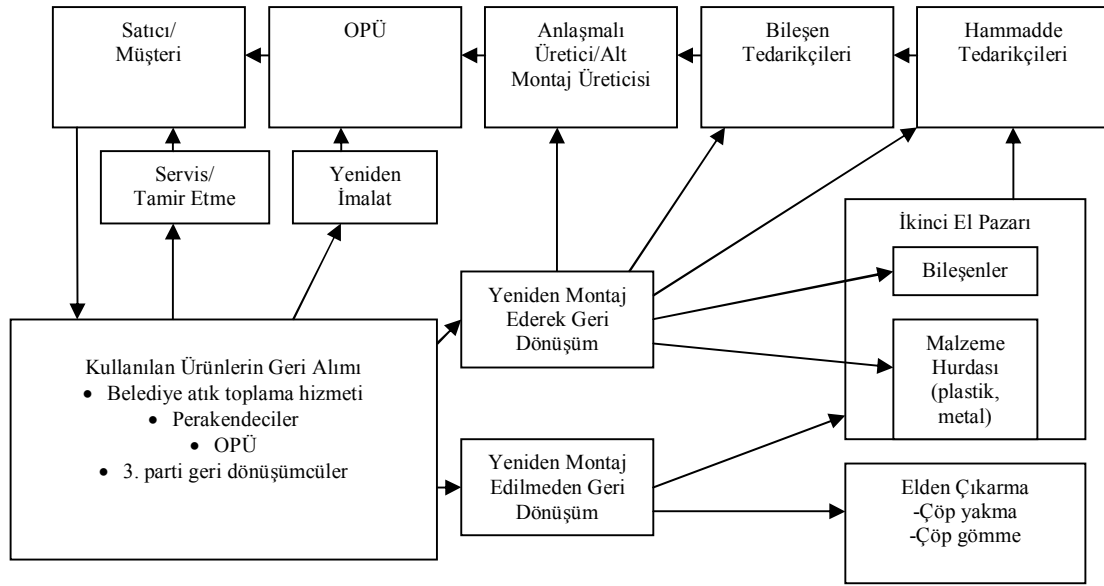
	Demonte seviyesi	Kalite gereksinimi	Son ürün
Onarım	Ürün seviyesi	Parçanın çalışmasını sağlamak	Bazı parçaların düzeltilmesi ya da yedek parçayla değiştirilmesi
Eskiye yenileme	Modül seviyesi	Tüm kritik modülleri kontrol etmek ve belli bir kalite seviyesine yükseltmek	Bazı modüllerin onarılması/yer değiştirilmesi, güncellemeler
Yeniden imalat	Parça seviyesi	Tüm modülleri kontrol etmek ve yeni ürün kalitesine ulaştırmak	Kullanılan ve yeni modül/parçaların yeni bir ürün için birleştirilmesi
Yamyamlaşma	Seçici parça düzeltme	Yeniden kullanılan parçalara bağlı süreçler	Bazı parçaların tekrar kullanımı, kalan ürünün geri dönüşümü/berterafı
Geri dönüşüm	Malzeme seviyesi	Orjinal parçaların üretimi için yüksek, diğer parçalar için düşük	Yeni parça üretimi için malzemelerin yeniden kullanımı

2.1.3 Tersine lojistikte yer alan aktörler

Tersine lojistikte temel aktörler, ürünlerin geri alımını sağlayan birimler olan belediyenin atık toplama birimleri, perakendeciler, orjinal parça üreticileri (OPÜ) ve 3. parti geri dönüşümcülerdir (Pagell ve diğ, 2007). Bir Avrupa Birliği (AB) ülkesinde, öncelikle perakendeciler aracılığıyla ürünler müşterilerden toplanır ve perakendecinin dağıtım merkezine alınır. 3. parti lojistik şirketleri tarafından, bu dağıtım merkezlerinden toplanan ürünler, işlemciye gönderilir. Ürünler burada parçalarına ayrılır ve tekrar kullanımı mümkün parçalar yeniden imalat firmalarına satılır (AME,2007). De Brito ve Dekker (2004)'e göre tersine lojistik içerisinde yer alan önemli aktörler şu şekildedir:

- İleri lojistikte yer alan aktörler (tedarikçi, üretici, toptancı, tedarikçi)
- Tersine zincirdeki özel kişiler (gündelik işçi, geri dönüşüm uzmanları vb.)
- Fırsatçı aktörler (hayırseverler vb.)

Ürünler ya da malzemeler, firmanın kendisi tarafından, diğer şirketler tarafından (örneğin tedarikçiler) ya da zincir dışındaki şirketler tarafından yeniden değerlendirilmektedir (Thierry ve diğ, 1995). Tersine lojistikte yer alan aktörler, ilgili faaliyetlerle Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Geriye doğru akışları içeren tedarik zinciri (Pagell ve diğ., 2007).

2.1.4 Tersine lojistik uygulama alanları

Tersine lojistik içerisine pek çok sanayi dalından pek çok ürün dâhil edilebilir. Tersine lojistik faaliyetlerinin daha çok; beyaz eşya, fotokopi makinası, ilaç, piller, bilgisayarlar, sağlık araçları, araç motorları, yolcu arabaları, cep telefonu, kamera, televizyon gibi ürünlerin geri kazanımında kullanıldığı görülmektedir. Kâğıt ve ambalaj geri dönüşümü, otomobil parçalarının yeniden üretiminin geçmişi daha eskilere dayanmaktadır. Son yıllarda, özellikle elektronik, içecek, ilaç sektörlerindeki ürünlerde, ürünlerin geri kazanımı konusu önemli olmaya başlamıştır (De Brito ve Dekker, 2004). Teknolojideki gelişmelerle birlikte çok kısa sürelerde bir üst modelin üretimi söz konusu olduğu ürünler için, yaşam döngüsünün son aşamasındaki alt modellerin yeniden imalatı gibi geri kazanım faaliyetlerinin uygulanması daha çok tercih edilir hale gelmektedir.

Fleischmann ve diğ. (1997)'ne göre ürünler yedek parça (makine parçaları, televizyon tüpü vb.), ambalajlar (paletler, şişeler vb.) ve tüketim malları (fotokopi makinaları, buzdolabı vb.) olarak 3'e ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma, ürünlerin ne zaman ve neden geri döndüğüne göre değişmektedir. Ambalajlara, içeriğindeki ürün teslim edildikten sonra ihtiyaç duyulmadığı için ambalajlarda geri dönüş hızlı gerçekleşmektedir. Yedek parçalar, önleyici bakım çalışmaları sonucunda dönmektedir ve genellikle yedek parçaların geri dönüşü uzun sürmekte ve hasarlı olarak geri dönmektedir. Tüketim malları ise genellikle yaşam çevrimi sonunda geri

dönmektedir. Diğer bir geri dönüş ise, kiralama sözleşmelerinin bitmesi sonucu gerçekleşen geri dönüşlerdir (Fleischmann ve diğ, 1997). Bu sınıflandırma daha da genişletilecek olursa, geri kazanıma dâhil olan ürünler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (De Brito ve Dekker, 2004):

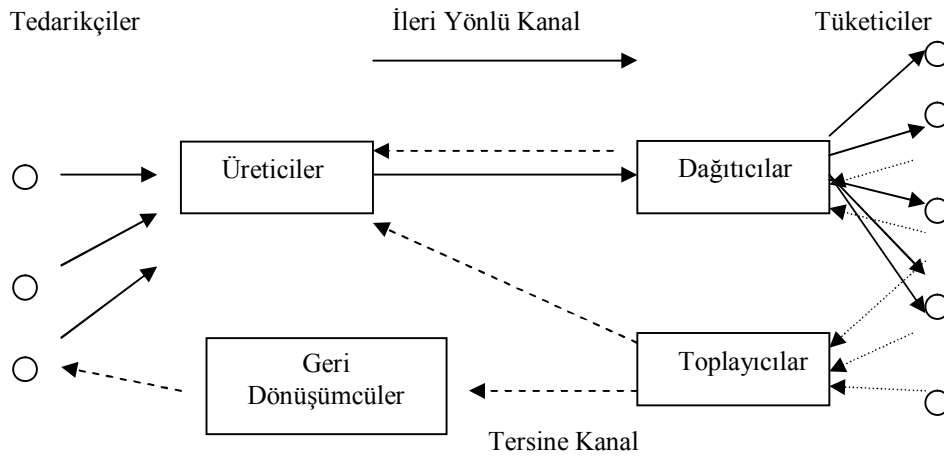
- Tüketim ürünleri (kıyafet, mobilya vb.)
- Endüstriyel ürünler (askeri ürünler vb.)
- Yedek parçalar
- Ambalaj ve dağıtım ürünleri
- İnşaat ürünleri (binalar, köprüler, yollar vb.)
- Maden, kimyasallar, petrol
- Diğer malzemeler (kâğıt, cam, hurda)

Bu tez çalışmasının uygulanacağı alan olan e-atık geri dönüşüm sektöründe yazıcı ve bilgisayar geri dönüşümü büyük önem taşımaktadır. Sürdürülebilir bir gelecek için lider olma amacı taşıdığını belirten Hewlett-Packard şirketi, doğru tasarımlarla geri dönüşüm kolaylığını arttırmayı, üretim süreçlerini iyileştirerek imalatta oluşan çevresel etkiyi en aza indirmeyi, oluşan atık miktarını azaltmayı ve uygun geri dönüşüm faaliyetleriyle uygun malzeme kazanımı sağlamayı amaçlayan bir şirkettir. Hewlett Packard ortalama 1.400 ton artık bilgisayar ve ekipmanları değerlendirmektedir (Çiftlik, 2009). 1987'den beri geri kazanım faaliyetleri uygulayan şirkete göre yazıcıların geri dönüşlerinde satış alanlarında, fazla stok tutulması, tüketicinin isteklerinin karşılanmaması ve arızalar en büyük sebeplerdir. E-atık sektöründe önemli yer tutan ürünlerden biri de fotokopi makinesidir. Xerox şirketi de her ürün tasarım sürecinde çevresel amaçları dikkate almaktadır. Şirket, eski cihazları bizzat toplayarak parçalamakta ve kullanılabilir bileşenleri yeni ürün üretiminde değerlendirmektedir. Böylelikle yeni ürünlerin maliyetini düşürmektedir. Maliyet düşüşüyle Avrupa'da sağlanan tasarrufun 65 milyon TL olmasını beklemektedir. Kullanılmış telefonların geri kazanımında öne çıkan firmalardan olan ReCellular, 1991'den beri faaliyetini sürdürmektedir ve geri dönüşüm programlarını yardımseverlik kuruluşları, perakendeciler, geri dönüşüm yapan birimler, kablosuz iletişim sanayisi ve kamusal alanlar üzerinden sürdürmektedir (Büyükoçkan, 2006). Fleischmann ve diğ. (2002)'nin ifade ettiği gibi IBM şirketi, 1998 yılında Global Asset Recovery Service (GARS) birimini kurarak tüm dünyadaki IBM geri dönüşüm faaliyetlerini yönetmeyi planlamıştır. Temel hedef, geri dönen ürünlerin

ayrıştırılması ve geri kazanımın en yüksek seviyede gerçekleştirilmesidir. GARS ile 25 tesisten ürünler toplanmakta, kontrol edilmekte ve bu ürünler geri dönüşüm faaliyetlerine atanmaktadır. 1997 yılında, 62.000 ton geri dönen ürünü değerlendirmiş ve bunların %90'ından fazlası geri dönüştürülmüş ve yalnızca %5'ten az bir kısmı gömülmüştür (Bleiwas, 2001).

2.2 Tersine Lojistik Ağ Tasarımı

Klasik bir TL ağ yapısında geri dönen ürünlerin ilk olarak bir araya getirildiği toplama merkezleri; geri kazanım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği geri kazanım merkezleri, üretim yerleri, perakendeciler, dağıtıcılar, tedarikçiler ve son tüketiciler gibi belli yürütücüler bulunmaktadır. Hangi yürütücülerin TL ağı içerisinde yer alacağı, ileri ve tersine akışın bir arada gerçekleşip gerçekleşmeyeceğine göre farklılaşacaktır. Elden çıkarılan ürün ve/veya bileşenlerin, geri kazanım faaliyetlerine dâhil edilmesi amacıyla toplama merkezlerine ya da geri kazanım merkezlerine alındığı ve ileri tedarik zincirinden bağımsız olarak kontrol edildiği ağ yapıları “açık çevrim ağ yapıları” olarak adlandırılmaktadır. Eğer ağ yapısı, ürünlerin üretilme aşamasından başlayıp ürünün son tüketiciye teslimatını ve açık çevrim ağ yapısı içerisindeki geri kazanım işlemlerini kapsıyorsa, “kapalı çevrim ağ yapıları” olarak adlandırılırlar. OPÜ’lerin, ürünlerini üretip satması ve kullanım ömrünü tamamlayan ürünleri geri toplanması için oluşturduğu ağ, kapalı çevrim ağ yapısına örnektir (Blumberg, 2005). TL ağının genel gösterimi Şekil 2.4’teki gibidir (Fleischmann ve diğ., 1997).



Şekil 2.4 : Tersine dağıtım taslağı (Fleischmann ve diğ., 1997).

2.2.1 Tersine lojistik ağ yapılarında karşılaşılan temel zorluklar

İleri lojistikte ürünlerin talep miktarı, hangi gün teslim edileceği/alınacağı ve hangi kalite düzeyinde istendiği gibi konular belirliyken, temel bir TL ağı içerisinde, ürünlerin geri dönüş miktarına, kalitesi ve geri dönüş zamanına bağlı çok sayıda belirsizlik yer almaktadır. TL ağı içerisinde yer alan aktörler pek çok önemli problemle karşılaşırlar (Meade ve Sarkis, 2002):

- Mevcut tersine süreçlerden kaynaklanan önemli kâr kayıpları
- İleri lojistik sistemlerinin, tersine lojistik sistemlerine uygun tasarlanmış olmaması
- OPÜ'lerin, tersine tedarik zincirin işlemlerini takip etme yeteneğinin olmaması
- Zor geri dönüş süreçlerinin müşteri memnuniyeti ve sadakatinin azaltması
- Envanterden yararlanmanın az olması, ürünlerin amortismanının hızlı olması (elektronik parçalarda haftada %3 oranında)
- Düşük onarım işlemlerinin hizmet anlaşmalarının karşılanma becerisini etkilemesi
- Güvenilir olmayan bilgiler ve birbirinden bağımsız bilgilere bağlı olduğundan hızlı iş kararları almanın olanaksızlığı.

Bu gibi problemler nedeniyle ileri lojistiğe göre TL'de ürün dönüş miktarı, kalitesi ve zamanına yönelik tahmin yapmak daha zor hale gelmekte, ürün kalitesi hakkında görüş bildirilememekte, fiyatlandırma pek çok kritere bağlı olarak değişkenlik göstermekte, envanter yönetiminde tutarsızlıklar oluşmakta, ürün yaşam eğrileri konusu karmaşık hale gelmekte, pazarlama ve süreç takibi zorlaşmaktadır (Tibben-Lembke, 2002).

2.2.2 Tersine lojistik ağ yapıları içerisinde ele alınan dönemsel kararlar

De Brito ve Dekker (2004)'in sınıflandırmasına göre, tersine lojistik kapsamında ele alınan konu başlıkları ve ilgili problem alanında başvuru alan temel metodoloji aşığıdaki Çizelge 2.2'de yer aldığı gibidir:

Çizelge 2.2 : Tersine lojistik kapsamında ele alınan konular (De Brito ve Dekker, 2004).

Konu Başlığı	Metodoloji	Benzer Geleneksel Modeller
1. Ürün Geri Dönüş Tahmini	Zaman Serisi Analizi	Talep Tahmin Modelleri
2. Tersine Lojistik Ağ Tasarımı	Karma Tamsayı Doğrusal Programlama, Stokastik Programlama, Sürekli Kestirim	Tesis Yeri Seçim Modelleri, Lojistik Maliyet Modelleri
3. Toplama ve Dağıtım Araçları Rotalama	Karma Tamsayı Doğrusal Programlama, Sürekli Kestirim	Araç Rotalama Modelleri
4. Geri Dönen Ürünlerin Elleçlenmesi ve Depolanması	-	Tesis Yerleşim Planı Modelleri, Sipariş Hazırlama
5. Ürün Geri Kazanımında Parça Büyüklüğü Hesaplama	Sürekli Kesitirim, Karma Tamsayı Doğrusal Programlama	Ekonomik Sipariş Miktarı, Dinamik Parça Büyüklüğü Modelleri
6. Ürün Geri Kazanımında Stokastik Stok Kontrolü	Markov Karar Süreçleri, Stokastik Optimizasyon	Stokastik Envanter Kontrol Modelleri, Satıcı Modelleri
7. Dinamik Ürün Geri Kazanımı	Optimal Kontrol Teorisi	Optimal Kontrol Modelleri
8. Ürün Geri Kazanımında Üretim Planlama	Karma Tamsayı Doğrusal Programlama , Sürekli Optimizasyon	Malzeme İhtiyaç Planlama, Toplu Üretim Planlama
9. Envanter Değerleme	Net Bugünkü Değer Analizi	Ekonomik Sipariş Miktarı, Stokastik Envanter Kontrol Modelleri
10. Kapalı Döngü Tedarik Zincirinde Koordinasyon	Oyun Teorisi	Tedarik Zinciri Sözleşmeleri
11. Kapalı Döngü Tedarik Zincirinin Uzun Dönemli Analizi	Sistem Dinamikleri	Endüstriyel Dinamik Modeller
12. Çevresel Yönetim	Yaşam Çevrim Analizi	Yaşam Çevrim Analizi
13. Ekonomik ve Çevresel Performans	Karma Tamsayı Doğrusal Programlama, Doğrusal Programlama	Ağ Yapıları/Tesis Yeri Seçim Modelleri
14. Bilgi Teknolojileri	-	-

Srivastava (2008a)'ya göre bu kararlar, gerçekleştirilme zamanına göre üçe ayrılırlar:

- Uzun dönemli kararlar: Fabrika yerleşimi, tesis planlama, kapasite ve tasarımı gibi uzun dönemli stratejik kararları içerir.

- Orta dönemli kararlar: İşlemlerin entegre edilmesi, hangi enformasyon ve teknoloji sistemlerinin kullanılacağı kararının alınması gibi orta vadeli kararları içerir.
- Kısa dönemli kararlar: Elde bulundurulacak stokların planlanması, araç rotalama, yeniden imalat çizelgelemeleri gibi kısa aralıklarla alınan kararları içerir.

Listede yer alan problem alanlarından sadece birini ele alan çalışmalar olduğu gibi birden fazla problem alanını ele alan çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. Bu tez çalışmasında, Çizelge 2.2’de listelenen konu başlıklarından “ürün geri dönüş tahmini” ve “tersine lojistik ağ tasarımı” konularını içeren modeller geliştirilecektir.

2.2.3 Tersine lojistik ağ tasarımı alanında temel amaçlar

Lojistik yönetimi alanında hedefler; ekonomik, çevresel ve sosyal hedefler başlıklarıyla ele alınmaktadır.

2.2.3.1 Tersine lojistik ağ tasarımı alanında ekonomik amaçlar

Ekonomik hedefler, en sık karşılaşılan birincil hedef olup, mühendislik alanında “kâr maksimizasyonu” ya da “maliyet minimizasyonu” şeklinde belirlenmiş amaçlar halinde matematiksel modellerde yer bulurlar. Ekonomistler için ekonomik etkinlik net ulusal gelir faydasının maksimizasyonudur (Cohon, 1978). Literatürde, uzunca yıllar sadece ekonomik hedefleri yerine getirme amacıyla sınırlı kalan çalışmalar yapılmıştır ve bu çalışmaların çoğu uzun dönemli sürdürülebilirliği garanti etmemektedir.

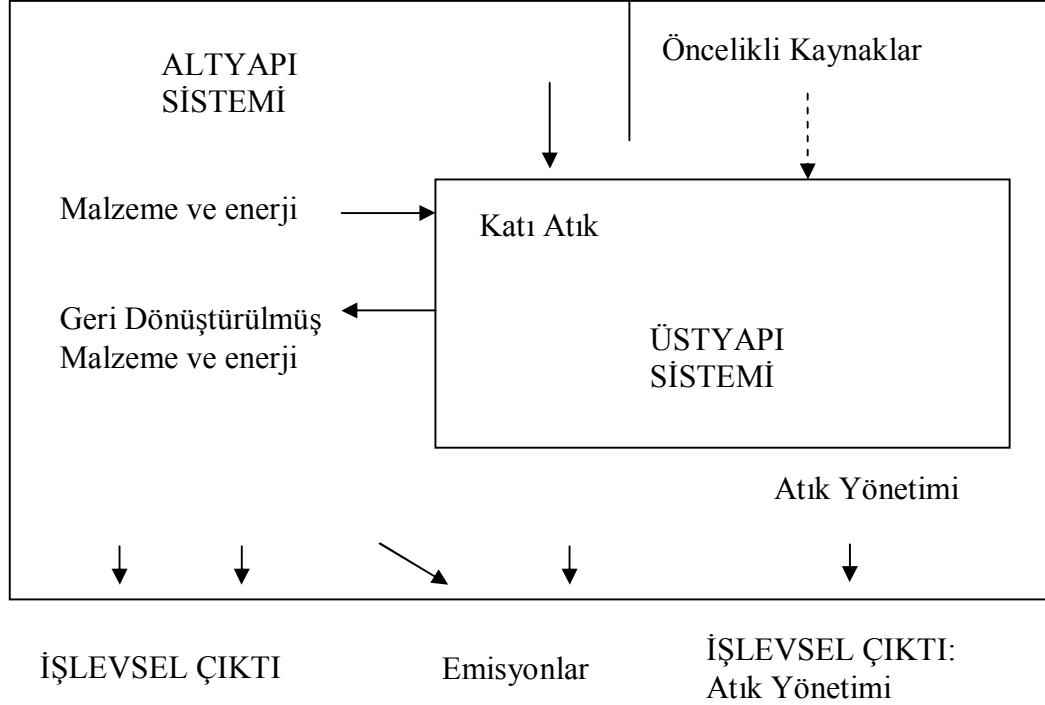
2.2.3.2 Tersine lojistik ağ tasarımı alanında çevresel amaçlar

Abdallah ve diğ. (2011)’nin belirttiği gibi yöneticiler ve üreticiler üzerinde, tedarik zincirinde oluşan olumsuz çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik baskılar gün geçtikçe artmaktadır. Çünkü geri kazanım faaliyetleri, ekonomik sonuçların yanı sıra çevreye zarar verme gibi önemli sonuçlar da doğurur (Chaabane ve diğ, 2011). Çevresel etkinin öncelikli ölçütlerinden biri olan zararlı gaz emisyonu ve maliyetler arasında ödünleşim yapılarak stratejik, operasyonel ve taktiksel kararlar verilmektedir. Sanayi Devrimi ile birlikte havadaki CO₂ oranında % 30 artış olmuş, CH₄ oranı iki katından daha yükseğe çıkmış, N₂O oranı ise %15 yükselmiştir. Gazların artışı sonucunda atmosferde daha yüksek oranda ısı tutulmaya başlanmış ve

küresel ısınma meydana gelmiştir. Özellikle de insan faaliyetleri neticesinde meydana gelen CO₂ miktarı artışı, çevreye büyük zarar vermektedir. CO₂ gazı, 1750 yılından günümüze kadar % 31 oranında artmıştır. Son yirmi yıldır, insan kaynaklı faaliyetler sonucunda % 0,4 oranında artış gösteren CO₂ gazının yaklaşık % 75'inin kaynağı fosil yakıtların yanmasıdır. Geri kalan kısmı ormanların yok edilmesi gibi araziler üzerine yapılan tahribattan kaynaklanmaktadır (Diler, 2006). CO₂ emisyonunun açığa çıkmasında fosil yakıt ve elektrik gücüyle çalışan tesisler, bağımsız güç üreticileri, endüstrideki üretici firmalar, ticari binalar, kamusal ve askeri tesisler gibi sabit kaynakların, taşıtların ve insanlar, hayvanlar, doğal afetler gibi doğal kaynakların önemli payı vardır. Ulaştırma sektöründe yer alan taşıtlardan otomobiller, spor araçlar, kamyon ve otobüsler, havayolları araçları, gemi ve trenler, inşaat araçları, askeri araç ve ekipmanların etkisi büyüktür (İndala, 2004). Bu tez çalışmasında karbon dioksit emisyonu miktarı, tesis yeri açma kapama kararı ve ulaştırma türleri üzerinden değerlendirilecektir. Bir tesisin açık olduğu belli bir periyot süresince ortaya çıkardığı karbon dioksit miktarı ve farklı ulaştırma türleri neticesinde oluşacak farklı karbon dioksit emisyonu miktarları göz önünde bulundurulacaktır.

Srivastava (2007)'nın tanımına göre çevresel anlayışın tedarik zinciri yönetimindeki faaliyetlere (ürün tasarım, malzeme tedariki ve seçimi, üretim süreçleri, nihai ürünün teslimi, yaşam ömrünün sonuna gelmiş ürünlerin yönetimi gibi) entegre edilmesi durumu, yeşil tedarik zinciri anlayışının temelini oluşturmaktadır. Yeşil tedarik zincirinde öne çıkan metodolojilerden biri yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) metodolojisi'dir. YDD, belirli bir ürün, faaliyet ya da sürecin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde faydalanan en güvenilir ve bilimsel yöntemdir (Abdallah ve diğ, 2011). Kullanılan malzeme ve enerji kaynaklarını tanımlar, çevreye bırakılan atığı ölçer ve çevresel gelişime yönelik fırsatları değerlendirip uygular. Bu yöntem, ürün, süreç ve faaliyetin tüm yaşam çevrimini kapsar (hammadenin elde edilip işlenmesi, üretim, ulaşım ve dağıtım, yeniden kullanım, onarım, geri dönüşüm ve bertaraf) (SETAC, 1993; Chaabane ve diğ, 2011). YDD uygulama sistemlerinin genel yapısı, Clift ve diğ. (2000) kaynağından alınan Şekil 2.5'te görülmektedir (Hart ve diğ, 2005).

Şekilden de görüldüğü üzere, üstyapı sisteminden geri dönüştürülmüş malzemeler ve enerji, altyapı sisteminde malzeme ve enerji üretiminde kullanılmaktadır ve her iki sistemde de gaz emisyonu oluşmaktadır (Hart ve diğ, 2005).



Şekil 2.5 : YDD uygulamasının sınırları Clift ve diğ. (2000).

Bir sistemin çevresel etkisini ölçmeye yarayan pek çok YDD yazılım programı mevcuttur. Bu programlar aracılığıyla sistemler değerlendirilir. YDD, maliyetli ve zaman alan karmaşık bir metodoloji olup çoğu zaman çevresel yönetimde uzmanlık gerektirmektedir. Ayrıca YDD sonuçları ağırlandırılarak tekrar yorumlanma aşamasını gerektirir (Pishvae ve Razmi, 2011). Çevresel etkinin değerlendirilmesi için bazı çevresel ölçütlerden faydalanılır. Eko indikatörler, en çok kullanılan değerlendirme ölçütlerinden biridir. Standart eko indikatörler, bir ürün ya da sürecin toplam çevresel yükünü ifade eden sayısal değerlerdir. Yüksek indikatör değeri, yüksek çevresel zarar demektir. Tasarımcılar ya da ürün yöneticileri, ürünlerin yaşam çevrim noktalarındaki çevresel yükleri hesaplayabilirler. Farklı tasarımları birbirleriyle kıyaslayabilirler. Eko indikatörler sayesinde YDD sonuçları, kolayca anlaşılabilir ve kullanıcı dostu bir düzeye getirilir. En çok kullanılan indikatörler Eko-İndikatör 95 ve Eko-İndikatör 99 dur (MHSPEC, 2000) .

İklimsel değişikliklere sebep olan zararlı gazların azaltılmasını sağlamaya yönelik olarak pek çok devlet odaklı teşvik ve yasalar oluşturulmuştur. 1998-1999 yılları

arasında imzaya açık kalan Kyoto Protokolü ile sera gazı emisyon miktarına sınırlamalar getirilmesi hedeflenmiştir. Kyoto protokolünün yanı sıra, “Yük Taşımacılığı Lojistik Eylem Planı” (European Commission, 2007), “Ulaştırmanın Yeşilleştirilmesi” (European Commission, 2008a), “Dış Maliyetlerin Uluslararası Standartlara Kavuşturulması” (European Commission, 2008b), “Taşımacılık için Sürdürülebilir bir Gelecek: Bütünleşik, Teknoloji Odaklı ve Kullanıcı Dostu bir Sisteme Doğru “ (European Commission, 2009) gibi Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanmış raporlar mevcuttur (Mallidis ve diğ, 2012).

2.2.3.3 Tersine lojistik ağ tasarımı alanında sosyal amaçlar

Sosyal sürdürülebilirlik kişilerin yeteneklerini, ilişkileri ve sosyal değerleri içeren sosyal kaynakların yönetimini içerir (Ahmed ve McQuaid, 2005). Yönetimin kalitesi, sağlık ve güvenlik, maaşlar ve faydalar, fırsat eşitliği, eğitim, çocuk işçi çalışma/çalışmama durumu, işgücü, sendikalaşma özgürlüğü, insan hakları gibi konularla birebir ilişkilidir (Nikolaou ve diğ, 2012). Yaşam standardı ve gürültü kirliliği konuları da çevresel performansa etki eder (Chaabane ve diğ, 2011). Labuschagne ve diğ. (2005)’e göre sosyal sürdürülebilirlik dört ana bölümden oluşmaktadır:

- İçsel insan ilişkileri: Çalışan devamlılığı, çalışan uygulamaları, sağlık ve güvenlik, kapasite gelişimi
- Dış nüfus: İnsan sermayesi, üretim sermayesi, toplum sermayesi
- Paydaş katılımı: Bilgi paylaşımı, paydaşların etkisi
- Makro sosyal performans: Sosyo ekonomik performans, sosyo çevresel performans.

Görüldüğü gibi sosyal konular, sayısallaştırılması görece daha zor konulardır. TLAT alanında sosyal sorumluluk göstergelerini dikkate alan çalışma sayısı bu nedenle oldukça azdır. Bu tez çalışmasında sosyal fayda göstergesi olarak, tesis yeri açılması planlanan bölgelerde işgücüne sağlanan katkı dikkate alınacaktır.

2.2.3.4 Tersine lojistik ağ tasarımında sürdürülebilirlik

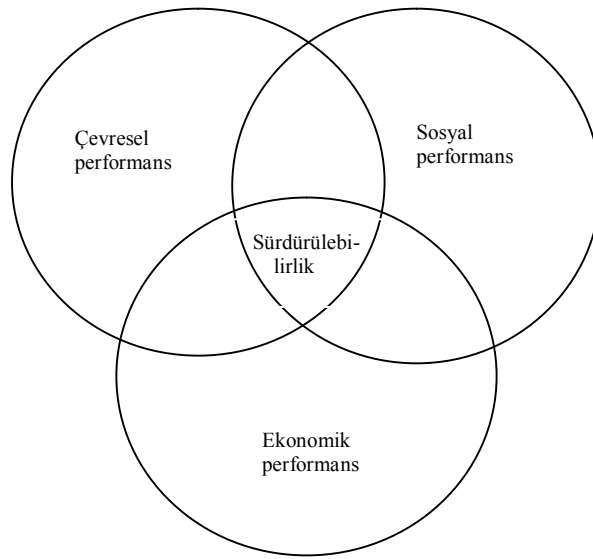
Son yıllarda artan çevresel bilinç ve toplumsal duyarlılıkla birlikte ekonomik hedeflerin yanı sıra çevresel ve sosyal hedeflerin de ele alındığı çalışma ve projelerin

sayısında artış sağlamıştır. Bu durum, kurumsal sosyal sorumluluk konularının lojistik yönetiminde daha çok yer bulmasını sağlamıştır. Kurumsal sosyal sorumluluk, yasal olarak belirlenmemiş fakat organizasyonun sosyal ilgi alanına giren davranışlarını içerir (McWilliams ve Siegel, 2001). Carter ve Jennings (2002)’e göre, lojistik literatüründe çevresel ve sosyal amaçların bir arada dikkate alınması da “Lojistik Sosyal Sorumluluk” kavramının gelişmesini sağlamıştır. Ciliberti ve diğ. (2009)’e göre lojistik sosyal sorumluluk adına gerçekleştirilen yönetsel uygulamalar altı temel başlıkta toplanabilir:

1. Çevresel: Geri dönüştürülebilir ürün üretmek, yeniden kullanılabilir paketlere sahip ürün satın almak, tedarikçilerle işbirliği halinde atık azaltımının sağlanması, demonteye, geri dönüşüme ve yeniden kullanıma uygun ürün tasarımının gerçekleştirilmesi, ürün ve paketlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için ürün yaşam çevriminin ele alınması, tedarikçilerin ürün ve süreçlerinin çevre dostu olmasının sağlanması
2. Etik: Tedarikçilerden hediye kabul edilmemesi, tedarikçiler üzerinde illegal olan baskılar kurmaktan kaçınılması, tedarikçilere bilgi yayılmasının önlenmesi, belli tedarikçilerin korunmasından kaçınılması, üst yönetim tarafından korunan tedarikçilere ayrıcalıklı davranmama, ilgili olmayan departmanların satın alma prosedürlerine uygun olmadan satın alma gerçekleştirmelerine izin verilmemesi, kişisel hislerin tedarikçi seçiminde etkili olmasını önleme, ücretsiz hizmet tekliflerinin reddedilmesi, belirsiz anlaşma terimlerinden kaçınma
3. Çeşitlilik: Etnik azınlıklar ya da kadın çoğunluklu tedarikçilerden satın alma yapılması, azınlıklara bağlı tedarikçilerle anlaşmaları arttırıcı özel programlar hazırlanması
4. Çalışma koşulları ve insan hakları: Tedarikçilerin uygun maaş sağlaması, çocuk işçi çalıştırıp çalıştırmamasınagibi konularda denetlenmesi
5. Güvenlik: Tedarikçilerin tesislerin iş güvenliğinin sağlanması, ürünlerin tüketiciye gönderilmesi sürecinin güvenliğinin denetlenmesi
6. Hayırseverlik ve toplum: Yerel tedarikçi gelişimine yönelik programlar geliştirilmesi, bağış ve teşvikler sunulması

Sosyal sorumluluk anlayışının temelinde organizasyonel sürdürülebilirlik kavramı yer almaktadır. Organizasyonel sürdürülebilirliğin üç temel bileşeni vardır: doğal

çevre, toplum ve ekonomik performans (Carter ve Rogers, 2008; Chaabane ve diğ, 2011). Bu üçlü yapı, sürdürülebilir tedarik zinciri (Neto ve diğ, 2008) ve üçlü temel esası anlayışıyla örtüşmektedir. Üçlü temel esası anlayışında, ekonomik, çevresel ve sosyal faktörlerin mikroekonomik düzeyde bir arada ele alınması yer almaktadır. Finansal performansın ölçümünde çevresel ve sosyal performansın da dikkate alınmasını içerir (Elkington, 2004). Üçlü temel esası ile sürdürülebilirlik ilişkisi Şekil 2.6’da görülmektedir (Carter ve Rogers, 2008). Üçlü temel esası, tedarik zinciri yönetimi sürdürülebilirliği için sosyal sorumluluk değerlendirme sürecinin gelişiminde kullanılabilecek iyi bir araçtır (Presley ve diğ, 2010).



Şekil 2.6 : Üçlü temel esası ve sürdürülebilirlik (Carter ve Rogers, 2008).

Her ne kadar farklı anlamlar içeren pek çok tanım yapılmış olsa da, kurumsal kaynak planlaması, kurumsal sürdürülebilirlik ve üçlü temel esası benzer ekonomik verimlilik, çevresel yönetim ve sosyal adalet amaçlarını hedeflemektedir (Nikolaou ve diğ, 2011).

2.3 Elektronik Atık (E-Atık) Geri Kazanımı

“Kullanım ömrünü tamamlayan ya da arıza gibi durumlar sonucu atıl hale gelen çeşitli elektrik-elektronik ürünler ve malzemelerin (cep telefonu, bilgisayar, televizyon, baskılı devre kartları vb.) oluşturduğu atıklar “elektronik atık (e-atık)” olarak tanımlanmaktadır” (Akçıl ve diğ, 2009). Teknolojik gelişmelerle birlikte elektronik eşya sektörü her geçen gün büyümektedir. Günümüzde hızla gelişen teknoloji, ürünlerin devir hızını kısaltmaktadır ve Avrupa’da en hızlı büyüyen atık

türü, % 3-5 büyüme hızı bulunan e-atıklardır (Bertram ve diğ, 2002; EC, 2006). Bu anlamda e-atıkların toplanması, yeniden kazanımı ve bertaraf edilmesi konuları çok önemli hale gelmeye başlamıştır. Elektronik endüstrisi, kapalı çevrim ağlar içerisinde katma değer yaratma bakımından en önemli sektördür (Fleischmann ve diğ, 2002). Genel olarak e-atıklar, 10 ana grupta ele alınmaktadır (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008a):

Grup 1 : Büyük ev eşyaları

Grup 2 : Küçük ev aletleri

Grup 3 : Bilişim ve telekomünikasyon ekipmanları

Grup 4 : Tüketici ekipmanları

Grup 5 : Aydınlatma ekipmanları

Grup 6 : Elektrikli ve elektronik aletler

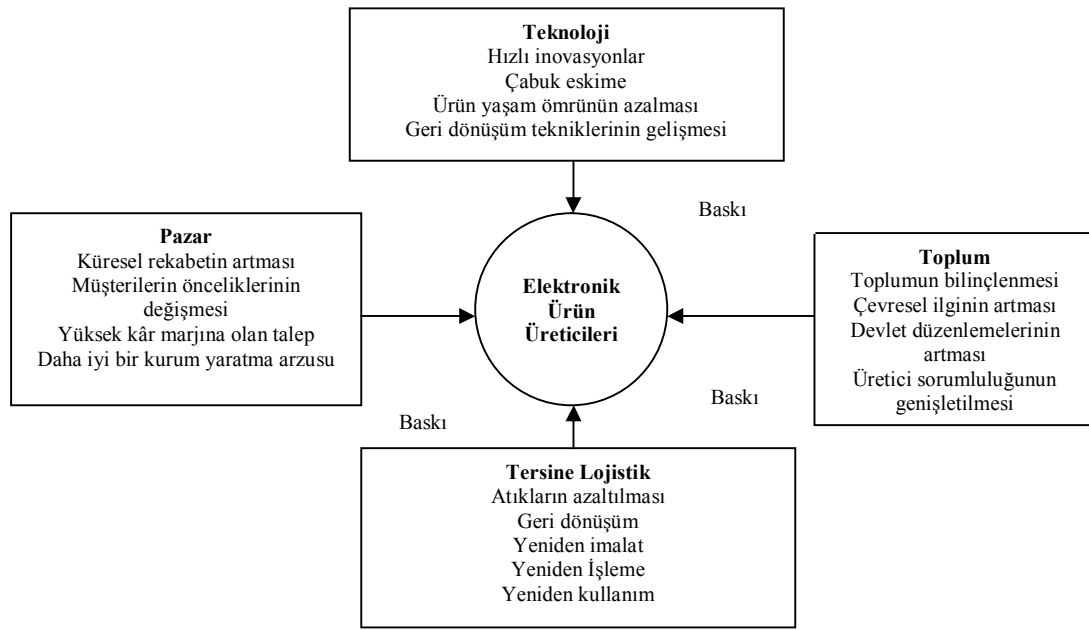
Grup 7 : Oyuncaklar, eğlence ve spor aletleri

Grup 8 : Tıbbî cihazlar

Grup 9 : İzleme ve kontrol aletleri

Grup 10 : Otomatlar

E-atıkların büyük çoğunluğu zehirli maddeler içermektedir. Ayrıca e-atıkların içerisinde yeniden kullanılabilir malzeme miktarı oldukça fazladır. Bu gibi nedenlerden ötürü e-atık geri dönüşümünün, sağlıklı koşullarda ve uygun teknolojilerle gerçekleştirilmesi, en yüksek geri kazanımın sağlanması önemlidir. Elektrik elektronik sektöründe tersine lojistik uygulama nedenleri Şekil 2.7'deki gibi özetlenebilir.



Şekil 2.7 : Tersine lojistiğin elektrik elektronik sanayisinde uygulanma nedenleri (Lau ve Wang, 2009).

2.3.1 E-atıklar ve yasal yükümlülükler

E-atıkların geri kazanımına yönelik geliştirilen yasal düzenlemeler, özellikle gelişmiş ülkelerde uzun yıllardır uygulanmaktadır. Avrupa’da geri dönüşüm miktarı ve oranına yönelik alt sınırların belirlenmesi, ambalajlama denetimlerinin arttırılması, ürünlerin geri alınması sorumluluklarının belirlenmesi gibi uygulamalar giderek artmaktadır. Bazı ürünlerin, örneğin elektronik cihazların bertarafının sınırlandırılması, belli geri dönüşüm hedeflerinin ortaya konulması, ürünlerin geri alınma zorunlulukları gibi durumlar, yasal yönetmeliklerle belirlenmektedir (Thierry ve diğ, 1995). Sağladığı kâr avantajı ve AB kaynaklı yasal baskılar nedeniyle (örneğin Elektrik ve Elektronik Gereç Atıkları (WEEE) ve Yaşam Ömrü Sonundaki Araçlar (ELV) yönetmelikleri gibi) bu sektöre önem verilmeye başlanmıştır. Yönetmelikler, AB üyesi ülkelerde endüstriyel anlamda, yerel birimlerde ve firma bazında uygulanmaya başlamıştır. Kurumsal olarak yönetmeliklerin etkisinin, yeniden imalat süreçleri için itici gücü oluşturduğunu söylenebilir. Yönetmeliklerin, yeniden imalat süreçlerinde hayata geçirilmesinin, yeniden imalat endüstrisi üzerinde etkisi büyüktür (Östlin ve diğ, 2009).

Fleischmann ve diğ. (1997)’nin de belirttiği gibi Almanya’da, satılan ürünlerin ambalajlarının geri dönüştürülmesi hedefi %60 ile %75 arasındadır. Geri kazanımın

gerçekleştirdiği tersine lojistik yaklaşımını 1999'dan beri uygulayan öncü bir ülke olan Hollanda'da imalatçılar buzdolabı, çamaşır makineleri, dondurucular, televizyonlar ve elektronik araçlar ile tüm bu ürünlerin ambalajları gibi ürünlerin kullanılmış olanlarının toplanması, işleme tabi tutulması ve geri dönüşümünün sağlanmasından sorumludurlar. Hollanda geri kazanımın gerçekleştirdiği tersine lojistik yaklaşımını 1999'dan beri uygulayan öncü bir ülkedir. (AME, 2007).

Avrupa'da 8,7 milyon ton/yıl elektronik atığın 6,6 milyon tonunun geri dönüşümü gerçekleştirilememektedir. ABD'de ise e-atıkların %20'den daha düşük bir miktarı yeniden dönüşüme uğratılmaktadır. Ürün bazında bakılacak olursa, bilgisayar ekipmanlarında % 10, televizyonlarda ise %14 oranında bir geri dönüşüm mevcuttur (Çiftlik ve diğ, 2009).

Japonya'da etkili yasal düzenlemelerle birlikte e-atık geri dönüşümü % 53'e çıkarılmıştır. Japonya'da sadece 2002 yılında 20 milyon adet beyaz eşya ve 450.000 adet evde kullanılan bilgisayarın çöpe atıldığı tahmin edilmektedir. Japonya'da kanun gereği, devlet tarafından alınan her ürün geri dönüşümü olan malzemeleri içermelidir. Firmalar, sadece imalat ve dağıtımını değil, aynı zamanda ürünlerin geri dönüşüm ya da tekrar kullanımını da planlamak zorundadırlar. Amerika Birleşik Devletleri'nde her bir eyalette pek çok çevresel kanun vardır (AME,2007). İkinci Dünya Savaşı esnasında pek çok üreticinin askeri üretime ağırlık vermesiyle, özellikle Amerika'da yeniden imalat endüstrisi gelişmeye başlamıştır. ABD'de camların %20'si, kâğıt ürünlerinin %30'u ve alüminyum kutuların %61'i geri dönüştürülmektedir, 10 milyon otomobil ve kamyon geri dönüşüme gitmekte ve bu arabaların %75'i geri kazanılmaktadır (Gungor ve Gupta, 1999). Avrupa Komisyonu, "Bazı Zararlı Maddelerin Kullanımının Sınırlandırılması (Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances (RoHS))" yönergesini (2002/95/EC sayılı yönetmelik) yayımlayarak elektrikli ve elektronik cihazların üretim süreçlerinde altı zararlı maddenin (kurşun, kadmiyum, civa, krom, polibromürlü bifenil ve polibromürlü difenil eter) kullanım miktarlarına kısıtlamalar getirmiştir (EC, 2003b). Avrupa Komisyonu ayrıca, "Atık Elektrik ve Elektronik Cihazları (Waste Electrical ve Electronic Equipment (WEEE))" yönergesini (2002/96/EC sayılı yönetmelik) yayımlayarak bakanlıklara, elektrikli ve elektronik cihaz ana üreticilerine, tersine lojistik hizmet sağlayıcılarına, 3. parti lojistik şirketlerine, tüketicilere, elektronik ürün dağıtıcılarına ve yerel birimlere çeşitli yasal yükümlülükler getirmiştir (EC,

2003a). WEEE Direktifi, Avrupa Antlaşması'nın 175/1 maddesini temel alarak yayımlanmıştır ve sadece çevreyi koruma çalışmalarının artırılmasına yöneliktir. WEEE Direktifi ile aktörlere yüklenen sorumluluklar özetle aşağıdaki gibidir (EC, 2003a):

- Bakanlıklar, üreticilerin, elektronik ürün satıcılarının, yerel birimlerin, geri dönüşüm merkezlerinin e-atık toplama ve geri dönüşüm faaliyetlerini denetlemek ve kontrol etmekle yükümlüdürler.
- Belediyeler, elektrikli ve elektronik eşyaların geri dönüşümünün sağlanması sürecine her türlü desteği sunmak ve bu sürece hizmet etmekle yükümlüdürler. Evsel atıklarla e-atıkların ayrı ayrı toplanmasını sağlamak ve toplama ve geri kazanım merkezleri faaliyetlerini kontrol etmekle yükümlüdürler.
- Üreticiler, üretilen ürünlerin belli bir oranının geri dönüşümünü sağlamak, geri dönüşümün kolaylıkla gerçekleştirilmesi için uygun koşulları oluşturmak, konuyla ilgili araştırma geliştirme çalışmaları yürütmek, üretilen ürünleri geri dönüşüme elverişli olacak şekilde tasarlamak, hammaddelerin geri dönüşümden elde edilmiş olmasına öncelik vermekle yükümlüdürler. Geri dönüşümünü sağlayamadıkları ürün ve/veya parçaları, geri dönüşüm hizmeti sağlayan firmalara göndermekle ve e-atık yönetimini finanse etmekle yükümlüdürler.
- Geri dönüşüm firmaları (tersine lojistik hizmet sağlayıcıları), bakanlıktan uygunluk belgesi almış olmak, geri kazanım faaliyetleri için en uygun ve gelişkin teknoloji ve tekniklerle donanmış olmakla yükümlüdürler.
- Elektronik ürün dağıtıcıları (distribütörler), eskimiş ya da kullanımdan çıkarılmış elektrikli ve elektronik ürün ve parçaları tüketicilerden ücretsiz olarak toplamak ve ücretsiz olarak üretici firmalara ya da geri dönüşüm firmalarına göndermekle yükümlüdürler.
- Tüketiciler, elden çıkarmak istedikleri elektrikli ve elektronik cihazları, özel olarak ayrılmış merkezlere uygun şekilde bırakmakla yükümlüdürler.

WEEE Direktifi ile üye ülkelere, 13 Ağustos 2005 tarihine kadar e-atıkların ücretsiz olarak toplanması için gerekli sistemin kurulması zorunluluğu, insan sağlığı açısından riskli kontamine atıkların alımının kabul edilmemesi şartı, e-atıkların yetkili birimlere iletilmesi için garanti verilmesi ve 31 Aralık 2006 tarihine kadar kişi başı yıllık en az 4 kg e-atık toplanması hedefini gerçekleştirmelerini de ortaya

konulmuştur. Bilgi teknolojileri, iletişim ve tüketici cihazları için, cihaz başına ağırlığın %75'inin geri kazanılması; ve malzeme ve bileşenlerin yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesi oranının da cihaz başına ağırlığın %65'ine çıkarılması hedeflenmiştir (EC, 2003a).

2.3.2 Türkiye’de e-atık yönetmelikleri

Birçok gelişmekte olan ülkede söz konusu direktiflere benzer düzenlemeler yapılmaya başlanmıştır. Ülkemizde T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Avrupa Birliği’nin temel iki direktifiyle uyumlu yönetmelik hazırlamıştır (2008a; 2008b). Bu yönetmelikler, “Elektrikli ve Elektronik Eşyalarda Bazı Zararlı Maddelerin Kullanımının Sınırlandırılmasına Dair Yönetmelik” ve “Atık Elektrikli Elektronik Eşyaların (AEEE) Kontrolü Yönetmeliği” olarak adlandırılmıştır. Bu direktiflerin yürürlüğe kesin olarak gireceği tarih henüz belli olmamakla birlikte, 2012 yılı içerisinde pilot uygulamalara geçileceği öngörülmektedir.

Türkiye’de açık çevrim lojistik ağları üzerinden, yani e-atıkların toplanması, bertaraf ve geri dönüşümüne yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Direktifin yürürlüğe girmesiyle özellikle üretici sorumlulukları artacak, böylece hem ileri hem de tersine lojistik sistemlerinin birlikte planlanıp uygulandığı kapalı çevrim lojistik sistemleri gelişmeye başlayacaktır. Pilot çalışmaların ilk örneklerinden biri, Muğla Belediyesi ve Exitcom Geri Dönüşüm firmasının birlikte gerçekleştirdiği projedir (Akçıl ve diğ., 2009). Türkiye’de şu an bakanlıktan uygunluk belgesi almış olan yaklaşık on beş geri dönüşüm firması bulunmaktadır. Direktifin yürürlüğe girmesiyle, legal olmayan ve insan sağlığını tehdit eden yollarla toplanan atıkların değerlendirilme sürecinin sistematik ve denetimli bir şekilde gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

AEEE Yönetmeliği, 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanunu’nda öngörülen amaç ve ilkeler doğrultusunda hazırlanmıştır. Yönetmeliğe ilişkin genel ilkeler aşağıdaki gibidir:

- a) Yeni tasarım ürünlerde teknik açıdan uygun olması durumunda geri dönüştürülmüş malzeme kullanımına öncelik verilir.
- b) AEEE’lerin geri dönüşümü, geri kazanımı ve bertarafı lisanslı tesislerde yapılır.
- c) AEEE’lerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan atıkların azaltılması veya imhası amacıyla çevre mevzuatına aykırı olarak yakılması yasaktır.

d) Bu yönetmelik kapsamı dışında olan bir ekipmandan sökülmüş ve belirtilen kategorilerden birine dâhil olan AEEE'ler yönetmelik hükümlerine tabidir.

e) AEEE'lerin yönetiminden kaynaklanan çevresel zararların giderilmesi ile ilgili tazminat ve diğer maliyetler, "kırleten öder" ilkesine göre AEEE'lerin yönetimi için sorumlu olan gerçek veya tüzel kişilere aittir. (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008a).

Ağ içerisinde yer alan aktörlerin sorumlulukları WEEE Direktifi ile aynıdır. Kişi başı toplanan e-atık miktarı için, 2018 yılına kadar kişi başı yıllık en az 4 kg evsel e-atığın toplanması hedefi vardır (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008a).

Üreticiler, her bir elektronik eşyanın geri kazanım miktarlarını, eşyanın ortalama ağırlığının Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'te belirtilen oranlara kadar yükseltme hedefini sağlayacaklardır (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008a).

Çizelge 2.3 : Yeniden kullanım ve geri dönüşüm hedefleri (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008a).

Elektrikli ve Elektronik Eşya Kategorileri	Yıllar				
	2012	2013	2014	2015	2016
Toplam miktardaki ağırlık (%) olarak					
Büyük ev eşyaları (%)	50	55	60	65	75
Küçük ev aletleri (%)	10	20	30	40	50
Bilişim ve telekomünikasyon ekipmanları (%)	15	25	35	50	65
Tüketici ekipmanları (%)	15	25	35	50	65
Işıklandırma cihaz ve aletleri (%)	10	20	30	40	50
Gaz deşarj lambaları	50	55	60	70	80
Elektrikli ve elektronik aletler (%)	10	20	30	40	50
Oyuncaklar, eğlence, spor aletleri (%)	10	20	30	40	50
Tıbbî cihazlar (%)	---	---	---	---	---
İzleme ve kontrol cihaz ve aletleri (%)	10	20	30	40	50
Otomatlar (%)	50	55	60	65	75

Çizelge 2.4 : Geri kazanım hedefleri (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008a).

Elektrikli ve Elektronik Eşya Kategorileri	Yıllar				
	2012	2013	2014	2015	2016
Toplam miktardaki ağırlık (%) olarak					
Büyük ev eşyaları (%)	60	65	70	75	80
Küçük ev aletleri (%)	20	30	40	55	70
Bilişim ve telekomünikasyon ekipmanları (%)	20	30	45	60	75
Tüketici ekipmanları (%)	20	30	45	60	75
Işıklandırma cihaz ve aletleri (%)	10	20	30	50	70
Gaz deşarj lambaları	50	55	60	70	80
Elektrikli ve elektronik aletler (%)	10	20	30	50	70
Oyuncaklar, eğlence, spor aletleri (%)	10	20	30	50	70
Tıbbî cihazlar (%)	---	---	---	---	---
İzleme ve kontrol aletleri (%)	10	20	30	50	70
Otomatlar (%)	50	55	60	70	80

3. TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI ÜZERİNE YAZIN ARAŞTIRMASI

Bu bölümde 1988-2011 yılları arasında yayımlanan 138 adet TLAT çalışmasının detaylı bir sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar, iki ana bölümde ele alınmıştır: “kesin çözüm içeren çalışmalar” ve “sezgisel sonuç içeren çalışmalar”. Çalışmanın bu bölümünde TLAT modellerinin daha iyi anlaşılması, TLAT üzerine geniş bir yazın taraması yapılması ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunmak hedeflenmiştir.

Tersine lojistiğe ilgi arttıkça TLAT çalışmalarında da artış olmuştur. TLAT çalışmalarını analiz eden ilk çalışmalardan birinde Fleischmann ve diğ. (1997), tersine lojistik üzerine sistematik bir analiz yapmış; dağıtım planlama, envanter kontrol ve üretim planlama şeklinde ele alınan üç ana bölümde matematiksel modelleri incelemiş ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunmuştur. Prahinski ve Kocabaşoğlu (2006) tersine tedarik zinciri çalışmalarını incelemiş ve yöneticilerin dağıtım, satış, onarım, elden çıkarma ve yeniden imalat alanlarında karşılaştıkları on adet araştırma önerisinde bulunmuşlardır. Srivastava (2007) yeşil tedarik zinciri yönetimine (YTZY) daha geniş bir açıdan bakan bir yazın taraması gerçekleştirmiş, nicel modelleri yerleşim yeri ve dağıtım aşamalarına göre özetlemiştir. Rubio ve diğ. (2008), 1995-2005 yılları arasında gerçekleştirilen tersine lojistik çalışmalarını incelemiş, özelliklerini açıklamışlardır. Bu çalışmada, son yıllarda tersine lojistiğe olan ilginin arttığı, “üretim planlama ve envanter yönetimi” ile matematiksel model arasında sıkı bir ilişki olduğu vurgulanmıştır. Akçalı ve diğ. (2009) tersine lojistik ve kapalı çevrim tedarik zinciri ağ tasarımı çalışmalarının yapılarına odaklanan bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarda yer alan modelin çeşidini, karar değişkenlerini ve amaç fonksiyonlarını analiz etmişlerdir. Pokharel ve Mutha (2009), tersine lojistik üzerine kitap ve konferans metinlerini incelemiş ve tersine lojistiğin tüm aşamalarına odaklanmışlardır. TLAT problemlerinde daha çok deterministik modellerin kullanıldığını, stokastik parametreler içeren modellerin az sayıda olduğu belirtilmiştir. Subramonian ve diğ. (2009) tersine lojistikte stratejik karar verme teorisi ve yazınına dikkat çekmişler ve üretimde stratejik planlama süreçleri, fiziksel

dağıtım yapıları, tesis yeri seçimi, üretim sistemleri, diğer paydaşlarla işbirliği konularına vurgu yapmışlardır.

Her ne kadar bu analizler, TLAT çalışmalarını farklı açılardan sınıflandırsa da tersine lojistik modelleri, ağı ve uygulama alanına yönelik geniş bir analiz yapmamışlardır. Bu açığı kapamak için bu bölümde TLAT çalışmaları şimdiye kadar yapılmış çalışmalardakilerden çok daha geniş bir sınıflandırmayla ele alınacak ve sonuçlar değerlendirilerek gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulacaktır.

Hart ve Bond (1998)'un belirttiği gibi, yazın araştırması olmadan konunun anlaşılması, hangi araştırmaların yapıldığının bilinmesi ve anahtar konuların ne olduğunun farkına varılması mümkün olmayacaktır. Bu tez çalışmasında da, yazında yer alan TLAT çalışmaları değerlendirilirken detaylı bir yazın araştırması yapılmasının gerekli olduğu düşünülmüştür. Yazın araştırmasının metodolojisi geliştirilirken Fink (1998)'in tanımına paralel aşamalar geliştirilmiştir. Fink (1998)'in tanımına göre, yazın araştırmalarında ele alınan çalışmalar sistematik ve açık bir biçimde tespit edilmekte, değerlendirilmekte ve yorumlanmaktadır. Bu bölümde de TLAT çalışmaları, bu tanıma uygun olarak “tespit etme, değerlendirme ve yorumlanma” şeklinde üç ana bölümde ele alınacaktır.

Yazında yer alan çalışmalar; dergiler, akademik olarak yayımlanmış notlar ve konferans metinlerinde yer almış olan çalışmalardan derlenmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi ve Otto von Guericke - Magdeburg Üniversitesi veri tabanı arama sistemlerinden faydalanılmıştır. Özellikle EBSCO, GoogleScholar, ScienceDirect, EmeraldInsight ve Scopus veri tabanı kaynaklarında aramalar yapılmıştır. Çalışmada tezler, kitaplar ve akademik olmayan makaleler kapsam dışı tutulmuştur.

İlgili çalışmalar taranırken, “tersine lojistik”, “tersine lojistik ağ tasarımı”, “tersine lojistik ağ modelleme”, “yeşil tedarik zinciri tasarımı”, “ürün geri kazanımı”, “tersine tedarik zinciri” ve “ kapalı çevrim tedarik zinciri” anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Çalışmaların yayımlandıkları tarihler açısından bir zaman aralığı belirlenmemiş, karşılaşılan ilk çalışma olan Gottinger (1988)'in çalışmasıyla başlanarak, literatür çalışmasının yapıldığı yıla (2011) kadar olan tüm çalışmalar ele alınmıştır.

Bu bölümde yer alan çalışmalar, bilimsel dergilerde, akademik yayınlarda ve konferans metinlerinde indeksli olarak ve İngilizce basılmış olan çalışmalarla

sınırlıdır. Tersine lojistik ile ilgili tüm çalışmalar değil, tez kapsamına uygun olarak, TLAT ile doğrudan ilgili çalışmalar dikkate alınmıştır.

3.1 TLAT Çalışmalarının Tespit Edilmesi

Yazın çalışmasında 1988 yılından itibaren, 38 farklı dergi/akademik yayında ve 50 farklı uluslararası konferansta, üretim, imalat, lojistik, atık yönetimi, geri dönüşüm, teknoloji ve yöneylem araştırması alanlarında basılmış olan çalışmaları kapsamaktadır. Çizelge 3.1’de TLAT çalışma sayısı ve dergi adları; Çizelge 3.2’de de çalışma sayılarıyla birlikte konferans adları görülmektedir.

Çizelge 3.1 : Dergi/akademik yayın listesi.

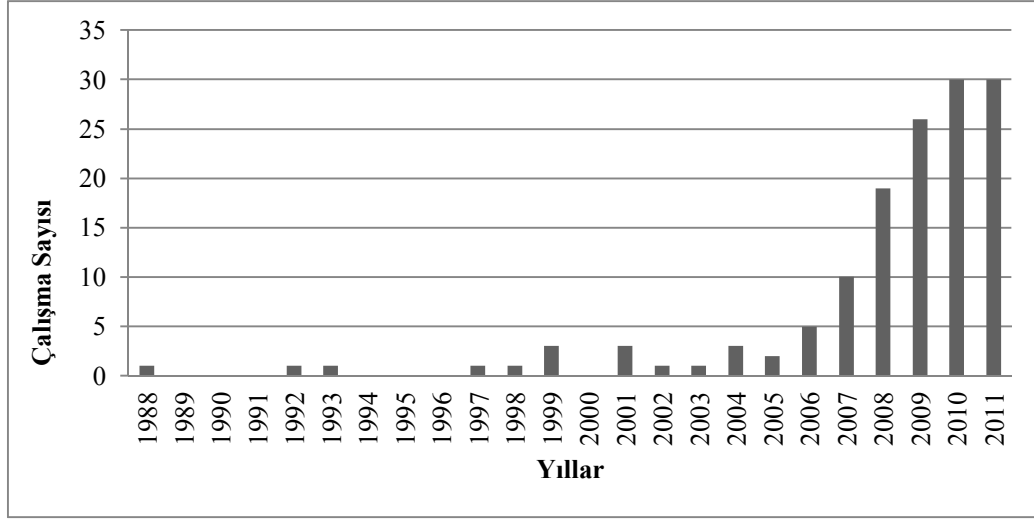
Makaleler	Çalışma Sayısı
European Journal of Operational Research	11
Computers & Operations Research	7
Computers & Industrial Engineering	5
International Journal of Advanced Manufacturing Technology	4
International Journal of Production Economics	4
Omega	4
Resources, Conservation and Recycling	4
International Journal of Production Research	3
Transportation Research	3
Waste Management	3
Applied Mathematical Modelling	2
International Journal of Physical Distribution & Logistics Management	2
Journal of the Operational Research Society	2
Advances in Computer Science, Intelligent System and Environment	1
Advances in Production Engineering and Management	1
Ain Shams Engineering	1
Computer Environmental and Manufacturing Systems	1
Energy Procedia	1
Erasmus Research Institute of Management Report Series	1
Expert Systems with Applications	1
Fuzzy Sets and Systems	1
Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering	1
IEEE Transactions On Electronics Packaging Manufacturing	1
International Journal of Enterprise Network Management	1
International Journal of Operations Research	1
i-Business	1
Journal of Manufacturing Systems	1
Journal of KONES Powertrain and Transport	1
Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology	1
Katholieke Uniandrsiteit Leuandn Reports	1
Lecture Notes in Computer Science	1
OR Spektrum	1
Polymer-Plastics Technology and Engineering	1
Production and Operations Management	1
Production Planning & Control	1
Transportation Science	1
Waste Management & Research	1
World Academy of Science, Engineering and Technology	1

Çizelge 3.2 : Konferans listesi.

Uluslararası Konferanslar	Çalışma Sayısı
2004 - International Engineering Management Conference	1
2006 - International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics	1
2007 - International Conference on Control and Automation	1
2007 - International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics	1
2007 - Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discoandry	1
2008 - International Seminar on Future BioMedical Information Engineering	1
2007 - Third International Conference on Natural Computation	1
2008 - International Conference on Computational Intelligence and Security	1
2008 - International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics	1
2008 - International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation	1
2008 - International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management	1
2008 - International Conference on Networking, Sensing and Control	1
2008 - Congress on Evolutionary Computation	1
2008 – International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering	1
2009 - International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management	1
2009 - Fifth International Conference on Natural Computation	1
2009 - Management and Service Science	1
2009 - 4th International Symposium on Intelligence Computation and Applications	1
2009 - International Conference on Services Science, Management and Engineering	1
2009 - International Conference on Control, Automation and Systems Engineering	1
2009 - International Conference on Electronic Commerce and Business Intelligence	1
2009 - International Forum on Information Technology and Application	1
2009 - International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management	1
2009 - International Conference on Management Science & Engineering	1
2009 - International Conference on Environmental Science and Information Application Technology	1
2009 - International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering	1
2009 - 4th International Conference on Computer Science& Education	1
2009 - 16th Int. Conference on Industrial Engineering and Engineering Management	2
2009 - Asia Pacific Power and Energy Engineering Conference	1
2009 - International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation	1
2009 - International Conference on Management Science & Engineering	1
2010 - International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management	7
2010 - International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation	2
2010- Chinese Control Conference	2
2010- International Conference on Advanced Management Science	1
2010- International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation	1
2010- International Conference on Biomedical Engineering and Computer Science	1
2010- International Conference on Information Science and Management Engineering	1
2010- International Conference on Machine Learning and Cybernetics	1
2010- International Conference on E-Business and E-Goandrnment	1
2010- International Conference on Management and Service Science	1
2011- International Conference on Environment Science and Technology	1
2011- International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science	1
2011- International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce	1
2011- International Conference on Creativity, Innovation and Economic Development	1
2011- World Congress on Engineering	1
2011- International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics	1
2011- International Conference on Logistics	1
2011- International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization	1
2011- International Conference on Management Science and Industrial Engineering	1

Dergi ve akademik yayınlarda yayımlanmış çalışma sayısı 79, konferans metinlerinde yayımlanmış indeksli çalışma sayısı 59'dur. Çalışma sayılarının zamana bağlı olarak dağılımı Şekil 3.1'de görüldüğü gibidir. TLAT üzerine ilk çalışma 1988 yılında yapılmıştır. 1988-2000 yılları arasında pek çok yılda TLAT çalışmasına

rastlanmamıştır. 2006 yılına kadar da çalışma sayıları çok düşüktür. 2006 yılından sonra ise TLAT çalışmaları giderek artmıştır.



Şekil 3.1 : Çalışma sayılarının zamana bağlı değişimi.

Çalışmalar, iki kategoride ele alınmıştır. İlki, matematiksel modelin özelliklerini, amaçlarını, parametrelerin yapısını, ağ yapısı çeşidini, ele alınan ürün çeşidi ve kapasite sınırlarını içeren “model ve ağ yapısı” kategorisidir. İkincisi ise, sayısal örnek olup olmadığı ve uygulama yapıldıysa hangi sektörde yapıldığı bilgisini içeren “uygulama alanı” kategorisidir.

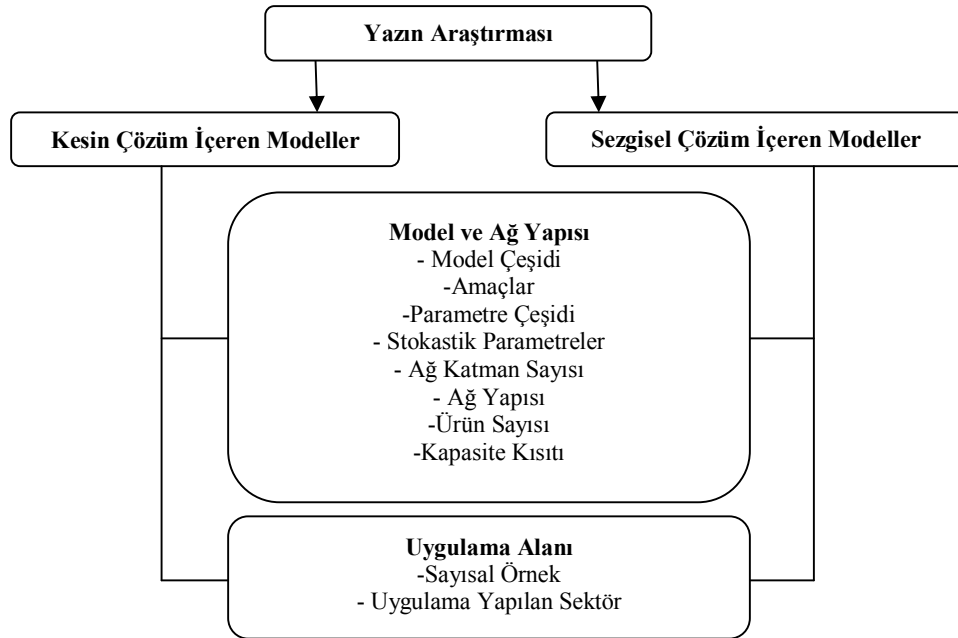
“Model ve ağ yapısı” bölümünde aşağıdaki sorulara yanıt aranmıştır:

1. Çalışmada kullanılan modelin çeşidi nedir?
2. Modelde kaç adet ve hangi çeşit amaç yer almaktadır? Birden fazla amaç varsa, model içerisinde birlikte mi ayrı ayrı mı ele alınmışlardır?
3. Modelin yapısı deterministik mi stokastik midir?
4. Eğer model stokastik ise hangi parametrelerde belirsizlik vardır?
5. Modelin ağ yapısı tek katmanlı mıdır, çok katmanlı mıdır?
6. Modelin ağ yapısı açık çevrim midir, kapalı çevrim midir?
7. Model tek ürünlü müdür, çok ürünlü müdür?
8. Modelde kapasite kısıtı bulunmakta mıdır?

“Uygulama alanı bölümünde ise aşağıdaki sorulara yanıt aranmıştır:

1. Çalışmada sayısal bir uygulama yer almakta mıdır?
2. Eğer herhangi bir uygulama yapılmışsa, hangi sektörde yapılmıştır?

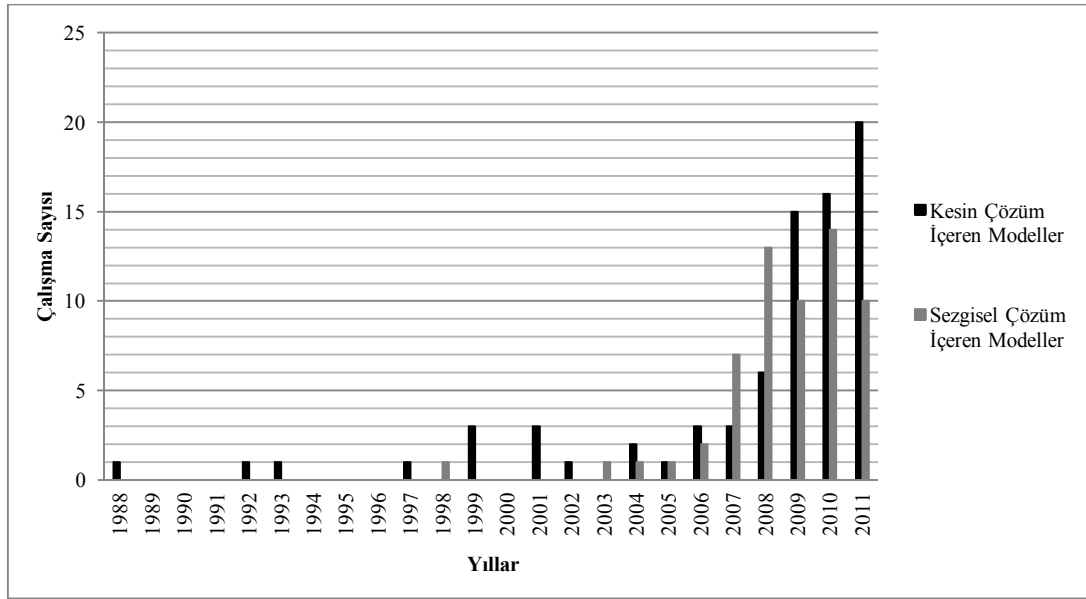
Sınıflandırmanın daha anlaşılabilir olması için TLAT çalışmaları çözüm metoduna göre gruplandırılmıştır: 1. Kesin çözüm içeren modeller 2. Sezgisel çözüm içeren modeller. Kesin çözüm içeren modeller optimal sonuç veren modellerdir. Sezgisel çözüm içeren modeller ise optimal çözüme yakın değerler veren ve algoritmik yaklaşım geliştirmenin zor olduğu modellerdir. Şekil 3.2’de TLAT çalışmalarının sınıflandırılma yapısı görülmektedir.



Şekil 3.2 : TLAT çalışmalarının sınıflandırılma yapısı.

3.2 TLAT Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Kesin çözümlü model sayısı, sezgisel model sayısından fazladır. Yıllara göre çalışma sayılarının çözüm metoduna göre dağılımı Şekil 3.3’te görüldüğü gibidir.



Şekil 3.3 : Çözüm metoduna göre çalışma sayılarının yıllar içerisinde dağılımı.

Yazında ilk sezgisel çözüm içeren çalışma, TLAT ile ilgili çalışmanın görülmesinden on yıl sonra geliştirilmiştir. 1998-2003 yılları arasında sezgisel çözüm içeren çalışma hiç yapılmamıştır. 2006 yılından sonra ise sezgisel çalışmalar hızla artmış ve 2010 yılında en yüksek seviyeye ulaşmıştır.

3.2.1 Kesin çözüm içeren modeller

Rardin (1997)'ye göre kesin optimal çözüm, belirli varsayımlar altında uygun çözüm veren bir yöntemdir. TLAT yazın araştırmasında 78 adet kesin çözüm veren çalışma yer almaktadır. Benzetim ya da senaryo tabanlı yaklaşımlar sergileyen matematiksel çalışmalar da bu kapsamda değerlendirilmiştir.

3.2.1.1 Model ve ağ yapısı

Kesin çözüme ulaşan TLAT çalışmalarında en çok kullanılan modelleme yaklaşımı karma tamsayılı doğrusal programlamadır (KTDP). Doğrusal olmayan programlama ile çözüme ulaşan birkaç çalışma vardır (örneğin Lowers ve diğ, 1999; Xiangru ve Wei, 2009a; Cheng, 2009; Sasikumar ve diğ, 2010; Lieckens ve diğ, 2011). Diğer yandan, Pati ve diğ. (2008), Wongthatsanekorn (2009), Chang ve diğ. (2009) ve Harraz ve Galal (2011) gibi çalışmalarda, çok kriterli karar verme problemlerinde kullanılan karma tamsayılı hedef programlama (KTHP) metodunu kullanılmıştır. Hedef Programlama (HP) doğrusal programlamanın genişletilmiş hali olarak düşünülebilir ve eğer problem çok amaçlı bir yapıdaysa, bazı amaçların kısıt olarak

düşünülmesi temeline dayanır. Xanthopoulos ve Iakovou (2009) de, çalışmalarının belli bir bölümünde (en uygun demontajı ve yaşam ömrünün sonuna gelen farklı ürünlerin parçalarının seçiminde) HP metodu kullanmışlardır.

Çoğu model, maliyet minimizasyonu ya da kâr maksimizasyonu amaçlarına sahiptir. Fakat gerçek hayatta, çevrenin korunması ve firmaların stratejik hedeflerine sürdürülebilirlik kavramının dâhil edilmesi çok önem kazanmaya başlamıştır. Bu nedenle çevre odaklı ve geri kazanım miktarıyla ilişkili amaçlar da dikkate alınmaya başlamıştır. Bu bölümde yalnızca 13 adet çalışmada (%16 lık bir kısımda), ekonomik hedeflerin yanı sıra farklı hedefler içeren çok amaçlı model yapısı oluşturulmuştur. Krikke ve diğ. (2001)'nin çalışmasında maliyet minimizasyonu, enerji tüketimi minimizasyonu ve atık minimizasyonu hedefleri yer almaktadır. Ahluwalia ve Nema (2006) maliyeti ve çevresel riski minimize eden çok amaçlı bir model oluşturmuşlardır. Benzer şekilde Chang ve diğ. (2009), Zhou ve diğ. (2010), Pishvae ve Razmi (2011) ve Fathi ve diğ. (2009) maliyet minimizasyonunun yanı sıra olumsuz çevresel etkiyi minimize etmişlerdir. Pati ve diğ. (2008) toplam maliyeti, atıkları minimize eden, atık toplama miktarını maksimize eden bir model önermişlerdir. Wongthatsanekorn (2009) da üç amaç belirlemiştir: toplam maliyeti azaltmak, plastik geri kazanım miktarını arttırmak ve geri dönüşüm sürecine alınan plastik miktarını arttırmak. Pishvae ve Torabi (2010) toplam maliyet ve gecikmeyi minimize etmişlerdir. Diğer yandan, Harraz ve Galal (2011) maliyet minimizasyonunun yanına çevresel etki minimizasyonu ve sosyal fayda maksimizasyonu hedeflerini de eklemişlerdir. Cevap verme hızının maksimize edilmesi (Khajavi ve diğ, 2011), maksimum hizmet seviyesi (Zarandi ve diğ, 2011) ve gecikme minimizasyonu (Zegordi ve diğ, 2011) da dikkate alınan diğer amaçlardır.

Belirsizlik, TLAT modellerinin en belirgin özelliklerindendir. TL problemlerindeki geri dönen ürün miktarı, kalitesi ve dönüş zamanına ilişkin belirsizliklerden ötürü tersine lojistiğin karmaşıklığı artmaktadır. Belirsizlik konusu yazında genellikle, karma tamsayılı ağ tasarımı içerisinde senaryo analizleri oluşturularak çalışılmıştır (Dekker ve diğ, 2004). Matematiksel programlama modelleri, belirli bir senaryo üzerinden ya da parametrelerin bilindiği varsayımıyla çözümlenmektedir. Fakat, belli bir olasılık dağılımına uygun hareket eden parametrelerin ele alındığı stokastik çalışmalar ya da olasılıklı programlamaların ele alındığı çalışmalar da mevcuttur. En

sık karşılaşılan stokastik parametreler, talep ve geri dönüş miktarlarıdır (Listeş ve Dekker; 2005; Salema ve diğ., 2007; Listeş, 2007; Wang ve Zhao, 2009; El Sayed ve diğ, 2010). Chen ve Gu (2007) sadece geri dönüş miktarını, Salema ve diğ. (2010) sadece talep miktarını stokastik olarak ele almışlardır. Pishvae ve diğ. (2010b) geri dönüş kalitesi ve değişken maliyetleri stokastik olarak ele aldıkları bir KTDP modeli geliştirmişlerdir. Bunların yanı sıra zaman parametreleri (Lieckens ve diğ, 2011), tek bir maliyet kalemi (örneğin ulaştırma maliyeti) (Pishvae ve diğ, 2011), zaman, kapasite ve değişken maliyetler (Pishvaeve Torabi, 2010; Pishvae ve Razmi, 2011) de stokastik olarak ele alınan parametrelerdir.

3.2.1.2 Uygulama alanı

Modellerin daha iyi anlaşılması için matematiksel modellerden sonra modele sayısal değerlerin girişi sağlanarak örnekler yapılmaktadır. Kimi problemler gerçek sektörel problemlere dayanırken kimileri sadece varsayılan değerlere dayanmaktadır. Bu bölümde yer alan çalışmalardan sadece Fandel ve Stammen (2004) ve Cheng (2009)'in çalışmalarında örnek uygulamaya rastlanmamıştır. TLAT uygulama alanlarının çok çeşitli olduğu görülmüştür. Uygulama alanları elektronik cihaz ve bilgisayarlardan (örneğin Shih, 2001; Krikke ve diğ, 2001; Beamon ve Fernandes, 2004; Ahluwalia ve Nema, 2006; Srivastava, 2008a; Srivastava, 2008b; Xiangru ve diğ, 2009; Chang ve diğ, 2009; Wang ve Zhao, 2009; Zhou ve Zhang, 2009; Wolfer ve diğ, 2011; Mounir ve diğ, 2011; Piplani ve Saraswat, 2011); çelikten (örneğin Spengler ve diğ, 1997; Guo ve Dai, 2011); kopyalama makinelerinden (Krikke ve diğ, 1999; Fleischmann ve diğ, 2001; Salema ve diğ, 2006; Salema ve diğ, 2007; Zhou ve Wang, 2008; Zhang ve Amin, 2011; Krikke, 2011); otomotiv, dizel motorlar, kamyon ve yaşam ömrünü tamamlamış araçlardan (örneğin Srivastava, 2008b; Qi ve Hongcheng, 2008; Cruz Rivera ve Ertel, 2009; Xanthopoulos ve Iakovou, 2009; Dongai ve diğ, 2009; Sasikumar ve diğ, 2010; Harraz ve Galal, 2011; Mahmoudzadeh ve diğ, 2011; Vidovic ve diğ, 2011), katı, plastik, medikal, inşaat ve tehlikeli atıklara (örneğin Gottinger, 1988; Pugh, 1993; Hu ve diğ, 2002; Listeş ve Dekker, 2005; Wongthatsanekorn, 2009; Shi, 2009); paketlemeye (örneğin Ossenbruggen ve Ossenbruggen, 1992; Xiangru ve Hua, 2009); halıya (örneğin Louwers ve diğ, 1999; Realff ve diğ., 1999), pil sektörüne (Sasikumar ve Haq, 2011), cam sektörüne (Salema ve diğ, 2010) ve kâğıt sektörüne (örneğin Fleischmann ve diğ, 2001; Pati ve diğ, 2008; Fathi ve diğ, 2009; Kara ve Onut, 2010) kadar geniş bir

alana yayılmıştır. Geri kalan çalışmalar sayısal değerler üzerinden geliştirilen uygulamalar içermektedir fakat gerçek endüstriyel uygulamalara dayanmamaktadır.

3.2.2 Sezgisel çözüm içeren modeller

Özellikle karmaşık ve çözümü zor (NP problemler) problemlerde optimal çözüme erişmek çok fazla zaman almaktadır. Bu gibi problemlerde optimal çözüme yakın bir çözümü daha kısa sürede elde etmeye olanak veren sezgisel yöntemlerden yararlanmak uygundur (Carter ve Price, 2000; Winston, 2001). Bu bölümde toplam 60 adet sezgisel çözüm içeren model yer almaktadır.

3.2.2.1 Model ve ağ yapısı

Sezgisel çözüm içeren modellerde de en çok kullanılan programlama çeşidi KTDP olmuştur. Diğer yandan, sezgisel çözümlü modellerde doğrusal olmayan çalışma sayısının kesin çözümlü modellerden daha fazla olduğu görülmüştür. Zhou ve diğ. (2005), Min ve diğ. (2006), Ko ve Evans (2007), Lieckens ve Vandaele (2007), Tang ve Xie (2007), Aras ve diğ. (2008), Wan ve Zhang (2008), Lo ve diğ. (2008), Ge ve diğ. (2009), Tian ve diğ. (2009), Ding (2010a), Ding (2010b), Bai (2011), Costa ve diğ. (2011), Li (2011) ve Ren ve Ye (2011) çalışmalarında doğrusal olmayan programlama kullanmışlardır. Sezgisel çözüm içeren modellerde de en fazla karşılaşılan amaç maliyet minimizasyonu ve kâr maksimizasyonu olmuştur. Toplam çok amaçlı model sayısı, kesin çözüm içeren çalışmalara göre daha fazladır. Kusumastuti ve diğ. (2004) net gelirin maksimize edilmesi, karbon dioksit emisyonunun ve enerji tüketiminin azaltılmasını hedeflemişlerdir. Lo ve diğ. (2008), maliyet minimizasyonunun yanı sıra toplama noktalarındaki ürün geri dönüş faaliyetlerinde yük dengesini maksimize etmeyi ve tüketiciler ile toplama noktaları arasındaki uzaklığı minimize etmeyi ele almışlardır. Neto ve diğ. (2009), maliyeti minimize etmeyi, enerji talebi ve atıkları azaltmayı hedeflemişlerdir. Zhang ve diğ. (2007), Lu ve diğ. (2008) ve Neto ve diğ. (2008) de çevresel etki, minimizasyonunu da modelin amaçlarına dâhil etmişlerdir. He ve diğ. (2007), Lo ve diğ. (2008) ve Wang ve diğ. (2008) de toplam maliyeti minimize etmenin yanı sıra yaşam alanları ile transfer istasyonları arasındaki uzaklığı minimize etme, geri dönüşüm istasyonları ile yaşam alanları arasındaki uzaklığı maksimize etme hedeflerini ele almışlardır. Du ve Evans (2008) çevrim zamanı gecikmelerini minimize etme, Pishvae ve diğ. (2010a) cevap verme hızını maksimize etme, He (2011) hizmet seviyesini maksimize

etme, Tuzkaya ve diğ. (2011) bir merkezden diğerine aktarılan ürün miktarını maksimize etme hedeflerini ele almışlardır. Qin ve Ji (2010), çalışmalarında üç ayrı amacı üç ayrı modelde ele almışlardır: toplam maliyet minimizasyonu, güvenilirlik maksimizasyonu ve beklenen maliyetin minimize edilmesi.

Sezgisel çözüm içeren çalışmaların %15'i (toplam 9 adet) stokastik model içermektedir. Dört tanesi sadece tek stokastik parametre içermektedir. Kesin çözüm içeren çalışmalarda da olduğu gibi en sık karşılaşılan stokastik parametreler talep ve geri dönüş miktarı parametreleridir. Lieckens ve Vandaele (2007) teslim zamanını, Di ve Wang (2009) talep miktarını, Chu ve diğ. (2010) ve Bennekrouf ve diğ. (2011) günlük geri dönüş miktarını stokastik parametreler olarak ele almışlardır. Geri kalan stokastik çalışmalar birden fazla stokastik parametre içermektedir. Kusumastuti ve diğ. (2004), Zhou ve diğ. (2005) ve Lee ve Dong (2009) talep ve arz/geri dönüş miktarını, Chen ve diğ. (2008) müşteri talebi, geri dönüş oranını ve yeniden imalat teslim zamanını, Yan ve Lee (2008) geri dönüşüm miktarı ve talep miktarını stokastik parametreler olarak ele almışlardır.

Sezgisel çözüm olarak en çok yararlanılan yöntem Genetik Algoritma (GA)'dır (Örneğin Kusumastuti ve diğ, 2004; Zhou ve diğ, 2005; Min ve diğ, 2006; He ve diğ, 2007; Ko ve Evans, 2007; Lieckens ve Vandaele, 2007; Tang ve Xie, 2007; Min ve Ko, 2008; Zhou ve diğ, 2008; Wan ve Zhang, 2008; Lu ve diğ, 2008; Yan ve Lee, 2008; Xie, 2009; Shi ve diğ, 2009; Ge ve diğ, 2009; Lee ve diğ, 2009; Di ve Wang, 2009; Zarei ve diğ, 2010; Chu ve diğ, 2010; Pishvae ve diğ, 2010a; Lili ve Yong, 2010; Wang ve Hsu, 2010). Faydalanılan diğer bir yöntem ise bulanık sistem yaklaşımlarıdır. Bulanık yaklaşımlar, karar vericilerin öznel düşüncelerinin değerlendirilebilmesine olanak sağlar (Bojadziev ve Bojadziev, 2007). Zhang ve diğ. (2007), He ve diğ. (2007), Chen ve diğ. (2008), Lo ve diğ. (2008), Wang ve diğ. (2008), Pochampally ve Gupta (2008), Di ve Wang (2009), Lin ve diğ. (2009), Chu ve diğ. (2010), Zhang ve diğ. (2010) ve Ding (2010b) çalışmalarında bulanık yaklaşımdan faydalanmışlardır. Diğer yandan, Sahyouni ve diğ. (2007), Lu ve Bostel (2007) ve Tian ve diğ. (2009) Lagrangian sezgiselinden faydalanmışlardır. Aras ve diğ. (2008), Ge ve diğ. (2009), Tian ve diğ. (2009) tabu arama yöntemini kullanmışlardır. Lee ve Dong (2009) ve Pishvae ve diğ. (2010c) tavlama benzetimi yöntemini kullanmışlardır. Diğer çalışmalarda doğrusal tabanlı sezgiseller (örneğin Barros ve diğ, 1998), sezgisel genişleme (örneğin Jayaramani ve diğ, 2003), sistem

dinamikleri (örneğin Srivastava ve Srivastava, 2006), pareto optimal çözüm (örneğin Neto ve diğ, 2008), parçacık sürü optimizasyonu (örneğin Yu ve Wei, 2009; Ren ve Ye, 2011), eko topoloji yöntemi (örneğin Neto ve diğ, 2009) ve diferansiyel evrim algoritması (Ding, 2010a; Ding, 2010b) kullanılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları melez çalışmalardır (Du ve Evans, 2008; Chen ve diğ, 2008; Lee ve Dong, 2009; Lee ve diğ, 2009; Tian ve diğ, 2009; Di ve Wang, 2009; Lin ve diğ, 2009; Chu ve diğ, 2010; Qin ve Ji, 2010; Costa ve diğ, 2011). 39 sezgisel çözüm içeren çalışmada tek ürünlü model yer almaktadır. Çalışmaların büyük çoğunluğu (%81.6) kapasite kısıtına sahiptir.

3.2.2.2 Uygulama alanı

Bu bölümde yer alan çalışmaların Lili ve Yong (2010) haricindeki tüm çalışmalarda sayısal değer verilerek uygulama çalışması yapılmıştır. Fakat sektörel uygulama yapılan çalışma sayısı azdır (%55 oranında). Elektronik cihaz ve bilgisayarlar en çok karşılaşılan sektörel uygulamadır (örneğin Kusumastuti ve diğ, 2004; Srivastava ve Srivastava, 2006; Wan ve Zhang, 2008; Lee ve Dong, 2008; Yan ve Lee, 2008; Ge ve diğ, 2009; Neto ve diğ, 2009; Chu ve diğ, 2010; Xiangru ve Xin, 2010; Tuzkaya ve diğ, 2011). Uygulama gerçekleştirilen diğer sektörler yaşam ömrünün sonuna gelen araçlar (örneğin Tian ve diğ, 2009; Zarei ve diğ, 2010; Zarei ve diğ, 2010; Guranowska, 2011); katı, medikal, inşaat ve tehlikeli atıklara (örneğin Barros ve diğ, 1998; Jayaraman ve diğ, 2003; Zhang ve diğ, 2007; He ve diğ, 2007; Wang ve diğ, 2008; Shi ve diğ, 2009); kâğıt (örneğin Neto ve diğ, 2008); internet üzeri satış ve satış sonrası hizmettir (örneğin Min ve diğ, 2006; Du ve Evans, 2008).

Kesin çözüm içeren çalışmaların model ve ağ yapısı, ve uygulama alanı olarak ayrılan iki büyük kategoriye göre sınıflandırılması, Çizelge 3.3'te gösterilmektedir. Sezgisel çözüm içeren çalışmaların model ve ağ yapısı, ve uygulama alanı olarak ayrılan iki büyük kategoriye göre sınıflandırılması ise Çizelge 3.4'te gösterilmektedir. (“/ “ sembolü, modelde ele alınan amaçların ayrı ayrı geliştirildiğini, “,” sembolü modeldeki amaçların bir arada ele alındığı, parantez içindeki rakamlar ise ele alınan amaç sayısını göstermektedir).

Çizelge 3.3 : Kesin çözüm içeren TLAT modellerinin sınıflandırılması.

Çalışma	MODEL ve AĞ YAPISI								UYGULAMA ALANI	
	Model	Amaçlar	Parametre	Stokastik Param.	Ağ Katmanı	Ağ Yapısı	Ürün	Kapasite	Sayısal Örnek	Uygulama Yapılan Sektör
Gottinger (1988)	KTDP	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Katı atık
Ossenbruggen ve Ossenbruggen (1992)	DP	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Bilgisayar ambalajı
Pugh (1993)	HAR	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Katı atık
Spengler ve diğ. (1997)	KTDP	KM/MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Çelik
Krikke ve diğ. (1999)	KTDP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KKY	V	Kopyalama makinesi
Louwers ve diğ. (1999)	DOP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	Halı
Reallf ve diğ. (1999)	KTDP	KM	D		TA	KÇ	ÇÜ	KK	V	Halı
Fleischmann ve diğ. (2001)	KTDP	MM	D		ÇA	AÇ/KÇ	TÜ	KKY	V	Kopyalama makinesi ve kâğıt
Krikke ve diğ. (2001)	KTDP	MM,EM,ETM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KKY	V	Buzdolabı
Shih (2001)	KTP	KM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Ev aletleri ve bilgisayar
Hu ve diğ. (2002)	DP	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Tehlikeli atık
Beamon ve Fernandes (2004)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	Elektronik alet kiralama
Fandel ve Stammen (2004)	KTDP	KM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	Y	---
Listeş ve Dekker (2005)	SKTDP	KM	S	TaM,GDM	ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	İnşaat atığı
Ahluwalia ve Nema (2006)	KTDP	MM,EM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Bilgisayar
Jianhua ve Qiaolun (2006)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KKY	V	---
Salema ve diğ. (2006)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	Ü	KKY	V	Kopyalama makinesi
Chen ve Gu (2007)	SKTDP	MM	S	GDM	ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Listeş (2007)	SKTDP	KM	S	TaM,GDM	ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Salema ve diğ. (2007)	SKTP	MM	S	TaM,GDM	ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	Kopyalama makinesi
Demirel ve Gökçen (2008a)	KTP	MM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	---
Pati ve diğ. (2008)	KTHP	MM,KDM,AToM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Atık kâğıt
Qi ve Hongcheng (2008)	KTP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	Otomotiv
Srivastava (2008a)	KTDP	KM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KKY	V	Ev aletleri
Srivastava (2008b)	KTDP	KM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KKY	V	Buzdolabı,çamaşır makinesi ve otomobil
Zhou ve Wang (2008)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KKY	V	Kopyalama makinesi
Xiangru ve Wei (2009a)	DOP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	---
Chang ve diğ. (2009)	KTHP	MM,EM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Buzdolabı
Cheng (2009)	KTDOP	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KKY	Y	---
Cruz Rivera ve Ertel (2009)	KTP	MM	D		TA	KÇ	TÜ	KKY	V	Yaşam ömrünü tamamlamış araçlar
Dongai ve diğ. (2009)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	Dizel motor
Fathi ve diğ. (2009)	DP	MM,EM	D		TA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Kâğıt
Mutha ve Pokharel (2009)	KTP	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	---
Shi (2009)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	Medikal atık

Çizelge 3.3 (devam) : Kesin çözüm içeren TLAT modellerinin sınıflandırılması.

Çalışma	MODEL ve AĞ YAPISI								UYGULAMA ALANI	
	Model	Amaçlar	Parametre	Stokastik Param.	Ağ Katmanı	Ağ Yapısı	Ürün	Kapasite	Sayısal Örnek	Uygulama Yapılan Sektör
Wang ve Zhao (2009)	SKTDP	MM	S	TaM,GDM	TA	KÇ	TÜ	KK	V	Elektrik güç sistemleri
Wongthatsanekorn (2009)	KTHP	MM,GKM1,GKM2	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	Plastik atık
Wu (2009)	KTDP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	---
Xanthopoulos ve Iakovou (2009)	KTDP	KM	D	TaM,GDM	TA	KÇ	ÇÜ	KK	V	Yaşam ömrünü tamamlamış elektronik ürünler
Xiangru ve Hua (2009)	KTDP	MM	D		TA	KÇ	TÜ	KK	V	Bira şisesi paketleme
Xiangru ve Wei (2009b)	DP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	---
Xiangru ve diğ. (2009)	KTDP	MM	D	TaM, GDM	ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	Elektrikli ev aletleri
Zhou ve Zhang (2009)	DP	KM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Ev aletleri
Achillas ve diğ. (2010)	KTDP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	Elektrikli ve elektronik aletler
El Sayed ve diğ. (2010)	SKTDP	KM	S	TaM, GDM	ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Jia ve diğ. (2010)	KTP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Jiawang ve diğ. (2010)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Kara ve Onut (2010)	SKTP	KM	S	TaM, TZ, GDM, K, DM	ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	Kâğıt atık geri dönüşüm
Ling ve diğ. (2010)	BKTDP	ÇZM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	---
Minli ve Yu (2010)	DP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	Mekanik imalat
Pishvae ve diğ. (2010b)	SKTDP	MM	S	TaM	ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Pishvae ve Torabi (2010)	OKTP	MM, ÇZM	O		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Salema ve diğ. (2010)	GenP	MM	S		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	Cam
Sasikumar ve diğ. (2010)	KTDP	KM	D	Tüm Parametreler	ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	Kamyon lastiği
Tijun ve Yan (2010)	KTDP	FM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	---
Wang ve diğ.. (2010)	DP	KM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KKY	V	---
Xu ve Zhu (2010)	KTP	KM	D	Tüm Parametreler	ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	---
Zhang ve diğ. (2010)	PAP	MM	S		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Katı atık
Zhou ve diğ. (2010)	KTDP	MM, EM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	Otomobil
Gomes ve diğ. (2011)	KTDP	MM	D	TaM, TZ	ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Elektrikli ve elektronik aletler
Guo ve Dai (2011)	KTP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	Çelik geri dönüşümü
Harraz ve Galal (2011)	KTHP	MM, EM, SM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Yaşam ömrünü tamamlamış araçlar
Khajavi ve diğ. (2011)	KTP	MM, YVM	D	TaM, TZ	ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Krikke (2011)	KTDP	EM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KKY	V	Kopyalama makineleri
Lieckens ve diğ. (2011)	KTDP	KM	S		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	İnşaat, maden ve endüstriyel aletler
Lundin (2011)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KKY	V	Para

Çizelge 3.3 (devam) : Kesin çözüm içeren TLAT modellerinin sınıflandırılması.

Çalışma	MODEL ve AĞ YAPISI								UYGULAMA ALANI	
	Model	Amaçlar	Parametre	Stokastik Param.	Ağ Katmanı	Ağ Yapısı	Ürün	Kapasite	Sayısal Örnek	Uygulama Yapılan Sektör
Mahmoudzadeh ve diğ. (2011)	KTDP	MM	D	TaM, GDM, UM TaM, TZ, GDM, L, DM	ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	Yaşam ömrünü tamamlamış araçlar
Mounir ve diğ. (2011)	KTDP	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Elektronik ürünler
Peng ve diğ. (2011)	KTDP	KM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Bakır geri dönüşümü
Piplani ve Saraswat (2011)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	Masa üstü bilgisayarlar
Pishvae ve diğ. (2011)	KTDP	MM	S		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Pishvae ve Razmi (2011)	OKTP	MM, EM	O		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	Üretici
Sasikumar ve Haq (2011)	BKTDP	MM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	Piller
Qian ve diğ. (2011)	KTDP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	E-ticaret
Vidovic ve diğ. (2011)	KTDP	TÜM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KKY	V	Yaşam ömrünü tamamlamış araçlar
Wolfer ve diğ. (2011)	KTDP	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Elektrikli ve elektronik aletler
Zarandi ve diğ. (2011)	BHP	MM, HSM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	---
Zegordi ve diğ. (2011)	KTDP	MM, ÇZM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	---
Zhang ve Amin (2011)	BKTDP	MM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	Kopyalama makineleri

Çizelge 3.4 : Sezgisel çözüm içeren TLAT modellerinin sınıflandırılması.

Barros ve diğ. (1998)	KTDP	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	İnşaat atığı
Jayaraman ve diğ. (2003)	KTDP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	Tehlikeli atık
Kusumastuti ve diğ. (2004)	SKTP	KM,EM,ETM	S	TaM, GDM	ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Bilgisayar
Zhou ve diğ. (2005)	SKTDOP	MM	S	TaM,GDM	TA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Min ve diğ. (2006)	KTDOP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	Online satış
Srivastava ve Srivastava (2006)	KTDP	KM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KKY	V	Elektrikli ev aletleri
He ve diğ. (2007)	BKTP	MM,UM1,UM2	D		ÇA	AÇ	TÜ	KKY	V	Katı atık
Ko ve Evans (2007)	KTDOP	MM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	---
Lieckens ve Vandaele (2007)	SKTDOP	KM	S	TS	ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	---
Lu ve Bostel (2007)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KKY	V	---
Sahyouni ve diğ. (2007)	KTDP	MM	D		TA	KÇ	TÜ	KKY	V	---
Tang ve Xie (2007)	KTDOP	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	---
Zhang ve diğ. (2007)	BKTP	MM,EM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Tehlikeli atık
Aras ve diğ. (2008)	KTDOP	KM	D		TA	AÇ	TÜ	KK	V	---
Chen ve diğ. (2008)	SKTP-BKTP	MM	S	GDM,EÇO,YIM	ÇA	KÇ	ÇÜ	KKY	V	---
Du ve Evans (2008)	KTDP	MM,ÇZM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	3PL satış sonrası hizmet
Min ve Ko (2008)	KTP	MM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	---
Lee ve Dong (2008)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	Bilgisayar ürünleri
Lo ve diğ. (2008)	KTDOP	MM,YM,UM2	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	---
Lu ve diğ. (2008)	KTDP	MM,EM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KKY	V	---
Neto ve diğ. (2008)	KTP	MM,EM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Hamur ve kâğıt
Pochampally ve Gupta (2008)	BDP	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	---
Yan ve Lee (2008)	SKTDP	MM	S	TaM,YIM	ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	Ev aletleri
Wan ve Zhang (2008)	KTDOP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	Ev aletleri
Wang ve diğ. (2008)	BKTDOP	MM,UM1,UM2	D		ÇA	AÇ	TÜ	KKY	V	Tehlikeli atık
Zhou ve diğ. (2008)	KTDP	MM	D		TA	AÇ	TÜ	KKY	V	---
Di ve Wang (2009)	SKTP	MM	S	TaM	ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Ge ve diğ. (2009)	KTDOP	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KKY	V	Havalandırma ve bilgisayarlar
Lee ve Dong (2009)	SKTDP	MM	S	TaM,GDM	ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	---
Lee ve diğ. (2009)	KTP	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	---
Lin ve diğ. (2009)	KTP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Neto ve diğ. (2009)	DP	MM,EM,ETM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	Elektrikli aletler
Shi ve diğ. (2009)	KTDP	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Medikal atık
Tian ve diğ. (2009)	KTDOP	MM	D		TA	AÇ	TÜ	KK	V	Araçlar
Xie (2009)	KTP	MM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	---
Yu ve Wei (2009)	KTP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	---
Chu ve diğ. (2010)	SKTP	MM	S	GDM	ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	Ev aletleri
Ding (2010a)	KTDOP	MM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	---
Ding (2010b)	FKTDOP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Yong (2010)	KTDP	MM, MTM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	Y	---

Çizelge 3.4 (devam) : Sezgisel çözüm içeren TLAT modellerinin sınıflandırılması.

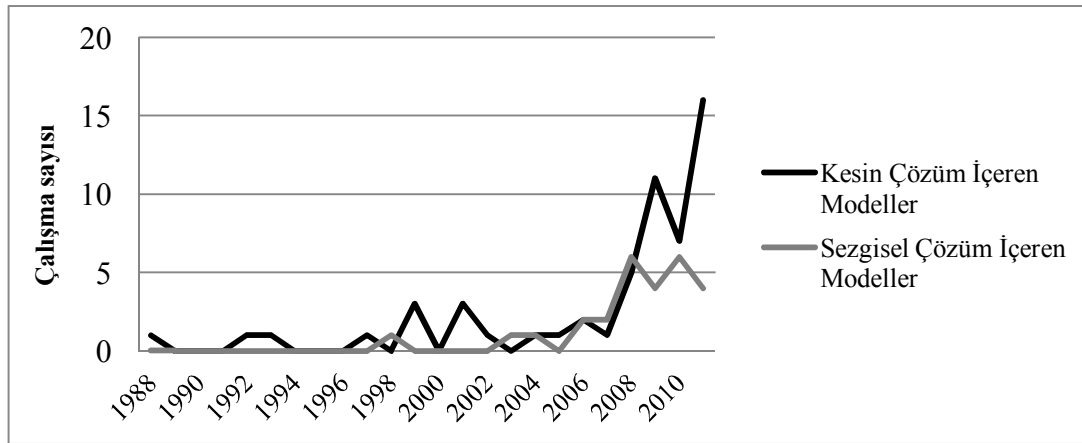
Lin ve diğ. (2010)	KTDP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	İlaç
Lu ve Zhao (2010)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	Bira şişesi
Pishvae ve diğ. (2010c)	KTDP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	---
Pishvae ve diğ. (2010a)	KTDP	MM,YVM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Qin ve Ji (2010)	KTP	MM/GM/EM	F*		TA	AÇ	TÜ	KK	V	---
Wang ve Hsu (2010)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Xiangru ve Xin (2010)	KTDP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KKY	V	Ev aletleri atıkları
										Yaşam ömrünü
Zarei ve diğ. (2010)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	tamamlamış araçlar
Zhang ve diğ. (2010a)	BKTDP	MM	D		ÇA	KÇ	ÇÜ	KK	V	---
Zhang ve diğ. (2010b)	KTP	MM	D		ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	Demir, çelik, kâğıt
Bai (2011)	KTDOP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Bennekrouf ve diğ. (2011)	KTDP	MM	S	GDM	ÇA	AÇ	ÇÜ	KK	V	---
										Elektrikli dağıtım
Costa ve diğ. (2011)	KTDOP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	sistemleri
Guranowska (2011)	KTP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	Araç geri dönüşümü
He (2011)	KTP	MM, HSM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	---
Huo ve Wang (2011)	KTP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KKY	V	Ev aletleri
Li (2011)	KTDOP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	---
Rangwani ve diğ. (2011)	KTDP	MM	D		ÇA	KÇ	TÜ	KK	V	---
Ren ve Ye (2011)	KTDOP	MM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	---
Tuzkaya ve diğ. (2011)	KTDP	MM, AÜM	D		ÇA	AÇ	TÜ	KK	V	Beyaz eşya

*Bu çalışmada yazarlar ele alınan yaklaşımın stokastik ya da deterministik olarak değil bulanık olarak adlandırmışlardır.

3.3 TLAT Yazın Araştırması Sonuçlarının Yorumlanması

Son yıllarda TLAT çalışmalarının sayısı giderek artmaktadır. Bu nedenle de bu bölümde 1988-2011 yılları arasında yapılan TLAT çalışmalarının detaylı analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda aşağıdaki bulgular ortaya çıkarılmıştır:

- TLAT çalışmaları özellikle 2006 yılından sonra ivme kazanmıştır. Yerel birimlerin tersine lojistiğe verdikleri önem arttıkça ve yasal yaptırımlar güçlendikçe TLAT çalışmaları ağırlık kazanmaya devam edecektir.
- Kesin çözüm içeren modeller ve sezgisel çözüm içeren modellerin arasındaki en büyük farklardan biri, sezgisel modellerin sektörel uygulamaya daha az yer vermesidir. Kesin çözüm içeren çalışmalarda sektörel uygulama içerikli çalışma sayısı daha fazladır. Çözüm metoduna göre sektörel uygulama sayısının yıllar içindeki dağılımı Şekil 3.4'te görülebilir.



Şekil 3.4 : Çözüm metoduna göre sektörel uygulama sayısının dağılımı.

- Çalışmalarda, ekonomik amaç içeren çalışmalara kıyasla çevresel ve sosyal amaçlar içeren modellerin sayısı oldukça azdır.
- Pek çok çalışmada deterministik model önerilmiştir. Bu durum, uygulamanın karmaşıklığını azaltmak için modeldeki parametrelerin belirgin olduğu varsayımıyla hareket edildiğini göstermektedir.
- Stokastik çalışmalarda belirsiz parametreler olarak en çok dikkate alınan parametreler talep miktarı ve geri dönüş miktarı olmuştur. Fakat gerçek hayatta geri dönüş kalitesi, teslim zamanı, kapasite gibi konularda da yüksek oranda belirsizlik vardır.

Bu bulgular ışığında TLAT üzerine yapılacak gelecek çalışmalara yönelik olarak geliştirilen öneriler aşağıdaki gibidir:

- Yazın araştırması çalışması yapacak araştırmacılar için: Çalışmanın geri kazanım faaliyetlerini, hangi kapasite kısıtının modelde yer aldığını ve modelin statik/dinamik yapısını gösteren sınıflandırmalar da ekleyerek genişletilmesi, sezgisel çalışmaların meta sezgisel alt başlığı ile sınıflandırılması, ele alınan çalışmalar arasına tezlerin ve kitap içi bölümlerin de dâhil edilmesi.
- TLAT modeli önerecek araştırmacılar için: Çevresel ve sosyal amaçların modele dâhil edilmesi, belirsizlikler üzerine stokastik modeller ya da farklı karar verme metotlarının uygulanması, geri dönüş kalitesi, temin süresi, kapasite gibi belirsizliklerin dikkate alınması, çalışmaların gerçekleştirildiği ülke gelişmişlik düzeyine göre karşılaştırılması.

Bu çalışmada, literatürde üzerinde en az çalışma yapılan kararlardan olan “sosyal fayda maksimizasyonu” hedefini dikkate almanın, çalışmanın özgün katkısını arttıracığı öngörüsünden hareket edilmiştir (Bkz. Çizelge 3.5). Tesis açma kapama kararına yönelik olarak, en uygun matematiksel model yapılarından olan Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama modeli seçilmiştir. Uygulama alanı olarak, elektrik elektronik sektöründeki geri dönüşümün katma değer yaratma bakımından en önemli sektör olması (Fleischmann ve diğ, 2002) sebebiyle, e-atık sektörü tercih edilmiştir. Türkiye’de kapalı çevrim ağ yapısına sahip üretici ya da geri dönüşüm hizmeti sağlayan firmalar olmadığı için açık çevrimli ağ yapısı tercih edilmiştir. E-atıklardaki yüksek çeşitlilik sebebiyle çok ürünlü bir model yapısı tasarlanılmıştır. Özetle, bu öneriler doğrultusunda tez çalışmasında karar verme metodu olarak yapay sinir ağlarından faydalanılarak geri dönüş miktarı belirsizliği üzerine bir sistem önerilecek, ayrıca ekonomik amaçların yanı sıra çevresel ve sosyal amaçların da dikkate alındığı çok amaçlı bir TLAT modeli tasarlanacaktır.

Çizelge 3.5 : Sınıflandırma türlerine göre çalışma sayıları.

Sınıflandırma Türü	Alt Sınıf	Çalışma Sayısı
Kullanılan Model	KTDP	56
	KTDOP	17
	SKTDP	8
	BKTDP	5
	SKTDOP	2
Amaç Fonksiyonu	Maliyet minimizasyonu	114
	Çevresel etki minimizasyonu	14
	Sosyal fayda maksimizasyonu	2
Uygulama Alanı	Elektronik cihaz ve bilgisayarlar	16
	Beyaz eşya ve ev aletleri	16
	Kopyalama makineleri	7
	Pil	1
Ağ Yapısı	Açık çevrim ağ yapısı	76
	Kapalı çevrim ağ yapısı	63
Ürün Sayısı	Tek ürünlü	76
	Çok ürünlü	62

4. TEZ KAPSAMINDA KULLANILAN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

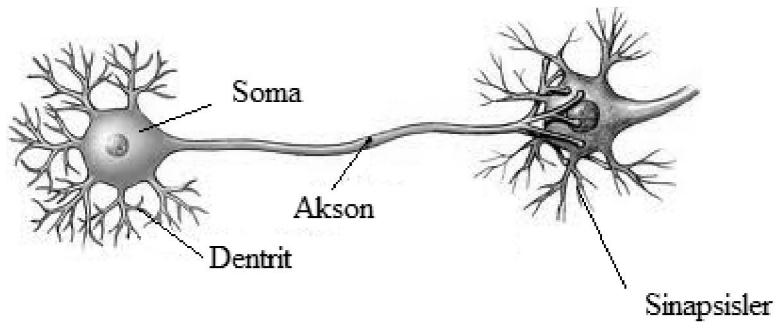
4.1 Yapay Sinir Ağları (YSA)

Doğrusal olmayan bağlantılarla bağlanan girdi ve çıktılar üzerinden tahmin yapmaya izin vermesi, belirsizlik durumlarında da öğrenebilmesi ve karar vericilere hız ve kullanım kolaylığı açısından avantaj sağlaması nedeniyle bu çalışmada Yapay Sinir Ağları (YSA) metodundan faydalanılmıştır.

Zeki sistemler, var olan bilgilerle neden-sonuç ilişkisini kavrayan ve gelecekteki durumlara, tecrübelerden yola çıkarak karar verebilen sistemlerdir. Zeki sistemler ile birlikte uzman sistemler, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, bulanık önermeler mantığı, zeki etmenler gibi sistemler doğmuştur. YSA, yapay zeka uygulamalarından en çok ilgi çeken yöntemlerdendir. YSA, insan beyninin çalışma prensibine benzer şekilde tecrübelerden öğrenen, ilişkilendirme, tahmin, sınıflandırma yapabilen ve öğrenebilme özelliği sayesinde uzmana gerek kalmadan yeni bilgiler meydana getirebilen sistemlerdir. Mühendislik anlamında katkı sunmasalar da 1940'lı yıllardan önce bazı bilim adamları (Helmholtz, Pavlov, Poincare gibi) YSA üzerine çalışmalar yapmışlardır. YSA tarihinde ilk büyük gelişme, 1958 yılında Rosenblatt tarafından algılayıcı modelin geliştirilmesi olmuştur. Bu model, en çok kullanılan YSA modellerinden olan çok katmanlı algılayıcı modelinin gelişmesini sağlamıştır. Bu modelin daha gelişkin öğrenme algoritması içeren hali olan ADALINE modeli, Widrow ve Hoff tarafından geliştirilmiştir. Bu model ile YSA'nın mühendislik uygulamalarına ilk adım atılmıştır. 1960'lı yılların sonunda YSA'ya yönelik çalışmaların sayısında azalma olmuştur. 1980'li yıllara gelindiğinde Kohonen, Grosberg, Carpenter ve Hopfield'in çalışmalarıyla bu alan dinamizmini geri kazandı. 1987 yılından bu yana YSA yazını hızla genişletmekte, yeni model ve öğrenme teknikleri önerileriyle canlanmaktadır (Öztemel, 2003).

4.1.1 YSA temel elemanları ve yapısı

YSA'nın yapısının anlaşılabilmesi için biyolojik sinir sistemlerinin yapısına bakmak faydalı olacaktır. Sinir sisteminin en temel elemanı sinirdir. Bir sinir hücresinin çekirdeğine soma adı verilir. Somalara bağlı dentritler ile diğer sinir hücrelerinden sinyallerin alımı sağlanır. Aksonlar yardımıyla, oluşan sinirsel hareket diğer sinirlere ya da kas liflerine iletilir (Müller ve diğ, 1995). Sinapsisler, elektriksel bir sinyalin kimyasal sinyale, kimyasal sinyalin de yeniden elektriksel sinyale dönüşmesini sağlarlar. Bir sinir hücresinin genel yapısı Şekil 4.1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.1 : Bir sinir hücresinin genel yapısı.

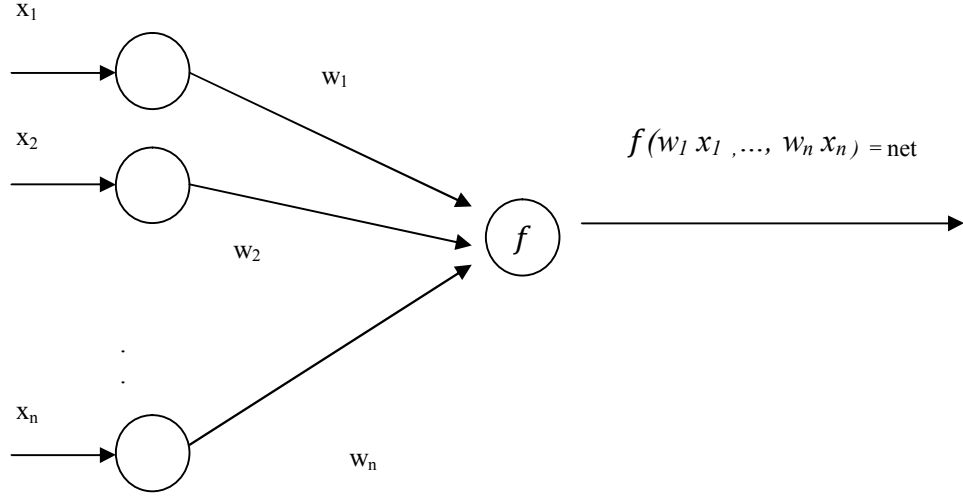
Sinir hücreleri biraraya gelerek sinir sistemini meydana getirirler. YSA da, hücrelerin bu özelliklerinden esinlenilerek geliştirilmiştir. Biyolojik terminolojide yer alan ifadelerin YSA terminolojisindeki karşılıkları Çizelge 4.1'de gösterildiği gibidir (Mehrotra, 2000).

Çizelge 4.1 : Terminoloji (Mehrotra, 2000).

Biyolojik Terminoloji	YSA Terminolojisi
Nöron	Düğüm/Birim/Nöron
Sinapsis	Bağlantı/Bağ
Sinaptik Etkinlik	Bağlantı Gücü/Ağırlık
Atış Sıklığı	Düğüm Çıktısı

YSA'larda da düğüm yani nöron olarak adlandırılan yapay sinir hücreleri vardır. Bir sinir ağı, nöronlar arasında sinyaller taşıyan bağıntılardan oluşmaktadır. Her bir nörona birden fazla ağırlıklandırılmış girdi alınır. Girdilerin çıktıya etki etme derecelerine yani önem derecelerine göre ağırlık değerleri değişecektir. Çünkü ağırlıklar, girdinin çıktıyla bağlantı gücünün bir göstergesidir (Bodyanskiy ve

Popov, 2006). Bir yapay sinir hücresinin genel gösterimi Şekil 4.2’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.2 : Bir yapay sinir hücresi.

4.1.2 YSA öğrenme stratejileri

YSA’lar örneklerden öğrenen sistemlerdir. Bu sistemde genel olarak dört farklı öğrenme stratejisi üzerinden öğrenme gerçekleşir (Öztemel, 2006):

- Öğretmenli Öğrenme: Sisteme, öğretmen tarafından girdi çıktı kümesi verilir. Sistemden beklenen şey, bu girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi öğrenmesidir.
- Destekleyici Öğrenme: Öğretmen her girdiye karşılık bir çıktı sunmaz. Sistemin girdilere önerdiği çıktıların doğru olup olmadığını sisteme girer.
- Öğretmensiz Öğrenme: Sisteme sadece girdi değerleri gösterilir. Bu çeşit öğrenmede, sistemin öğrenmesi bittikten sonra, oluşan çıktının ne anlama geldiğine dair bir etiketlendirme çalışması yapılmalıdır.
- Karma Stratejiler: Yukarıdaki stratejileri birada, kısmi olarak kullanan sistemlerdir.

Bu öğrenme sistemlerinde farklı öğrenme kuralları uygulanır. Hebb öğrenme kuralı en sık karşılaşılan kuraldır. Hebb kuralında bir hücre aktif ise bağlı olduğu hücreyi aktifleştirmekte, pasifse pasifleştirmektedir. Hopfield kuralı da Hebb kuralına benzer. Bu kuralda beklenen girdi ve çıktılarının her ikisi de aktif ya da pasifse öğrenme katsayısı kadar ağırlık değerlerinin derecesi artırılır ya da azaltılır. Delta kuralında ise ağırlık değerleri sürekli olarak değiştirilir. Burada amaç, ağ çıktısı ile gerçek çıktı

arasındaki farkın ortalama karesel hatasını minimize etmektir. Kohonen kuralında ağ elemanları, ağırlıklarını değiştirmek için yarışır. Yarış sonucunda en yüksek çıktı sahibi hücrenin ağırlıkları değiştirilmektedir (Öztemel, 2006).

4.1.3 YSA modelleri ve çalışma sistemleri

4.1.3.1 Tek katmanlı algılayıcılar (TKA)

İlk YSA'lar, tek katmanlı algılayıcılar olup Perseptron ve ADALINE/MADALINE modelleri en bilinenleridir. Bu algılayıcılarda gizli katman bulunmaz. Sadece girdi ve çıktı katmanları vardır. Bu modeller, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde yeterli değildir. Ağırlıklandırılmış girdiler toplanır ve aktivasyon fonksiyonundan geçirilir (Öztemel, 2006).

4.1.3.2. Çok katmanlı algılayıcılar (ÇKA)

Bu tez çalışmasında, doğrusal olmayan problemlerde kullanılabilen çok katmanlı algılayıcı modelinden yararlanılacaktır. ÇKA modeline hem girdi hem de çıktı değerleri verilir, yani öğretmenli öğrenme yoluyla sistem öğrenme yapar. YSA, sınır hücresine giren bilgilerin ağırlıklandırılmasıyla başlar. Ağırlıklandırılmış girdiler toplanır. Elde edilen değer aktivasyon (transfer) fonksiyonuna dâhil edilir. Böylece nörona gelen ağırlıklandırılmış girdiler işlenerek çıktıya dönüştürülür. YSA'da en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından biri de sigmoid fonksiyonudur. Bu fonksiyon sürekli bir fonksiyondur ve her noktada türevi alınabilir (Mehrotra, 2000). Sigmoid fonksiyonun formülü aşağıdaki gibidir:

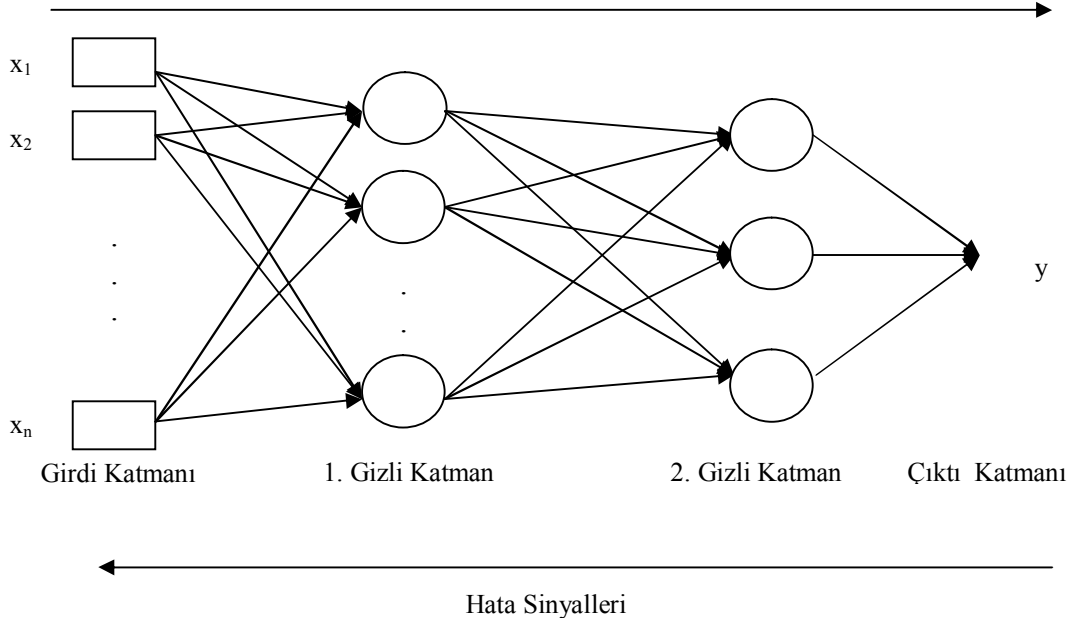
$$F(net) = \frac{1}{1 + e^{-net}} \quad (4.1)$$

Diğer bir aktivasyon fonksiyonu ise hiperbolik tanjant fonksiyonudur. Bu fonksiyon ile doğrusal olmayan yapılar modellenabilmektedir. Hiperbolik tanjant fonksiyonunun formula aşağıdaki gibidir:

$$F(net) = \frac{e^{net} - e^{-net}}{e^{net} + e^{-net}} \quad (4.2)$$

YSA'lar sinyallerin iletim yönüne bağlı olarak, nöronlar arasındaki ilişkilerin yapısı bakımından ileri beslemeli ve geri beslemeli olmak üzere iki farklı yapıda olabilirler. Şekil 4.3'te ileri beslemeli bir YSA'nın genel yapısı verilmiştir.

Şekilden de görüldüğü üzere işlem elemanlarını ifade eden nöronlar, katmanlar halinde gruplanmıştır (Skapura, 2005). Bu yapıya göre, girdi değerlerinin ağırlıklı toplamları, sonraki katmanda yer alan nöronların girdilerini oluşturur. YSA içindeki her bir nöron, sayısal bir ağırlık verilmiş bağlantılar üzerinden birbirleriyle



Şekil 4.3 : İleri beslemeli YSA modeli.

ilişkilidir. İleri beslemeli çok katmanlı bir YSA modelinde girdi katmanı, probleme ait ölçütlerden her biri kadar nörona sahiptir. Bu katmandaki nöronlar ile dış dünyadan alınan bilgiler gizli katmanlara iletilmektedir. Gizli katmanda toplama ve aktivasyon fonksiyonlarından geçerek işlenen bilgiler çıktı katmanına gönderilirler. Gizli katmandan gelen bilgiler çıktı katmanında da işlenirler ve çıktı üretilir. Her bir nöron, aldığı birçok sinyalin ağırlıklı toplamını eşik seviyesiyle karşılaştırır. Eğer toplam girdi değeri eşik seviyesinden yüksekse, nöron çıktı bağlantılarını kullanarak bu bilgiyi diğer yapay sinir ağı hücreleri ile paylaşır.

ÇKA’larda genelleştirilmiş delta kuralı işlemektedir (Öztemel, 2006). Bu kural geri yayılma algoritması yani sistemin son çıktısı ile ağın gerçek çıktısının arasında memnun edici olmayan bir fark varsa ağ ağırlıklarının bu farka göre tekrar hesaplanıp ağın tekrar çalıştırıldığı algoritmaya göre işlemektedir. Burada performans ölçütü olarak ortalama karesel hata (OKH) değeri dikkate alınır. OKH değeri, beklenen değeri ($E(i)$) ile gerçekleşen değeri (x_i) arasındaki farka yani hataya

bağlı ortalamadır ve, n gözlem sayısı olmak üzere, aşağıdaki formül üzerinden hesaplanmaktadır:

$$OKH = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - E(i))^2}{n} \quad (4.3)$$

Amaç, OKH değerinin azaltılmasıdır. Bir sonraki denemede değiştirilen ağırlıklarla OKH değerinin azaltılması hedeflenir. Bunu sağlamak için, gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlıklar ya da gizli katmanla girdi katmanı arasındaki ağırlıklar değiştirilir.

Gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlıklar değiştirilirken, ara katmandaki j. nöronunu çıktı katmanındaki m. nörona bağlayan bağlantının ağırlığındaki değişim miktarı ΔA^a olmak üzere t. denemede ağırlığın değişim miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\Delta A_{jm}^a(t) = \lambda \delta_m \zeta_j^a + \alpha \Delta A_{jm}^a(t-1) \quad (4.4)$$

Ağırlıkların değişim miktarını ifade eden öğrenme katsayısı λ ile, öğrenme esnasında sistemin yerel optimum takılıp kalmaması için ağırlık değişim miktarının belli bir oranın eklenmesiyle sıçramalar yaratılmasını sağlayan momentum katsayısı α ile, çıktı ünitesinin hatası ise δ_m ile gösterilmiştir. Çıktı katmanındaki m. nöronun hatası E_m olmak üzere, δ_m in hesaplanması aşağıdaki gibidir:

$$\delta_m = f'(net). E_m \quad (4.5)$$

Gizli katmanların kendi aralarında ya da gizli katman ile girdi katmanı arasındaki ağırlıkların değişimi ΔA^i ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\Delta A_{kj}^i(t) = \lambda \delta_j^a \zeta_k^i + \alpha \Delta A_{kj}^i(t-1) \quad (4.6)$$

Hata terimi δ_j^a ise şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\delta_j^a = f'(net). \sum_m \delta_m A_{jm}^a \quad (4.7)$$

YSA eğitiminde temel amaç, en düşük hatayı veren YSA yapısını oluşturmaktır.

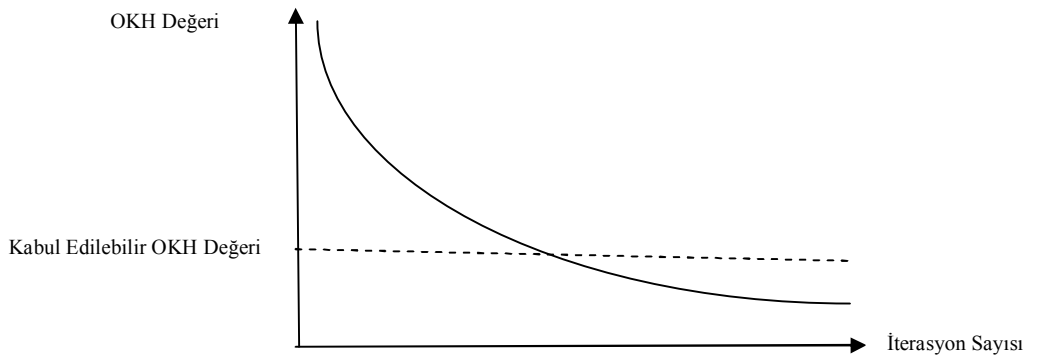
4.1.4 YSA eğitim süreci

Bir YSA yapısı oluşturulurken temel hedef, tatmin edici en iyi çıktıyı veren yapıyı bulmaktır. Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöron sayıları, kurulan YSA modelinin genelleştirilebilme ve yeni veri girişi sonrası uygun çözümler verebilme yeteneğini belirler (Schalkoff, 1997). Uygun çözüme ulaşmak ise, girdilere uygun

ağırlıklar verilmesi ile sağlanmaktadır. Öğrenme kuralına uygun olarak ağırlıklar değiştirilmekte ve en iyi çözüme ulaşıncaya kadar bağlantıların ağırlıkları değiştirilmektedir (Johnson and Picton, 1995).

YSA'ların karmaşık yapısını kontrol altında tutmak amacıyla çapraz doğrulama yönteminden faydalanılır (Lisboa ve Taktak, 2006). Çapraz doğrulama ile eğitim süreci devam ederken bir grup veri üzerinde çıktının doğruluğu sınanmaktadır. Toplam veri setinin bir kısmı (yaklaşık %60-70 kadarı) eğitim seti olarak, %20-15lik kısmı) çapraz doğrulama seti olarak, kalanı da test seti olarak ayrılmaktadır. Eğitim sürecinde, gizli katman sayısı ve nöron sayısına karar verebilmek amacıyla çok sayıda deneme yapılmaktadır. Genellikle eğitim kümesi verilerinin 0,01'den daha düşük OKH değerine sahip olduğu durumlarda, kurulan YSA modelinin uygun olduğu düşünülmektedir. Seçilen yapıda eğitilen veri seti, yapının uygun bulunması halinde test aşamasına tabi tutulmaktadır. Belirli bir hatanın altındaki değerler uygun bulunmaktadır. Bu hata değerinin yani eşiğin altındaki değerler, yerel çözüm değerlerini oluşturur. YSA'lar optimum çözüm değil, kabul edilebilir çözüm oluştururlar.

Eğitim süreci, belli sayıya iterasyon yani deneme yapılması emri ya da belli bir OKH değerinin altında olunması gibi durumlarla durdurulur. Öğrenmeye başlayan bir YSA'da hata sayısı giderek azalacaktır (Bkz Şekil 4.4). En iyi yapının bulunması süreci genellikle çok sayıda farklı yapının denenmesi yoluyla geliştirilir. En iyi yapının bulunmasına yönelik olarak, GA gibi farklı sezgisel yaklaşımlarla bütünleşik çalışan uygulamalar da geliştirilmiştir.



Şekil 4.4 : İterasyon sayısı ve OKH değeri ilişkisi.

4.1.5 YSA'ların avantajları

YSA'ların sağladığı başlıca faydalar şu şekilde sıralanabilir:

1. YSA'lar doğrusal olmayan çok boyutlu bağlantılarla birbirlerine bağlı girdi ve çıktılara dayalı model oluşturabilen yapılardır.
2. Genellikle hızlı çözüm sağlar ve kullanım maliyeti düşüktür.
3. YSA'ların en belirgin özelliği, gelecekte oluşabilecek olası durumlar için çıkarımlarda bulunabilmeleridir.
4. Gerçekleşmeyen durumlara ilişkin bilgi oluşturabilme özelliğinin temelinde eksik bilgiyle çalışabilme ve belirsizlik halinde öğrenebilme yeteneği yatar.
5. Ayrıca YSA'lar, system içerisindeki eksik bilgileri bulabilen ve oluşturabilen yapılardır.

YSA yöntemi, bu özellikleri sayesinde sınıflandırma, ilişkilendirme, tahmin çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır. Mühendislik ve tıp alanlarında öncelikli olmak üzere finans, iletişim gibi sektörlerde ve askeri uygulamalarda da çokça kullanılmaktadır.

4.1.6 YSA'ların dezavantajları

Her yöntemde olduğu gibi YSA'ların da faydalarının yanı sıra bazı dezavantajları vardır. YSA'ların başlıca dezavantajları şu şekilde sıralanabilir:

1. YSA yöntemine yöneltilen en büyük eleştirilerden biri, optimum sonuç vermemesi ve ağın çıktıya ulaşma algoritmasının açık bir şekilde görülmemesidir.
2. YSA'larda en uygun ağ yapısının belirlenmesi sürecinde sistematik ve bilimsel bir yaklaşım geliştirilmemiştir. Genellikle deneme yanılma yoluyla sonuca ulaşıldığından kullanıcının eğitilmesini gerektirir.
3. Eğitim esnasında yerel bir optimum takılarak her zaman aynı sonucu vermeye başlaması riski taşımaktadırlar.
4. Bazı eğitim süreçleri çok uzun zaman alabilmektedir.
5. YSA'ların belirli bilgisayar programları ya da simülasyonlarla çalıştırılması da dezavantaj olarak görülmektedir.

4.2 Çok Amaçlı Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (KTDP) ve Toplu Kriter Yöntemi (TKY)

Saf tamsayılı programlama problemi, bazı ya da tüm değişkenlerin kesikli değerler ya da tamsayılı değerler aldığı doğrusal olan ya da olmayan programlama problemidir. Hem tamsayılı hem de sürekli değişkenler bir arada ise, karma tamsayılı program (KTP) adı verilir. Bunlara ek olarak eğer amaç fonksiyonu ve tüm kısıtlar değişkenlerin doğrusal birer fonksiyonlarından oluşmaktaysa bu yapıya tamsayılı doğrusal programlama ya da karma tamsayılı doğrusal programlama (KTDP) adı verilir (Ravindran, 2008). Bir KTDP probleminin gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} \text{(KTDP) min} \quad & cx + dy \\ \text{kısıtlar} \quad & Ax + By \geq b \\ & x \geq 0 \\ & y \geq 0, \text{ ve tamsayıdır} \end{aligned}$$

x , sürekli değişkenlerin vektörünü; c , x ' in amaç fonksiyonu içerisindeki coefficient vektörünü, A da x 'in kısıtlar içerisindeki katsayı matriksini göstermektedir.

Çok amaçlı programlama, matematiksel programlamanın özel bir çeşididir. Bir amaç fonksiyonu toplamını bir arada sistematik bir biçimde optimize etme sürecine çok amaçlı optimizasyon ya da vektor optimizasyonu adı verilmektedir (Marler ve Arora, 2004).

$Z(x_1, \dots, x_n)$ çok amaçlı fonksiyon $Z_1(x_1, x_2, \dots, x_n), Z_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \dots, Z_p(x_1, x_2, \dots, x_n)$ tek amaçlı fonksiyonlar olmak üzere çok amaçlı optimizasyon probleminin genel gösterimi aşağıdaki gibidir (Cohon, 1978):

$$\text{Maks. } Z(x_1, \dots, x_n) = [Z_1(x_1, x_2, \dots, x_n), Z_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \dots, Z_p(x_1, x_2, \dots, x_n)]$$

$$\text{Kısıtlar } g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0, i = 1, 2, \dots, m$$

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

Bu tez çalışmasında, çok amaçlı KTDP modellerinin çözümünde sıkça kullanılan Toplu Kriter Yöntemi'nden (TKY) faydalanılacaktır. TKY'de bütün amaç fonksiyonları tek bir fonksiyona indirgenir (Marler ve Arora, 2004). Bu yolu izlemenin başlıca koşulu, karar vericilerin yöntemin kararını kabul ettiklerini belirtmeleridir. Uygulamada ele alınacak gerçek problemin karar vericileri, çok

amaçlı modelde yer alan amaçların, önem açısından eşdeğer özelliklere sahip olduklarını belirtmişler ve sonuçların, kendi karar ve esnekliklerinden bağımsız olarak değerlendirilmesini önemsediklerini belirtmişlerdir. Bu durumda, TKY'nin seçimi anlamlı bir karar olacaktır.

TKY, uzlaşık bir yaklaşımdır; yani herkesin istediğinden biraz daha azıyla yetinmesini sağlayan bir araçtır. Kullanım kolaylığı ve esnekliği açısından avantajlıdır (Kuruüzüm, 1998). Bu yöntemle göre optimal vektör, toplu kriterleri en küçük yapan vektördür. Amaç fonksiyonu değerlerinin olurlu değerlerden görece sapmalarının karelerinin toplamı optimal çözüm olarak kabul edilebilir. Sayısal olarak ifade edilecek olursa aşağıdaki m tane problemin ayrı ayrı çözülmesiyle bulunan ideal çözümler $f_i(x^*)$; 1,2,...,m olsun. Bu durumda aşağıdaki modelin çözümü bulunur (Evren ve Ülengin, 1992):

$$\text{Max } f_i(x)$$

$$g_i(x) \leq 0, \quad k=1,2,\dots,p, \quad x \geq 0$$

Daha sonra da aşağıdaki model çözülür:

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m \left[\frac{f_i(x^*) - f_i(x)}{f_i(x^*)} \right]^a$$

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

a parametresinin değerleri için farklı denemeler yapılabilir. Kuruüzüm (1998)'ün belirttiği gibi, Boychuk ve Ovchinnikov (1973), parametre değeri olarak 1'i önermektedir. Tüm amaç fonksiyonları ve tüm kısıt fonksiyonları doğrusal ve a=1 ise problem, klasik bir doğrusal programlama modeli olacaktır. Aynı durumda a=2 olursa, problem bir quadratik programlama problemine dönüşmektedir. Salukvadze (1974) ise problemin a=2 olarak ele alınarak çözülmesinin gerektiğini belirtmiştir (Kuruüzüm, 1998).

4.3 Tedarik Zinciri Yönetiminde Yöneylem Araştırması Tekniklerinin

Kullanımı

Bu tez çalışmasında, tedarik zinciri alanında en çok ele alınan konulardan biri olan yerleşim yer seçimi ve atama problemi ele alınmıştır. Üretim, depolama, dağıtım, geri kazanım gibi faaliyetler için ya da hizmet sunumuna yönelik tesislerin yerlerinin seçimi konusu, hem özel sektörde hem de kamusal alanda önemli bir karar verme

problemidir (Cohon, 1978). Tesis yeri seçim problem optimizasyon modelinin formülize edilmesinde pek çok kriter dikkate alınır. Bu kriterler, yeri belirlenecek tesis sayılarının kesikli ya da sürekli olması durumu, modelin tek ya da çok amaç içermesi durumu, tesisler arası ya da tesislerle müşteriler arası uzaklığın durumu gibi kriterlerdir. Açılacak olan tesis sayısı ve yerine karar vermek isteyen bir firmanın amacının ağırlık çalışma maliyetinin minimize edilmesi olduğu varsayılabilir. Temel karar değişkenleri tesis yeri ve sayısı (tedarikçi tesisleri, imalat tesisleri ve dağıtım tesisleri de dâhil edilebilir) ve tesislerarası ve müşterilerle tesisler arası ürün akış miktarlarıdır.

Bu modelin maliyet yapısını ortaya koymak için, bu modelin tek aşamalı yerleşim yeri seçimi- atama problemi olduğu düşünülür. n tesis sayısını, m müşteri sayısını, f_i yıllık sabit maliyeti, c_{ij} i tesisinden j müşterisine gönderilen ürün miktarı olsun. i tesisinin kapasitesi K_i , planlanan dönemde (örneğin yıllık) j . müşterisinin talebi D_j olsun. Bu durumda amaç fonksiyonu ve modelin yapısı aşağıdaki gibi olacaktır (Ravindran, 2008) :

$$\text{Min} \quad \sum_{i=1}^n f_i y_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij}$$

$$\text{Kısıtlar} \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = D_j, \quad j=1, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq K_i y_i, \quad i=1, \dots, n$$

$$y_i \in \{0,1\}, \quad i=1, \dots, n$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, m$$

Modelde karar değişkenleri y_i ($i=1, \dots, n$), i . tesisin ağı içerisinde yer alıp almayacağını, x_{ij} de i . tesisten j . müşteriye ne kadarlık ürün gönderileceğini göstermektedir. Bu model karma tamsayı programlama modelidir.

5. TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI METODOLOJİSİ

Bu tez çalışmasında TLAT problemine yönelik iki aşamalı bir metodoloji önerilmiştir. Bu metodolojinin genel hatları Şekil 5.1’de verilmiştir. Görüldüğü gibi çalışmanın metodolojisi literatür taraması ve TLAT modellerinin detaylı analizi ile başlamaktadır. Analiz sonuçlarına göre yazına katkı sunacak özgün metodolojinin ana hatları belirlenmiş ve yazın taramasında yer alan problem eksikliklerine göre, iki temel model önerilmesine karar verilmiştir. Geliştirilen metodolojinin, geri dönüş miktarı belirsizliğinin giderilmesi için daha önce denenmemiş alternatif bir tahmin modeli olan YSA yöntemi ile bütünleşik bir tesis açma/kapama ve atama modeli içermesi, ekonomik amaçların yanı sıra çevresel ve sosyal amaçları da içeren bir model önermesi ve bunların yanı sıra, AEEE Yönetmeliği’nin sektöre etkisini ortaya koymasıyla yazına özgün katkılar sunması amaçlanmıştır.

Modellerin kurulması aşamasında ise Cohon (1978)’un belirlediği aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

1. Amaçların belirlenmesi ve sayısal olarak ifade edilmesi
2. Karar değişkenleri ve kısıtların tanımlanması
3. Veri toplama
4. Alternatiflerin oluşturulması ve değerlendirilmesi
5. Alternatif arasında seçim yapma
6. Seçilen alternatifin uygulamaya alınması

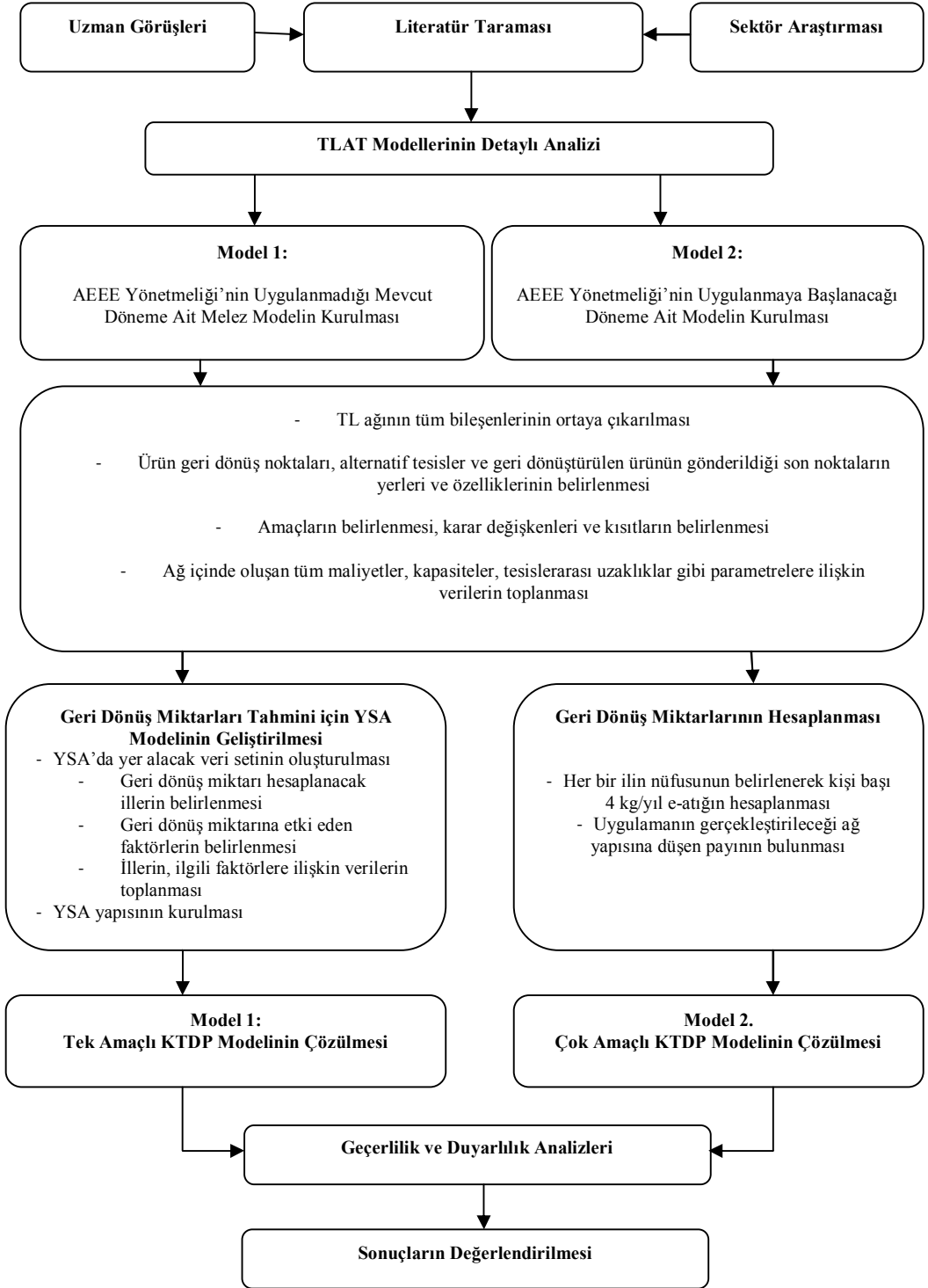
Model, Türkiye’de AEEE Yönetmeliği’nin henüz devreye girmediği mevcut dönem ve AEEE Yönetmeliği’nin devreye gireceği dönem için iki farklı şekilde geliştirilmiştir. İlk olarak Türkiye’deki e-atık sektörünün mevcut durumuna uygun olarak, ürün miktarı tahminine yönelik YSA modeli içeren tek amaçlı, çok ürünlü, çok aşamalı, kapasite kısıtlı bir TLAT modeli önerilmiştir. AEEE Yönetmeliği’nin henüz devreye girmediği mevcut dönemde, hitap ettiği pazarı genişletmek isteyen firmalar için yeni anlaşmaya varılacağı düşünülen yerel birimlerin geri dönüş

miktarları YSA yöntemi ile tahmin edilmiştir. Bu modelde, yönetmeliğin henüz devreye girmemesi göz önünde tutularak sadece ekonomik amaçlar olduğu varsayılmıştır ve bu nedenle tek amaçlı KTDP modeli geliştirilmiştir. Modelin amaç fonksiyonu, sadece ekonomik performansa yönelik olup maliyet minimizasyonu şeklinde tanımlanmıştır.

Oluşturulan bu temel modelin, pazarda beklenen değişimler sonrasında yetersiz kalacağı öngörülmüştür. Bu nedenle, bu modele ek olarak, e-atık sektöründeki aktörlere ciddi sorumluluklar getirecek olan ve yakın gelecekte uygulamaya geçirilmesi beklenen “Atık Elektrikli Elektronik Eşyaların (AEEE) Kontrolü Yönetmeliği”nden sonraki süreç için, çok amaçlı, çok ürünlü, çok aşamalı, kapasite kısıtlı ve sürdürülebilirlik yaklaşımına yönelik bir TLAT modeli önerilmiştir. İkinci modelde, yönetmeliğin 2018 yılına kadar yerine getirilmesini zorunlu kıldığı kişi başı 4 kg/yıllık hedefe uygun dönüşler gerçekleştirildiği düşünülmüştür. Yönetmeliğin devreye girmesiyle sürdürülebilirlik kavramının gerekleri olan ekonomik performans, çevresel performans ve sosyal performans göstergelerinin de dikkate alınmaya başlanacağı düşünülmüştür. Bu nedenle modelde maliyet minimizasyonu amacının yanı sıra, karbon dioksit emisyonu miktarını en küçükleyen ve sağlanan işgücü katkısını en büyükleyen toplam üç amaç bulunmaktadır.

Stratejik kararlar alınırken, pazarda beklenen mikro ve makro değişimlerin de dikkate alınarak karar verilmesinin gerektiği gerçeği göz önüne alındığında, ikinci modelin çıktılarını değerlendirmenin daha uygun olacağı açıktır. Böylece açma kapama kararları alınırken, ileride oluşabilecek kapasite yetersizliği gibi olası riskleri önceden değerlendirme olanağı doğmaktadır. Uygulamada her iki modelin de sonuçları karşılaştırılmış ve yönetmeliğin devreye girmesi sonucunda tesis açma kapama ve birimler arası akış miktarları gibi karar değişkenleri ve amaç fonksiyonu üzerinde oluşacak değişiklikler tahmini olarak ortaya serilmiştir. Bu tez çalışması, Türkiye’deki AEEE Yönetmeliği’nin tesis yeri yerleşim yeri seçimi ve atama kararlarına etkisini ele alan ilk çalışmadır.

Sonraki aşama veri toplama aşamasıdır. Genel hatları ortaya çıkarılan iki farklı model için de (Model 1 ve Model 2) ürün geri dönüş noktaları, alternatif tesisler ve geri dönüştürülen ürünün gönderildiği son noktaların yerleri ve özellikleri belirlenir. Ortaya çıkarılan açık çevrim ağ yapısı içerisinde oluşan tüm maliyetler, kapasiteler, tesisler arası uzaklıklar gibi parametrelere ilişkin veriler toplanmıştır.



Şekil 5.1 : TLAT metodolojisi genel aşamaları.

Her iki modelde de geri dönüş miktarlarını belirlemeye yönelik bir yaklaşım geliştirilmiştir. AEEE Yönetmeliği'nin uygulanmadığı mevcut duruma ait modelde (Model 1) pazarı genişletmek isteyen firmalar için yeni anlaşmaya varılacağı düşünülen yerel birimlerin geri dönüş miktarlarını tahmin etmeye yönelik bir YSA sistemi geliştirilmiştir. İlk olarak ilgili yazına ve uzman bilgilerine dayalı olarak, geri

dönüş miktarına etki eden mikro ve makro faktörler ortaya çıkarılmıştır. Önceki süreçte düzenli olarak ürünlerin geri toplandığı yerel birimlerin geçmiş dönem verilerinden hareketle farklı YSA yapıları oluşturulup eğitilmiştir. En iyi sonuç veren YSA yapısı üzerinden, yeni anlaşmaya varılacağı öngörülen bölgelerin geri dönüş miktarı tahmin edilmiştir. Tahmin edilen miktarlar, tek amaçlı KTDP modeline dâhil edilerek amaç fonksiyonu ve karar değişkeni değerleri elde edilmiştir.

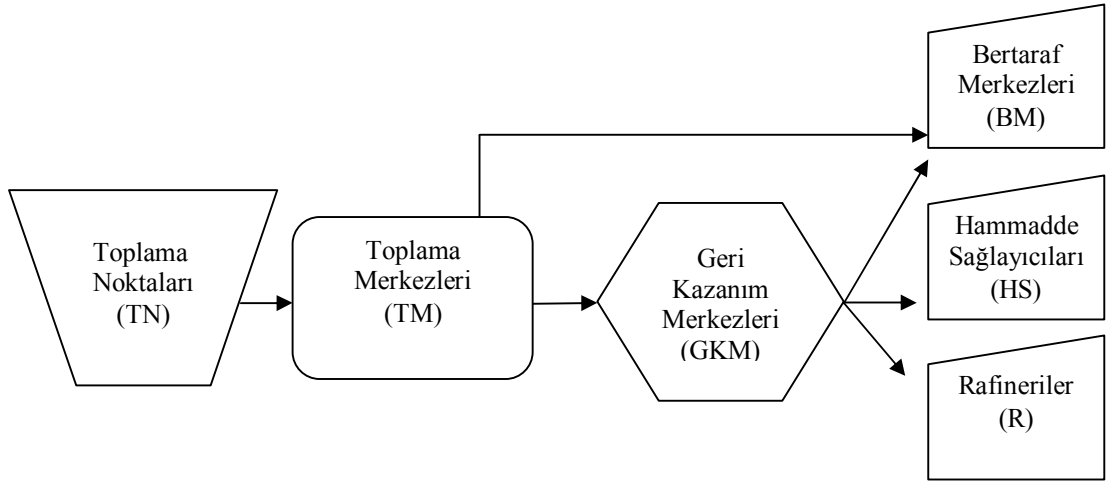
AEEE Yönetmeliği'nin uygulanacağı döneme ait model (Model 2) için, yönetmeliğin 2018'e kadar zorunlu olarak toplanması gereken miktarlar olarak belirlediği, tüm illerden yılda kişi başına 4 kg e-atığın geleceği varsayımıyla hareket edilmiştir. Her ilde açığa çıkan miktarların, uygulamanın gerçekleştirildiği sektöre düşen pazar payı, çok amaçlı KTDP modeline dâhil edilmiş ve amaç fonksiyonu ile karar değişkeni değerleri elde edilmiştir.

Sonuçlar karşılaştırmalı olarak ele alınmış, yönetmeliğin geliştirilen ağ üzerindeki etkileri ortaya çıkarılmış ve farklı parametrelerdeki değişikliklerin amaç fonksiyonu değerlerinin nasıl etkilediğini gösteren duyarlılık analizleri yapılmıştır.

5.1 Modellerin Yapısı

Tez çalışmasında, e-atıkların geri kazanımına yönelik açık çevrim TL ağ yapısı dikkate alınmıştır. Bu ağ yapısında altı temel aktör yer almaktadır. Bu aktörler toplama noktaları (TN), toplama merkezleri (TM), geri kazanım merkezleri (GKM), bertaraf merkezleri (BM), hammadde sağlayıcılar (HS) ve rafinerilerdir (R). Ağın genel yapısı Şekil 5.2' de gösterilmektedir.

Bu tez çalışmasında, TL alanında yerleşim yer seçimi ve atama problemi ele alınmıştır. Yerleşim yerleri seçimi kararında, alternatif bölgelere yeni tesisler açma kararının yanı sıra mevcut olan tesislerin kapanma kararı da modele dâhil edilmiştir. Pazar alanını genişletmek isteyen firmalar için açma kapama kararlarında en büyük maliyet kalemini, tesis açma maliyeti ve mevcut tesisi kapama maliyeti oluşturacaktır. Tesis açma maliyetleri içerisinde, tesisin yeni kurulma ya da kiralanma durumlarına göre inşaat maliyeti, makina ve ekipman maliyetleri, kira, sigorta, yönetim maliyetleri, hazırlık maliyetleri gibi maliyetler yer almaktadır. Tesis kapama maliyeti ise işçilere ödenen tazminatlar, kullanılmayan makina ve ekipmanın



Şekil 5.2 : TL ağı genel yapısı.

uygun yere taşınması ya da elden çıkarılması maliyetleri ve yönetim maliyetleri gibi maliyetleri içermektedir.

Genel akış içerisinde ilk önce tüketiciler, kullanılamayacak durumda olan elektrikli ve elektronik ürünleri, yerel birimler (belediyeler, okullar, kamu kuruluşları vs.), OPÜ'ler ve elektronik ürün satıcılarından (distribütörler) oluşan toplama noktalarında (TN) yer alan toplama konteynırlarına bırakılmaktadırlar. TN'lerdeki konteynırlarda toplanan e-atıklar herhangi bir işleme tabi tutulmadan depolanmakta ve belli periyotlarla toplama merkezlerine (TM) iletilmektedirler. TN'lerdeki konteynırlarda biriken ürünler karşılığında, TN birimlerine ödeme yapılmaktadır. Yani, e-atıkları toplayan firma için bir toplama maliyeti oluşmaktadır. Ayrıca, TN'lerde konteynır yerleştirmenin belirli bir sabit maliyeti vardır. Bu maliyet, konteynırların kapasitelerine göre farklılaşmaktadır. Sabit maliyetin yanı sıra, TN'lerden TM'lere gönderilen her bir birimlik ürün için birim uzaklık başına taşıma maliyeti oluşmaktadır.

TM'lere gönderilen ürünler, manuel olarak kırma ve parçalama işlemlerinden geçirilerek ayrıştırılmaktadır. TM'lerde gerçekleştirilen bu ön çalışma ile, geri kazanımı sağlanamayacak olan ürünler belirlenmekte ve belirlenen ürünler bertaraf merkezlerine (BM) gönderilmektedir. Bu aşamada, TM'lerde toplanan ürünlerin ön ayrıştırma maliyetini içeren işleme maliyeti, BM'lere taşınan her bir birimlik ürün için birim uzaklık başına taşıma maliyeti ve ürünlerin BM'lerde bertaraf edilme maliyeti oluşmaktadır. Bertaraf maliyeti içerisinde, ürünleri yakma ya da gömme

işlemlerine tabi tutulurken ortaya çıkan doğrudan maliyetler (gerçekleştirilen işlemin uygulanması esnasında kullanılan malzeme, ekipman, enerji maliyetleri, işgücü maliyetleri vs.) ve dolaylı maliyetler (vergi, sigorta, amortisman vs.) yer almaktadır. BM'lere gönderilmeyen ve geri kazanım faaliyetlerine tabi tutulacak ürünler, GKM'lere gönderilmektedir. Aynı şekilde bu aşamada GKM'lere taşınan her bir birimlik ürün için birim uzaklık başına taşıma maliyeti ve ürünlerin GKM'lerde geri dönüştürülme maliyeti olan işleme maliyeti oluşmaktadır. İşleme maliyetleri içerisinde; doğrudan maliyetler (gerçekleştirilen işlemin uygulanması esnasında kullanılan malzeme, ekipman, enerji maliyetleri, işgücü maliyetleri vs.) ve dolaylı maliyetler (vergi, sigorta, amortisman vs.) yer almaktadır.

GKM'lere gönderilen ürünler burada geri kazanım faaliyetlerine tabi tutulmaktadır. E-atıklar, GKM'lerde farklı ayırma yöntemleriyle farklı malzeme gruplarına ayrıştırılmaktadırlar. Fiziksel ayırma yönteminde ön kırma işlemleri sonrasında ayıklama yapılarak cam, plastik, demir, çelik, bakır, elektronik devreler, bilgisayar alt bileşenleri gibi bileşenler ayrıştırılmaktadır. Bir diğer yöntem olan pirometalurjik yöntemlerle ayrışımı için yüksek sıcaklık gereken ürünler ve malzemelerin ayrıştırılması gerçekleştirilmektedir. Hidrometalurjik yöntemler ise kimi metallerin çözeltilere alınarak çözeltilerden elde edilmesi sürecini içermektedir. Bu yöntemler ile geri kazanılan malzemeler, malzeme satış pazarındaki hammadde sağlayıcılarına (HS) gönderilmektedir. Geri kazanımı gerçekleştiremeyen ve bu süreçlerden değerlendirilemeyen atık şeklinde ortaya çıkan malzemeler bertaraf edilmek üzere BM'lere gönderilmektedir. Geri dönüştürme lisansı bulunmayan ürünler ise, ön ayrıştırma ve bakım işlemleri sonrasında lisans sahibi firmalar olarak adlandırılan ve genellikle yurtdışında bulunan rafinerilere gönderilmektedir. Taşımalar esnasında birim ürün için birim uzaklık başına taşıma maliyeti oluşmaktadır. Ayrıca geri kazanım, bertaraf ve rafineri merkezlerinde işleme maliyetleri meydana gelmektedir.

Bu maliyetlerin yanı sıra, her bir aktörün, pazarda yer alan diğer aktörleri e-atık konusunda bilinçlendirme ve buna bağlı olarak pazar payını artırma amacıyla gerçekleştirdiği bilgilendirme çalışmaları neticesinde bir maliyet oluşmaktadır. Özellikle AEEE Yönetmeliği'nin devreye girmesinden sonra ise, toplama noktalarını oluşturan birimler ve yeni partnerlerle anlaşma maliyetleri ile raporlama, sistemi yönetmeliğe uygun olarak kurma, düzenleme ve hazırlık maliyetlerini içeren uygulama maliyetleri oluşacaktır. Firmalar, toplayamadıkları her bir birimlik ürün

için kaybedecekleri kazancı ifade eden fırsat maliyeti kalemini de dikkate almak durumundadır.

5.2 Modellerin Varsayımları ve Karşılaşılan Zorluklar

TLAT problemi ele alınırken bazı zorluklarla karşılaşılmaktadır. Bu zorlukların en büyük nedeni, Türkiye’de geri kazanım faaliyetlerinin uygun koşullarda ve sistematik olarak gerçekleştirilmemesidir. Bakanlık denetimlerine dâhil olmayan hurdacılar aracılığıyla ve çevreyi ve insan sağlığını tehdit eden olumsuz koşullarda ürün toplama işlemleri gerçekleştirilmekte ve bu ürünlerin çoğunun illegal olmayan yollarla yurtdışına satışı gerçekleştirilmektedir.

Uygulamaya yönelik araştırmalar yapılırken saf TL uygulamalarının sadece geri dönüşüm ve bertaraf ile sınırlı kaldığı görülmüştür. Yeniden imalat gibi faaliyetlerin gerçekleştirildiği kapalı çevrim ağ yapılarının gelişkin olmadığı fark edilmiştir. E-atıklara yönelik olarak geliştirilecek olan ve kısa zamanda uygulamaya başlanılacağı öngörülen AEEE Yönetmeliği ile özellikle üreticiler üzerinde geri kazanım faaliyeti gerçekleştirmeye yönelik baskıların artacağı beklenmektedir. Bunun sonucu olarak da e-atık geri kazanım sektörü büyüyecek ve yeni iş olanakları doğacaktır.

Metodolojide yer aşan her iki modelin de belirsiz yapısını ve karmaşıklığını azaltmak için bazı varsayımlar benimsenmiştir. Benimsenen başlıca varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- Tüm TN, TM ve GKM merkezlerinin yer ve özelliklerinin bilindiği deterministik modeller oluşturulmuştur.
- TN, TM ve GKM’lerin kapasiteleri sınırlıdır ve bilinmektedir.
- Modeller, bir yıllık dönem için geliştirilmiştir.
- Ele alınan maliyetlerin seçili dönem içerisinde değişmediği varsayılmıştır.
- Ulaşım maliyetleri ele alınırken yük araçlarının dolu gittiği varsayılmıştır.
- Ürünlerin merkezlerarası aktarımının sık sık yapıldığı varsayılmış ve stok bulundurma maliyeti göz ardı edilmiştir.
- Emniyet stoğu tutulmadığı varsayılmıştır.
- Birimlerarası ürün akış oranları bilinmektedir.
- GKM’lerde parçalanmış ürünlerden elde edilen hammadde oranlarının bilindiği varsayılmıştır.

- Toplama noktalarına dair açma kapama kararı verilmemektedir. Her toplama noktasında bir konteynır bulunduğu ve açık olduğu varsayılmıştır.
- Ağ içerisinde yer alan firmanın, yönetmeliğin uygulanmaya başlamasından sonra, maliyet minimizasyonu şeklinde belirlenen ekonomik hedefin yanı sıra ve çevresel etki minimizasyonu ve sosyal fayda maksimizasyonu amaçlarını dikkate alacağı ve bu amaçların önem derecelerinin birbirine eşit olduğu varsayılmıştır.

5.3 Model 1: AEEE Yönetmeliği'nin Uygulanmadığı Mevcut Döneme Ait, Geri Dönüş Miktarı Tahmin Modeliyle Bütünleşik Melez Model

Bu melez modelde öncelikle YSA modeli geliştirilecek, sonrasında YSA sonuçlarından elde edilen geri dönüş miktarları, maliyeti minimize eden tek amaçlı optimizasyon modeline dâhil edilecektir.

5.3.1 Geri dönüş miktarının hesaplanması – YSA modeli

Bu modelde ileriki dönemde e-atık geri kazanım sektörünün genişleyeceği ve yeni tesislerin açılması kararıyla, mevcut durumda e-atığın değerlendirmesine önem veren yerel birimlerin yanı sıra yeni yerel birimlerin de geri dönüşüm firmalarıyla işbirliğine gideceği varsayılmıştır. Yeni yerel birimlerdeki geri dönüş miktarı belirsizliğine yönelik olarak bir YSA modeli oluşturulmuştur.

Geri dönüş miktarının tahmininde kural tabanlı tahmin yaklaşımları, regresyon analizi, konjoint analizi gibi modeller de kullanılabilecek diğer alternatif yöntemlerdir (Armstrong ve Green, 2011). Pek çok durumda YSA'lar, geleneksel istatistiksel yöntemlere göre daha iyi sonuç verdikleri için (Mukta and Kumar, 2009), bu çalışmada yazında daha önce kullanılmamış olan YSA yönteminden yararlanılmıştır. Yeni tesis açılması kararını alma sürecine yardımcı olan etkin tahmin modeli ile ürün akış miktarlarının belirlenme aşamasına da katkı sağlanmış olacaktır. Bu amaçtan hareketle YSA modeli gelişiminde ilk aşama, geri dönüş miktarı tahminine etki eden faktörlerin ortaya çıkarılmasıdır. RL yazını taranarak, WEEE Direktifi'nin içeriği incelenerek ve uzman yöneticilerle görüşülerek elde edilen faktörlerin özet gösterimi Çizelge 5.1'de yer almaktadır.

Çizelge 5.1 : Geri dönüş miktarını etkileyen mikro ve makro faktörler.

Mikro Faktörler	Firma odaklı faktörler	- Firma stratejisi (Mukhopadhyay ve Setoputro, 2004; Klausner ve Hendrickson, 2000), - Reklamlar, promosyonlar (Klausner ve Hendrickson, 2000), - Müşteriyi bilgilendirme (Hess ve Mayhew, 1997), - Ürünlerin tamir işlemine alınıp alınamaması (Thierry ve diğ, 1995), - Garanti süresi, kapsamı (Thierry ve diğ, 1995) - Geri alma fiyatı (Klausner ve Hendrickson, 2000; Guide ve van Wassenhove, 2001)
	Ürün odaklı faktörler	- Ürün kategorisi ve çeşidi (Hess ve Mayhew, 1997; Rogers veTibben-Lembke, 1999) - Ürünün yaşam çevrim noktası (Tibben-Lembke, 2002) - Ürünün modüleritesinin karmaşıklığı (Östlin ve diğ, 2009) - Ürünün mevsimselliği (Tibben-Lembke, 2002) - Ürün geri dönüşlerinin kolaylığı (Klausner ve Hendrickson, 2000) - Ürünün fiyatı (Hess ve Mayhew, 1997) - Ürünün ekonomik ömrü (Östlin ve diğ, 2009) - Satış miktarı (Gomez ve diğ, 2002; Tibben-Lembke, 2002) - Hasar oranı (Gomez ve diğ, 2002) - E-atık miktarı (Yöneticiler)
Makro Faktörler	Kamusal faktörler	- Yasal yaptırımlar (Koster ve diğ, 2002) - Çevresel harcamalar (Yöneticiler)
	Sosyoekonomik faktörler	- Müşteri segmenti (De Brito ve Dekker, 2004) - Eğitim seviyesi (EC, 2003a) - Nüfus yoğunluğu (EC, 2003a; Hanafi ve diğ, 2007) - Gelir (EC, 2003a)

Çizelge 5.1’deki tüm faktörlerin dikkate alınması mümkün olmayacağından, YSA’da dikkate alınacak faktörler belirlenirken Türkiye ve Almanya’daki geri dönüşüm firmalarında çalışan üç adet uzman yöneticiyle görüşme yapılmış ve yazında sıkça karşılaşılan faktörler dikkate alınmıştır. Firma odaklı, ürün odaklı, kamusal ve sosyoekonomik faktörler olarak ayrılan her bir grubu temsil eden en az bir faktör seçilmesine dikkat edilmiştir. Sonuç olarak YSA’ya dâhil edilen faktörler aşağıdaki gibidir:

- Geri alma fiyatı: TN’lerdeki yerel birimlere, OPÜ’lere ve distribütörlere toplanan her bir ürün başına ödenen miktarı gösterir.
- Nüfus yoğunluğu: Seçili bölgenin toplam nüfusunun toplam alana bölünmesiyle elde edilen değerdir.
- Gelir: Kişi başı milli geliri ifade eder.
- Ürün kategorisi: E-atığın hangi elektronik ürün grubundan olduğunu gösteren faktördür.
- Çevresel harcamalar: Seçili bölgede kişi başı yapılan çevresel harcamayı göstermektedir.

- E-atık miktarı: Seçili bölgede oluşan toplam e-atık miktarını gösterir.

Sonraki aşamada mevcut durumda e-atık geri kazanımına yönelik stratejilere sahip şehirlerin bu altı faktöre ilişkin bilgileri ve geri dönüş miktarları bilgisi derlenmiş ve YSA modeli geliştirilmiştir. Bu aşamanın gelişim süreci, uygulama bölümünde detaylarıyla anlatılacaktır.

5.3.2 Model 1: AEEE yönetmeliğinin uygulanmadığı mevcut döneme ait matematiksel model

Bu aşamada, mevcut durum yani yönetmeliğin gerekliliklerinin henüz ilgili birimler tarafından tam olarak yerine getirilmediği durum için Model 1 geliştirilmiştir. Model 1’de kullanılan indisler, parametreler ve değişkenler aşağıdaki gibidir:

İndis Kümesi

$k \in K$: toplama noktası (TN) yerleri kümesi

$l \in L$: potansiyel toplama merkezi (TM) yerleri kümesi

$i \in I$: açık olan toplama merkezi (ATM) yerleri kümesi

$m \in M$: potansiyel geri kazanım merkezi (GKM) yerleri kümesi

$j \in J$: açık olan geri kazanım merkezi (AGKM) yerleri kümesi

$d \in D$: bertaraf merkezi (BM) yerleri kümesi

$s \in S$: hammadde sağlayıcıları (HS) yerleri kümesi

$r \in R$: rafineri (R) yerleri kümesi

$p \in P$: ürün türü kümesi

$h \in H$: malzeme türü kümesi

Değişkenler

Y_l^c : l toplama merkezinin açılıp açılmama durumu (açılırsa 1; açılmazsa 0)

Y_i^c : i açık toplama merkezinin kapanıp kapanmama durumu (kapanırsa 1; kapanmazsa 0)

Y_m^r : m geri kazanım merkezinin açılıp açılmama durumu (açılırsa 1; açılmazsa 0)

- Y_j^r : j açık geri kazanım merkezinin kapanıp kapanmama durumu (kapanırsa 1; kapanmazsa 0)
- L_{kl} : k toplama noktasından l toplama merkezine ürün akışı sağlanıp sağlanmaması durumu (sağlanırsa 1; sağlanmazsa 0)
- L_{ki} : k toplama noktasından i açık toplama merkezine ürün akışı sağlanıp sağlanmaması durumu (sağlanırsa 1; sağlanmazsa 0)
- X_{pkl}^c : k toplama noktasından l toplama merkezine gönderilen p ürünü miktarı (ton)
- X_{pki}^c : k toplama noktasından i açık toplama merkezine gönderilen p ürünü miktarı (ton)
- X_{plm}^r : l toplama merkezinden m geri kazanım merkezine gönderilen p ürünü miktarı (ton)
- X_{pim}^r : i açık toplama merkezinden m geri kazanım merkezine gönderilen p ürünü miktarı (ton)
- X_{plj}^r : l toplama merkezinden j açık geri kazanım merkezine gönderilen p ürünü miktarı (ton)
- X_{pij}^r : i açık toplama merkezinden j açık geri kazanım merkezine gönderilen p ürünü miktarı (ton)
- X_{pld}^d : l toplama merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürünü miktarı (ton)
- X_{pid}^d : i açık toplama merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürünü miktarı (ton)
- X_{hms}^s : m geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara gönderilen h malzemesi miktarı (ton)
- X_{hjs}^s : j açık geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara gönderilen h malzemesi miktarı (ton)
- X_{pmd}^d : m geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürünü miktarı (ton)

X_{pjd}^d : j açık geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürünü miktarı (ton)

X_{pmr}^{ra} : m geri kazanım merkezinden r rafinerisine gönderilen p ürünü miktarı (ton)

X_{pjr}^{ra} : j açık geri kazanım merkezinden r rafinerisine gönderilen p ürünü miktarı (ton)

Maliyetler

Sabit Maliyetler (TL):

F_l^c : l toplama merkezini açmak için katlanılacak yıllık sabit maliyet

F_i^c : i açık toplama merkezini kapamak için katlanılacak yıllık sabit maliyet

F_m^r : m geri kazanım merkezini açmak için katlanılacak yıllık sabit maliyet

F_j^r : j açık geri kazanım merkezini kapamak için katlanılacak yıllık sabit maliyet

I_l^c : l toplama merkezinde oluşan yıllık bilgilendirme maliyeti

I_i^c : i açık toplama merkezinde oluşan yıllık bilgilendirme maliyeti

I_m^r : m geri kazanım merkezinde oluşan yıllık bilgilendirme maliyeti

I_j^r : j açık geri kazanım merkezinde oluşan yıllık bilgilendirme maliyeti

Taşıma Maliyetleri (TL/ton-km):

C_{pkl}^c : p ürününün k toplama noktasından l toplama merkezine taşınma maliyeti

C_{pki}^c : p ürününün k toplama noktasından i açık toplama merkezine taşınma maliyeti

C_{pld}^d : p ürününün l toplama merkezinden d bertaraf merkezine taşınma maliyeti

C_{pid}^d : p ürününün i açık toplama merkezinden d bertaraf merkezine taşınma maliyeti

C_{plm}^r : p ürününün l toplama merkezinden m geri kazanım merkezine taşınma maliyeti

C_{plj}^r : p ürününün l toplama merkezinden j açık geri kazanım merkezine taşınma maliyeti

C_{pim}^r : p ürününün i açık toplama merkezinden m geri kazanım merkezine taşınma maliyeti

C_{pij}^r : p ürününün i açık toplama merkezinden j açık geri kazanım merkezine taşınma maliyeti

C_{pmd}^d : p ürününün m geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine taşınma maliyeti

C_{pjd}^d : p ürününün j açık geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine taşınma maliyeti

C_{hms}^s : h malzemesinin m geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara taşınma maliyeti

C_{hjs}^s : h malzemesinin j açık geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara taşınma maliyeti

C_{hmr}^{ra} : h malzemesinin m geri kazanım merkezinden r rafinerisine taşınma maliyeti

C_{hjr}^{ra} : h malzemesinin j açık geri kazanım merkezinden r rafinerisine taşınma maliyeti

Toplama ve İşleme Maliyetleri (TL/ton):

C_{pk}^k : k toplama noktasından l toplama merkezine ya da i açık toplama merkezine gönderilen p ürününün toplanma maliyeti

P_{pl}^c : p ürününün l toplama merkezinde işlenme maliyeti

P_{pi}^c : p ürününün i açık toplama merkezinde işlenme maliyeti

P_{pm}^r : p ürününün m geri kazanım merkezinde işlenme maliyeti

P_{pj}^r : p ürününün j açık geri kazanım merkezinde işlenme maliyeti

Bertaraf ve Rafineri Maliyetleri (TL/ton):

B_{pd}^c : l toplama merkezinden ya da i açık toplama merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürününün bertaraf maliyeti

B_{pd}^r : m geri kazanım merkezinden ya da j açık geri kazanım merkezinden d

bertaraf merkezine gönderilen p ürününün bertaraf maliyeti

R_{pr}^r : m geri kazanım merkezinden ya da j açık geri kazanım merkezinden r rafineri merkezine gönderilen p ürününün işlenme maliyeti

Fırsat Maliyeti (TL/ton):

U_p : l toplama merkezinde p ürünü toplayamamadan kaynaklanan fırsat maliyeti

UI_p : i açık toplama merkezinde p ürünü toplayamamadan kaynaklanan fırsat maliyeti

Diğer Parametreler

Uzaklıklar (km):

d_{kl}^c : k toplama noktasından l toplama merkezine olan uzaklık

d_{ki}^c : k toplama noktasından i açık toplama merkezine olan uzaklık

d_{ld}^d : l toplama merkezinden d bertaraf merkezine olan uzaklık

d_{id}^d : i açık toplama merkezinden d bertaraf merkezine olan uzaklık

d_{lm}^r : l toplama merkezinden m geri kazanım merkezine olan uzaklık

d_{lj}^r : l toplama merkezinden j açık geri kazanım merkezine olan uzaklık

d_{im}^r : i açık toplama merkezinden m geri kazanım merkezine olan uzaklık

d_{ij}^r : i açık toplama merkezinden j açık geri kazanım merkezine olan uzaklık

d_{md}^d : m geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine olan uzaklık

d_{jd}^d : j açık geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine olan uzaklık

d_{ms}^s : m geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara olan uzaklık

d_{js}^s : j açık geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara olan uzaklık

Kapasiteler (ton):

g_{lp}^c : l toplama Merkezinin p ürününü işleme kapasitesi

g_{ip}^c : i açık toplama Merkezinin p ürününü işleme kapasitesi

g_{mp}^r : m geri kazanım Merkezinin p ürününü işleme kapasitesi

g_{jp}^r : j açık geri kazanım Merkezinin p ürününü işleme kapasitesi

Aktarma Oranları:

a_p : l toplama merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürünü ortalama oranı

b_p : l toplama merkezinden m geri kazanım merkezine gönderilen p ürünü ortalama oranı

c_p : m geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara gönderilen h malzemesi ortalama oranı

q_p : m geri kazanım merkezinden r rafinerisine gönderilen p ürünü ortalama oranı

g_p : m geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürünü ortalama oranı

ai_p : i açık toplama merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürünü ortalama oranı

bi_p : i açık toplama merkezinden m geri kazanım merkezine gönderilen p ürünü ortalama oranı

cj_p : j açık geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara gönderilen h malzemesi ortalama oranı

qj_p : j açık geri kazanım merkezinden r rafinerisine gönderilen p ürünü ortalama oranı

gj_p : j açık geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürünü ortalama oranı

Yıllık Geri Dönüş Miktarı (ton):

r_{kp} : k toplama noktasına p ürününden yıllık dönüş miktarı

Tesis İçi Beklenen Minimum Ürün Miktarı Miktarı (ton):

N_l : l toplama merkezinin kâra geçeceği minimum ürün miktarı

N_m : m geri kazanım merkezinin kâra geçeceği minimum ürün miktarı

N_i : i açık toplama merkezinin kâra geçeceği minimum ürün miktarı

N_j : j açık geri kazanım merkezinin kâra geçeceği minimum ürün miktarı

Malzeme Oranı:

$OR_{p,h}$: p ürününde açığa çıkan h malzemesi oranı

Model 1’de amaç fonksiyonu olarak yalnızca maliyet minimizasyonu dikkate alınmıştır.

Amaç: Maliyet Minimizasyonu =

Sabit Maliyetler:

$$\sum_{l \in L} F_l^c Y_l^c + \sum_{i \in I} F_i^c Y_i^c + \sum_{m \in M} F_m^r Y_m^r + \sum_{j \in J} F_j^r Y_j^r + \quad (5.1)$$

Toplama Maliyeti:

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} X_{pkl}^c C_{pk}^k + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{pki}^c C_{pk}^k + \quad (5.2)$$

Bertaraf ve Rafineri Maliyeti:

$$\begin{aligned} & \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{d \in D} X_{pld}^d B_{pd}^c + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} X_{pid}^d B_{pd}^c + \\ & \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \sum_{d \in D} X_{pmd}^d B_{pd}^r + \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{d \in D} X_{pjd}^d B_{pd}^r + \\ & \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \sum_{r \in R} X_{pmr}^{ra} R_{pr}^r + \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} X_{pjr}^{ra} R_{pr}^r + \end{aligned} \quad (5.3)$$

İşleme Maliyeti:

$$\begin{aligned} & \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} X_{pkl}^c P_{pl}^c + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{pki}^c P_{pi}^c + \\ & \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} X_{plm}^r P_{pm}^r + \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} X_{plj}^r P_{pj}^r + \\ & \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} X_{pim}^r P_{pm}^r + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{pij}^r P_{pj}^r + \end{aligned} \quad (5.4)$$

Taşıma Maliyeti:

$$\begin{aligned} & \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} X_{pkl}^c C_{pkl}^c d_{kl}^c + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{pki}^c C_{pki}^c d_{ki}^c + \\ & \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{d \in D} X_{pld}^d C_{pld}^d d_{ld}^d + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} X_{pid}^d C_{pid}^d d_{id}^d + \\ & \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} X_{plm}^r C_{plm}^r d_{lm}^r + \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} X_{plj}^r C_{plj}^r d_{lj}^r + \\ & \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} X_{pim}^r C_{pim}^r d_{im}^r + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{pij}^r C_{pij}^r d_{ij}^r + \\ & \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \sum_{d \in D} X_{pmd}^d C_{pmd}^s d_{md}^s + \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{d \in D} X_{pjd}^d C_{pjd}^s d_{jd}^s + \\ & \sum_{h \in H} \sum_{m \in M} \sum_{s \in S} X_{hms}^s C_{hms}^s d_{ms}^s + \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} X_{hjs}^s C_{hjs}^s d_{js}^s + \\ & \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \sum_{r \in R} X_{pmr}^{ra} C_{pmr}^{ra} d_{mr}^{ra} + \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} X_{pjr}^{ra} C_{pjr}^{ra} d_{jr}^{ra} + \end{aligned} \quad (5.5)$$

Bilgilendirme Maliyeti:

$$\sum_{l \in L} I_l^c Y_l^c + \sum_{m \in M} I_m^r Y_m^r + \sum_{i \in I} I_i^c (1 - Y_i^c) + \sum_{j \in J} I_j^r (1 - Y_j^r) + \quad (5.6)$$

Fırsat Maliyeti:

$$\begin{aligned} & \sum_{p \in P} (\sum_{l \in L} g_{lp}^c Y_l^c - \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} X_{pkl}^c) U_p + \\ & \sum_{p \in P} (\sum_{i \in I} g_{ip}^c (1 - Y_i^c) - \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{pki}^c) U_{I_p} + \end{aligned} \quad (5.7)$$

Kısıtlar:

Denge Kısıtları:

$$r_{kp} (L_{kl}) = X_{pkl}^c \quad (\forall k \in K, \forall p \in P, \forall l \in L) \quad (5.8)$$

$$r_{kp} (L_{ki}) = X_{pki}^c \quad (\forall k \in K, \forall p \in P, \forall i \in I) \quad (5.9)$$

$$\sum_{d \in D} X_{pld}^d = a_p \sum_{k \in K} X_{pkl}^c \quad (\forall l \in L, \forall p \in P) \quad (5.10)$$

$$\sum_{d \in D} X_{pid}^d = a_{I_p} \sum_{k \in K} X_{pki}^c \quad (\forall i \in I, \forall p \in P) \quad (5.11)$$

$$\sum_{m \in M} X_{plm}^r + \sum_{j \in J} X_{plj}^r = b_p \sum_{k \in K} X_{pkl}^c \quad (\forall l \in L, \forall p \in P) \quad (5.12)$$

$$\sum_{m \in M} X_{pim}^r + \sum_{j \in J} X_{pij}^r = b_{I_p} \sum_{k \in K} X_{pki}^c \quad (\forall i \in I, \forall p \in P) \quad (5.13)$$

$$\sum_{d \in D} X_{pmd}^d = \sum_{l \in L} X_{plm}^r g_p + \sum_{i \in I} X_{pim}^r g_p \quad (\forall m \in M, \forall p \in P) \quad (5.14)$$

$$\sum_{d \in D} X_{pjd}^d = \sum_{l \in L} X_{plj}^r g_j + \sum_{i \in I} X_{pij}^r g_j \quad (\forall j \in J, \forall p \in P) \quad (5.15)$$

$$\begin{aligned} \sum_{s \in S} X_{hms}^s &= \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} X_{plm}^r c_p OR_{p,h} + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} X_{pim}^r c_p OR_{p,h} \\ & \quad (\forall m \in M, \forall h \in H) \end{aligned} \quad (5.16)$$

$$\begin{aligned} \sum_{s \in S} X_{hjs}^s &= \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} X_{plj}^r c_j OR_{p,h} + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} X_{pij}^r c_j OR_{p,h} \\ & \quad (\forall j \in J, \forall h \in H) \end{aligned} \quad (5.17)$$

$$\sum_{r \in R} X_{pmr}^{ra} = \sum_{l \in L} X_{plm}^r q_p + \sum_{i \in I} X_{pim}^r q_p \quad (\forall m \in M, \forall p \in P) \quad (5.18)$$

$$\sum_{r \in R} X_{pjr}^{ra} = \sum_{l \in L} X_{plj}^r q_j + \sum_{i \in I} X_{pij}^r q_j \quad (\forall j \in J, \forall p \in P) \quad (5.19)$$

Kapasite Kısıtları:

$$\sum_{k \in K} X_{pkl}^c \leq g_{lp}^c Y_l^c \quad (\forall p \in P, \forall l \in L) \quad (5.20)$$

$$\sum_{k \in K} X_{pki}^c \leq g_{ip}^c (1 - Y_i^c) \quad (\forall p \in P, \forall i \in I) \quad (5.21)$$

$$\sum_{l \in L} X_{plm}^r + \sum_{i \in I} X_{pim}^r \leq g_{mp}^r Y_m^r \quad (\forall p \in P, \forall m \in M) \quad (5.22)$$

$$\sum_{l \in L} X_{plj}^r + \sum_{i \in I} X_{pij}^r \leq g_{jp}^c (1 - Y_j^r) \quad (\forall p \in P, \forall j \in J) \quad (5.23)$$

Mantık Kısıtları:

$$\sum_{l \in L} L_{kl} + \sum_{i \in I} L_{ki} = 1 \quad (\forall k \in K) \quad (5.24)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} X_{pkl}^c \leq M \cdot Y_l^c \quad (\forall l \in L) \quad (5.25)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} X_{pki}^c \leq M \cdot (1 - Y_i^c) \quad (\forall i \in I) \quad (5.26)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{l \in L} X_{plm}^r \leq M \cdot Y_m^r \quad (\forall m \in M) \quad (5.27)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{l \in L} X_{plj}^r \leq M \cdot (1 - Y_j^r) \quad (\forall j \in J) \quad (5.28)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} X_{pim}^r \leq M \cdot Y_m^r \quad (\forall m \in M) \quad (5.29)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} X_{pij}^r \leq M \cdot (1 - Y_j^r) \quad (\forall j \in J) \quad (5.30)$$

$$N_l Y_l^c \leq \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} X_{pkl}^c \quad (\forall l \in L) \quad (5.31)$$

$$N_i (1 - Y_i^c) \leq \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} X_{pki}^c \quad (\forall i \in I) \quad (5.32)$$

$$N_m Y_m^r \leq \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} X_{plm}^r \quad (\forall m \in M) \quad (5.33)$$

$$N_j (1 - Y_j^r) \leq \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} X_{plj}^r \quad (\forall j \in J) \quad (5.34)$$

$$N_m Y_m^r \leq \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} X_{pim}^r \quad (\forall m \in M) \quad (5.35)$$

$$N_j (1 - Y_j^r) \leq \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} X_{pij}^r \quad (\forall j \in J) \quad (5.36)$$

Diğer Kısıtlar:

$$Y_l^c, Y_m^r, Y_i^c, Y_j^r, L_{kl}, L_{ki} \in \{0,1\};$$

$$X_{pkl}^c, X_{pki}^c, X_{plm}^r, X_{pim}^r, X_{pld}^d, X_{pid}^d, X_{plj}^r, X_{pij}^r, X_{pid}^d, X_{hms}^s, X_{hjs}^s, X_{pmr}^{ra}, X_{pjr}^{ra}, X_{pmd}^d,$$

$$X_{pjd}^d \geq 0;$$

$$\forall k \in K, l \in L, i \in I, m \in M, j \in J, d \in D, s \in S, r \in R, p \in P, h \in H$$

Model 1’de yer alan amaç fonksiyonu, seçilen TL ağı içerisindeki maliyetlerin toplamını minimize etmektedir. Toplam maliyet içerisinde; tesis açma ve kapama kararına bağlı olarak oluşacak yıllık sabit maliyetler, ürün ve/veya bileşenlerin birimler arası taşıma maliyeti, ürünlerin işleme maliyeti, bilgilendirme maliyeti ve tam kapasite çalışmamaktan kaynaklanan fırsat maliyeti yer almaktadır. Denge

kısıtları, ağdaki merkezlere gelen ve merkezlerden çıkan ürün/malzeme miktarını dengelemektedir. Böylece, bir merkezden diğer merkeze atanan ürünler, belirlenmiş oranlardaki değerleri alarak atanırlar. Kapasite kısıtları, merkezlere gelen toplam ürün/malzeme miktarının merkezlerin kapasitesini aşamayacağını belirlemektedir. Mantıksal kısıtlar, her bir TN'dan çıkan konteynırın yalnızca bir TM'ye gönderileceğini ve merkezler açılmadıkça ürün/bileşen gönderilemeyeceğini belirlemektedir. Ayrıca, merkezler açıksa o merkeze mutlaka atama yapılması gerektiğini belirlemektedir. Merkezlere atanması gereken en düşük miktar olarak, bir merkezin kâra geçmeye başladığı başabaş noktası değeri dikkate alınmıştır. Diğer kısıtlar 0-1 değeri alma ve negatif olmama koşulunu içermektedir.

Modeldeki r_{kp} verileri, geri dönüş miktarı tahmini için geliştirilen YSA modelinden elde edilecek olan verilerdir.

5.4 Model 2: AEEE Yönetmeliği'nin Uygulanacağı Döneme Ait Model

Bu modelde öncelikle AEEE Yönetmeliği'nin belirlediği hedefler doğrultusunda geri dönüş miktarları belirlenecek, belirlenen geri dönüş miktarı değerleri, maliyeti ve karbon dioksit emisyonunu minimize eden, sosyal faydayı maksimize eden çok amaçlı optimizasyon modeline dâhil edilecektir.

5.4.1 Geri dönüş miktarlarının hesaplanması – AEEE modeli

Bu modelde geri dönüş miktarları, AEEE Yönetmeliği'nde belirlenmiş olan 4 kg/kişi e-atık toplama hedefi üzerinden hesaplanacaktır. Sonrasında bu değerler çok amaçlı optimizasyon modeline dâhil edilecektir.

5.4.2 AEEE yönetmeliğinin uygulanacağı döneme ait matematiksel model

Bu aşamada, bir e-atık geri kazanım sürecinde, ileriki dönem yani yönetmeliğin devreye gireceği düşünülen durum için Model 2 geliştirilmiştir. Model 2'de kullanılan indisler, parametreler ve değişkenler aşağıdaki gibidir:

İndis Kümesi

$k \in K$: toplama noktası (TN) yerleri kümesi

$l \in L$: potansiyel toplama merkezi (TM) yerleri kümesi

$i \in I$: açık olan toplama merkezi (ATM) yerleri kümesi

$m \in M$: potansiyel geri kazanım merkezi (GKM) yerleri kümesi

$j \in J$: açık olan geri kazanım merkezi (AGKM) yerleri kümesi

$d \in D$: bertaraf merkezi (BM) yerleri kümesi

$s \in S$: hammadde sağlayıcıları (HS) yerleri kümesi

$r \in R$: rafineri (R) yerleri kümesi

$p \in P$: ürün türü kümesi

$h \in H$: malzeme türü kümesi

$t \in T$: ulaştırma türü kümesi

Değişkenler

Y_l^c : l toplama merkezinin açılıp açılmama durumu (açılırsa 1; açılmazsa 0)

Y_i^c : i açık toplama merkezinin kapanıp kapanmama durumu (kapanırsa 1; kapanmazsa 0)

Y_m^r : m geri kazanım merkezinin açılıp açılmama durumu (açılırsa 1; açılmazsa 0)

Y_j^r : j açık geri kazanım merkezinin kapanıp kapanmama durumu (kapanırsa 1; kapanmazsa 0)

L_{kl} : k toplama noktasından l toplama merkeze ürün akışı sağlanıp sağlanmaması durumu (sağlanırsa 1; sağlanmazsa 0)

L_{ki} : k toplama noktasından i açık toplama merkeze ürün akışı sağlanıp sağlanmaması durumu (sağlanırsa 1; sağlanmazsa 0)

X_{pkl}^c : k toplama noktasından l toplama merkeze t ulaştırma türüyle gönderilen p ürünü miktarı (ton)

X_{pki}^c : k toplama noktasından i açık toplama merkeze t ulaştırma türüyle gönderilen p ürünü miktarı (ton)

X_{plmt}^r : l toplama merkezinden m geri kazanım merkeze t ulaşım türüyle gönderilen p ürünü miktarı (ton)

X_{pimt}^r : i açık toplama merkezinden m geri kazanım merkezine t ulaşım türüyle gönderilen p ürünü miktarı (ton)

X_{pljt}^r : l toplama merkezinden j açık geri kazanım merkezine t ulaşım türüyle gönderilen p ürünü miktarı (ton)

X_{pijt}^r : i açık toplama merkezinden j açık geri kazanım merkezine t ulaşım türüyle gönderilen p ürünü miktarı (ton)

X_{pldt}^d : l toplama merkezinden d bertaraf merkezine t ulaştırma türüyle gönderilen p ürünü miktarı (ton)

X_{pidt}^d : i açık toplama merkezinden d bertaraf merkezine t ulaştırma türüyle gönderilen p ürünü miktarı (ton)

X_{hmst}^s : m geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara t ulaştırma türüyle gönderilen h malzemesi miktarı (ton)

X_{hjst}^s : j açık geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara t ulaştırma türüyle gönderilen h malzemesi miktarı (ton)

X_{pmrt}^{ra} : m geri kazanım merkezinden r rafinerisine t ulaştırma türüyle gönderilen p ürünü miktarı (ton)

X_{pjrt}^{ra} : j açık geri kazanım merkezinden r rafinerisine t ulaştırma türüyle gönderilen p ürünü miktarı (ton)

X_{pmdt}^d : m geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine t ulaştırma türüyle gönderilen p ürünü miktarı (ton)

X_{pjdt}^d : j açık geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine t ulaştırma türüyle gönderilen p ürünü miktarı (ton)

Maliyetler:

Sabit Maliyetler (TL):

F_l^c : l toplama merkezini açmak için katlanılacak yıllık sabit maliyet

F_i^c : i açık toplama merkezini kapamak için katlanılacak yıllık sabit maliyet

F_m^r : m geri kazanım merkezini açmak için katlanılacak yıllık sabit maliyet

F_j^r : j açık geri kazanım merkezini kapamak için katlanılacak yıllık sabit maliyet

I_l^c : l toplama merkezinde oluşan yıllık bilgilendirme maliyeti

I_i^c : i açık toplama merkezinde oluşan yıllık bilgilendirme maliyeti

I_m^r : m geri kazanım merkezinde oluşan yıllık bilgilendirme maliyeti

I_j^r : j açık geri kazanım merkezinde oluşan yıllık bilgilendirme maliyeti

T_l^c : l toplama merkezinde oluşan yıllık uygulama maliyeti

T_i^c : i açık toplama merkezinde oluşan yıllık uygulama maliyeti

T_m^r : m geri kazanım merkezinde oluşan yıllık uygulama maliyeti

T_j^r : j açık geri kazanım merkezinde oluşan yıllık uygulama maliyeti

Taşıma Maliyeti (TL/ton-km):

C_{pkt}^c : p ürününün k toplama noktasından l toplama merkezine t ulaştırma türüyle taşınma maliyeti

C_{pkit}^c : p ürününün k toplama noktasından i açık toplama merkezine t ulaştırma türüyle taşınma maliyeti

C_{pldt}^d : p ürününün l toplama merkezinden d bertaraf merkezine t ulaştırma türüyle taşınma maliyeti

C_{pidt}^d : p ürününün i açık toplama merkezinden d bertaraf merkezine t ulaştırma türüyle taşınma maliyeti

C_{plmt}^r : p ürününün l toplama merkezinden m geri kazanım merkezine t ulaştırma türüyle taşınma maliyeti

C_{pljt}^r : p ürününün l toplama merkezinden j açık geri kazanım merkezine t ulaştırma türüyle taşınma maliyeti

C_{pimt}^r : p ürününün i açık toplama merkezinden m geri kazanım merkezine t ulaştırma türüyle taşınma maliyeti

C_{pijt}^r : p ürününün i açık toplama merkezinden j açık geri kazanım merkezine t ulaştırma türüyle taşınma maliyeti

C_{pmdt}^d : p ürününün m geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine t ulaştırma türüyle taşınma maliyeti

C_{pjdt}^d : p ürününün j açık geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine t ulaştırma türüyle taşınma maliyeti

C_{hmst}^s : h malzemesinin m geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara t ulaştırma türüyle taşınma maliyeti

C_{hjst}^s : h malzemesinin j açık geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara t ulaştırma türüyle taşınma maliyeti

C_{hmrt}^{ra} : h malzemesinin m geri kazanım merkezinden r rafinerisine t ulaştırma türüyle taşınma maliyeti

C_{hjrt}^{ra} : h malzemesinin j açık geri kazanım merkezinden r rafinerisine t ulaştırma türüyle taşınma maliyeti

Toplama ve İşleme Maliyeti (TL/ton):

C_{pklt}^k : k toplama noktasından l toplama merkezine ya da i açık toplama merkezine t ulaştırma türüyle gönderilen p ürününün toplanma maliyeti

P_{pl}^c : p ürününün l toplama merkezinde işlenme maliyeti

P_{pi}^c : p ürününün i açık toplama merkezinde işlenme maliyeti

P_{pm}^r : p ürününün m geri kazanım merkezinde işlenme maliyeti

P_{pj}^r : p ürününün j açık geri kazanım merkezinde işlenme maliyeti

Bertaraf Maliyeti (TL/ton):

B_{pd}^c : l toplama merkezinden ya da i açık toplama merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürününün bertaraf maliyeti

B_{pd}^r : m geri kazanım merkezinden ya da j açık geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürününün bertaraf maliyeti

R_{pr}^r : m geri kazanım merkezinden ya da j açık geri kazanım merkezinden r rafineri merkezine gönderilen p ürününün bertaraf maliyeti

Fırsat Maliyeti (TL/ton):

U_p : l toplama merkezinde p ürünü toplayamamadan kaynaklanan fırsat maliyeti

UI_p : i açık toplama merkezinde p ürünü toplayamamadan kaynaklanan fırsat maliyeti

Diğer Parametreler:

Açığa Çıkan Karbon Dioksit Emisyonu Miktarı (gr):

CO_l : l toplama merkezinin açılması durumunda ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_i : i açık toplama merkezinin kapanması durumunda ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_m : m geri dönüşüm merkezinin açılması durumunda ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_j : j açık geri dönüşüm merkezinin kapanması durumunda ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_{pkt} : p ürününün k toplama noktasından l toplama merkezine t ulaştırma türüyle taşınması sonucu ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_{pkit} : p ürününün k toplama noktasından i açık toplama merkezine t ulaştırma türüyle taşınması sonucu ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_{pldt} : p ürününün l toplama merkezinden d bertaraf merkezine t ulaştırma türüyle taşınması sonucu ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_{pidt} : p ürününün i açık toplama merkezinden d bertaraf merkezine t ulaştırma türüyle taşınması sonucu ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_{plmt} : p ürününün l toplama merkezinden m geri kazanım merkezine t ulaştırma türüyle taşınması sonucu ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_{pljt} : p ürününün l toplama merkezinden j açık geri kazanım merkezine t ulaştırma türüyle taşınması sonucu ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_{pimt} : p ürününün i açık toplama merkezinden m geri kazanım merkezine t ulaştırma türüyle taşınması sonucu ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_{pijt} : p ürününün i açık toplama merkezinden j açık geri kazanım merkezine t ulaştırma türüyle taşınması sonucu ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_{pmdt} : p ürününün m geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine t ulaştırma türüyle taşınması sonucu ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_{pjdt} : p ürününün j açık geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine t ulaştırma türüyle taşınması sonucu ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_{hmst} : h malzemesinin m geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara t ulaştırma türüyle taşınması sonucu ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_{hjst} : h malzemesinin j açık geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara t ulaştırma türüyle taşınması sonucu ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_{pmrt} : p ürününün m geri kazanım merkezinden r rafinerisine t ulaştırma türüyle taşınması sonucu ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

CO_{pjrt} : p ürününün j açık geri kazanım merkezinden r rafinerisine t ulaştırma türüyle taşınması sonucu ortaya çıkan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı

Uzaklıklar (km):

d_{klt}^c : k toplama noktasından l toplama merkezine t taşıma türüyle olan uzaklık

d_{kit}^c : k toplama noktasından i açık toplama merkezine t taşıma türüyle olan uzaklık

d_{ldt}^d : l toplama merkezinden d bertaraf merkezine t taşıma türüyle olan uzaklık

d_{idt}^d : i açık toplama merkezinden d bertaraf merkezine t taşıma türüyle olan uzaklık

d_{lmt}^r : l toplama merkezinden m geri kazanım merkezine t taşıma türüyle olan uzaklık

d_{ljt}^r : l toplama merkezinden j açık geri kazanım merkezine t taşıma türüyle olan uzaklık

d_{imt}^r : i açık toplama merkezinden m geri kazanım merkezine t taşıma türüyle olan uzaklık

d_{ijt}^r : i açık toplama merkezinden j açık geri kazanım merkezine t taşıma türüyle olan uzaklık

d_{mdt}^d : m geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine t taşıma türüyle olan uzaklık

d_{jdt}^d : j açık geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine t taşıma türüyle olan uzaklık

d_{mst}^s : m geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara t taşıma türüyle olan uzaklık

d_{jst}^s : j açık geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara t taşıma türüyle olan uzaklık

Kapasiteler (ton):

g_{lp}^c : l toplama Merkezinin p ürününü işleme kapasitesi

g_{ip}^c : i açık toplama Merkezinin p ürününü işleme kapasitesi

g_{mp}^r : m geri kazanım Merkezinin p ürününü işleme kapasitesi

g_{jp}^r : j açık geri kazanım Merkezinin p ürününü işleme kapasitesi

Aktarma Oranları:

a_p : l toplama merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürünü ortalama oranı

- b_p : l toplama merkezinden m geri kazanım merkezine gönderilen p ürünü ortalama oranı
- c_p : m geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara gönderilen h malzemesi ortalama oranı
- q_p : m geri kazanım merkezinden r rafinerisine gönderilen p ürünü ortalama oranı
- g_p : m geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürünü ortalama oranı
- ai_p : i açık toplama merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürünü ortalama oranı
- bi_p : i açık toplama merkezinden m geri kazanım merkezine gönderilen p ürünü ortalama oranı
- cj_p : j açık geri kazanım merkezinden s hammadde sağlayıcılara gönderilen h malzemesi ortalama oranı
- qj_p : j açık geri kazanım merkezinden r rafinerisine gönderilen p ürünü ortalama oranı
- gj_p : j açık geri kazanım merkezinden d bertaraf merkezine gönderilen p ürünü ortalama oranı

Yıllık Geri Dönüş Miktarı (ton):

- r_{kp} : k toplama noktasına p ürününden yıllık dönüş miktarı

Tesis İç Beklenen Minimum Ürün Miktarı (ton):

- N_l : l toplama merkezinin kâra geçeceği minimum ürün miktarı
- N_m : m geri kazanım merkezinin kâra geçeceği minimum ürün miktarı
- N_i : i açık toplama merkezinin kâra geçeceği minimum ürün miktarı
- N_j : j açık geri kazanım merkezinin kâra geçeceği minimum ürün miktarı

Malzeme Oranı:

- $OR_{p,h}$: p ürününde açığa çıkan h malzemesi oranı

Sosyal Fayda Miktarları:

SBL_l : l toplama merkezinin açılması durumunda kalifiye olmayan iş gücü miktarında meydana gelecek artış

$SBLQ_l$: l toplama merkezinin açılması durumunda kalifiye iş gücü miktarında meydana gelecek artış

SBM_m : m geri kazanım merkezinin açılması durumunda kalifiye olmayan iş gücü miktarında meydana gelecek artış

$SBMQ_m$: m geri kazanım merkezinin açılması durumunda kalifiye iş gücü miktarında meydana gelecek artış

SBI_i : i açık toplama merkezinin kapanması durumunda kalifiye olmayan iş gücü miktarında meydana gelecek azalma

$SBIQ_i$: i açık toplama merkezinin kapanması durumunda kalifiye iş gücü miktarında meydana gelecek azalma

SBJ_j : j açık geri kazanım merkezinin kapanması durumunda kalifiye olmayan iş gücü miktarında meydana gelecek azalma

$SBJQ_j$: j açık geri kazanım merkezinin kapanması durumunda kalifiye iş gücü miktarında meydana gelecek azalma

Model 2’de maliyet minimizasyonu, karbon dioksit emisyonu minimizasyonu ve sosyal fayda maksimizasyonu şeklinde üç amaç dikkate alınmıştır.

1. Amaç: Maliyet Minimizasyonu ($f_1(x)$) =

Sabit Maliyetler:

$$\sum_{l \in L} F_l^c Y_l^c + \sum_{i \in I} F_i^c Y_i^c + \sum_{m \in M} F_m^r Y_m^r + \sum_{j \in J} F_j^r Y_j^r + \quad (5.37)$$

Toplama Maliyeti:

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{pkl}^c C_{pkl}^k + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pkit}^c C_{pkit}^k + \quad (5.38)$$

Bertaraf ve Rafineri Maliyeti:

$$\begin{aligned}
& \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pldt}^d B_{pd}^c + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pidt}^d B_{pd}^c + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pmdt}^d B_{pd}^r + \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pjdt}^d B_{pd}^r + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pmdt}^d R_{pd}^r + \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pjdt}^d R_{pd}^r + (5.39)
\end{aligned}$$

İşleme Maliyeti:

$$\begin{aligned}
& \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{pklt}^c P_{pl}^c + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pkit}^c P_{pi}^c + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} X_{plmt}^r P_{pm}^r + \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} X_{pljt}^r P_{pj}^r + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} X_{pimt}^r P_{pm}^r + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} X_{pijt}^r P_{pj}^r + (5.40)
\end{aligned}$$

Taşıma Maliyeti:

$$\begin{aligned}
& \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{pklt}^c C_{pklt}^c d_{klt}^c + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pkit}^c C_{pkit}^c d_{ki}^c + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pldt}^d C_{pldt}^d d_{ldt}^d + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pidt}^d C_{pidt}^d d_{id}^d + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} X_{plmt}^r C_{plmt}^r d_{lmt}^r + \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} X_{pljt}^r C_{pljt}^r d_{lj}^r + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} X_{pimt}^r C_{pimt}^r d_{imt}^r + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} X_{pijt}^r C_{pijt}^r d_{ij}^r + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pmdt}^d C_{pmdt}^s d_{mdt}^s + \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pjdt}^d C_{pjdt}^s d_{jdt}^s + \\
& \sum_{h \in H} \sum_{m \in M} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} X_{hmst}^s C_{hmst}^s d_{mst}^s + \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} X_{hjst}^s C_{hjst}^s d_{jst}^s + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} X_{pmrt}^{ra} C_{pmrt}^{ra} d_{mrt}^{ra} + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} X_{pjrt}^{ra} C_{pjrt}^{ra} d_{jrt}^{ra} + (5.41)
\end{aligned}$$

Bilgilendirme Maliyeti:

$$\sum_{l \in L} I_l^c Y_l^c + \sum_{m \in M} I_m^r Y_m^r + \sum_{i \in I} I_i^c (1 - Y_i^c) + \sum_{j \in J} I_j^r (1 - Y_j^r) + (5.42)$$

Uygulama Maliyeti:

$$\sum_{l \in L} T_l^c Y_l^c + \sum_{m \in M} T_m^r Y_m^r + \sum_{i \in I} T_i^c (1 - Y_i^c) + \sum_{j \in J} T_j^r (1 - Y_j^r) + (5.43)$$

Fırsat Maliyeti:

$$\begin{aligned}
& \sum_{p \in P} (\sum_{l \in L} g_{lp}^c Y_l^c + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{pklt}^c) U_p + \\
& \sum_{p \in P} (\sum_{i \in I} g_{ip}^c (1 - Y_i^c) - \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pkit}^c) U_{Ip} (5.44)
\end{aligned}$$

2. Amaç: Karbon Dioksit Emisyonu Minimizasyonu ($f_2(x)$)=

Taşıma Esnasında Açığa Çıkan Karbon Dioksit Emisyonu:

$$\begin{aligned}
& \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{pkl}^c CO_{pkl} + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pki}^c CO_{pki} + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pld}^d CO_{pld} + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pid}^d CO_{pid} + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pmd}^s CO_{pmd} + \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pjd}^s CO_{pjd} + \\
& \sum_{h \in H} \sum_{m \in M} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} X_{hms}^s CO_{hms} + \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} X_{hjs}^s CO_{hjs} + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} X_{pmr}^{ra} CO_{pmr} + \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pjr}^{ra} CO_{pjr} + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} X_{plm}^r CO_{plm} + \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} X_{plj}^r CO_{plj} + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} X_{pim}^r CO_{pim} + \\
& \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} X_{pij}^r CO_{pij} + \tag{5.45}
\end{aligned}$$

Açma/Kapama Esnasında Açığa Çıkan Karbon Dioksit Emisyonu:

$$\sum_{l \in L} Y_l^c CO_l + \sum_{m \in M} Y_m^r CO_m - (\sum_{i \in I} Y_i^c CO_i + \sum_{j \in J} Y_j^r CO_j) + \tag{5.46}$$

3. Amaç: Sosyal Fayda Maksimizasyonu ($f_3(x)$):

Tesis Açma Sonucu Artan İş Gücü Miktarı:

$$\begin{aligned}
& \sum_{l \in L} Y_l^c (SBL_l) + \sum_{l \in L} Y_l^c (SBLQ_l) + \\
& \sum_{m \in M} Y_m^r (SBM_m) + \sum_{m \in M} Y_m^r (SBMQ_m) - \tag{5.47}
\end{aligned}$$

Tesis Kapama Sonucu Azalan İş Gücü Miktarı:

$$(\sum_{i \in I} Y_i^c (SBL_i) + \sum_{i \in I} Y_i^c (SBLQ_i) + \sum_{j \in J} Y_j^r (SBM_j) + \sum_{j \in J} Y_j^r (SBMQ_j)) \tag{5.48}$$

Kısıtlar:

Denge Kısıtları:

$$r_{kp} (L_{kl}) = X_{pkl}^c \quad (\forall k \in K, \forall p \in P, \forall l \in L) \tag{5.49}$$

$$r_{kp} (L_{ki}) = X_{pki}^c \quad (\forall k \in K, \forall p \in P, \forall i \in I) \tag{5.50}$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pld}^d = a_p \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} X_{pkl}^c \quad (\forall l \in L, \forall p \in P) \tag{5.51}$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pidt}^d = a_i \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} X_{pkit}^c \quad (\forall i \in I, \forall p \in P) \quad (5.52)$$

$$\begin{aligned} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} X_{plmt}^r + \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} X_{pljt}^r &= b_p \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} X_{pklt}^c \\ &(\forall l \in L, \forall p \in P) \end{aligned} \quad (5.53)$$

$$\begin{aligned} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} X_{pimt}^r + \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} X_{pijt}^r &= b_i \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} X_{pkit}^c \\ &(\forall i \in I, \forall p \in P) \end{aligned} \quad (5.54)$$

$$\begin{aligned} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pmdt}^d &= \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{plmt}^r g_p + \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pimt}^r g_p \\ &(\forall m \in M, \forall p \in P) \end{aligned} \quad (5.55)$$

$$\begin{aligned} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{pjdt}^d &= \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{pljt}^r g_j + \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pijt}^r g_j \\ &(\forall j \in J, \forall p \in P) \end{aligned} \quad (5.56)$$

$$\begin{aligned} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} X_{hmst}^s &= \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{plmt}^r c_p OR_{p,h} + \\ &\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pimt}^r c_p OR_{p,h} \quad (\forall m \in M, \forall h \in H) \end{aligned} \quad (5.57)$$

$$\begin{aligned} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} X_{hjst}^s &= \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{pljt}^r c_j OR_{p,h} + \\ &\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pijt}^r c_j OR_{p,h} \quad (\forall j \in J, \forall h \in H) \end{aligned} \quad (5.58)$$

$$\begin{aligned} \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} X_{pmrt}^{ra} &= \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{plmt}^r q_p + \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pimt}^r q_p \\ &(\forall m \in M, \forall p \in P) \end{aligned} \quad (5.59)$$

$$\begin{aligned} \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} X_{pjrt}^{ra} &= \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{pljt}^r q_j + \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pijt}^r q_j \\ &(\forall j \in J, \forall p \in P) \end{aligned} \quad (5.60)$$

Kapasite Kısıtları:

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K} X_{pklt}^c \leq g_{lp}^c Y_l^c \quad (\forall p \in P, \forall l \in L) \quad (5.61)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K} X_{pkit}^c \leq g_{ip}^c (1 - Y_i^c) \quad (\forall p \in P, \forall i \in I) \quad (5.62)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{l \in L} X_{plmt}^r + \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} X_{pimt}^r \leq g_{mp}^r Y_m^r \quad (\forall p \in P, \forall m \in M) \quad (5.63)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{l \in L} X_{pljt}^r + \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} X_{pijt}^r \leq g_{jp}^c (1 - Y_j^r) \quad (\forall p \in P, \forall j \in J) \quad (5.64)$$

Mantık Kısıtları:

$$\sum_{l \in L} L_{kl} + \sum_{i \in I} L_{ki} = 1 \quad (\forall k \in K) \quad (5.65)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} X_{pklt}^c \leq M \cdot Y_l^c \quad (\forall l \in L) \quad (5.66)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} X_{pkit}^c \leq M \cdot (1 - Y_i^c) \quad (\forall i \in I) \quad (5.67)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{plmt}^r \leq M \cdot Y_m^r \quad (\forall m \in M) \quad (5.68)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{pljt}^r \leq M \cdot (1 - Y_j^r) \quad (\forall j \in J) \quad (5.69)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pimt}^r \leq M \cdot Y_m^r \quad (\forall m \in M) \quad (5.70)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pijt}^r \leq M \cdot (1 - Y_j^r) \quad (\forall j \in J) \quad (5.71)$$

$$N_l Y_l^c \leq \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} X_{pklt}^c \quad (\forall l \in L) \quad (5.72)$$

$$N_i (1 - Y_i^c) \leq \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} X_{pkit}^c \quad (\forall i \in I) \quad (5.73)$$

$$N_m Y_m^r \leq \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{plmt}^r \quad (\forall m \in M) \quad (5.74)$$

$$N_j (1 - Y_j^r) \leq \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{pljt}^r \quad (\forall j \in J) \quad (5.75)$$

$$N_m Y_m^r \leq \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pimt}^r \quad (\forall m \in M) \quad (5.76)$$

$$N_j (1 - Y_j^r) \leq \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{pijt}^r \quad (\forall j \in J) \quad (5.77)$$

Diğer Kısıtlar:

$$Y_l^c, Y_m^r, Y_i^c, Y_j^r, L_{kl}, L_{ki} \in \{0,1\};$$

$$X_{pklt}^c, X_{pkit}^c, X_{plmt}^r, X_{pimt}^r,$$

$$X_{pldt}^d, X_{pidt}^d, X_{pljt}^r, X_{pijt}^d, X_{pidt}^d, X_{hmst}^s, X_{hjst}^s, X_{pmrt}^{ra}, X_{pjrt}^{ra}, X_{pmdt}^d, X_{pjdt}^d \geq 0;$$

$$\forall k \in K, l \in L, i \in I, m \in M, j \in J, d \in D, s \in S, r \in R, p \in P, h \in H, t \in T$$

Model 2'nin birinci amaç fonksiyonu, seçilen TL ağı içerisindeki maliyetlerin toplamını minimize etmektedir. Toplam maliyet içerisinde; tesis açma ve kapama kararına bağlı olarak oluşacak yıllık sabit maliyetler, ürün ve/veya bileşenlerin birimler arası taşıma maliyeti, ürünlerin işleme maliyeti, bilgilendirme maliyeti, uygulama maliyeti ve tam kapasite çalışmamaktan kaynaklanan fırsat maliyeti yer almaktadır. İkinci amaç fonksiyonu, birimler arası taşıma türüne göre farklılaşan ve tesis açma kapama kararlarına bağlı olarak oluşan karbondioksit emisyonu miktarını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Üçüncü amaç fonksiyonu, potansiyel TM ve GKM'lerin açılmasıyla ilgili bölgeye sağlanacak olan işgücü katkısı üzerinden sosyal faydayı maksimize etmektedir. Denge kısıtları, ağıdaki merkezlere gelen ve merkezlerden çıkan ürün/malzeme miktarını dengelemektedir. Böylece, bir birimden diğer birime atanan ürünler, belirlenmiş oransal değerleri alarak atanırlar. Kapasite

kısıtları, merkezlere gelen toplam ürün/malzeme miktarının merkezlerin kapasitesini aşamayacağını belirlemektedir. Mantıksal kısıtlar, her bir TN'dan çıkan konteynırın yalnızca bir TM'ye gönderileceğini ve merkezler açılmadıkça ürün/bileşen gönderilemeyeceğini belirlemektedir. Ayrıca, merkezler açıksa o merkeze mutlaka atama yapılması gerektiğini belirlemektedir. Merkezlere atanması gereken en düşük miktar olarak, bir merkezin kâra geçtiği başabaş noktası değeri dikkate alınmıştır. Diğer kısıtlar 0-1 değeri alma ve negatif olmama koşulunu içermektedir.

Modeldeki r_{kp} verileri, AEEE Yönetmeliği'nin toplanmasını zorunlu kıldığı hedef değerler üzerinden hesaplanacaktır. Karbon dioksit miktarlarına ilişkin veriler Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Exchange - UNFCCC) verilerinden derlenerek elde edilmiştir. Taşıma türlerine göre farklılaşan parametrelere ait değerler için ise Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) verilerinden faydalanılmıştır.

Her iki modelin yapısına ilişkin temel farklılıklar Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 : Modeller arası farklılıklar.

Modelin Bileşenleri	Model 1	Model 2
Amaç Fonksiyonları	Maliyet minimizasyonu	Maliyet minimizasyonu Çevresel etki minimizasyonu Sosyal fayda maksimizasyonu
Değişkenler	Tesis Açma/Kapama Tesisler Arası Ürün Akışı	Tesis Açma/Kapama Taşıma Türüne Bağlı Olarak Tesisler Arası Ürün Akışı
Parametreler	Sabit ve Değişken Maliyetler Uzaklıklar Kapasiteler Aktarma Oranları Yıllık Geri Dönüş Miktarı Tesis İçi Beklenen Minimum Ürün Miktarı Malzeme Oranı	Taşıma Türlerine Bağlı Sabit ve Değişken Maliyetler Uzaklıklar Kapasiteler Aktarma Oranları Yıllık Geri Dönüş Miktarı Tesis İçi Beklenen Minimum Ürün Miktarı Malzeme Oranı Taşıma Türüne Bağlı Olarak Açığa Çıkan Karbon Dioksit Miktarı Sosyal Fayda Miktarı
Kısıtlar	Denge Kısıtları Kapasite Kısıtları Mantık Kısıtları	Denge Kısıtları Kapasite Kısıtları Mantık Kısıtları

Önerilen çok amaçlı TLAT modelinin çözümünde TKY'den faydalanılmıştır. TKY'nin gerekliliklerine uygun olarak, öncelikle her bir amaç ayrı ayrı çözülmüştür. Modelin basitleştirilmiş gösterimi:

Amaç Minimum Maliyet ($f_1(x)$)

Minimum Karbon Dioksit Emisyonu ($f_2(x)$)

Maksimum Sosyal Fayda ($f_3(x)$)

Kısıtlar Denge kısıtları

Kapasite kısıtları

Mantık kısıtları

$$Y_l^c \dots L_{ki} \in \{0,1\}$$

$$X_{pkt}^c \dots X_{pjd}^d \geq 0 \quad \text{şeklinde ifade edilebilir.}$$

Her bir amaç fonksiyonunun ($f_1(x), f_2(x), f_3(x)$) optimum değerleri, diğer amaç fonksiyonundaki yerlerine konulmuştur. Böylelikle diğer amaç fonksiyonlarının, seçili amaç fonksiyonunun optimal çözüm değişkenlerinin değerlerini alması durumunda alacağı değerler belirlenmiştir. ($f_1(x)', f_1(x)'', f_2(x)', f_2(x)'', f_3(x)', f_3(x)''$). Amaç fonksiyonlarının tüm alternatifleri (x^1, x^2, x^3) aşağıdaki ödünleşim matrisine uygun olarak biraraya getirilmiştir:

$$\begin{matrix} x^1 & \begin{bmatrix} f_1(x) * & f_1(x)' & f_1(x)'' \\ f_2(x)' & f_2(x) * & f_2(x)'' \\ f_3(x)' & f_3(x)'' & f_3(x) * \end{bmatrix} \\ x^2 & \\ x^3 & \end{matrix} \quad (5.78)$$

Her bir amacın en yüksek değerleri, $f_1(x)^Y, f_2(x)^Y, f_3(x)^Y$ şeklinde ve en düşük değerleri $f_1(x)^D, f_2(x)^D, f_3(x)^D$ şeklinde gösterilmiş olsun. TKY kullanılarak, amaç fonksiyonu değerlerinin olurlu değerlerden göreceli sapmalarının minimize edilmesi için geliştirilen normalize edilmiş modelin gösterimi şu şekilde olacaktır:

Amaç Minimum $F(f_1(x), f_2(x), f_3(x)) =$

$$\left[\left| \frac{f_1(x)^Y - f_1(x)^*}{f_1(x)^Y - f_1(x)^D} \right|^a + \left| \frac{f_2(x)^Y - f_2(x)^*}{f_2(x)^Y - f_2(x)^D} \right|^a + \left| \frac{f_3(x)^* - f_3(x)^D}{f_3(x)^Y - f_3(x)^D} \right|^a \right] \quad (5.79)$$

Kısıtlar Denge kısıtları

Kapasite kısıtları

Mantık kısıtları

$$Y_l^c \dots L_{ki} \in \{0,1\}$$

$$X_{pkl}^c \dots X_{pjd}^d \geq 0 \quad \text{şeklinde ifade edilebilir.}$$

“a” parametresinin değeri, modelin doğrusal programlama modeli olması nedeniyle “1” olarak belirlenmiştir.

5.5 Model 1 ve Model 2’nin Özgün Katkıları

Model 1’de yer alan bazı özellikler, modeli literatürdeki çoğu çalışmadan farklı kılmaktadır. Bunlardan biri, modelin içerisinde tesis açma kararının yanı sıra mevcut durumda var olan tesislerin kapatılıp kapatılmama kararının da modele dâhil edilmiş olmasıdır. Bunun yanı sıra, modeldeki ürün girdisini oluşturan geri dönüş miktarları, daha önce literatürde denenmemiş olan YSA metodu yardımı ile tahmin edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Tesislere gerçekleştirilecek olan ürün atamalarının, en az tesis içi kâra geçiş miktarı kadar olmasının sağlanması amacıyla, tesis içi beklenen ürün miktarı hesaplanmıştır. Modelin uygulaması gerçek veriler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Model 1’in katkılarına ilişkin özet bilgiler Çizelge 5.3’ te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 : Model 1’in özgün katkıları.

MODEL 1	Katkı	Açıklama
Değişken	Tesis Kapama Kararı	Mevcut tesislerin kapatılıp kapatılmayacağı kararı da modele dahil edilmiştir.
Parametreler	Geri Dönüş Miktarı	Geri dönüş miktarı YSA modeli ile elde edilmiştir.
	Tesis İçi Beklenen Minimum Ürün Miktarı	Açılan tesisin kâra geçiş noktası hesaplanmıştır.
Veriler	Gerçek Değerler	Firma verileri, WEEE, TÜİK, REC, bakanlıklar

Model 2’de yer alan bazı özellikler de modeli literatürdeki çoğu çalışmadan farklı kılmaktadır. Model 2’de, Model 1 için belirtilen katkıların yanı sıra amaç fonksiyonuna “çevresel etki minimizasyonu” ve sağlanan işgücü maksimizasyonunu hedefleyen “sosyal fayda maksimizasyonu” hedefinin eklenmesi yoluyla özgün katkı sağlanmıştır. Model 2’nin katkılarına ilişkin özet bilgiler Çizelge 5.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 : Model 2'nin özgün katkıları.

MODEL 2	Katkı	Açıklama
Amaç Fonksiyonu	Sağlanan İşgücü Maksimizasyonu	Maliyet minimizasyonu ve çevresel etki minimizasyonunun yanı sıra sosyal fayda olarak ilgili bölgenin işgücüne sağlanan katkı modele dahil edilmiştir.
Değişken	Tesis Kapama Kararı	Mevcut tesislerin kapatılıp kapatılmayacağı kararı da modele dahil edilmiştir.
Parametre	Tesis İçi Beklenen Minimum Ürün Miktarı	Açılan tesisin kâra geçiş noktası hesaplanmıştır.
Veriler	Gerçek Değerler	Firma verileri, WEEE, TÜİK, REC, bakanlıklar

6. UYGULAMA

6.1 Uygulamada Yer Alan E-Atık TLAT Yapısının Kapsamı

Bu çalışmada yer alan ve ilgili sektörde genelleştirilebilme özelliği taşıyan modeller, büyümekte olan e-atık sektöründe yer alan firmalar için uzun dönemli stratejik kararlar alırken yararlanabilecekleri bir öneri niteliğindedir. Önerilen metodolojide, mevcut pazarını genişletmek isteyen firmalar için, hangi tesislerin nerelerde açılması gerektiği ve tesisler arası ürün/bileşen akış miktarlarının belirlenmesi, hangi ulaşım türlerini seçmeleri gerektiği konularında faydalı modeller geliştirilmiştir. Tez uygulaması kapsamında, Türkiye’deki çeşitli sektörlerden yetkililer ve uzmanlarla görüşülmüştür. Uygulamanın gerçek verilerle çözülecek olma hedefi doğrultusunda, uygulamaya destek verme potansiyeli taşıyan şirketlerle irtibata geçilmiştir. Sektör araştırması ve görüşmeler neticesinde, TL alanında giderek artan bir öneme sahip olan, ve gelişmekte olan ülkelerde TL faaliyetlerinin ilk gerçekleştirildiği sektörlerden olan e-atık geri dönüşüm sektörüne ağırlık verilmesi uygun bulunmuştur. Türkiye’deki e-atık sektörünün tamamıyla gerçek verilerle uygulamaya dâhil edilmesinin karmaşıklığı nedeniyle, önerilen modellerin uygulaması, Türkiye’nin ilk e-atık geri dönüşüm firması olan Exitcom Geri Dönüşüm Ltd. firmasının verileri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Metodoloji kapsamında oluşturulan iki farklı TLAT modeli ile, potansiyel TM ve GKM’lerin açılıp açılmayacağı, ATM ve AGKM’lerin kapatılıp kapatılmayacağı, hangi TN’lerin hangi TM’lere atanacağı, hangi TM/ATM’lerin hangi GKM/AGKM’lere atanacağı, tesisler arası ne kadar ürün/malzeme akışı sağlanacağı, ve hangi ulaşım türüyle aktarılacağı kararları verilecektir. Bu kararlar verilirken, birinci model için sadece maliyet minimizasyonunu içeren ekonomik amaç dikkate alınacaktır. İkinci model için ise, maliyet minimizasyonu şeklinde belirtilen ekonomik amacın yanı sıra, minimum karbondioksit emisyonu miktarını hedefleyen çevresel amaç, ve kalifiye olan ve olmayan işgücüne katkıyı maksimize eden sosyal fayda amacı dikkate alınmıştır.

TL hizmeti sağlayan geri dönüşüm firmalarının, etkin bir TL yönetimi için önemi büyüktür. AEEE Yönetmeliği'nde de belirtildiği gibi geri dönüşüm firmaları bakanlıktan uygunluk belgesi alarak, geri kazanım faaliyetleri için en gelişkin teknoloji ve tekniklerle donanarak en üstün hizmeti sağlamakla yükümlüdürler. TL kavramının öneminin parlamaya başladığı ülkemizde, kendi TL ağını oluşturmamış pek çok üretici firma, geri dönüşüm firmalarından destek alarak ürün geri kazanımlarını gerçekleştirmektedir. Exitcom Geri Dönüşüm firması, içinde bulunduğu tersine lojistik ağında yer alan en önemli aktörlerden biridir ve ileri geri dağıtımın entegre edilmesine büyük katkılarda bulunan bir firmadır. Ayrıca e-atıkların sistematik bir şekilde toplanıp geri kazanılmasına dair yükümlölüklerin yerine getirilmesinde Exitcom Geri Dönüşüm firması danışmanlık hizmeti de vermektedir. 1997 yılında Almanya'nın Hannover şehrinde kurulan Exitcom Geri Dönüşüm firması, AEEE geri dönüşümü konusunda uzmanlaşmıştır ve bu alanda hizmet veren ilk Türk şirketi ünvanına sahip olmuştur. 2003 yılında Kocaeli'nde başladığı Türkiye faaliyetleriyle, birçok projede başarıyla yer almıştır. Almanya/Hannover ve Türkiye/Kocaeli olmak üzere 2 ana noktada hizmetlerini devam ettiren şirket; e-atık, çevre teknolojileri, tersine tedarik zinciri yönetimi konularında uzmanlaşmıştır. Firma şu an toplam 50.000 ton/yıl kapasiteye ulaşmış durumdadır.

Exitcom Geri Dönüşüm firmasının birlikte çalıştığı yerel birimler, üreticiler ve elektronik mağazaları bulunmaktadır. Bu birimlerde Exitcom Geri Dönüşüm firmasına ait toplama noktaları (konteynırlar) yer almaktadır. Son tüketiciler, e-atık kapsamındaki ürünleri bedelsiz olarak bu mağazalardaki atık biriktirme kutularına atabilmektedirler. Exitcom Geri Dönüşüm firmasının, e-atıkları topladıkları birimlerin başlıcaları aşağıdaki gibidir;

- Belediyeler (Başlıcaları: Kocaeli'nin tüm ilçeleri, İstanbul – Şişli, Kartal, Ataşehir, Sakarya, Bursa Orhangazi, Tekirdağ ve Edirne illeri)
- Elektrikli ve elektronik ürün dağıtıcıları (Distribütörler) (Başlıcaları: Electroworld, Mediamarkt, Teknosa) ve
- Üreticiler (Başlıcaları: HP, Vodafone)

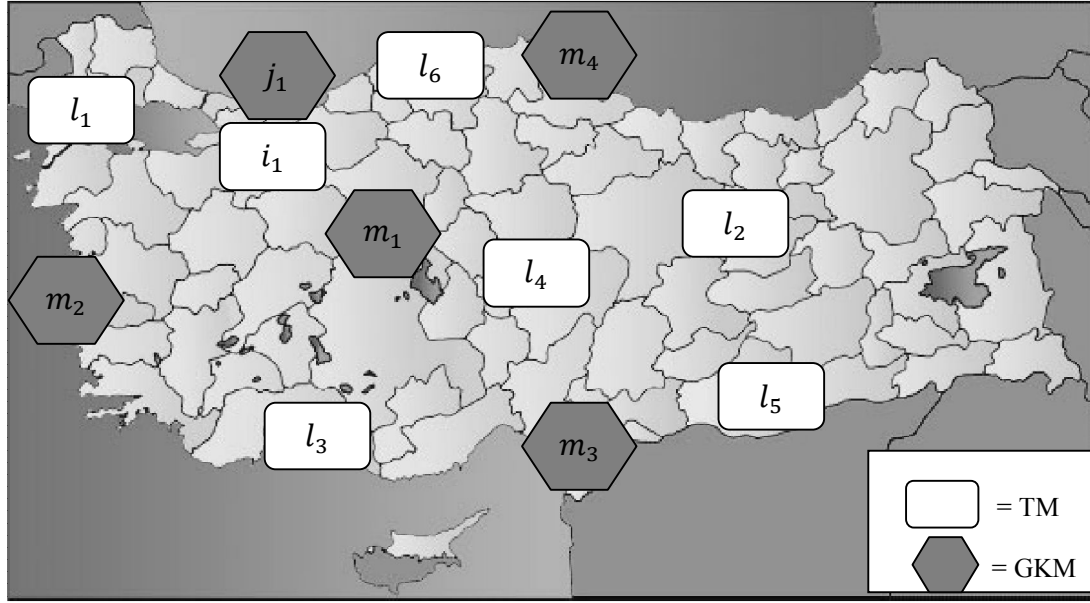
Toplamda yaklaşık 50 farklı birimle çalışılmaktadır. Körfez Belediyesi ve Şişli Belediyesi, en çok ürün toplanan merkezlerdendir. Exitcom Geri Dönüşüm firması, geri kazanım tesislerinde, üretici ve belediyelerde belli noktalara bırakılan toplama

konteynırlarıyla toplanan e-atıklar, geri dönüşüm işlemlerine tabi tutulmakta ve hammadde kaynaklarına ayrıştırılmaktadır. Geri kazandırılan değerli metaller, plastikler vs gibi hammadde kaynağına dönüşmüş olarak Exitcom Geri Dönüşüm tesislerinde üretime sunulmaktadır. Plastik ve değerli metal grupları ayrılmakta, sonra dökümhaneye gitmekte ve hammaddeye dönüşmektedir. Floresan, kartuş ve toner birkaç yıl öncesine kadar işlenemezken yeni kurulan bölümler ve alınan lisanslar ile bu ürünlerin de geri dönüşümü mümkün hale getirilmiştir.

Ülkemizde geri dönüşüm sektöründe kayıt dışı çalışan firmaların sağlıksız koşullarda işlem yapması sektörün kontrolünü zorlaştırmaktadır. Sektörün denetimi açısından firmaların bakanlık tarafından lisans almaları gerekmektedir. Farklı sektörlerde (ambalaj atık, akü, atık mademi yağlar, çimento, özel atıklar) toplamda 110 firmaya lisans verilmiştir (Sayıştay Başkanlığı, 2007). E-atık sektöründe ise, Exitcom Geri Dönüşüm firmasının yanı sıra yaklaşık 15 adet uygun görüş izni ile çalışan (lisanslı) geri dönüşüm firması mevcuttur. Ancak Türkiye’de AEEE geri kazanım sektörünün oluştuğunu söylemek pek mümkün değildir. Daha çok hurdacılar ve serbest toplayıcılar tarafından kontrol edilen kontrolsüz ve denetlenemeyen bir pazar söz konusudur.

Exitcom Geri Dönüşüm firmasının İzmit’te bir adet ATM (i_1) ve bir adet AGKM’si (j_1) bulunmaktadır. Firma, mevcut ATM’ye ek olarak Tekirdağ (l_1), Erzurum (l_2), Antalya (l_3), Kayseri (l_4), Diyarbakır (l_5) ve Zonguldak (l_6) şehirlerinde TM’ler açmayı planlamaktadır. Mevcut AGKM’ye ek olarak ise Ankara (m_1), İzmir (m_2), Adana (m_3) ve Samsun (m_4)’da GKM’ler açmak istemektedir. Belirlenen bu bölgelerin hangisine tesis açması gerektiğine dair stratejik bir yaklaşım geliştirmek istenmektedir. Exitcom Geri Dönüşüm firmasının işlem yaptığı ürünler 4 ana grupta toplanmaktadır. Bu ürünler, büyük ev aletleri (grup 1), bilgi teknolojileri (IT) aletleri ve monitörler (grup 2), ışıklandırma aletleri (grup 3) ve küçük ev aletleri (grup 4) şeklindedir. Geri kazanım faaliyetlerinden geçirilen ürünler 5 ana hammaddeye dönüştürülmektedir. Bu hammaddeler demir (hammadde 1), demir dışı metaller (hammadde 2), cam (hammadde 3), plastik (hammadde 4) ve diğer hammaddeler (hammadde 5) şeklinde ifade edilebilir. Firmanın geri kazanımı gerçekleştirilemeyecek ürünleri gönderdiği iki adet bertaraf merkezi (BM 1, BM 2), işleme lisansı olmayan ürünleri gönderdiği bir adet rafineri (R) ve geri dönüştürdüğü ürünlerden elde ettiği hammaddeleri gönderdiği üç adet hammadde sağlayıcı (HS 1,

HS 2, HS 3) bulunmaktadır. Mevcut durumda tüm ürün ve/veya bileşenlerin aktarımı karayolları kullanımı ile gerçekleştirilmektedir. Fakat AEEE Yönetmeliği'nin hayata geçmesiyle çevresel zararı azaltan alternatif ulaşım türü olan demiryollarının kullanımı da düşünülmektedir. Ağ içerisinde açma kapama kararı verilecek olan tesislerin gösterimi Şekil 6.1' deki gibidir.



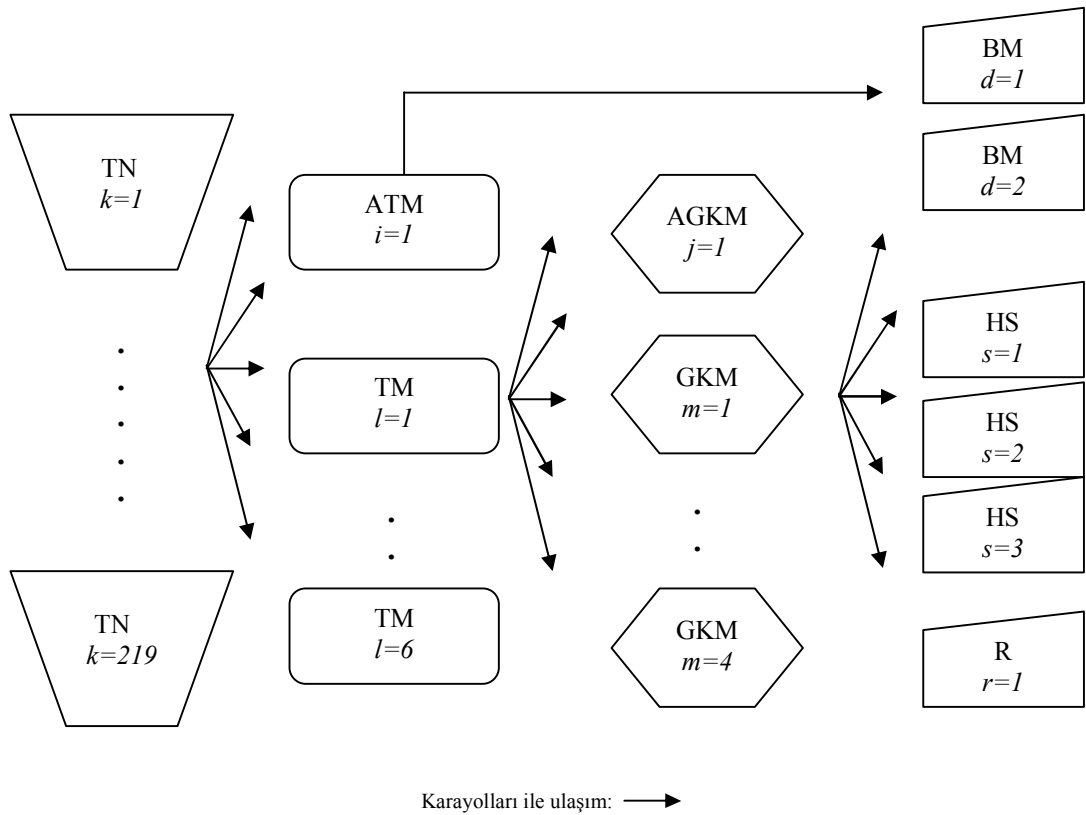
Şekil 6.1: Açma/kapama kararı verilecek olan açık ve potansiyel tesisler.

Uygulamada Exitcom Geri Dönüşüm firmasından alınan bilgiler kullanılmıştır. Ayrıca verilerin toplanmasında Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve REC (Regional Environment Center-Turkey) raporlarından faydalanılmıştır. Geri dönüş miktarları her iki model için ayrı ayrı belirlenen tahmin modelleriyle, geri kalan veriler ise gerçek bilgilere dayanarak oluşturulmuştur.

6.2 Model 1: AEEE Yönetmeliği'nin Uygulanmadığı Mevcut Döneme Ait Matematiksel Modelin Çözümü

Model 1'in uygulanacağı ağ içerisinde; firmanın mevcut durumda e-atık geri dönüşümü gerçekleştirmek üzere anlaşmalı olduğu üreticiler, distribütörler ve yerel birimlerin yanı sıra, YSA modeli ile geri dönüş miktarları tahmin edilecek olan 19 yerel birimin de yer aldığı toplam 219 TN bulunmaktadır. Bu TN'lerden toplanan e-atıkların ilk olarak elle ayrıştırma işlemlerinden geçmek üzere toplandıkları yer olan bir adet ATM ve altı adet potansiyel TM modele dâhil edilmiştir. TM'lerden sonra

geri kazanımı gerçekleştirilemeyen ürünler iki mevcut BM'ye, geri kazanımı gerçekleştirilebilecek olanlar da bir adet AGKM'ye ve/veya dört adet potansiyel GKM'lere gönderilip değerlendirilebileceklerdir. AGKM ve GKM'lerde işlem gören ürünler çeşitli hammaddelere ayrıştırılarak üç adet mevcut HS'den uygun bulunan/bulunanlara gönderilecek, işlenemeyen ürünler yine iki adet mevcut BM'den uygun olan/olanlarına ve/veya bir adet R'ye gönderileceklerdir. Tüm birimler arası akışlarda karayolları ulaştırma türü seçili durumdadır. Bu nedenle modelde ulaşım türü seçimine ilişkin bir değişken yer almamaktadır. Şekil 6.2, Model 1'in çözüleceği ağda yer alan birim ve sayılarını göstermektedir.



Şekil 6.2 : Model 1 için uygulamanın gerçekleştiği ağın genel yapısı.

Bu deterministik modelin çözümü için YSA modeli ile bütünsel olarak geliştirilen tek amaçlı ve deterministik KTDP modeli, GAMS 21.6-CPLEX 9 programı ile çözülmüştür.

6.2.1 Model 1'in Verileri

Metodoloji bölümünde detayları verilen Model 1'e ait parametrelere ilişkin verilerin toplanmasına, belirsizlik içeren geri dönüş miktarının tahmin edilmesi ile başlanmıştır.

6.2.1.1 YSA yapısının oluşturulması: eğitim ve test aşamaları ile geri dönüşüm miktarı tahmini

Bu aşamada öncelikle e-atık geri dönüşümü gerçekleştirmeye başlayacak potansiyel şehirler belirlenmiştir. Önümüzdeki dönem için potansiyel iller belirlenirken, bakanlıklarla ortak analizler yapan ve bu konuda Türkiye'deki pek çok faaliyeti gerçekleştiren REC (Regional Environment Center-Turkey) raporları dikkate alınmıştır. REC raporlarından hareketle, firmanın, en az daha önce anlaşmalı olduğu yerel birimler kadar geri dönüş potansiyeli taşıyan 19 adet yeni potansiyel yerel birim belirlenmiştir.

Bu durumda mevcut ağ yapısı içerisindeki TN'lere ek olarak 19 yeni yerel birim de eklenmiş olacaktır. Mevcut TN'ler için yıllık ortalama dönüş miktarı alınmış, yeni yerel birimlerin geçmiş dönem verileri olmadığı için, mevcut yerel birimlerin bilgilerinin YSA sistemine girişi yapılarak öğrenen YSA sisteminin yeni yerel birimler için tahminde bulunması sağlanmıştır.

Exitcom Geri Dönüşüm firmasının dâhil olduğu ağ içerisinde, metodoloji bölümünde belirlenmiş olan altı faktöre ilişkin veriler toplanmıştır. Şehirlerin firma ve ürün odaklı faktörlerine ilişkin bilgiler toplanırken geri dönüşüm sektörünün geçmiş verilerinden faydalanılmıştır. Kamusal ve sosyoekonomik faktörlere ait bilgiler bulunurken TÜİK (Türk İstatistik Kurumu) verilerinden faydalanılmıştır. Veriler normalize edilerek sisteme dâhil edilmiştir. Potansiyel yerel birimlere sunulacak geri alma fiyatı belirli olmadığı için, her bir ürün çeşidi için beklenen değer analizi gerçekleştirilmiştir. Distribütörler (telekomünikasyon firmaları ve diğer firmalar), OPÜ'ler ve yerel birimlerde oluşan ortalama geri dönüş miktarları e-atık oluşma olasılıklarıyla çarpılmıştır. Beklenen değer analizi ve sonuçları Çizelge 6.1'de görüldüğü gibidir.

Çizelge 6.1 : Geri alma fiyatı beklenen değerleri.

Ürün Çeşidi	Telekomunikasyon				Geri Alma Fiyatının Beklenen Değeri
	Firmaları	Diğer Firmalar	OPÜ'ler	Yerel Birimler	
Grup 1	0,3	0	0,055	0	0,149361
Grup 2	0,72	0,266	0,086	0	0,470084
Grup 3	0	0	0	0	0
Grup 4	2,93	1,6	0	0	2,121014
Olasılıklar	0,49144668	0,425672	0,035043	0,047837982	

Mevcut şehirlerin ve tahmini gerçekleştirilecek olan şehirlerin seçilen altı faktöre ait bilgileri, TÜİK ve bakanlık kaynaklarından ulaşılabilecek en güncel veriler üzerinden derlenmiştir. Veriler, Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 6.2 : Mevcut şehirlere ait bilgiler (TÜİK, Exitcom Geridönüşüm Ltd. Şti.).

İller	Nüfus Yoğunluğu	Oluşan Yıllık E-Atık (Kişi Başı)	Yıllık Çevresel Yatırım (Kişi Başı)	Kişi Başı Milli Gelir (TL)	Ürün Çeşidi	Geri Alma Fiyatı	Ortalama Geri Dönüş Miktarı
Adana	145	8,2	58	2340	Grup 1	0,149	0
Adana	145	8,2	58	2340	Grup 2	0,07	120
Adana	145	8,2	58	2340	Grup 3	0	0
Adana	145	8,2	58	2340	Grup 4	1,8	360
Ankara	182	10,5	251	2752	Grup 1	0,0613	7446
Ankara	182	10,5	251	2752	Grup 2	0,194	13368
Ankara	182	10,5	251	2752	Grup 3	0	354
Ankara	182	10,5	251	2752	Grup 4	2,316	3820
Antalya	92	7,3	98	2193	Grup 1	0,149	0
Antalya	92	7,3	98	2193	Grup 2	0,3908	1118,586
Antalya	92	7,3	98	2193	Grup 3	0	0
Antalya	92	7,3	98	2193	Grup 4	2,12	0
Bursa	230	8,9	55	2507	Grup 1	0,073	1700
Bursa	230	8,9	55	2507	Grup 2	0,204	19424
Bursa	230	8,9	55	2507	Grup 3	0	312
Bursa	230	8,9	55	2507	Grup 4	1,1	495
Çanakkale	48	5,9	59	2335	Grup 1	0,149	0
Çanakkale	48	5,9	59	2335	Grup 2	0,167111	2932,11
Çanakkale	48	5,9	59	2335	Grup 3	0	0
Çanakkale	48	5,9	59	2335	Grup 4	1,25	850
Edirne	63	7	69	2403	Grup 1	0,149	0
Edirne	63	7	69	2403	Grup 2	0,47	0
Edirne	63	7	69	2403	Grup 3	0	232
Edirne	63	7	69	2403	Grup 4	2,12	0
Eskişehir	54	8,9	119	2513	Grup 1	0,149	0
Eskişehir	54	8,9	119	2513	Grup 2	0,1557	1371,636
Eskişehir	54	8,9	119	2513	Grup 3	0	0
Eskişehir	54	8,9	119	2513	Grup 4	2,3	500

Çizelge 6.2 (devam) : Mevcut şehirlere ait bilgiler.

İstanbul	2498	11,9	109	3063	Grup 1	0,3	19250
İstanbul	2498	11,9	109	3063	Grup 2	0,3656	141451
İstanbul	2498	11,9	109	3063	Grup 3	0	0
İstanbul	2498	11,9	109	3063	Grup 4	3,5	14160
İzmir	328	11,7	115	3215	Grup 1	0,0785	2601
İzmir	328	11,7	115	3215	Grup 2	0,425	64364
İzmir	328	11,7	115	3215	Grup 3	0	0
İzmir	328	11,7	115	3215	Grup 4	1,4	530
Kocaeli	419	22,5	208	6165	Grup 1	0,149	0
Kocaeli	419	22,5	208	6165	Grup 2	0,0818	26771
Kocaeli	419	22,5	208	6165	Grup 3	0	0
Kocaeli	419	22,5	208	6165	Grup 4	2,11	4230
Mersin	104	8,3	66	2452	Grup 1	0,0544	470,079
Mersin	104	8,3	66	2452	Grup 2	0,05	377
Mersin	104	8,3	66	2452	Grup 3	0	0
Mersin	104	8,3	66	2452	Grup 4	2,12	0
Muğla	63	8,7	66	3308	Grup 1	0,149	0
Muğla	63	8,7	66	3308	Grup 2	0	200
Muğla	63	8,7	66	3308	Grup 3	0	0
Muğla	63	8,7	66	3308	Grup 4	2,12	0
Sakarya	176	6,4	85	2108	Grup 1	0,149	0
Sakarya	176	6,4	85	2108	Grup 2	0	1120
Sakarya	176	6,4	85	2108	Grup 3	0	0
Sakarya	176	6,4	85	2108	Grup 4	2,12	0
Tekirdağ	123	8,4	89	2498	Grup 1	0,149	0
Tekirdağ	123	8,4	89	2498	Grup 2	0,1416	746
Tekirdağ	123	8,4	89	2498	Grup 3	0	620
Tekirdağ	123	8,4	89	2498	Grup 4	0,62	406
Yalova	239	11,4	65	3463	Grup 1	0,149	0
Yalova	239	11,4	65	3463	Grup 2	0	2359
Yalova	239	11,4	65	3463	Grup 3	0	0
Yalova	239	11,4	65	3463	Grup 4	2,12	0

Çizelge 6.3 : Geri dönüş miktarı tahmini gerçekleştirilecek şehirlere ait bilgiler (TÜİK, 2008).

İller	Nüfus Yoğunluğu	Oluşan Yıllık E-Atık (Kişi Başı)	Yıllık Çevresel Yatırım (Kişi Başı)	Kişi Başı Milli Gelir (TL)	Ürün Çeşidi	Geri Alma Fiyatı
Balıkesir	81	5,5	60	1216	Grup 1	0,149
Balıkesir	81	5,5	60	1216	Grup 2	0,47
Balıkesir	81	5,5	60	1216	Grup 3	0
Balıkesir	81	5,5	60	1216	Grup 4	2,12
Bilecik	52	8	35	2584	Grup 1	0,149
Bilecik	52	6,5	39	2117	Grup 2	0,47
Bilecik	52	6,5	39	2117	Grup 3	0
Bilecik	52	6,5	39	2117	Grup 4	2,12
Bolu	33	10,2	18	4216	Grup 1	0,149
Bolu	33	10,2	18	4216	Grup 2	0,47
Bolu	33	10,2	18	4216	Grup 3	0
Bolu	33	10,2	18	4216	Grup 4	2,12
Burdur	38	5,5	28	1951	Grup 1	0,149
Burdur	38	5,5	28	1951	Grup 2	0,47
Burdur	38	5,5	28	1951	Grup 3	0
Burdur	38	5,5	28	1951	Grup 4	2,12
Denizli	80	6,8	49	2133	Grup 1	0,149
Denizli	80	6,8	49	2133	Grup 2	0,47
Denizli	80	6,8	49	2133	Grup 3	0
Denizli	80	6,8	49	2133	Grup 4	2,12
Diyarbakır	102	3,7	103	1313	Grup 1	0,149
Diyarbakır	102	3,7	103	1313	Grup 2	0,47
Diyarbakır	102	3,7	103	1313	Grup 3	0
Diyarbakır	102	3,7	103	1313	Grup 4	2,12
Elazığ	65	5,3	101	1704	Grup 1	0,149
Elazığ	65	5,3	101	1704	Grup 2	0,47
Elazığ	65	5,3	101	1704	Grup 3	0
Elazığ	65	5,3	101	1704	Grup 4	2,12
Erzincan	19	3,5	92	1158	Grup 1	0,149
Erzincan	19	3,5	92	1158	Grup 2	0,47
Erzincan	19	3,5	92	1158	Grup 3	0
Erzincan	19	3,5	92	1158	Grup 4	2,12
Erzurum	30	2,8	93	1061	Grup 1	0,149
Erzurum	30	2,8	93	1061	Grup 2	0,47
Erzurum	30	2,8	93	1061	Grup 3	0
Erzurum	30	2,8	93	1061	Grup 4	2,12
Eskişehir	55	8,9	118	2513	Grup 1	0,149
Eskişehir	55	8,9	118	2513	Grup 2	0,47
Eskişehir	55	8,9	118	2513	Grup 3	0
Eskişehir	55	8,9	118	2513	Grup 4	2,12
Gaziantep	249	5,6	81	1593	Grup 1	0,149
Gaziantep	249	5,6	81	1593	Grup 2	0,47

Çizelge 6.3 (devam) : Geri dönüş miktarı tahmini gerçekleştirilecek şehirlere ait bilgiler.

Gaziantep	249	5,6	81	1593	Grup 3	0
Gaziantep	249	5,6	81	1593	Grup 4	2,12
Karaman	26	5,9	67	2012	Grup 1	0,149
Karaman	26	5,9	67	2012	Grup 2	0,47
Karaman	26	5,9	67	2012	Grup 3	0
Karaman	26	5,9	67	2012	Grup 4	2,12
Kayseri	72	6,3	44	1806	Grup 1	0,149
Kayseri	72	6,3	44	1806	Grup 2	0,47
Kayseri	72	6,3	44	1806	Grup 3	0
Kayseri	72	6,3	44	1806	Grup 4	2,12
Kırıkkale	61	9,5	74	2725	Grup 1	0,149
Kırıkkale	61	9,5	74	2725	Grup 2	0,47
Kırıkkale	61	9,5	74	2725	Grup 3	0
Kırıkkale	61	9,5	74	2725	Grup 4	2,12
Manisa	105	7,4	48	2459	Grup 1	0,149
Manisa	105	7,4	48	2459	Grup 2	0,47
Manisa	105	7,4	48	2459	Grup 3	0
Manisa	105	7,4	48	2459	Grup 4	2,12
Mersin	106	8,3	66	2452	Grup 1	0,149
Mersin	106	8,3	66	2452	Grup 2	0,47
Mersin	106	8,3	66	2452	Grup 3	0
Mersin	106	8,3	66	2452	Grup 4	2,12
Nevşehir	52	6,5	39	2117	Grup 1	0,149
Nevşehir	52	8	35	2584	Grup 2	0,47
Nevşehir	52	8	35	2584	Grup 3	0
Nevşehir	52	8	35	2584	Grup 4	2,12
Samsun	188	7,6	48	2969	Grup 1	0,149
Samsun	188	7,6	48	2969	Grup 2	0,47
Samsun	188	7,6	48	2969	Grup 3	0
Samsun	188	7,6	48	2969	Grup 4	2,12
Zonguldak	138	4,4	69	1680	Grup 1	0,149
Zonguldak	138	4,4	69	1680	Grup 2	0,47
Zonguldak	138	4,4	69	1680	Grup 3	0
Zonguldak	138	4,4	69	1680	Grup 4	2,12

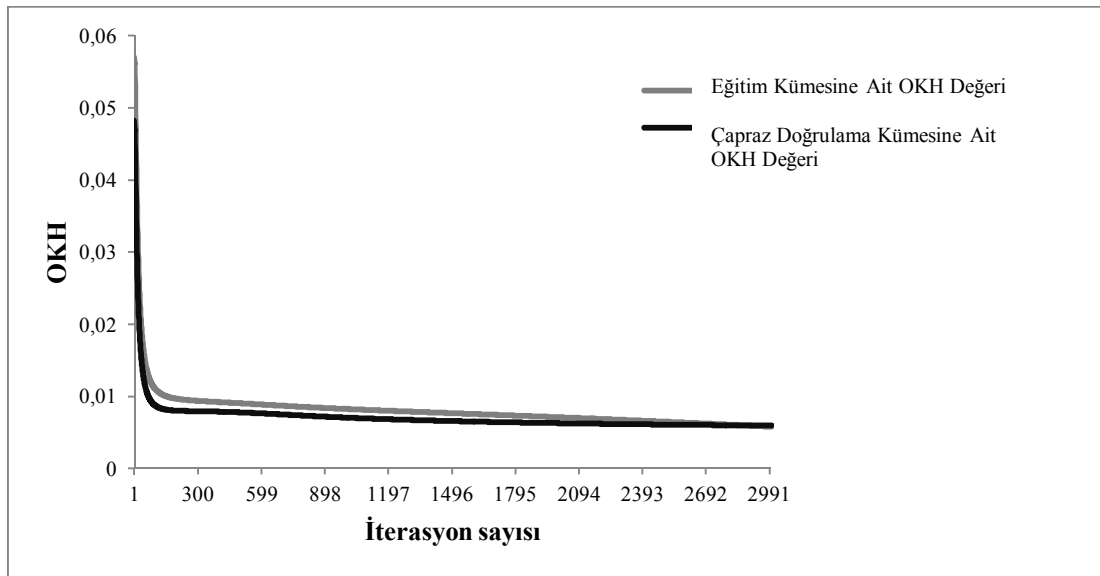
Bu aşamada farklı gizli katman sayısı ve nöron sayısı kombinasyonları içeren YSA yapıları eğitilerek en düşük OKH değerine sahip yapının belirlenmesi hedeflenmektedir. Gizli katman üzerinde yer alan nöron sayılarının fazla olması ağıın ezberlemesine ve aynı çıktıları vermesine neden olacaktır. Gizli katmanlarda az sayıda nöron olması ise ağıın geçmiş veriler ile eğitilmesini zorlaştıracaktır. Bu

nedenle ağın en uygun yapısının bulunması, başarılı bir tahmin modeli geliştirme açısından çok önemlidir.

Önceki aşamada belirlenen altı adet faktör, YSA sisteminin girdilerini oluşturmaktadır. Sistemin çıktısı ise geri dönüş miktarıdır. Mevcut şehirlere ait bilgileri içeren veri setinin %70'lik kısmı eğitim kümesi olarak, %15'i çapraz doğrulama kümesi olarak ve kalanı da test kümesi olarak ayrılmıştır.

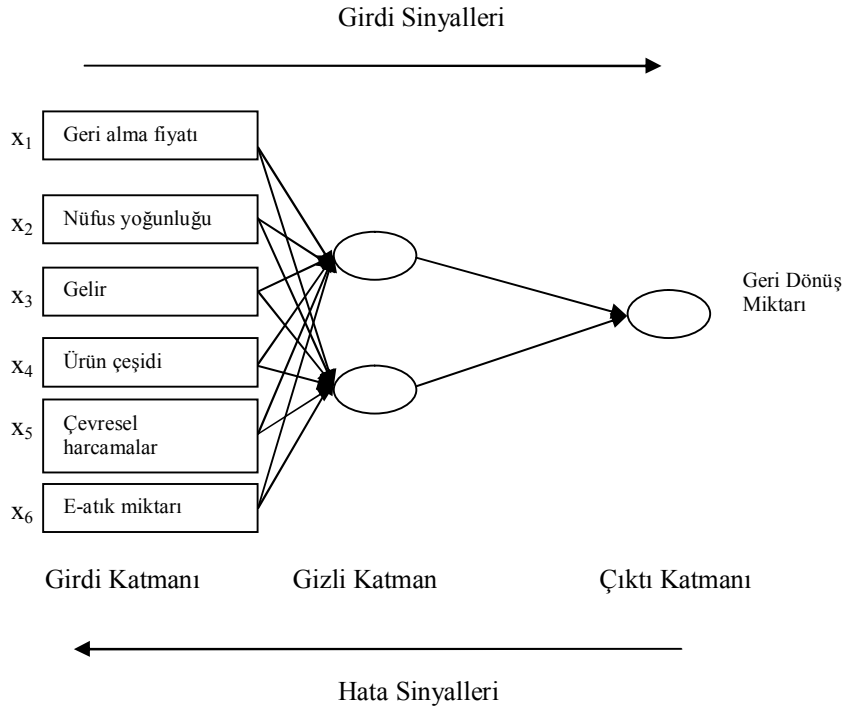
Bu modelde aktivasyon fonksiyonu olarak, lineer olmamasından dolayı türevi alınabilen ve geri yayımlımlı ağlarda sıkça kullanılan bir fonksiyon olan sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. En tatmin edici çıktıyı veren YSA yapısının bulunması için gizli katman sayısı 1'den 5'e kadar denenmiş, değerlendirmeye alınabilecek özellikte sonuç elde edilmediyse 10 ve 15 gizli katmanlı YSA'lar da çalıştırılmıştır. Gizli katmanlar üzerindeki nöron sayıları da 1'den 10'a kadar sırasıyla denenmiştir. Yine değerlendirmeye alınabilecek özellikte sonuç elde edilmediyse her bir gizli katmanın 15 ve 20 nöronlu yapısı da eğitim performansı ölçülmek üzere denenmiştir.

Oluşturulan yapılan 3000 iterasyonla ve 3 defa denenmesi sonucunda çapraz doğrulama kümesi için en düşük OKH değeri 0,006 olarak bulunmuştur. Bu değere tek gizli katmanlı iki nöronlu ağı 3000. defa eğitilmesi sonucunda ulaşılmıştır. 0,006 değeri, 0,01 değerinden çok düşük olduğu için tatmin edici bulunmuştur. OKH değerlerinin deneme sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 6.3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 6.3 : Seçilen YSA yapısında deneme sayısına bağlı olarak OKH değerinin değişimi.

Seçilen bu model teste tabi tutulmuş ve test aşamasında da en yüksek korelasyon sayısı (0,84) ile en düşük MSE (0,33) değerini vermiştir. Bu yapının kullanımı ile karar vericiler sadece girdileri girerek sistemden gerçeğe en yakın tahmini sonuçları çıktı olarak alabilmektedir. YSA sisteminin çalıştırılmasında NeuroSolutions yazılımı kullanılmıştır. Seçilen en uygun YSA yapısının genel gösterimi Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4 : En uygun YSA yapısı.

Tek gizli katmanlı iki nöronlu YSA yapısına potansiyel yerel birimlerin girdi değerleri girildiğinde elde edilen tahmini geri dönüş miktarları kg cinsinden Çizelge 6.4'te verilmektedir.

Çizelge 6.4 : YSA sonuçları: Potansiyel şehirlerin geri dönüş miktarları (kg).

Potansiyel Yerel Birimler	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Potansiyel Yerel Birimler	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4
Balıkesir	593	7772	646	1973	Gaziantep	925	9330	940	2440
Bilecik	899	8329	784	2184	Karaman	647	7935	709	2065
Bolu	1301	10626	1315	2984	Kayseri	707	8247	756	2142
Burdur	626	7838	688	2032	Kırıkkale	1051	9735	1073	2631
Denizli	800	8649	843	2277	Manisa	931	9226	963	2463
Diyarbakır	544	7517	604	1905	Mersin	999	9539	1021	2555
Elazığ	635	7908	692	2040	Nevşehir	730	9051	938	2421
Erzincan	402	6827	476	1699	Samsun	1183	10316	1188	2811
Erzurum	370	6676	445	1649	Zonguldak	679	8138	729	2102
Eskişehir	974	9406	1003	2524					

YSA ile tahmin edilen değerler, KTDP modelindeki geri dönüş miktarı parametresine ait veriler olarak modele dâhil edilmiştir. Model 1'e ait veriler, Ek A'da yer alan GAMS modeli içerisinde gösterilmiştir.

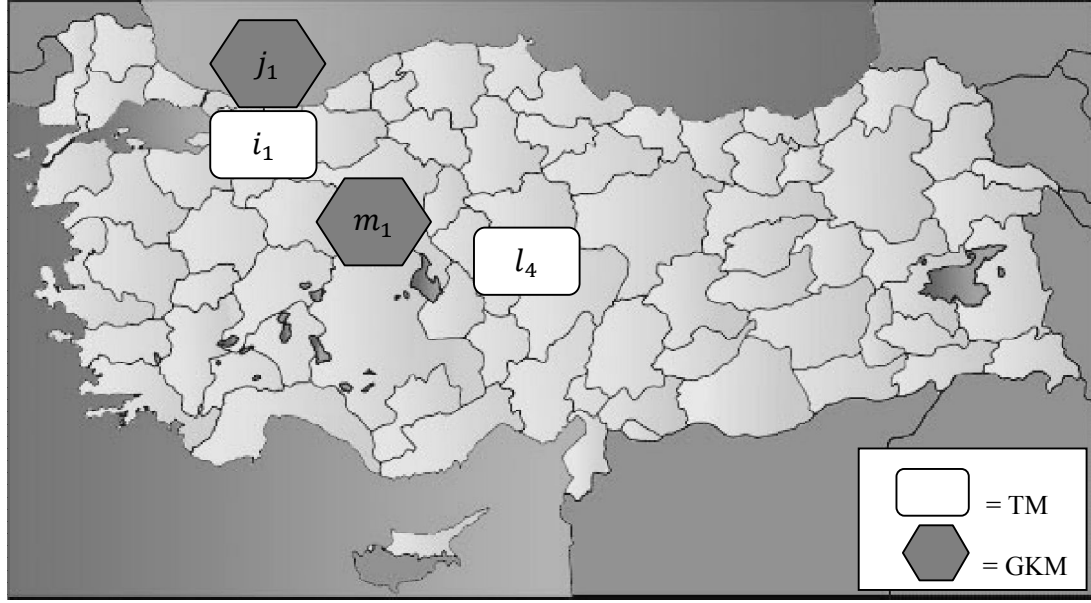
6.2.1.2 Model 1'in sonuçları

Tek amaçlı KTDP modelinin sonucuna göre maliyeti minimize eden amaç fonksiyonunun optimum değeri 55.193.940 TL'dir. Potansiyel toplama noktalarına konteynır ekleme maliyeti de eklenirse toplam maliyet 55.218.190 TL'ye çıkacaktır. Model 1'e göre İzmit'te açık olan ATM (i_1) ve AGKM (j_1) tesisleri kapatılmamalı, ileriki dönemde de faaliyette olmalıdır. Mevcut tesislere ek olarak Kayseri (l_4)'te bir TM, Ankara (m_1)'de de bir GKM açılmalıdır. Bu sonuca göre, yönetmeliğin henüz devreye girmediği güncel şartlarda ürünlerin, TN'lerdeki konteynırlardan doğrudan toplanıp açık olan İzmit (i_1)'teki mevcut ATM'ye ya da Kayseri (l_4)'de yeni açılacak olan TM'ye aktarılması, buralarda geri kazanımı gerçekleştirilecek olan ürünlerin İzmit (j_1)'teki mevcut AGKM'ye ya da Ankara (m_1)'da yeni açılacak olan GKM'ye aktarılması önerilmektedir. En yoğun atama, beklenildiği gibi İzmit (i_1)'teki ATM'den İzmit (j_1)'teki AGKM'ye olmuştur (7215,5 ton).

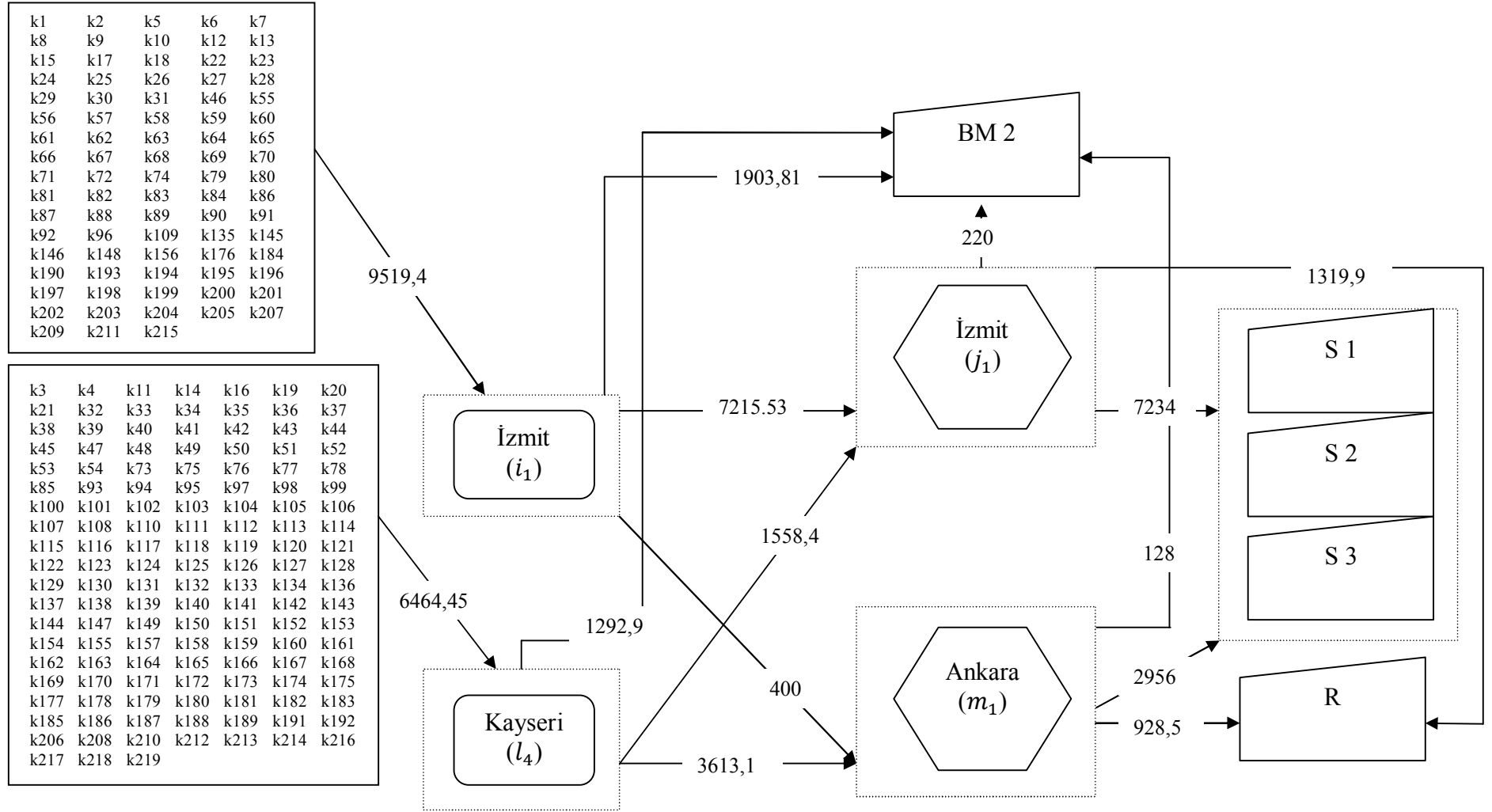
İzmit (i_1)'teki ATM ve Kayseri (l_4)'de yeni açılacak olan TM'lerde geri kazanımı gerçekleştirilemeyen ve bertaraf edilecek ürünlerin BM 2'ye gönderilmesi önerilmektedir. İzmit (j_1)'teki mevcut AGKM'de ya da Ankara (m_1)'da yeni açılacak olan GKM'de işlenen ürünlerden elde edilen hammaddeler HS 3'e gönderilmektedir.

İzmit (j_1)'teki mevcut AGKM'de işlenemeyen ve bertaraf edilecek ürünlerden Grup 2 ve Grup 4'e ait ürünler BM 1'e, diğerleri BM 2'ye gönderilmelidir. Ankara (m_1)'da işlenemeyen ve bertaraf edilecek ürünlerin hepsi ise BM 2'ye gönderilmelidir. İzmit (j_1)'teki mevcut AGKM'de ya da Ankara (m_1)'da işleme lisansı bulunmadığından işlenemeyen tüm ürünler R'ye gönderilmektedir.

Model 1'in çözümüne göre seçilen tesislerin yerleri Şekil 6.5'te, elde edilen atama miktarları Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.5 : Model 1 sonuçları: açılan tesisler.

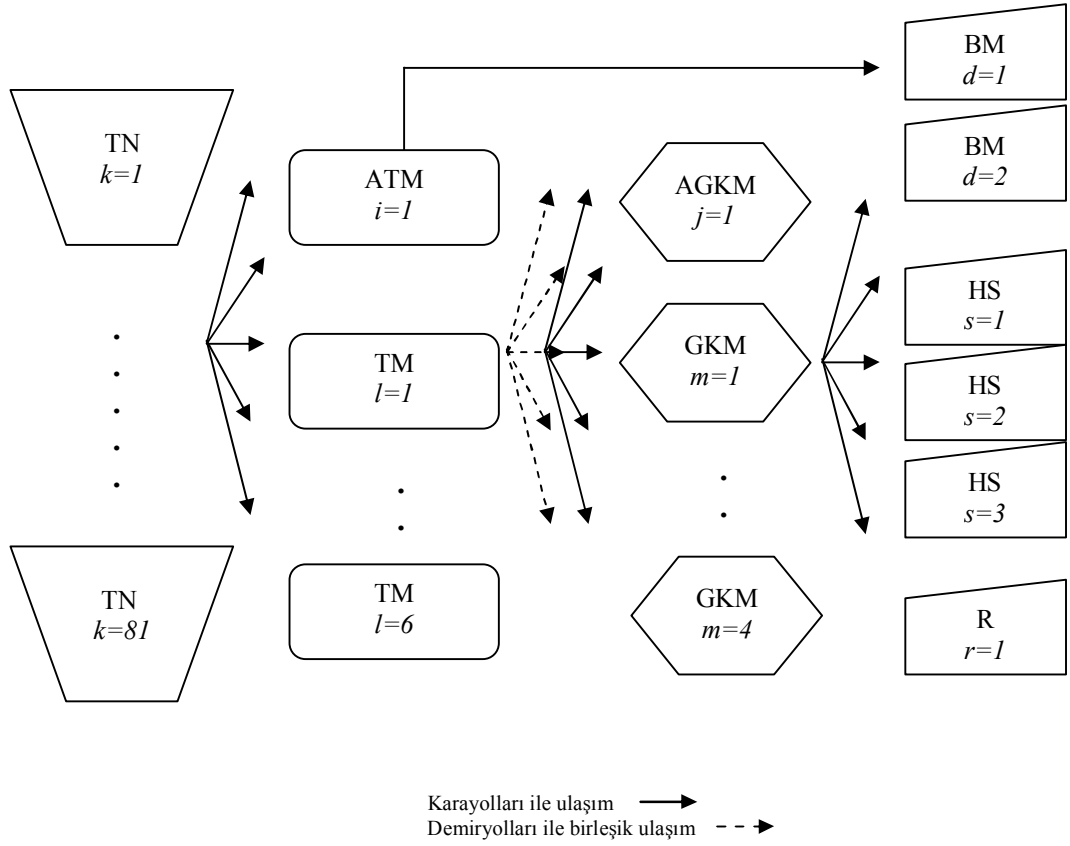


Şekil 6.6 : Model 1'in optimum sonucuna göre elde edilen atama miktarları (ton).

6.3 Model 2: AEEE Yönetmeliği'nin Uygulanacağı Döneme Ait Matematiksel Modelin Çözümü

Model 2'nin uygulanacağı ağ içerisinde; firmanın tüm Türkiye'ye yayılma stratejisi için meydana gelebilecek en geniş katılımlı durum düşünülmüştür. Bu nedenle tüm illerden yıllık kişi başı 4 kg açığa çıkan e-atığın, firmanın %10'luk pazar payına düşen miktarı hesaplanmıştır. Sonuç olarak modelde 81 yerel birimin yer aldığı toplam 81 TN bulunmaktadır. Bu TN'lerde biriken e-atıkların ilk olarak elle ayrıştırma işlemlerinden geçmek üzere toplandıkları yer olan bir adet ATM ve altı adet potansiyel TM modele dâhil edilmiştir. TM'lerden sonra geri kazanımı gerçekleştirilemeyen ürünler iki mevcut BM'ye, geri kazanımı gerçekleştirilebilecek olanlar da bir adet AGKM'ye ve/veya dört adet potansiyel GKM'lere gönderilip değerlendirilebileceklerdir. AGKM ve GKM'lerde işlem gören ürünler çeşitli hammaddelere ayrıştırılarak üç adet mevcut HS'den uygun bulunan/bulunanlara gönderilecek, işlenemeyen ürünler yine iki adet mevcut BM'den uygun olan/olanlarına ve/veya bir adet R'ye gönderileceklerdir.

ATM ve TM'lerden AGKM ve GKM'lere ürünler gönderilirken iki alternatif ulaştırma türü mevcuttur. İlki, Model 1'de yer alan karayolları ulaştırma türü, diğeri ise demiryollarıyla birleşik ulaştırma türüdür. Karayolları ulaştırma türünde sadece karayollarında kamyonlarla taşıma ve yükleme yapıldığı varsayılmıştır. Demiryollarıyla birleşik ulaştırma türü olarak adlandırılan alternatif içerisinde ise tamamiyle demiryolları yani yük trenleri aracılığıyla ürün aktarımı olabileceği gibi, belli yükleme noktaları arasında demiryolu, kalan uzaklıklarda da karayolları kullanılabileceği intermodel taşımacılık yapıldığı varsayılmıştır. Bu nedenle Model 2'de ulaşım türü seçimine ilişkin bir indis de yer almaktadır. Şekil 6.7, Model 2'nin çözüleceği ağda yer alan birim ve sayılarını göstermektedir.



Şekil 6.7 : Model 2 için uygulamanın gerçekleştiği ağıın genel yapısı.

Bu çok amaçlı ve deterministik KTDP modeli GAMS 21.6-CPLEX 9 programı ile çözülmüştür.

6.3.1 Model 2'nin verileri

Model 2'de her ilden AEEE Yönetmeliği'nin zorunlu kıldığı miktar kadar geri dönüş olacağı varsayılmıştır. Seçili TL ağına düşen e-atık oranı, toplam e-atığın %10'udur. Bu nedenle, öncelikle her bir ilin nüfusu, AEEE Yönetmeliği'nin belirlediği hedef olan 4 kg/kişi değeri ile çarpılmış, sonrasında %10'luk pazar payına düşen miktarı hesaplanmıştır. Bu miktar, firmanın, her bir ürün grubunu işleme yüzdesine göre dağıtılmıştır. Hesaplama sonucunda elde edilen değerler (ton), Çizelge 6.5'teki gibidir.

Çizelge 6.5 : AEEE yönetmeliğinin uygulanması durumunda oluşacak geri dönüş miktarları (ton).

	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4
Adana	250,227	417,045	41,7045	125,1135
Adıyaman	70,9122	118,187	11,8187	35,4561
Afyonkarahisar	83,70708	139,5118	13,95118	41,85354
Ağrı	65,04264	108,4044	10,84044	32,52132
Amasya	40,17432	66,9572	6,69572	20,08716
Ankara	572,6059	954,3432	95,43432	286,303
Antalya	237,4	395,6666	39,56666	118,7
Artvin	19,77108	32,9518	3,29518	9,88554
Aydın	118,7834	197,9724	19,79724	59,39172
Balıkesir	138,2788	230,4646	23,04646	69,13938
Bilecik	27,04572	45,0762	4,50762	13,52286
Bingöl	30,6204	51,034	5,1034	15,3102
Bitlis	39,45204	65,7534	6,57534	19,72602
Bolu	32,54496	54,2416	5,42416	16,27248
Burdur	31,06416	51,7736	5,17736	15,53208
Bursa	312,6594	521,099	52,1099	156,3297
Çanakkale	58,84764	98,0794	9,80794	29,42382
Çankırı	21,48804	35,8134	3,58134	10,74402
Çorum	64,2486	107,081	10,7081	32,1243
Denizli	111,8188	186,3646	18,63646	55,90938
Diyarbakır	183,475	305,7916	30,57916	91,73748
Edirne	46,85136	78,0856	7,80856	23,42568
Elazığ	66,31752	110,5292	11,05292	33,15876
Erzincan	26,99388	44,9898	4,49898	13,49694
Erzurum	92,2902	153,817	15,3817	46,1451
Eskişehir	91,75008	152,9168	15,29168	45,87504
Gaziantep	204,0916	340,1526	34,01526	102,0458
Giresun	50,31072	83,8512	8,38512	25,15536
Gümüşhane	15,55416	25,9236	2,59236	7,77708
Hakkâri	30,15624	50,2604	5,02604	15,07812
Hatay	177,6685	296,1142	29,61142	88,83426
Isparta	53,79576	89,6596	8,96596	26,89788
Mersin	197,7479	329,5798	32,95798	98,87394
İstanbul	1590,682	2651,137	265,1137	795,3411
İzmir	473,8618	789,7696	78,97696	236,9309
Kars	36,21192	60,3532	6,03532	18,10596
Kastamonu	43,34664	72,2444	7,22444	21,67332
Kayseri	148,1581	246,9302	24,69302	74,07906
Kırklareli	39,93492	66,5582	6,65582	19,96746
Kırşehir	26,62512	44,3752	4,43752	13,31256
Kocaeli	187,2166	312,0276	31,20276	93,60828
Konya	241,6614	402,769	40,2769	120,8307
Kütahya	70,85952	118,0992	11,80992	35,42976
Malatya	88,87716	148,1286	14,81286	44,43858
Manisa	165,5381	275,8968	27,58968	82,76904
Kahramanmaraş	125,3779	208,9632	20,89632	62,68896
Mardin	89,35272	148,9212	14,89212	44,67636
Muğla	98,10036	163,5006	16,35006	49,05018
Muş	48,82632	81,3772	8,13772	24,41316
Nevşehir	33,88044	56,4674	5,64674	16,94022
Niğde	40,55172	67,5862	6,75862	20,27586
Ordu	86,30196	143,8366	14,38366	43,15098
Rize	38,35644	63,9274	6,39274	19,17822
Sakarya	104,7446	174,5744	17,45744	52,37232
Samsun	150,3232	250,5386	25,05386	75,16158
Siirt	36,0834	60,139	6,0139	18,0417

Çizelge 6.5 (devam): AEEE yönetmeliğinin uygulanması durumunda oluşacak geri dönüş miktarları (ton).

Sinop	24,3288	40,548	4,0548	12,1644
Sivas	77,06688	128,4448	12,84448	38,53344
Tekirdağ	95,77308	159,6218	15,96218	47,88654
Tokat	74,13624	123,5604	12,35604	37,06812
Trabzon	91,64568	152,7428	15,27428	45,82284
Tunceli	9,20388	15,3398	1,53398	4,60194
Şanlıurfa	199,6045	332,6742	33,26742	99,80226
Uşak	40,56228	67,6038	6,76038	20,28114
Van	124,2502	207,0836	20,70836	62,12508
Yozgat	57,13152	95,2192	9,52192	28,56576
Zonguldak	74,36436	123,9406	12,39406	37,18218
Aksaray	45,3006	75,501	7,5501	22,6503
Bayburt	8,92944	14,8824	1,48824	4,46472
Karaman	27,91596	46,5266	4,65266	13,95798
Kırıkkale	33,19764	55,3294	5,53294	16,59882
Batman	61,224	102,04	10,204	30,612
Şırnak	51,61308	86,0218	8,60218	25,80654
Bartın	22,53096	37,5516	3,75516	11,26548
Ardahan	12,65448	21,0908	2,10908	6,32724
Iğdır	22,13016	36,8836	3,68836	11,06508
Yalova	24,44892	40,7482	4,07482	12,22446
Karabük	27,3132	45,522	4,5522	13,6566
Kilis	14,7762	24,627	2,4627	7,3881
Osmaniye	57,50652	95,8442	9,58442	28,75326
Düzce	40,58256	67,6376	6,76376	20,29128

Model 2'ye ait veriler, Ek B'de yer alan GAMS modeli içerisinde gösterilmiştir.

6.3.2 Model 2'nin sonuçları

Çok amaçlı KTDP modelinin, TKY ile çözümü sonuçlarına göre maliyeti ve açığa çıkan karbon dioksit emisyonu miktarını minimize eden ve sosyal faydayı maksimize eden amaç fonksiyonunun optimum maliyet değeri 206.408.300 TL'dir. Her bir ildeki toplama noktalarına açılacak konteynırların meydana getireceği maliyet de eklenirse toplam maliyet 206.691.800 TL'ye çıkacaktır. Bu sonuca göre açığa çıkan minimum karbon dioksit miktarı 270.132.000.000 gramdır. İş gücüne sağlanabilecek maksimum sosyal fayda oranı ise 0,000246'dır.

Model 2'e göre açık olan İzmit (i_1)'teki ATM ve İzmit (j_1)'teki AGKM tesisleri kapatılmamalı, ileriki dönemde de faaliyette olmalıdır. Mevcut ATM'lere ek olarak Tekirdağ (l_1), Antalya (l_3), Kayseri (l_4) ve Diyarbakır (l_5)'a yeni TM'ler açılmalıdır. Mevcut AGKM'ye yani İzmit (j_1)'teki tesise ek olarak Ankara (m_1), İzmir (m_2), Adana (m_3) ve Samsun (m_4)'da tesis açılması önerilmektedir.

Model 2'de, Model 1'den farklı olarak, karayollarının yanı sıra demiryollarıyla birleşik ulaşım türlerinin seçimine yönelik değişkenler yer almaktadır. Bu

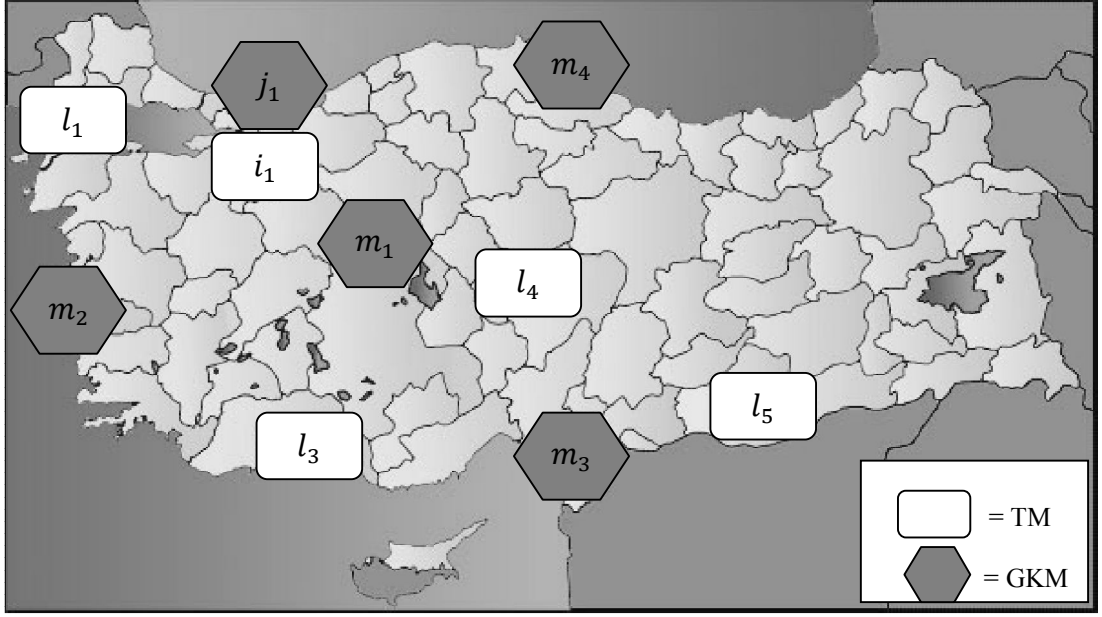
değişkenler, bu örnek uygulama için yalnızca ATM ve TM'lerden, AGKM ve GKM'lere aktarma sırasında mevcuttur. Bu nedenle, bu akışlar dışındaki tüm akışlarda karayollarıyla ulaştırma türü seçildiği ve alternatif ulaşım türü olmadığı varsayımıyla model çözülmüştür.

Model 2'nin sonucuna göre İzmit (i_1)'teki mevcut ATM'den Samsun (m_4)'a Grup 1 ve Grup 3'e ait ürünler gönderilirken demiryollarıyla birleşik ulaşım türü seçilmelidir. Diğer tüm ATM ve TM'lerden AGKM ve GKM'lere ürün gönderilirken karayolları tercih edilmelidir. ATM ve TM'lerde işlenemeyen tüm ürünler BM 2'ye gönderilmektedir.

İzmit (j_1)'teki mevcut AGKM'de işlenerek elde edilen hammaddelerden hammadde 2 ve hammadde 5, S 1'e; diğerleri S 2'ye gönderilmelidir. Bertaraf edilecek ürünlerden Hrup 2 ve Grup 4'e ait ürünler BM 2'ye gönderilmelidir. Ankara (m_1)'da işlenerek elde edilen hammadde 1, hammadde 4 ve hammadde 5, S 1'e; diğerleri S 2'ye gönderilmelidir. İzmir (m_2)'de işlenerek elde edilen tüm hammaddeler S 3'e gönderilmelidir. Adana (m_3)'da elde edilen hammaddelerden hammadde 1, hammadde 2 ve hammadde 3, S1'e; diğerleri S2'ye gönderilmelidir. Samsun (m_4)'da elde edilen hammaddelerden hammadde 1, hammadde 2 ve hammadde 5, S 1'e diğerleri S 2'ye gönderilmelidir.

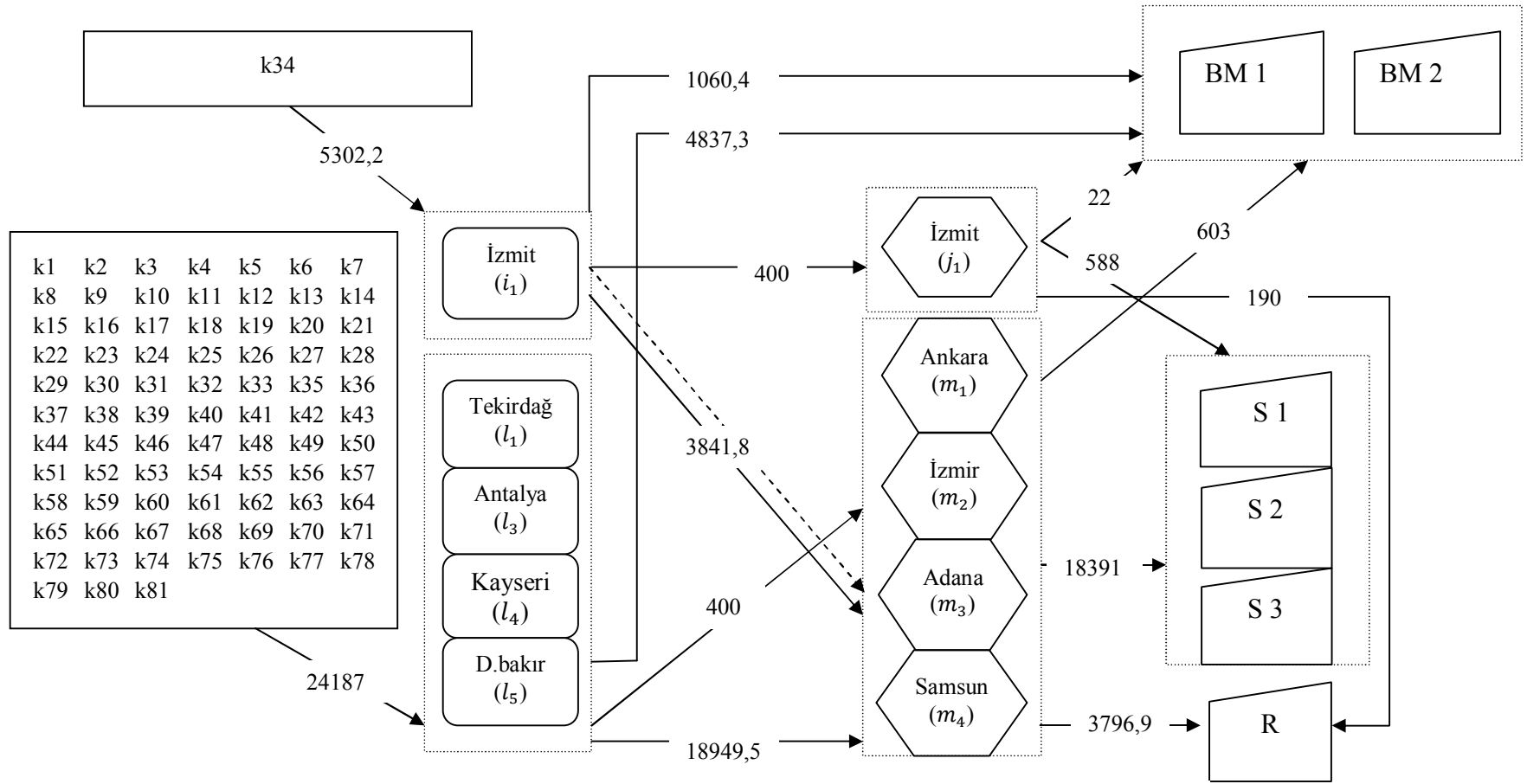
Ankara (m_1)'da işlenemeyen ve bertaraf edilecek Grup 1 ve Grup 3 ürünleri BM 2'ye, diğerleri BM 1'e gönderilmektedir. İşleme lisansı bulunmadığından geri kazanılamayan ürünler R'ye gönderilmektedir. İzmir (m_2)'de işlenemeyen ve bertaraf edilecek Grup 1 ve Grup 2 ürünleri BM 1'e, diğerleri BM 2'ye gönderilmektedir. Adana (m_3)'da işlenemeyen ve bertaraf edilecek Grup 1 ve Grup 3 ürünleri BM 1'e, diğerleri BM 2'ye gönderilmektedir. Samsun (m_4)'da işlenemeyen ve bertaraf edilecek Grup 1 ve Grup 3 ürünleri BM 1'e, diğerleri BM 2'ye gönderilmektedir.

Model 2'nin çözümüne göre seçilen tesislerin yerleri Şekil 6.8'de, elde edilen atama miktarları (ton), genel hatlarıyla Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.8 : Model 2 sonuçları: açılan tesisler.

Model 2'nin optimum sonucuna göre elde edilen atama miktarları (ton), genel hatlarıyla Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9 : Model 2'nin optimum sonucuna göre elde edilen atama miktarları (ton).

Her iki modelin sonuçları, Çizelge 6.6’da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.6 : Model 1 ve Model 2’nin sonuçları.

	Model 1	Model 2
Toplam Maliyet	55.218.190 TL	206.691.800 TL
Toplam Karbon Dioksit Miktarı	---	270.132.000.000 gram
Maksimum Sosyal Fayda (İşgücü)	---	0,000246
Kapatılan Tesisler	---	---
Açık Tutulan Mevcut Toplama Merkezleri (ATM)	İzmit	İzmit
Açık Tutulan Mevcut Geri Kazanım Merkezleri (AGKM)	İzmit	İzmit
Açılan Toplama Merkezleri (TM)	Kayseri	Tekirdağ, Antalya, Kayseri, Diyarbakır
Açılan Geri Kazanım Merkezleri (GKM)	Ankara	Ankara, İzmir, Adana, Samsun
Taşıma Türü (Demiryolu)	---	İzmit’ten Samsun’a
Taşıma Türü (Karayolu)	Tüm Akışlarda	İzmit-Samsun Haricinde Her Akışta

6.4 Çalışmanın Geçerlilik ve Duyarlılık Analizleri

6.4.1 Geçerlilik analizi

Önerilen modellerin geçerliliğinin incelenmesi amacıyla “Uç Değer Analizi” yönteminden faydalanılarak çeşitli hesaplamalar yapılmıştır. Bu amaçla modelin çözümüne doğrudan etkisi olduğu düşünülen parametrelere uç değerler verilerek modellerin beklenen sonuçları verip vermediği gözlemlenmiştir.

6.4.1.1 Geri dönüşün gerçekleşmediği varsayılan durum

İlk analiz için, TN’lerde konteynırların bırakıldığı fakat geri dönüş miktarlarının her iki model için de “0” değeri aldığı düşünülmüştür. Böylece, geri dönüşün hiç olmadığı durum için modellerden beklenen “mevcut tesisleri kapama”, “alternatif tesislerin hiçbirisini açmama” ve “hiç bir tesise atama yapmama” kararlarının verilip verilmediği sınanmıştır.

Bu durumda Model 1’de, beklenildiği gibi açık olan mevcut ATM ve AGKM’ler kapatılmış ve alternatif tesislerin hiçbirisi açılmamıştır. Dolayısıyla birimler arası akış gerçekleşmemiştir. Bu durumda katlanılacak maliyetler, kapama maliyetleri ve TN’lere konteynır bırakma maliyetlerini içeren toplama maliyetleri olacaktır. Bunun sonucu olarak Model 1’de 324.250 TL’lik bir maliyet oluşmaktadır.

Model 2’de geri dönüş miktarları, her noktada “0” olarak belirlendiğinde, beklenildiği gibi açık olan mevcut ATM ve AGKM’ler kapatılmış ve alternatif tesislerin hiçbiri açılmamıştır. Dolayısıyla birimler arası akış gerçekleşmemiştir. Bu durumda katlanılacak maliyetler, kapama maliyetleri ve TN’lere konteynır bırakma maliyetlerini içeren toplama maliyetleri olacaktır. Bunun sonucu olarak Model 1’de 583.500 TL’lik bir maliyet oluşmaktadır.

6.4.1.2 Mevcut tesis kapasitelerinin çok yüksek olduğu varsayılan durum

İkinci analiz için mevcut ATM ve AGKM’lerin kapasitelerinin çok yüksek olduğu, potansiyel TM ve GKM’lerin kapasitelerinin ise “0” olarak düşünüldüğü durum için, minimum ürün toplama kısıtı da ortadan kaldırılarak modeller yeniden çözülmüştür. Böylece, modellerden beklenen “mevcut tesisleri kapamama”, “alternatif tesislerin hiçbirisini açmama” ve “sadece mevcut tesislere atama yapma” kararlarının verilip verilmediği sınanmıştır.

Bu durumda Model 1’de beklenildiği gibi hiçbir tesis açılmamış, TN’lerden toplanan tüm ürünler ATM’lere oradan da AGKM’lere gönderilmiştir. Bunun sonucu olarak Model 1’de 84.834.434.429 TL’lik bir maliyet oluşmaktadır. Toplam maliyetin çok yüksek olmasının nedeni, çok büyük olduğu varsayılan kapasitenin değerlendirilemeyen bölümü nedeniyle yaratılan fırsat maliyeti sonucu oluşmaktadır.

Model 2’de de beklenildiği gibi TN’lerden toplanan tüm ürünler ATM’lere oradan da AGKM’lere gönderilmiştir. Bunun sonucu olarak Model 1’de 84.835.136.688 TL’lik bir maliyet oluşmaktadır. Toplam maliyetin çok yüksek olmasının nedeni, çok büyük olduğu varsayılan kapasitenin değerlendirilemeyen bölümü nedeniyle yaratılan fırsat maliyeti sonucu oluşmaktadır.

6.4.2 Duyarlılık analizi

Bu bölümde, mevcut optimal çözümün, seçili bir değişken ya da parametrenin değişmesi durumunda nasıl etkilendiğini görmek amacıyla duyarlılık analizleri yapılmıştır.

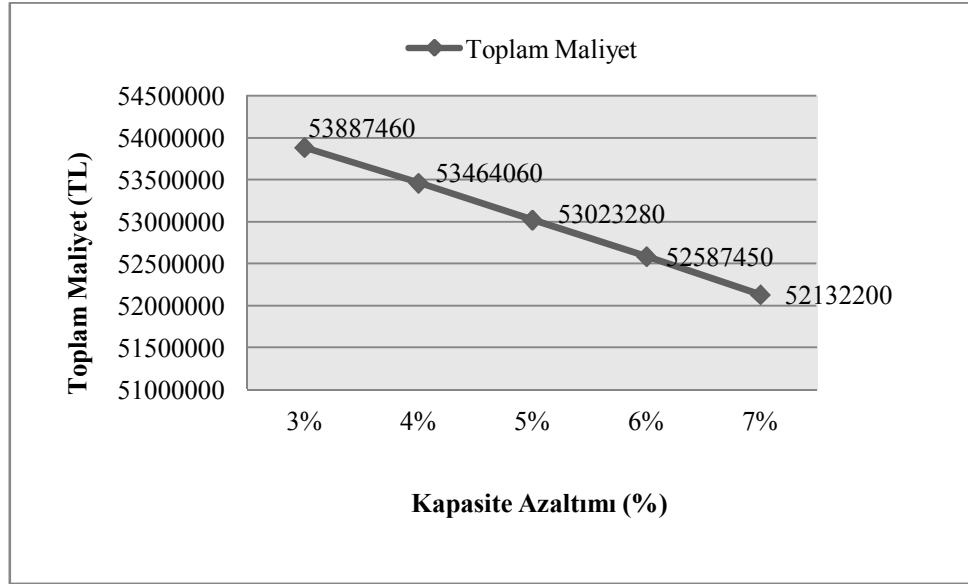
6.4.2.1 Kapasite değişikliğinin mevcut optimal çözüme etkileri

Uygulama bölümünde de belirtildiği gibi uygulama sürecinde, Exitcom Geri Dönüşüm firmasının, TÜİK’in ve REC’in belirlediği değerler kullanılmıştır. Bu

bölümde her iki model için mevcut ve ileride açılması planlanan tesislerle ilgili olarak belirtilen tahmini kapasite değerleri üzerine duyarlılık analizi geliştirilmiştir.

6.4.2.1.1 Model 1

Bu bölümde ilk olarak Model 1 için, mevcut ve ileride açılması planlanan tesislerle ilgili olarak belirtilen tahmini kapasite değerlerinin optimal çözüme etkisi üzerine duyarlılık analizi geliştirilmiştir. Bu amaçla, optimal çözümün açılmasını önerdiği tesislerin açılması durumunda, ATM/TM ve AGKM/GKM'lerin kapasite değerlerinde ne kadarlık bir değişim olması halinde geri dönüş miktarının karşılanabildiği ortaya çıkarılmıştır. ATM/TM ve AGKM/GKM'lerin kapasite değerleri azaltılmış ve kapasite azaltımının %7'den fazla olması durumunda olurlu çözüm elde edilemediği görülmüştür. Kapasite azaltımının, olurlu sonuç verdiği aralıkta toplam maliyet minimizasyonu üzerinde yarattığı değişim Şekil 6.10'da verilmiştir. Görüldüğü gibi firma, ATM/TM ve AGKM/GKM'lerdeki kapasitesini %7'ye kadar düşürse dahi geri dönüş miktarlarını karşılayabilmektedir. Bu durumda toplam maliyet % 6 oranında azalmaktadır. Bundan sonraki kapasite azaltımlarında, ancak yeni tesis açılması durumunda geri dönüş miktarları karşılanabilecektir.

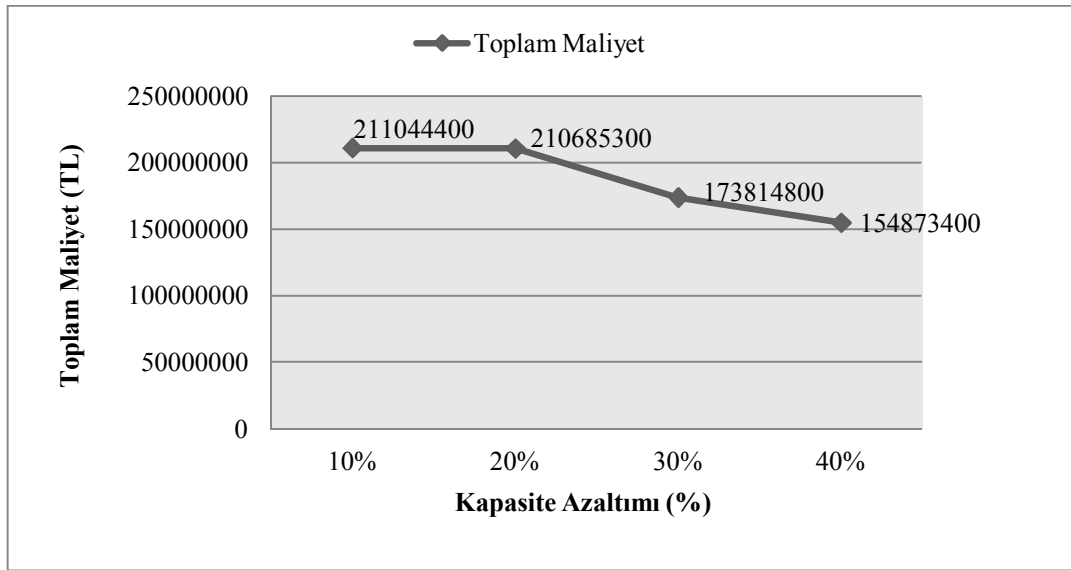


Şekil 6.10 : Kapasite azaltımının Model 1 için toplam maliyete etkisi.

6.4.2.1.2 Model 2

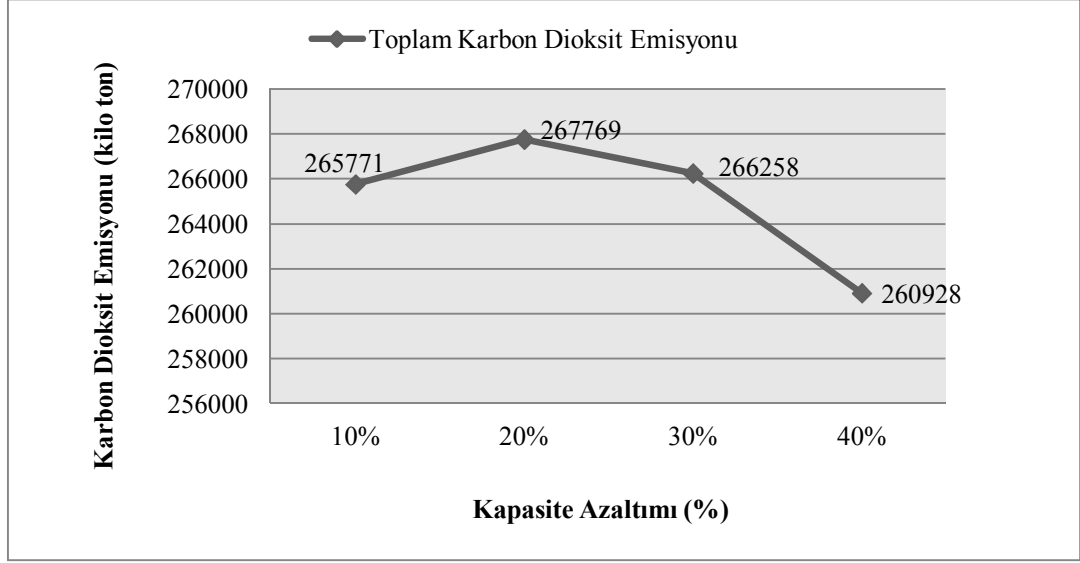
Bu bölümde Model 2 için, Exitcom Geri Dönüşüm firmasının mevcut ve ileride açılması planlanan tesislerle ilgili olarak belirttiği tahmini kapasite değerlerinin optimal çözüme etkisi üzerine duyarlılık analizi geliştirilmiştir. Bu amaçla, optimal

çözümün açılmasını önerdiği tesislerin açılması durumunda, ATM/TM ve AGKM/GKM'lerin kapasite değerlerinde ne kadarlık bir değişim olması halinde geri dönüş miktarının karşılanabildiği ortaya çıkarılmıştır. ATM/TM ve AGKM/GKM'lerin kapasite değerleri azaltılmış ve kapasite azaltımının %40'ın üzerine çıkması halinde olurlu çözüm elde edilemediği görülmüştür. Kapasite azaltımının, 1. amaç fonksiyonu olan toplam maliyet minimizasyonu üzerinde yarattığı değişim Şekil 6.11'de verilmiştir. Görüldüğü gibi firma, ATM/TM ve AGKM/GKM'lerdeki kapasitesini %40'a kadar düşürse dahi geri dönüş miktarlarını karşılayabilmektedir. Bu durumda toplam maliyet % 25 oranında azalmaktadır.



Şekil 6.11 : Kapasite azaltımının Model 2 için toplam maliyete etkisi.

Kapasite azaltımının, 2. amaç fonksiyonu olan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı üzerinde yarattığı değişimin miktarı Şekil 6.12'de verilmiştir. Görüldüğü gibi firma, ATM/TM ve AGKM/GKM'lerdeki kapasitesini %40'a kadar düşürdüğünde maliyet avantajının yanı sıra, çevreye verdiği zarar yani karbon dioksit emisyonu miktarı da düşecektir (%3,5 oranında).



Şekil 6.12 : Kapasite azaltımının Model 2 için toplam karbon dioksit emisyonu miktarına etkisi.

Optimal çözümün önerdiği tesislerin kapasitenin değişmesi durumunda daha az sayıda kalifiye olan ve olmayan çalışan çalışacaktır. Yaratılacak sosyal faydanın, kapasite azaltımı oranıyla doğru orantılı olarak azalacağı beklenmektedir. Bu durumda kapasite azaltımının, 3. amaç fonksiyonu olan toplam sosyal fayda üzerinde yarattığı değişimin miktarı da kapasite değişimi yüzdesi kadar olacaktır.

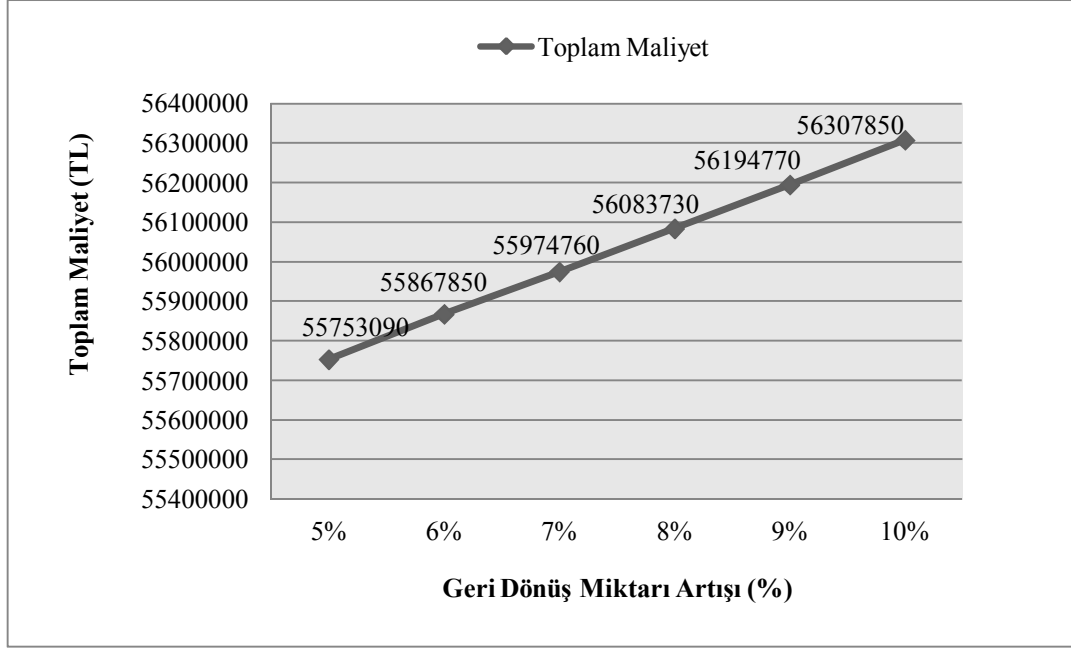
6.4.2.2 Geri dönüş miktarı değişikliğinin mevcut optimal çözüme etkileri

Uygulama bölümünde de belirtildiği gibi uygulama sürecinde geri dönüş miktarları hesaplanırken, Model 1 için YSA yönteminden, Model 2 için de AEEE Yönetmeliği hedef değerlerinden faydalanılmıştır. Geri dönüş miktarında zaman içerisinde meydana gelecek artışlar için, mevcut optimal çözümün açılmasını önerdiği tesislerin yeterliliğinin sınırlarını belirlemeye yönelik duyarlılık analizi geliştirilmiştir.

6.4.2.2.1 Model 1

Bu bölümde ilk olarak Model 1 için, geçmiş ortalama değerler ve YSA yöntemi ile belirlenen geri dönüş miktarlarının optimal çözüm üzerine etkisini ölçmek amacıyla duyarlılık analizi geliştirilmiştir. Bu amaçla, optimal çözümün açılmasını önerdiği tesislerin açılması durumunda, geri dönüş miktarlarında ne kadarlık bir değişim olması halinde seçili tesislerin yeterli olacağı ortaya çıkarılmıştır. Her bir TN'deki geri dönüş miktarları arttırılmış ve artış miktarının %10'u geçmesi halinde olurlu çözüm elde edilemediği görülmüştür. Geri dönüş miktarındaki artışın, olurlu sonuç

verdiği aralıkta toplam maliyet minimizasyonu üzerinde yarattığı değişim Şekil 6.13'te verilmiştir. Görüldüğü gibi firma, geri dönüş miktarları %10'a çıksa dahi bu miktarı karşılayabilmektedir. Bu durumda toplam maliyet % 2 oranında artmaktadır. %10'dan daha yüksek geri dönüş miktarları arttırımında yeni tesis açılmasına gerek duyulacaktır.

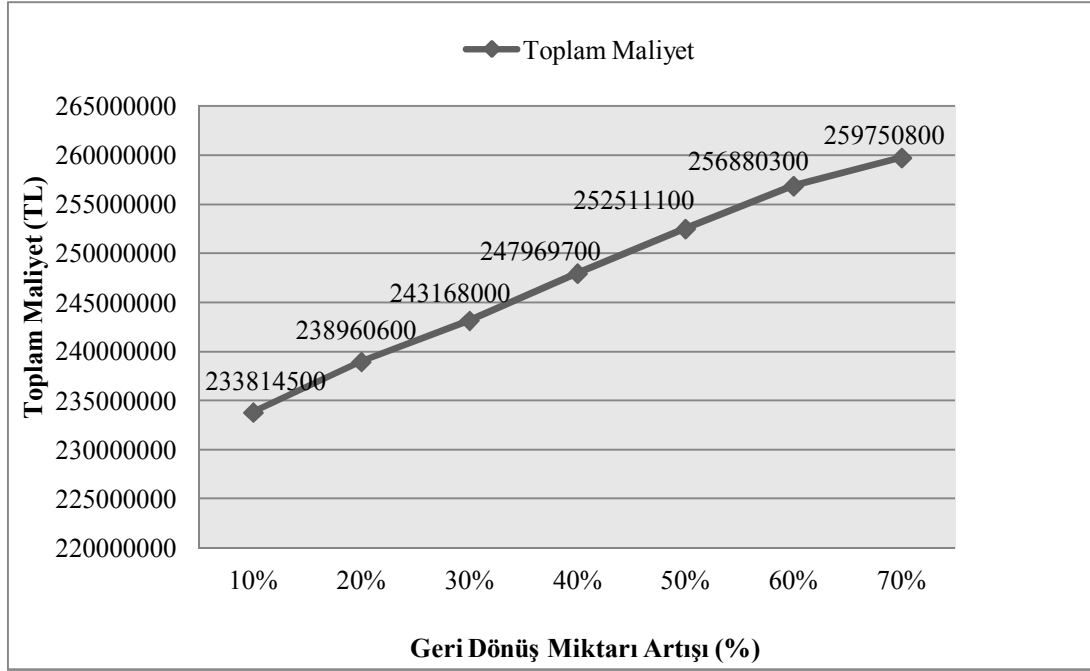


Şekil 6.13 : Geri dönüş miktarı artışının Model 1 için toplam maliyete etkisi.

6.4.2.2.2 Model 2

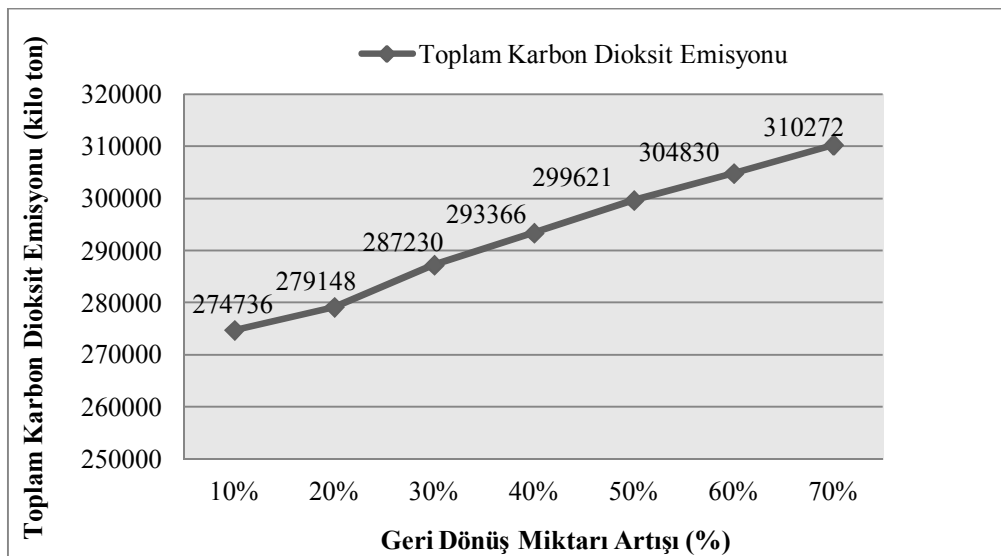
Bu bölümde Model 2 için, AEEE Yönetmeliği hedef değerleri ile belirlenen geri dönüş miktarlarının optimal çözüm üzerine etkisini ölçmek amacıyla duyarlılık analizi geliştirilmiştir. Bu amaçla, optimal çözümün açılmasını önerdiği tesislerin açılması durumunda, geri dönüş miktarlarında ne kadarlık bir değişim olması halinde seçili tesislerin yeterli olacağı ortaya çıkarılmıştır. Geri dönüş miktarları arttırılmış ve her bir TN'deki geri dönüş miktarının %70'den fazla olması durumunda olurlu çözüm elde edilemediği görülmüştür. Geri dönüş miktarındaki artışın, 1. amaç fonksiyonu olan toplam maliyet minimizasyonu üzerinde yarattığı değişim Şekil 6.14'te verilmiştir. Görüldüğü gibi firma, geri dönüş oranı %70'e çıksa dahi seçili tesislerle bu miktarı karşılayabilmektedir. Bu durumda toplam maliyet %25,6

oranında artmaktadır. %70'ten daha yüksek geri dönüş miktarlarında ancak yeni tesis açılması durumunda geri dönüş miktarları karşılanabilecektir.



Şekil 6.14 : Geri dönüş miktarı artışının Model 2 için toplam maliyete etkisi.

Geri dönüş miktarı artışının, 2. amaç fonksiyonu olan toplam karbon dioksit emisyonu miktarı üzerinde yarattığı değişimin miktarı Şekil 6.15'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre, geri dönüşüm miktarı %70'e çıktığında çevreye verilen zarar yani karbon dioksit emisyonu miktarı, optimum çözüme göre %4 oranında artacaktır.



Şekil 6.15 : Geri dönüş miktarı artışının Model 2 için toplam karbon dioksit emisyonu miktarına etkisi.

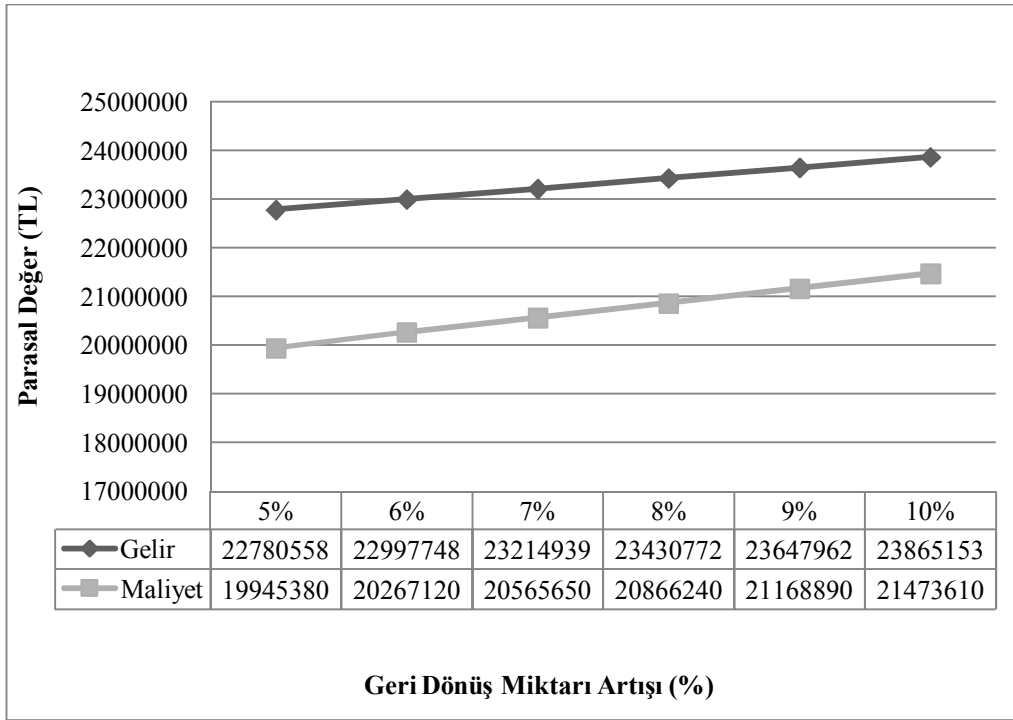
Bu aşamadaki duyarlılık analizinde optimal çözümün açılmasını önerdiği tesislerin sabit olması durumu ele alındığı için, geri dönüş miktarı artışının yaratılan işgücü üzerine bir etkisi olmayacaktır. Bu durumda geri dönüş miktarı artışının, 3. Amaç fonksiyonu olan toplam sosyal fayda üzerinde yarattığı bir değişim olmayacaktır.

7. TARTIŞMA

Firmaların stratejik hedeflerine göre, Model 1 ve Model 2’den hangisinin dikkate alınması gerektiği kararı değişiklik gösterecektir. Özellikle AEEE Yönetmeliği’nin doğrudan etkileyeceği aktörler olan OPÜ’ler, TL hizmeti sağlayıcı firmalar, geri dönüşüm firmaları ve yerel birimlerin, planlama yaparken Model 2’yi, yani sürdürülebilirlik anlayışına yönelik geliştirilen modeli tercih etmelerinde fayda vardır. Her ne kadar Model 2’de ilk yatırım maliyetinin ve geri dönüş miktarının fazlalığı nedeniyle toplam maliyet daha yüksek olsa da, firmalar yönetmelik sonrası beklenen e-atık hedeflerini aşmaları sonucunda daha büyük kârlar elde edecek ve pazar paylarını genişleteceklerdir.

Kapasite azaltımının etkisini gösteren duyarlılık analizi sonuçlarına göre firmanın yeni tesisler için planladığı kapasiteler, beklenen geri dönüş oranlarına göre fazladır. Tesis yeri seçimi gibi önemli ve riskli stratejik yatırımların, doğurabileceği olumsuz finansal sonuçlardan kaçınmak için kapasite kararlarının gözden geçirilmesinde fayda vardır.

Geri dönüş miktarı artışının etkisini gösteren duyarlılık analizi sonuçlarına göre Model 1’in sonuçları için kâra geçiş noktaları belirlenmiştir. Hammaddelerden elde edilen gelir değerleri üzerine uygulanan beklenen değer analizi sonuçlarına göre, her bir hammaddeden ortalama 2.121 TL/ton gelir elde edilecektir. Geri dönüş miktarının ortalama yaklaşık %64’ü hammadde olarak açığa çıkmaktadır. Bu bilgiler ışığında hesaplanan ortalama gelirin marjinal maliyetlerle ilişkisine bakıldığında geri dönüş miktarı arttıkça elde edilen kâr değerinin görece azaldığı görülmektedir (Bkz. Şekil 7.1).



Şekil 7.1 : Model 1 için elde edilen gelir ve maliyet ilişkisi.

Model 2 için, firmanın belli bir dönem içerisinde kâra geçişi mümkün olmamaktadır. Srivastava (2008b)'nin de ortaya çıkarıldığı gibi e-atık sisteminin yeni kurulmaya başlandığı gelişmekte olan ülkelerde geri kazanım faaliyetlerinin ekonomik anlamda çok büyük gelirler sağlaması mümkün olmamaktadır. Çünkü geri dönüş miktarı, ekonomik kazanç sağlayacak çoğunlukta değildir. Model 2 için geri dönüş miktarının %70'e kadar artması durumunda seçili tesislerin kapasite bakımından yeterli olabileceği ortaya çıkarılmıştı. Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 2018 yılına kadar belirlediği geri dönüş oranı hedefleri dikkate alınarak gerçekleştirilen trend analizi sonuçlarına göre (Bkz Çizelge 7.1) firma, diğer tüm koşulların sabit olması durumunda 2024 yılında kişi başı yıllık 7,09 kg e-atık toplama hedefine yani 4 kg hedefinin %70 fazlasına ulaşılacaktır. Bu durumda firmanın, Model 2'yi dikkate alarak açacağı tesislerin kapasitesinin 2024 yılından sonra yetersiz kalmaya başlayacağı öngörülmektedir.

Çizelge 7.1 : Trend analizi sonucu elde edilen tahmini geri dönüş miktarları.

Yıllar	Geri Dönüş Miktarı (Tahmini Kişi Başı Kg- Yıllık)
2012	0,5
2013	1
2014	1,5
2015	1,75
2016	2
2017	3
2018	4
2019	4,24
2020	4,81
2021	5,38
2022	5,95
2023	6,52
2024	7,09
2025	7,66

8. ARAŞTIRMANIN KISITLARI

Bu çalışmada yer alan uygulama, gerçek veriler üzerinden gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Ancak e-atık sektöründe henüz AEEE yönetmeliği devreye girmediği için, lisanslı ve kontrol edilen firma sayısı çok azdır. Bu nedenle de, kontrollü ve sistematik bilgiye erişmek zor olmaktadır. Aktörlerin TL'ye ilişkin bilgi ve verileri genellikle güncel olmayan ve eksik verilerdir. Ayrıca TÜİK'te ve veri sistemlerine erişilen diğer kurumlarda faktörler için hazırlanan veriler güncellenmiş değildir, son dönemlere ait veri sayısı ise azdır. Bu gibi durumlar, gerçek verilere ulaşmada bir kısıt oluşturmuş ve elde edilemeyeceği fark edilen verilerin belirleyici faktör olarak seçilmemesini gerekli kılmıştır. Bu noktada özellikle YSA ile geri dönüş miktarı tahmin edilirken, ilgili literatür ve uzman görüşmeleri neticesinde belirlenen faktörlerin hepsini dikkate almak mümkün olmamıştır.

TLAT yazın taraması çalışmasında, sadece İngilizce yazılan ve uluslararası indeksli yayınlarda yayımlanan makaleler dikkate alınmıştır. Çalışmada tezler, kitaplar ve akademik olmayan makaleler kapsam dışı tutulmuştur.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yıllarda doğal kaynakların tükenmesi ve çevreye verilen zarar nedeniyle tüm alanlarda sürdürülebilirlik kavramına verilen önem artmaya başlamıştır. Sürdürülebilir yaşam koşullarının sağlanması için başlıca gerekliliklerden biri de artık kullanılacak durumda olmayan ve/veya yaşam ömrünün sonuna gelen ürün/bileşenlerin yeniden değerlendirilip geri kazanması faaliyetlerinin arttırılmasıdır. Sadece geri kazanımın sağlanması değil, uygulanıp kontrol edilmesi sürecini de içeren tersine lojistik yaklaşımı, iş yapma biçimlerini “yeşil”leştirmek ve bir anlamda daha sürdürülebilir kılmak isteyen firmalar için vazgeçilmez olmuştur.

Bu çalışma ile TL'nin önemi vurgulanmış, TL alanında önemli kararlardan biri olan geri dönüş miktarı tahmini ile tesis yeri seçimi ve atama kararları ele alınmıştır. Bu amaçla öncelikle TLAT yazınına yönelik detaylı ve geniş çaplı bir yazın taraması gerçekleştirilmiş ve 138 akademik çalışma analiz edilmiştir. Bu analizin sonucunda, ekonomik amaçların yanı sıra çevresel ve sosyal amaçların da modele dâhil edilmesi ve ürün geri dönüş miktarı/kalitesi/zamanı gibi temel TL belirsizlikleri üzerine stokastik modeller ya da farklı karar verme metodlarının uygulanması ihtiyacına yönelik olarak fazla çalışma yapılmadığı görülmüştür. Analiz sonuçlarından hareketle mevcut koşullara ve sürdürülebilirlik anlayışının hâkim olduğu koşullara uygun iki farklı model geliştirilmiştir. Her iki modelin ürün geri dönüş miktarı belirsizliğine yönelik olarak iki farklı yaklaşım getirilmiştir. Birinci modelde, geleneksel istatistiksel yöntemlerden çok daha başarılı sonuçlar veren ve daha önce ilgili alanda denenmemiş olan YSA modelinden faydalanılmıştır. İkinci modelde ise AEEE Yönetmeliği'nde belirtilen geri dönüş miktarı hedefleri dikkate alınmıştır.

İlk modelde sadece ekonomik hedeflerin öne çıktığı günümüz koşulları temel bir model üzerinden ele alınırken, ikinci modelde sürdürülebilirlik anlayışının temelini oluşturan ekonomik, çevresel ve sosyal fayda kriterleri bir arada ele alınmıştır. Bu anlamda bu çalışma, ekonomik ve çevresel amaç fonksiyonlarını içeren bir model önerisinde bulunan Chaabane ve diğ. (2011)'nin de belirttiği gibi, sayısallaştırabilirliği zor olan ve gelecekte TLAT çalışmalarında mutlaka ele

alınması gerektiği vurgulanan sosyal fayda amacını içermesiyle TLAT literatürüne katkıda bulunmaktadır. Çalışmada sosyal fayda olarak seçili bölgeye yapılacak iş gücü miktarı katkısı dikkate alınmıştır.

Dünyada WEEE'ye yönelik direktiflerin hayata geçirilmesiyle, e-atık sektöründe meydana gelen değişiklikleri analiz eden çalışmalar da artmaya başlamıştır. Walther ve Spengler (2005) Almanya'daki; Hischer ve diğ. (2005) İsviçre'deki, Hicks ve diğ. (2005) Çin'deki etkileri analiz eden çalışmalar yapmıştır. Bu çalışma ile ilk defa, Türkiye'de yakın dönemde uygulanmaya başlayacak olan AEEE Yönetmeliği'nin belirleyeceği beklenen koşullar altında ulaşılabilecek olurlu çözümler ile günümüz koşullarında elde edilecek olan sonuçlar karşılaştırılmıştır. E-atık sektöründeki firmaların büyük yatırımlarda bulunacakları stratejik hedeflerini planlarken gelecek dönemdeki mikro ve makro değişimleri dikkate almaları gerekmektedir. Gelecek dönem koşulları dikkate alındığında, günümüz koşullarına kıyasla ne gibi farklılıklar oluşacağını görmek, firmaların etkin kararlar vermesini sağlayacaktır. Bu nedenle bu çalışmada iki adet farklı ve ilgili sektör içerisindeki aktörlerce genelleştirilebilir model geliştirilmiştir. Yöneticilerin ve uzmanların karar verme süreçlerine yardımcı olması amacıyla geliştirilen bu modeller yönetsel katkı sağlamak amaçlanmıştır. Modeller, farklı aktörlerin dâhil oldukları farklı TL ağlarında da uygulanabilir niteliktedir.

Önerilen modeller, Türkiye'de e-atık sektöründe faaliyet gösteren ve geri dönüşüm hizmeti sağlayan bir firmanın belirlediği veriler üzerine uygulanmıştır. Seçili ağ içerisinde dört farklı ürün ele alınmıştır. Bu ürünlerin geri kazanımı sonucunda beş farklı hammadde oluşmaktadır. Çalışma kapsamında optimum TM ve GKM tesisinin seçimi için oluşturulan modellerin GAMS 21.6-CPLEX 9 programı yardımıyla çözülmesi sonucunda Model 1 için mevcut tesislerin yanı sıra Kayseri'de bir TM, Ankara'da bir GKM açılması önerilmiştir. Model 2 yani dikkate alınması önerilen ve sürdürülebilirlik yaklaşımına yönelik olarak geliştirilen modelde ise mevcut tesislere ek olarak Tekirdağ, Antalya, Kayseri ve Diyarbakır'da yeni TM'ler; Ankara, İzmir, Adana ve Samsun'da yeni GKM'ler açılması önerilmektedir. Sonuç olarak bu çalışma, çağımızın en önemli konularından biri olan e-atık yönetimi konusu ile ilgili olarak sürdürülebilirlik yaklaşımı odaklı optimum tesis yeri açma ve atama kararlarının belirlendiği bir optimizasyon çalışmasıdır. Çalışmada önerilen

modellerin ana hatları, e-atığın oluştuğu tüm bölgeler ve ilgili birimlerin yer aldığı TL ağlarına uyarlanmasını ve uygulanmasını mümkün kılan özelliğdir.

9.1 Tersine Lojistikte Yer Alan Aktörler İçin Öneriler

Sürdürülebilir bir ekonomi için, taşıma ve geri dönüşüm faaliyetlerini içeren TL hizmetlerinin önemi büyüktür. Her ne kadar gelişmekte olan ölkelerde e-atık yönetim sistemlerinin yeni kurulduğu dönemlerde, kazanç elde etmek zaman alacak olsa da aktörlerin, ekonomik durumlarının yanı sıra çevreye verilen zararı ve topluma sağlanan faydayı dikkate alan sürdürülebilirlik yaklaşımına yönelik bir TLAT geliştirmeyi elden bırakmamaları gerekmektedir. TL içerisinde yer alan aktörlere yakın dönemde uygulanmaya başlanması öngörölen AEEE Yönetmeliği üzerine geniş çaplı araştırmalar yapmaları ve şirket içi ve dışı bilinçlendirme çalışmaları gerçekleştirmeleri önerilmektedir. İçinde bulunulan dönem için gerçekleştirilecek stratejik, taktiksel ve operasyonel kararlar alınırken yönetmeliğin etkileri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Artan sorumluluklar neticesinde daha kontrollü ve sistematik veri akışına ihtiyaç duyulacaktır. Bu nedenle kurumsal kaynak planlama araçlarına tersine lojistik modöllerinin entegre edilmesi gibi bilgi sistem iyileştirmeleriyle tüm aktörlerle güncel bilgi paylaşımı yoluna gidilmelidir. Farklı aktörlerin bir arada hizmet verdikleri ve danışmanlık yaptıkları TL konseyleri kurulmalıdır. Bu sayede seçili bir bölgedeki atık akışının takibi ve sosyal sorumluluk anlamında en etkin şekilde planlanması gerçekleştirilebilecektir.

Tesis yeri seçimi ve atama kararları gibi büyük bütçeli kararlarda tesisler için belirlenen kapasite miktarlarının önemi büyüktür. Yatırım kararları alınmadan önce, matematiksel metotlardan, karar verme tekniklerinden yararlanılarak sezgisel ya da tahmini olarak belirlenen kapasite miktarları gözden geçirilmeli, böylece yatırım sonrası atıl kapasite oluşumu ve yaratacağı fırsat maliyeti gibi problemlerle karşılaşmak önlenmelidir.

Yönetmeliğin uygulanması ve e-atık konusundaki toplum bilincinin de artmasıyla ivme kazanması beklenen e-atık geri dönüş miktarları yükseleceğinden, tesis ihtiyaçları sürekli gözden geçirilmelidir. Bu anlamda, matematiksel metotlardan, karar verme tekniklerinden faydalanılarak, geri dönüş miktarlarındaki değişimin hangi noktalarda tesis ihtiyacını açığa çıkaracağı belirlenmeli ve tesislerde yoğunlaşma olmadan önlemler alınmalıdır.

AEEE Yönetmeliği'nin uygulanmaya başlamasından sonra kâra geçilecek ürün geri dönüşüm miktarına hızlı erişebilmek amacıyla pazar payını ve geri dönüşüm sonrası elde edilen ürünlerin satış fiyatını arttırma çalışmalarına hız verilmelidir. Özellikle yönetmelik sonrasında büyük sorumluluklar alacak olan OPÜ'ler geri dönüşüm firmalarıyla anlaşmaya vardıklarında ya da geri dönüşüm firmalarını kendi bünyelerine dâhil ettiklerinde nasıl bir satış fiyatı politikası izlemeleri gerektiğini dair araştırmalar yapmalıdırlar. OPÜ'lerin geri dönüşüm firmalarıyla anlaşmaları halinde geri dönüşüm firmalarının üstlendiği bilgilendirme maliyetlerinde büyük azalmalar meydana gelecektir. Yönetmeliğe göre OPÜ'ler yönetmeliğe uygun araştırma geliştirme çalışmaları yapacak, sistematik olarak bilgi ve belge muhafaza edecek, belediyeler ve dağıtıcılar tarafından toplanan evsel AEEE'lerin; getirme merkezlerinden veya dağıtıcılardan başlamak üzere nakliye maliyetlerini karşılayacak, uygun tesislerde işleme yapacak, imkanın bulunmaması halinde bertaraf sistemi oluşturacak ve maliyetlerini üstlenecek, bilinçlendirme ve eğitim kampanyaları düzenleyecektir. Dağıtıcı firmalar ise, AEEE'leri toplamak için toplama konteynırı bulunduracak, toplanan ürünleri çevre lisanslı işletme tesislerine göndereceklerdir. Bu yükümlülüklerin yarattığı maliyetler, yönetmelik öncesi duruma göre farklılık göstereceğinden aktörler hangi maliyet yükünden nasıl etkileneceklerini analiz etmelidirler.

9.2 Araştırmacılar İçin Öneriler

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen yazın taraması değerlendirme sonuçlarına uygun olarak, gelecekte sosyal fayda amacının farklı boyutlarının da ele alınması başlıca önerilerdendir. Örneğin yönetimin kalitesi, sağlık ve güvenlik, maaşlar ve çalışan hayatına doğrudan etki eden faydalar, fırsat eşitliği, eğitim, çocuk işçi çalışma/çalışmama durumu, kadın işçi çalışma/çalışmama durumu, sendikalaşma özgürlüğü, insan hakları, çalışan devamlılığı, gürültü gibi diğer sosyal göstergelerin ele alındığı çalışmalar yürütülmelidir. Çağımızda sağlık sektörüne verilen önemin giderek artıyor olması gerçeğine paralel olarak, özellikle çalışan ve toplum sağlığını ele alan çalışmalar yapılması gerekmektedir. Ayrıca, firmaların, maliyet minimizasyonu, karbon dioksit emisyonu minimizasyonu ve sosyal fayda maksimizasyonu amaçlarındaki öncelikleri yer aldıkları sektöre, stratejik hedeflerine

göre değişecektir. İleriki çalışmalarda, farklı ağırlıklar atanmış amaçların yer aldığı modeller uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- Abdallah, T., Farhat, A., Diabat, A. ve Kenndey, S.** (2011). Green supply chains with carbon trading and environmental sourcing: Formulation and life cycle assessment, *Appl. Math. Modell.* doi:10.1016/j.apm.2011.11.056.
- Achillas, C., Vlachokostas, C, Aidonis, D, Moussiopoulos, N, Iakovou, E. ve Banias, G.** (2010). Optimising reverse logistics network to support policy-making in the case of electrical and electronic equipment. *Waste Management.* **30**, 2592–2600.
- Ahluwalia, P. K. ve Nema, A. K.** (2006). Multi-objective reverse logistics model for integrated computer waste management. *Waste Management & Research.* **24**, 514-527.
- Ahmed, A. ve McQuaid, R. W.** (2005). Entrepreneurship, management, and sustainable development. *World Review of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development.* **1(1)**, 6–30.
- Akçalı, E., Çetinkaya, S. ve Üster, H.** (2009). Network design for reverse and closed-loop supply chains: an annotated bibliography of models and solution approaches. *Journal Networks.* **53(3)**, Wiley Interscience, New York, ABD.
- Akçıl, A., Yazıcı, E. ve Deveci, H.** (2009). E-atıklar: Geleceğin madenleri/e-wastes: mines of future. recycling teknoloji. *Atık Yönetimi, Gerikazanım ve Çevre Teknolojileri Dergisi.*
- Aras, N., Aksen, D. ve Tanuğur, A.G.** (2008). Locating collection centers for incentive- dependent returns under a pick-up policy with capacitated vehicles. *European Journal of Operational Research.* **191**, 1223-40.
- Armstrong, J. S. ve Green, K. C.** (2011). Demand forecasting: evidence-based methods. In Thomas, C. R. and Shughart, W. F., (Eds), *Oxford handbook in managerial economics.*
- Association for Manufacturing Excellence (AME)** (2007). *Green manufacturing.* Productivity Press, New York.
- Bai, M. G.** (2011). Research on the network optimization for reuse reverse logistics under grey environment. *30th Chinese Control Conference (CCC)*, China, 5377-5381,
- Barros, L., Dekker, R. ve Scholten, V.** (1998). A two-level network for recycling sand: a case study. *European Journal of Operational Research.* **110**, 199-214.
- Beamon, B.M. ve Fernandes, C.** (2004). Supply-chain network configuration for product recovery. *Production Planning and Control.* **15(3)**, 270-281.

- Bennekrouf, M., Boudahri, F. ve Sari, Z.** (2011). Optimal design of two levels reverse logistic supply chain by considering the uncertain quantity of collected multi-products. *4th International Conference on Logistics (LOGISTIQUA)*. Tunusia, 397-404.
- Bertram, M., Graedel, T. E., Rechberger, H. ve Spatari, S.** (2002). The contemporary european copper cycle: waste management subsystem. *Ecological Economics*. **42(1-2)**, 43-57.
- Bleiwas, D.** (2001). *Obsolete computers, "gold mine," or high-tech trash? resource recovery from recycling*. U.S. Department of the Interior, USGS Fact Sheet FS-060-01.
- Blumberg, D. F.** (2004). Introduction to management of reverse logistics and closed loop supply chain processes. *D.F. Blumberg Associates, Gladwyne, Pennsylvania, USA*.
- Bodyanskiy, Y. ve Popov, S.** (2006). Neural network approach to forecasting of quasiperiodic financial time series. *European Journal of Operational Research*. **175**, 1357–1366.
- Bojadziev, G. ve Bojadziev, M.** (2007). *Fuzzy logic for business, finance and management*. Second ed. World Scientific Publishing Co Pte Ltd, Singapore.
- Boychuk, L. M. ve Ovchinnikov, V. O.** (1973). Principal methods for solution of multicriteria optimization problems (survey). *Sov. Autom. Control*. **6**, 1–4.
- Büyüközkan, G.** (2006). *Elektronik Ürünlerin Geri Dönüşümü* (Ders Notları). İstanbul.
- Carter, C. R. ve Jennings, M. M.** (2002). Logistics social responsibility: an integrative framework. *Journal of Business Logistics*. **23(1)**, 145-80.
- Carter, C. R. ve Rogers, D. S.** (2008). A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. **38(5)**, 360-387.
- Carter, M. W. ve Price, C. C.** (2000). *Operations research: a practical introduction (operations research series)*. First ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Chaabane, A., Ramudhin, A. ve Paquet M.** (2011). Designing supply chains with sustainability considerations. *Production Planning & Control: The Management of Operations*. **22(8)**, 727-741.
- Chang, X. Y., Fan, T. J. ve Xia, Y.** (2009). A goal programming model for reverse logistics network planning. *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, China, 451-456.
- Chen, Q. ve Gu, Q.** (2007). Analysis of quantity uncertainty of returns on remanufacturing logistic network using a stochastic programming model. *IEEE International Conference on Control and Automation*, China, 3073-3077.
- Chen, Y., Liu, D., Mao, H. ve Tian, Y.** (2008). Uncertain programming of the distribution/recovery center in forward/reverse hybrid logistics

- system. *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics and Informatics*. China, 3057-3062.
- Cheng, L.** (2009). Design for the reverse logistics network based on the reverse logistics center location. *International Forum on Information Technology and Application*. China, 457-459.
- Chu, L. K., Shi, Y., Lin, S., Sculli, D. ve Ni, J.** (2010). Fuzzy chance-constrained programming model for a multi-echelon reverse logistics network for household appliances. *Journal of the Operational Research Society*. **61**, 551 -560.
- Ciliberti, F., Groot, G., Haan, J. ve Pontrandolfo, P.** (2009). Codes to coordinate supply chains: SMEs' experiences with SA8000. *Supply Chain Management: An International Journal*. **14(2)**, 117-127.
- Clift, R., Doig, A. ve Finnveden, G.** (2000). The application of life cycle assessment to integrated solid waste management. *Part 1—Methodology, Trans Instn Chem Engrs*, **78B**, 279-287.
- Cohon J.L.** (1978). *Multiobjective programming and planning mathematics in science and engineering*. Academic Press New York, San Francisco, London.
- Costa, A. M., Franc, P. M. ve Filho, C. L.** (2011). Two-level network design with intermediate facilities: An application to electrical distribution systems. *Omega*. **39**, 3-13.
- Cruz-Rivera, R. ve Ertel, J.** (2009). Reverse logistics network design for the collection of end-of-life vehicles in Mexico. *European Journal of Operational Research*, **196**, 930-939.
- Çiftlik, S., Handırı İ., Beyhan, M., Akçıl, A. U., Ilgar, M. ve Gönüllü, T.** (2009). Elektrikli ve elektronik atıkların (e-atık) yönetimi, ekonomisi ve metal geri kazanım potansiyeli bakımından değerlendirilmesi. *Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul (15-17 Haziran 2009), 444-450.
- De Brito, M. P. ve Dekker, R.** (2002). *A framework for reverse logistics*. Econometric Institute Report EI2002-38, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands.
- De Brito, M. P. ve Dekker, R.** (2004). A framework for reverse logistics. Dekker, R., Inderfurth, K., van Wassenhove, L.N., Fleischmann, M., (Eds), *Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Dekker, R., Inderfurth, K., van Wassenhove, L. N., Fleischmann, M.** (2004). *Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Demirel, N. Ö. ve Gökçen, H.** (2008a). A mixed integer programming model for remanufacturing in reverse logistics environment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. **39(1)**, 197-1206.
- Demirel, N. Ö. ve Gökçen, H.** (2008b). Geri kazanımlı imalat sistemleri için lojistik ağı tasarımı: literatür araştırması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. **23(4)**, 903-912.

- Di, W. M. ve Wang, M.J.** (2009). Optimal design of manufacturing/remanufacturing logistics network based on uncertain programming. *International Conference on Management Science & Engineering*, China, 867- 873.
- Diler, A.** (2006). *Şehir içi toplu taşımacılıkta kullanılan otobüslerde doğal gaz kullanımının karbon dioksit emisyonlarına etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Ding, S.** (2010a). Logistics network design optimization based on differential evolution algorithm. *International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management*, **2**, 1064-1068
- Ding, S.** (2010b). Logistics network design and optimization based on fuzzy adaptive differential evolution algorithm. *International Conference on Biomedical Engineering and Computer Science (ICBECS)*. China, 1064-1068.
- Dongai, W., Guo, W. ve Chen, K.** (2009). The design of reverse logistics network based on remanufacturing for a diesel engine enterprise. *International Conference on Management and Service Science*. China, 1-4.
- Dowlatshahi, S.** (2010). A cost-benefit analysis for the design and implementation of reverse logistics systems: case studies approach. *International Journal of Production Research*, **48 (5)**, 1361-1380.
- Du, F. ve Evans, G.** (2008). A bi-objective reverse logistics network analysis for postsale service. *Computers and Operations Research*. **35**, 2617-2634.
- EC,** (2003a). Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). Joint Declaration of the European Parliament, the Council and the Commission Relating to Article 9, Official Journal L 037, 13/02/2003, 24-39.
- EC,** (2003b). Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS), Official Journal L 037, 13/02/2003, 19-23.
- EC,** (2006). Implementation of Waste Electric and Electronic Equipment Directive in EU 25. European Commission, Directorate-General Joint Research Center, Institute for Prospective Technological Studies, Technical Report Series, Hazırlayan: Savage, M., Ogilvie, S., Slezak, J. ve Artim, E., EUR 22231 EN, 108 s., www.jrc.es
- El Sayed, M., Afia, N. ve El-Kharbotly, A.** (2010). A stochastic model for forward-reverse logistics network design under risk. *Computers & Industrial Engineering*. **58**, 423-431.
- Elkington, J.** (2004). Enter the triple bottom line. In Henriques, A. and Richardson, J. (Eds), *The triple bottom line: does it all add up?*, Earthscan, London, 1-16.
- Evren, R. ve Ülengin F.** (1992). *Yönetimde çok amaçlı karar verme*. İTÜ Yayınları, İstanbul.
- Fandel, G. ve Stammen, M.** (2004). A general model for extended strategic supply chain management with emphasis on product life cycles including

development and recycling. *International Journal of Production Economics*. **89**, 293-308.

- Fathi, M., Hasanzadeh, A., Raad, A., Dehghanian, F. ve Mansour, S.** (2009). Using compromised method in design of reverse logistics network with eco-efficiency consideration. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, China, 1454-1458.
- Fink A. G.** (1998). *Conducting research literature reviews: from paper to the internet*. First ed. Sage, Thousand Oaks, California.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., van der Laan, E., van Nunen, J.A.E.E. ve van Wassenhove, L.N.** (1997). Quantitative models for reverse logistics: a review. *European Journal of Operational Research*. **103**, 1-17.
- Fleischmann, M., Krikke, H. R., Dekker, R. ve Flapper, S. D. P.** (2000). A characterization of logistics networks for product recovery. *Omega*. **28**, 653-666.
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J. M. ve van Wassenhove, L.N.** (2001). The impact of product recovery on logistics network design. *Production and Operations Management*. **10**(2), 156-173.
- Fleischmann, M., Nunen, J. ve Gräve, B.** (2002). *Integrating closed-loop supply chains and spare parts management at IBM*. Erim Report Series Research in Management, Erasmus Research Institute of Management, the Netherlands.
- Ge, X. Q., Tian, Z. Y. ve Zhang, J.** (2009). Designing three-stage reverse logistics network with incentive. *International Conference on Electronic Commerce and Business Intelligence*. China, 213-216.
- Gomes, M. I., Pova, A. P. B. ve Novais, A. Q.** (2011). Modelling a recovery network for WEEE: A case study in Portugal. *Waste Management*. **31**, 1645-1660.
- Gomez, J. M., Rautenstrauch, C., Nürnberger, A. ve Kruse R.** (2002). Neuro-fuzzy approach to forecast returns of scrapped products to recycling and remanufacturing. *Knowledge-based Systems*. **15**(1-2), 119-128.
- Gottinger, H. W.** (1988). A computational model for solid waste management with application. *European Journal of Operational Research*. **35**, 350-364.
- Guide, V. D. R. ve van Wassenhove, L. N.** (2001). Managing product returns for remanufacturing. *Production and Operations Management*. **10**(2), 142-155.
- Gungor, A. ve Gupta, S. M.** (1999). Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey. *Computers & Industrial Engineering*. **36**, 811-853.
- Guo, H. ve Dai, W.** (2011). Research on remanufacturing reverse logistics network optimization under uncertain recycling number. *Advances in Intelligent and Soft Computing*. **106**, 691-695.

- Guranowska, A. M.** (2011). End of life vehicles recycling network design. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, **18(3)**.
- Hanafi, J., Kara, S. ve Kaebernick, H.** (2007). Generating fuzzy coloured petri net forecasting model to predict the return of products. *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*. China, 245-250.
- Harraz, N. A. ve Galal, N. M.** (2011). Design of sustainable end-of-life vehicle recovery network in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*. **2**, 211–219.
- Hart, A., Clift, R., Riddlestone, S ve Buntin J.** (2005). Process safety and environmental protection. *Trans I ChemE, Part B*, **83(B4)**, 359-363.
- Hart, E. ve Bond M.** (1998). *Doing a literature review: releasing the social science research imagination*. Sage, London.
- Hart, S. L.** (1997). *Yeşilleşmenin ötesi: sürdürülebilir bir dünya için stratejiler*. Yeşil İş Stratejisi, Harvard Business Review.
- He, B.** (2011). Bi-objective programming model and algorithm for reverse logistics network design problem. *Fourth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization*. China, 1245-1249.
- He, B., Yang, C. ve Ren, M. M.** (2007). A fuzzy multi-objective programming for optimization of reverse logistics for solid waste through genetic algorithms. *Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*. China, 416-420.
- Hess, J. D. ve Mayhew, G. E.** (1997). Modeling merchandise returns in direct marketing. *Journal of Direct Marketing*. **1(2)**, 20-35.
- Hicks, C., Dietmar, R. ve Eugster, M.** (2005). The recycling and disposal of electrical and electronic waste in China—legislative and market responses. *Environmental Impact Assessment Review*. **25**, 459 – 471.
- Hischier, R., Wager, P. ve Gaughlofer, J.** (2005). Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE). *Environmental Impact Assessment Review*, **25**, 525– 539.
- Hu, T. L., Sheu, J. B. ve Huand, K. H.** (2002). A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. *Transportation Research, Part E*. **38**, 457-473.
- Huo, H. ve Wang, J.** (2011). Study on network model of reverse logistics based on used appliances. *International Conference on Management Science and Industrial Engineering (MSIE)*. China, 624-628.
- Indala, S.** (2004). Development and integration of new processes consuming carbon dioxide in multi-plant chemical production complexes, *Doktora Tezi*, B.Tech., Andhra University, India.
- Jayaraman, V., Patterson, R. A. ve Rolland, E.** (2003). The design of reverse distribution networks: models and solution procedures. *European Journal of Operational Research*. **150**, 128-49.

- Jia, H., Xu, J. ve Sun, Z.** (2010). An optimization model for closed-loop logistic system with uncertain demands. *29th Chinese Control Conference*. China, 1201-1206.
- Jianhua J. ve Qiaolun, G.** (2006). An operational model of closed-loop logistics based on the end-customer's willingness. *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*. China, 603-608.
- Jiawang, X., Yunlong, Z. ve Bo, J.** (2010). A dynamic operation model for a class of closed-loop logistic system. *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*. China, 80-83.
- Johnson, J. ve Picton, P.** (1995). *Mechatronics: designing intelligent machines, concepts in artificial intelligence*. Butterworth-Heinemann.
- Kara, S. S. ve Onut, S.** (2010). A two-stage stochastic and robust programming approach to strategic planning of a reverse supply network: The case of paper recycling. *Expert Systems with Applications*. **37**, 6129–6137.
- Khajavi, L. T., Mohammad, S., Hosseini, S. ve Makui, A.** (2011). An integrated forward/reverse logistics network optimization model for multi-stage capacitated supply chain. *iBusiness*. **3**, 229-235.
- Klausner, M. ve Hendrickson, C.** (2000). Reverse-logistics strategy for product take-back. *Interfaces*. **30(3)**, 156–165.
- Ko, H. J. ve Evans, G. W.** (2007). A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs. *Computers & Operations Research*. **34**, 346-366.
- Kopicky, R. J., Berg, M. J., Legg, L., Dasappa, V. ve Maggioni C.** (1993). *Reuse and recycling: reverse logistics opportunities*. Council of Logistics Management, Oak Brook, IL.
- Koster, R., De Brito, M. ve Van der Vandel, M.** (2002). Return handling: an exploratory study with nine retailer warehouses. *International Journal of Retail & Distribution Management*. **30(8)**, 407- 421.
- Krikke, H. R.** (2011). Impact of closed-loop network configurations on carbon footprints: A case study in copiers. *Resources, Conservation and Recycling*. **55**, 1196– 1205.
- Krikke, H. R., Bloemhof-Ruwaard, J. ve van Wassenhove, L. N.** (2001). *Design of closed loop supply chains: a production and return network for refrigerators*. Erasmus Research Institute of Management Report Series, Research in Management, the Netherlands.
- Krikke, H. R., van Harten, A. ve Schuur P. C.** (1999). Reverse logistic network re-design for copiers. *OR Spektrum*. **21**, 381-409.
- Kuruüzüm, A.** (1998). *Karar destek sistemlerinde çok amaçlı yöntemler*. Akeniz Üniversitesi Yayınları, Antalya.
- Kusumastuti, R. D., Piplani, R. ve Lim, G. H.** (2004). An approach to design reverse logistics networks for product recovery. *International Engineering Management Conference*. China, 1239-1243.

- Labuschagne, C., Brent, A. C. ve Claasen, S. J.** (2005). Environmental and social impact considerations for sustainable project life cycle management in the process industry. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. **12**, 38–54.
- Lambert, D. M. ve Stock, J. R.** (1981). *Strategic physical distribution management*. Homewood, IL: Irwin.
- Lau, K. H. ve Wang, Y.** (2009). Reverse logistics in the electronic industry of China: a case study. *Supply Chain Management: An International Journal*. **14**(6), 447–465.
- Lee, D. H. ve Dong, M.** (2008). A heuristic approach to logistics network design for end-of- lease computer products recovery. *Transportation Research, Part E*. **44**, 455-474.
- Lee, D. H. ve Dong, M.** (2009). Dynamic network design for reverse logistics operations under uncertainty. *Transportation Research, Part E*. **45**, 61-71.
- Lee, J. E., Gen, M. ve Rhee, K. G.** (2009). Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*. **56**, 951-966.
- Li, N.** (2011). Selection of re-manufacturing plant's location based on genetic algorithm. *International Conference on Management Science and Industrial Engineering*. China, 1010-1012.
- Lieckens, K., Colen, P. ve Lambrecht, M.** (2011). Optimization of a stochastic reverse logistics network with refurbishment and exchange options. Adres: SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1759210> ya da <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1759210>, Alındığı Tarih: 20.02.2012.
- Lieckens, K. ve Vandaele, N.** (2007). Reverse logistics network design with stochastic lead times. *Computers & Operations Research*. **34**, 395-416.
- Lili, R. ve Yong, H.** (2010). Optimization of Forward/Reverse Logistics Networks for Electronic Products. *International Conference of Information Science and Management Engineering*. China, 536-538.
- Lin, L., Gen, M. ve Wang, X.** (2009). Integrated multistage logistics network design by using hybrid evolutionary algorithm. *Computers & Industrial Engineering*. **56**, 854-873.
- Lin, Z. K., Gao, L. L. ve Guo, X.** (2010). The reverse logistics network design of drugs. Ninth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Qingdao, 86-90.
- Ling, Z., Zhengxiao, W., Xiaohong, P. ve Tianyang, D.** (2010). Optimization model for remanufacturing logistics network with fuzzy parameters. *International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*. China, 2, 849-852.
- Lisboa, P. J. ve Taktak A. F. G.,** (2006). The use of artificial neural networks in decision support in cancer: A systematic review. *Neural Networks*. **19**, 408–415.

- Listeş, O.** (2007). A generic stochastic model for supply-and-return network design. *Computers & Operations Research*. **34**, 417-442.
- Listeş, O. ve Dekker, R.** (2005). A stochastic approach to a case study for product recovery network design. *European Journal of Operational Research*. **160**, 268-87.
- Lo, C. C., Chen, H. M. ve Huang, H. L.** (2008). A multi-objective reverse logistics network for product returns. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. China, 1634-1638.
- Louwers, D., Kip, B. J., Peters, E., Souren, F. ve Flapper, S. D. P.** (1999). A facility location allocation model for reusing carpet materials. *Computers and Industrial Engineering*. **36**, 855-869.
- Lu, T. ve Zhao, X.** (2010). Reverse logistics network design with consideration of forward and reverse facility integration. *International Conference on E-Business and E-Government*. China, 3271-3274.
- Lu, Y., Lu, P. ve Liang, L.** (2008). Multi-objective optimization of reverse logistics network based on random weights and genetic algorithm. *International Conference on Networking, Sensing and Control*. China, 1196-1200.
- Lu, Z. ve Bostel, N.** (2007). A facility location model for logistics systems including reverse flows: the case of remanufacturing activities. *Computers and Operations Research*. **34**, 299-323.
- Lundin, J. F.** (2011). Redesigning a closed-loop supply chain exposed to risks. *International Journal of Production Economics*. Basım Aşamasında.
- Mahmoudzadeh, M., Mansour, S. ve Karimi, B.** (2011). A decentralized reverse logistics network for end of life vehicles from third party provider perspective. *2nd International Conference on Environmental Science and Technology*. China, 2338-2342.
- Mallidis, I., Dekker, R. ve Vlachos, D.** (2012). The impact of greening on supply chain design and cost: a case for a developing region. *Journal of Transport Geography*. **22**, 118–128.
- Marler, R.T. ve Arora J.S.** (2004). Survey of multi-objective optimization methods for engineering. *Struct Multidisc Optim*. **26**, 369–395.
- McWilliams, A. ve Siegel, D.** (2001). Corporate social responsibility: A theory of the fi rm perspective. *Academy of Management Review*, **26(1)**, 117–127.
- Meade, L. ve Sarkis, J.** (2002). A conceptual model for selecting and evaluating third-party reverse logistics providers. *Supply Chain Management: An International Journal*. **7(5)**, 283-95.
- Mehrotra K., Mohan C.K. ve Ranka S.** (2000). *Elements of artificial neural networks*.Massachusetts Institute of Technology, ABD.
- Min, H., Ko, H. J. ve Ko, C. S.** (2006). A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns. *Omega*. **34**, 56-69.

- Min, H. ve Ko, H. J.** (2008). The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers. *International Journal of Production Economics*. **113**, 176-192.
- Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment Communications Directorate (MHSPEC)** (2000). *Eco Indicator 99 Manual for Designers*. the Netherlands.
- Minli, X. ve Yu, D.** (2010). Optimization model for manufacturing/remanufacturing logistics network of disassembled products. *International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management*. China, 1509-1512.
- Mounir, B., Afifa, K. ve Habib, C.** (2011). Facility location model for reverse logistics. *Advances in Production Engineering & Management*. **6(1)**, 37-44.
- Mukta, P. ve Kumar, U. A.** (2009). Neural networks and statistical techniques: a review of applications. *Expert Systems with Applications*. **36(1)**, 2-17.
- Mukhopadhyay, S. K. ve Setoputro, R.** (2004). Reverse logistics in e-business optimal price and return policy. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. **34(1)**, 70-88.
- Mutha, A. ve Pokharel, S.** (2009). Strategic network design for reverse logistics and remanufacturing using new and old product modules. *Computers & Industrial Engineering*. **56**, 334-346.
- Müller B., Reinhardt J. ve Strickland M.T.** (1995). *Neural networks: an introduction*. 2nd edition, Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Neto, J. Q. F., Bloemhof-Ruwaard, J. M., van Nunen, J. A. E. E. ve van Heck, E.** (2008). Designing and evaluating sustainable logistics networks. *International Journal of Production Economics*. **111**, 195-208.
- Neto, J. Q. F., Walther, G., Bloemhof, J., van Nunen J. A. E. E. ve Spengler, T.** (2009). A methodology for assessing eco-efficiency in logistics networks. *European Journal of Operational Research*. **193(3)**, 670-82.
- Neto, J. Q. F. ve Bloemhof-Ruwaard, J. M.** (2008). Designing and evaluating sustainable logistics networks. *International Journal of Production Economics*, **111 (2)**, 195–208.
- Nikolaou, I. E., Konstantinos I. E. ve Allan, S.** (2012). A reverse logistics social responsibility evaluation framework based on the triple bottom line approach. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2011.12.009.
- Ossenbruggen, P. J. ve Ossenbruggen, P. C.** (1992). SWAP, a computer package for solid waste management. *Computers, Environment and Urban Systems*. **16**, 83-100.
- Östlin, J., Sundin E. ve Björkman M.** (2009). Product life-cycle implications for remanufacturing strategies. *Journal of Cleaner Production*. **17(11)**, 999–1009.
- Öztemel, E.** (2006). *Yapay sinir ağları*, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul.

- Pagell, M., Zhaohui, W. ve Murthy, N. N.** (2007). The supply chain implications of recycling. *Business Horizons*. **50**, 133-143.
- Pati, R. K., Vrat, P. ve Kumar, P.** (2008). A goal programming model for paper recycling system, *Omega*. **36**, 405-417.
- Peng, P., Zhang, Y. ve Pang, G.** (2011). The optimal design model of logistics network for scrap copper recycling. *10th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science*. China.
- Piplani, R. ve Saraswat, A.** (2011). Robust optimisation approach to the design of service networks for reverse logistics. *International Journal of Production Research*. **50(5)**, 1424-1437.
- Pishvae, M. S., Farajani, R. Z. ve Dullaert, W.** (2010a). A memetic algorithm for biobjective integrated forward/reverse logistics network design. *Computers & Operations Research*. **37**, 1100-1112.
- Pishvae, M. S., Jolai, F. ve Razmi, J.** (2010b). A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design. *Journal of Manufacturing Systems*. **28(4)**, 107-114.
- Pishvae, M. S., Kianfar, K. ve Karimi, B.** (2010c). Reverse logistics network design using simulated annealing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. **47**, 269-281.
- Pishvae, M, S., Rabbani, M. ve Torabi, S. Y.** (2011). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*. **35**, 637–649.
- Pishvae, M, S. ve Razmi, J.** (2011). Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming. *Applied Mathematical Modelling*. Basım Aşamasında.
- Pishvae, M, S. ve Torabi, S. A.** (2010). A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*. **161**, 2668–2683.
- Pochampally, K. K. ve Gupta, S. M.** (2008). A multiphase fuzzy logic approach to strategic planning of a reverse supply chain network. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*. China, **31(1)**, 72-82.
- Pokharel, S. ve Mutha, A.** (2009). Perspectives in reverse logistics: a review. *Resources, Conservation and Recycling*. **53**, 175-182.
- Prahinski, C. ve Kocabasoglu, C.** (2006). Empirical research opportunities in reverse supply chains. *Omega*. **34**, 519 – 532.
- Presley, A., Meade, L. ve Sarkis, J.** (2010). A strategic sustainability justification methodology for organizational decisions: a reverse logistics illustration. *International Journal of Production Research*. **45 (18)**, 4595-4620.
- Pugh, M. P.** (1993). The use of mathematical models in evaluating resource recovery options. *Resources, Conservation and Recycling*. **8**, 91-101.

- Qi, Z. ve Hongcheng, W.** (2008). Research on construction mode of recycling network of reverse logistics of automobile enterprises. *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*. China, 36-40.
- Qin, Z. ve Ji, X.** (2010). Logistics network design for product recovery in fuzzy environment. *European Journal of Operational Research*. **202**, 479-490.
- Rangwani, N., Subramanian, P., Ramkumar, N. ve Narendran, T. T.** (2011). Heuristic for a single period single product closed loop supply chain. *International Journal of Enterprise Network Management*. **4(3)**, 311-324.
- Rardin, R. L.** (1997). *Optimization in Operations Research*. Prentice Hall, New Jersey.
- Ravi, V., Shankar, R. ve Tiwari, M.K.** (2006). Selection of a reverse logistics project for end-of-life computers: ANP and goal programming approach. *International Journal of Production Research*. **46 (17)**, 4849-4870.
- Ravindran, R. A.** (2008). *Operations research and management science handbook*. CRC Press Taylor&Francis Group. Boca Raton.
- Realff, M. J., Ammons, J. N. ve Newton, D.** (1998). Carpet recycling: determining the reverse production system design. *The Journal of Polymer-Plastics Technology and Engineering*. **38(3)**, 547-567.
- Ren, C. ve Ye, J.** (2011). Improved particle swarm optimization algorithm for reverse logistics network design. *Energy Procedia*. **13**, 4591 – 4600.
- Richey, R. G., Genchev, S. E. ve Daugherty, P. J.** (2005). The role of resource commitment and innovation in reverse logistics performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. **35(4)**, 233-257.
- Rogers, D. S. ve Tibben-Lembke, R.** (1999). *Going backwards: reverse logistics trends and Practices*. RLEC Press, Pittsburgh, PA.
- Rogers, D. S. ve Tibben-Lembke, R. S.** (2001). An examination of reverse logistics practices. *Journal of Business Logistics*. **22(2)**, 129– 248.
- Rubio, S., Chamorro, A. ve Miranda F. J.** (2008). Characteristics of the research on reverse logistics (1995-2005). *International Journal of Production Research*. **46(4)**, 1099-1120.
- Sahyouni, K., Savaskan, R. C. ve Daskin, M. S.** (2007). A facility location model for bidirectional flows. *Transportation Science*. **41(4)**, 484-499.
- Salema, M. I. G., Barbosa-Povoa, A. P. ve Novais, A. Q.** (2006). A warehouse-based design model for reverse logistics. *Journal of the Operational Research Society*. **57**, 615-629.
- Salema, M. I. G., Barbosa-Povoa, A. P. ve Novais, A. Q.** (2007). An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. *European Journal of Operational Research*. **179**, 1063-1077.

- Salema, M. I. G., Barbosa-Povoa, A. P. ve Novais, A. Q.** (2010). Simultaneous design and planning of supply chains with reverse flows: a generic modelling framework. *European Journal of Operational Research*. **203**, 336–349.
- Salukvadze, M.** (1974). On the existence of solutions in problems of optimization under vector-valued criteria. *Journal of Optimization Theory and Applications*. **13(2)**, 203-217.
- Sasikumar, P. ve Haq, A. N.** (2011). Integration of closed loop distribution supply chain network and 3PRLP selection for the case of battery recycling. *International Journal of Production Research*. **4 (11)**, 3363–3385.
- Sasikumar, P., Kannan, G. ve Haq, A. N.** (2010). A multi-echelon reverse logistics network design for product recovery-a case of truck tire remanufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. **49(9-12)**, 1223-1234.
- Sayıştay Başkanlığı,** (2007). *Türkiye'de atık yönetimi ulusal düzenlemeler ve Uygulama sonuçlarının değerlendirilmesi performans denetimi raporu*, Ankara.
- Schalkoff, R.** (1997). *Artificial neural networks*. Mc Graw-Hill Professional.
- SETAC,** (1993). *Guidelines for Life-Cycle Assessment. A Code or Practice*. Sesimbra: SETAC Workshop.
- Shi, L., Fan, H., Gao, P. ve Zhang, H.** (2009). Network model and optimization of medical waste reverse logistics by improved genetic algorithm. *International Symposium on Intelligence Computation and Applications*. China, 40-52.
- Shi, L.H.** (2009). A mixed integer linear programming for medical waste reverse logistics network design. *International Conference on Management Science & Engineering (16th)*. China, 1971-1975.
- Shih, L.H.** (2001). Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*. **32**, 55-72.
- Skapura D. M.** (1995). *Building neural networks*. Paramount Pictures, ABD.
- Skinner, L. R., Bryant, P. T. ve Richey, R.G.** (2008). Examining the impact of reverse logistics disposition strategies. *International Journal of Physical Distribution&Logistics Management*. **38(7)**, 518-539.
- Spengler, T., Püchert, H., Penkuhn, T. ve Rentz, O.** (1997). Environmental integrated production and recycling management. *European Journal of Operational Research*. **97**, 308-326.
- Srivastava, S. K.** (2007). Green supply-chain management: a state-of the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*. **9(1)**, 53-80.
- Srivastava, S. K.** (2008a). Network design for reverse logistics. *Omega*. **36**, 535-548.

- Srivastava, S. K.** (2008b). Value recovery network design for product returns. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. **38(4)**, 311-331.
- Srivastava, S. K. ve Srivastava, R. K.** (2006). Managing product returns for reverse logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. **36 (7)**, 524-546.
- Subramoniam, R., Huisinigh, D. ve Chinnam, R. B.** (2009). Remanufacturing for the automotive aftermarket-strategic factors: literature review and future research needs. *Journal of Cleaner Production*. **17**, 1163-1174.
- Qian, X., Han, Y. ve Da, Q.** (2011). Reverse logistics network design model based on e-commerce. *2nd International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce*. China, 1486-1490.
- Tang, Q. ve Xie, F.** (2007). A genetic algorithm for reverse logistics network design. *Third International Conference on Natural Computation*. China, **4**, 277-281.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı,** (2008a). *Atık elektrik elektronik eşyaların (AEEE) kontrolü ve yönetimi yönetmeliği*. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı (taslak halinde).
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı,** (2008b). Elektrikli ve elektronik eşyalarda bazı zararlı maddelerin kullanımının sınırlandırılmasına dair yönetmelik. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı (taslak halinde).
- Thierry, M., Salomon, M., van Nunen, J. ve van Wassenhove, L.** (1995). Strategic issues in product recovery management. *California Management Review- ABI/INFORM Global*. **37(2)**, 114-135.
- Tian, Z. Y., Jin, C. H. ve Ge, X. Q.** (2009). Designing reverse logistics network for end-of-life vehicles under capacity constraints. *IEEE 16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. China, 1488-1491.
- Tibben-Lembke, R. S.** (2002). Life after death: reverse logistics and the product life-cycle. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. **32(3)**, 223-244.
- Tijun, F. ve Yan, Z.** (2010). An optimization analysis for electronic products recycling and material recovery. *International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management*. China, 764-769.
- Tuzkaya, G., Bahadır, G. ve Önsel, Ş.** (2011). A methodology for the strategic design of reverse logistics networks and its application in the Turkish white goods industry. *International Journal of Production Research*. **49 (15)**, 4543-4571.
- Xanthopoulos, A. ve Iakovou, E.** (2009). On the optimal design of the disassembly and recovery processes. *Waste Management*. **29**, 1702-1711.
- Xiangru, M. ve Hua, J.** (2009). The construction of reverse logistics network about the reusable packages. *International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*. China, 698-701.

- Xiangru, M. ve Wei, S.** (2009a). Open-loop network design based on reverse logistics recycling. *International Conference on Services Science, Management and Engineering*. China, 209-212.
- Xiangru, M. ve Wei, S.** (2009b). Network design based on closed-loop reverse logistics recycling. *IITA International Conference on Control, Automation and Systems Engineering*. China, 533-536.
- Xiangru, M., Yongjie, Z. ve Wei, S.** (2009). Network construction on reverse logistics of discarded and used household appliances. *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*. China, 108-111.
- Xiangru, M. ve Xin, M.** (2010). Remanufacturing network analysis of third-party reverse logistics for waste household appliances. *International Conference on Management and Service Science*. China, 1-3.
- Xie, F.** (2009). Reverse logistics network optimization by genetic algorithm. *Fifth International Conference on Natural Computation*. China, 403-407.
- Xu, J. ve Zhu, Y.** (2010). Modeling for the operation of closed-loop supply chain with remanufacturing. *International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management*. China, 69-73.
- Vidovic, M., Dimitrijevic, B., Ratkovic, B. ve Simic, V.** (2011). A novel covering approach to positioning ELV collection points. *Resources, Conservation and Recycling*. **57**, 1-9.
- Walther, G. ve Spengler, T.** (2005). Impact of WEEE-directive on reverse logistics in Germany. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. **35** (5), 337-361
- Wan, F. ve Zhang, Q.** (2008). Research on re-use reverse logistics network of disused household appliances based on genetic algorithm. *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*. China, 135-139.
- Wang, H. F. ve Hsu, H. W.** (2010). A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm. *Computers & Operations Research*. **37**, 376 – 389.
- Wang, X. ve Zhao, L.** (2009). Network design of reverse logistics integrated with forward logistics. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*. China, 1-4.
- Wang, Z., Yin, J. ve Ma, W.** (2008). A reverse logistics optimization model for hazardous waste in the perspective of fuzzy multi objective programming theory. *IEEE Congress on Evolutionary Computation*. China, 1576-1580.
- Wang, Z., Zou, Y., Wang, H. ve Feng, Z.** (2010). The optimization of reverse supply chain supernetwork. *International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management*. China, 659-663.
- Winston, W. L.** (2001). *Operations research: applications and algorithms*. Third ed. Duxbury Press, Belmont, California.

- Wolfer, S., Sander, H. ve Gogol, F.** (2011). Reverse logistics network design for waste electrical and electronic equipment (WEEE) in China: a Shanghai case study on eco-innovation in industry. *The 9th GLOBELICS International Conference on "Creativity, Innovation and Economic Development"*. China.
- Wongthatsanekorn, W.** (2009). A goal programming approach for plastic recycling system in Thailand. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. **49**, 513-518.
- Wu, M.** (2009). The research on modeling and optimizing of remanufacturing reverse logistics networks. *4th International Conference on Computer Science & Education*. China, 660-664.
- Yan, B. ve Lee, D.** (2008). Application of genetic algorithm on remanufacturing reverse logistics network model. *International Seminar on Future BioMedical Information Engineering*. China, 126-129.
- Yu, Q. ve Wei, Z. G.** (2009). Improved niche PSO to the reverse logistics network design model. *International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management*. China, 513-516.
- Zarandi, M. H. F., Sisakht, A. H. ve Davari, S.** (2011). Design of a closed-loop supply chain (CLSC) model using an interactive fuzzy goal programming. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. **56**, 809-821.
- Zarei, M., Mansour, S., Kashan, A. H. ve Karimi, B.** (2010). Designing a reverse logistics network for end-of-life vehicles recovery. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering*, art. no. 649028.
- Zegordi, S. H., Eskandarpour, M. ve Nikbakhsh, E.** (2011). A novel bi-objective multi-product post-sales reverse logistics network design model. *World Congress on Engineering*. China.
- Zhang, Y., Xuhong, L. Haijun, M. ve Chenglin, M.** (2007). Designing a hazardous waste reverse logistics network for third party logistics supplier under the fuzzy environment. *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*. China, 493-498.
- Zhang, L., Wang, Z., Pan, X. ve Dong, T.** (2010a). Optimization model for remanufacturing logistics network with fuzzy parameters. *International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*. China, 849-852.
- Zhang, Y., Wang, J., Wang, X., Huang, Y. ve Wang, X.** (2010b). Model and algorithm of returned logistics network planning for renewable resources. *International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management*. China, 977-980.
- Zhang, G. ve Amin, S. H.** (2011). Network design of a closed-loop supply chain with uncertain demand and return. *International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics*. China, 376-379.
- Zhou, G., Cao, Z., Cao, J. ve Meng, Z.** (2005). *A genetic algorithm approach on reverse logistics optimization for product return distribution network*.

Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 267-272.

- Zhou, G., Cao, Z., Meng, Z. ve Xu, Q.** (2008). A GA-based approach on a repair logistics network design with m/m/s model. *International Conference on Computational Intelligence and Security*. China, 145-149.
- Zhou, Y. ve Wang, S.** (2008). Generic model of reverse logistics network design. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*. **8(3)**, 71-78.
- Zhou, X. ve Zhang, M.** (2009). Research on reverse logistics network design methods of household appliance. *16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. China, 1579-1582.
- Zhou, X., Ma, X. ve Zhang, M.** (2010). Research on network design methods of automobile manufacturing enterprises reverse logistics. *International Conference on Advanced Management Science*. China, 14-17.

EKLER

Ek A: Model 1'e Ait GAMS Modeli CD'dedir.

Ek B: Model 2'ye Ait GAMS Modeli CD'dedir.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Gül Tekin Temur

Doğum Yeri ve Tarihi: 15.02.1983 / Giresun

Adres: İTÜ İşletme Fakültesi. 34367. Maçka Beşiktaş İstanbul

E-Posta: temurg@itu.edu.tr

Lisans: İTÜ İşletme Mühendisliği

Yüksek Lisans: Lisanstan Doktora

TEZDEN TÜRETİLEN SUNUMLAR

- **Temur, Gül T. ve Bolat, B.**, 2011. A methodological framework for reversel logistics network design combining intelligent system and optimization model. *9th International Logistics and Supply Chain Congress*. Ekim 2012, Çeşme-İzmir, Türkiye.
- **Temur, G. T. ve Bolat B.**, 2012. Reverse logistics network design integrated with product return forecasting approach. *The Seventeenth International Working Seminar on Production Economics*. 20-24 Şubat, 2012, Innsbruck, Avusturya,