

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE TERSİNE TEDARİK
ZİNCİRİ AĞI TASARIMI**

Seval ENE



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE TERSİNE TEDARİK ZİNCİRİ AĞI
TASARIMI**

Seval ENE

Prof. Dr. Nursel ÖZTÜRK
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2015
Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Seval ENE tarafından hazırlanan “Otomotiv Endüstrisinde Tersine Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Nursel ÖZTÜRK

Başkan : Prof. Dr. Nursel ÖZTÜRK Uludağ Ü. Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye : Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ Maltepe Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Yönetimi Anabilim Dalı	İmza
Üye : Prof. Dr. Erdal EMEL Uludağ Ü. Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKANSEL Uludağ Ü. Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye : Yrd. Doç. Dr. Murat BASKAK İstanbul Teknik Ü. İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitü Müdürü

../06/2015

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

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

beyan ederim.

15/06/2015

İmza

Seval ENE

ÖZET

Doktora Tezi

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE TERSİNE TEDARİK ZİNCİRİ AĞI TASARIMI

Seval ENE

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nursel ÖZTÜRK

Son yıllarda, hammadde ve doğal kaynakların azalması, çevre bilincinin artması ve sosyal sorumluluklar, işletmeleri ürettikleri ürünlerin tüm yaşam çevrimi için çevreye duyarlı stratejiler geliştirmeye yöneltmiştir. Yürürlüğe giren yönetmelikler ile pek çok endüstri alanını etkileyen ürün geri kazanım ve geri dönüşüm uygulamaları, hem ömrünü tamamlamış ürünlerden kaynaklanan atıkların ve dolayısıyla çevreye verilen zararın azaltılmasını sağlamakta hem de kazanılan malzemelerin değerleri ile ekonomik fayda sağlamaktadır. Ürün geri kazanım sürecinde, ürün akışının tersine dönmesiyle çok kaynaklı bir yapı oluşumunun yanı sıra, çeşitli belirsizlik faktörlerinin de eklenmesi sonucunda sürecin yönetimi oldukça karmaşıklaşmaktadır. Ürün geri kazanım sürecinin etkin olarak uygulanabilmesi için uygun bir lojistik altyapının oluşturulması gerekmektedir. Bu tez çalışmasının amacı, ömrünü tamamlamış araçların geri kazanım faaliyetlerinin yönetimi için tersine tedarik zinciri ağı tasarımı yapmak ve tersine tedarik zinciri ağına giriş yapacak ömrünü tamamlamış araç adedini tahmin etmektir. Tersine tedarik zinciri ağı tasarımı probleminin çözümü için öncelikle matematiksel model geliştirilmiştir. Ardından, büyük boyutlu problemlerde kabul edilebilir sürelerde çözüm elde edebilmek amacıyla genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyon algoritması probleme özgü olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan algoritmalarda aday çözüm gösterimi için öncelik tabanlı kodlama yaklaşımı kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, önerilen çözüm yaklaşımları ile ağ tasarım problemi için başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Ömrünü tamamlamış araç adedi tahmini için ise gri modelleme tabanlı bir tahmin sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen tahmin sistemi ile Türkiye için önümüzdeki yıllara yönelik ömrünü tamamlamış araç adedi tahmin çalışması yürütülerek elde edilen sonuçlar önerilen algoritmaya bütünleştirilmiştir ve Türkiye’de ömrünü tamamlamış araçların geri kazanım süreci için tersine tedarik zinciri ağı tasarımı ve planlanması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağ tasarımı, genetik algoritmalar, gri modelleme, ömrünü tamamlamış araç, parçacık sürü optimizasyon algoritması, tahmin, tersine tedarik zinciri

2015, xiii + 207 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

REVERSE SUPPLY CHAIN NETWORK DESIGN IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Seval ENE

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Nursel ÖZTÜRK

In recent years, scarcity in natural resources and raw materials, environmental consciousness and social responsibilities force firms to apply environmentally sensitive strategies for the whole life cycle of their products. With environmental regulations, product recovery and recycling operations contribute to the environment by waste reduction, as well as providing economic benefits to the firms. Management of product recovery becomes complicated with uncertainty issues and multi-source structure of reverse flow of products. To manage product recovery operations effectively, a proper logistics infrastructure should be established. The purpose of this thesis is to design a reverse supply chain network for recovery of end-of-life vehicles and to forecast the number of end-of-life vehicles that will be returned. First, a mathematical model is developed to solve the reverse supply chain network design problem. Then, heuristic algorithms are proposed in order to have solutions for large sized problems in a reasonable time. Genetic algorithm and particle swarm optimization algorithm are employed with priority based encoding for solution of the problem. Experimental results showed that the proposed algorithms give sufficient solutions to the network design problem. To forecast the number of end-of-life vehicles, a forecasting system based on grey modelling is constituted. The proposed forecasting system results are integrated to the proposed algorithm and used to manage and plan reverse supply chain network of end-of-life vehicles for Turkey case study.

Key Words: End-of-life vehicle, forecasting, genetic algorithms, grey modelling, network design, particle swarm optimization algorithm, reverse supply chain

2015, xiii + 207 pages.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, endüstri mühendisliği anabilim dalında tersine tedarik zinciri ağ tasarımı konusunda ömrünü tamamlamış araç geri kazanım sürecinin modellenmesi probleminin matematiksel model, sezgisel algoritmalar ve tahmin modelleri kullanarak çözümünü içermektedir. Doğal kaynakların azalmasıyla birlikte çevre bilincinin arttığı günümüzde, ömrünü tamamlamış ürünlerin geri kazanım ve geri dönüşüm faaliyetlerine verilen önem artmıştır. Tez çalışmasının, ömrünü tamamlamış ürünlerin geri kazanım ve geri dönüşüm faaliyetlerinin yönetimi için sunduğu çözüm yaklaşımları ile çevrenin korunmasına ve kazanılan ekonomik değerler ile ülke ekonomisine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın, tersine tedarik zinciri ve ağ tasarımı veya bu konuları temel alan farklı araştırmalara kaynak teşkil edecek nitelikte olması amaçlanmıştır.

Doktora eğitimim ve tez çalışmam süresince bana her konuda yardımcı olan ve sonsuz desteğini hissettiren danışmanım Prof. Dr. Nursel ÖZTÜRK'e, değerli zamanlarını ayırıp tez çalışmama katkı sağlayan tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ, Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKANSEL'e ve diğer jüri üyelerine, doktora eğitimim süresince katkılarından dolayı TÜBİTAK'a sonsuz teşekkürler sunarım.

Ayrıca bu uzun süreçte bana olan güvenleri ve sonsuz destekleri sebebiyle başta annem Hidayet ENE, babam RAİF ENE ve ablalarım olmak üzere tüm aileme ve yakın dostlarıma en samimi duygularıyla teşekkürlerimi sunar, tez çalışmam süresinde dünyaya gelen ve varlıkları ile motivasyon kaynağım olan yeğenlerim Metehan ve Oğuzhan'a bu tez çalışmamı armağan ederim.

Seval ENE

15/06/2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Tersine Lojistik ve Tersine Tedarik Zinciri Kavramları.....	4
2.2. Tersine Tedarik Zinciri Sistemi, İşleyişi ve Aktiviteleri	6
2.2.1. Ürün Geri Dönüşlerinin Sebepleri	6
2.2.2. Geri Dönen Ürün Özellikleri	8
2.2.2.1. Ürün Bileşimi	8
2.2.2.2. Ürün Kullanım Biçimi	9
2.2.2.3. Ürünün Yıpranma Durumu	9
2.2.3. Tersine Tedarik Zinciri için Gerekli Bilgiler	10
2.2.3.1. Ürün Bileşimi	10
2.2.3.2. Geri Dönen Ürün Akışının Belirsizliği ve Büyüklüğü	10
2.2.3.3. Yeniden İşlenmiş Ürün ve Malzeme Pazarı.....	11
2.2.3.4. Ürün Geri Kazanım ve Atık Yönetimi Operasyonları.....	11
2.2.4. Tersine Tedarik Zinciri Aktiviteleri	12
2.2.4.1. Toplama	12
2.2.4.2. Tersine Lojistik.....	13
2.2.4.3. Kontrol ve Sınıflandırma	13
2.2.4.4. Elden Geçirme ve Geri Kazanım.....	14
2.2.4.5. Dağıtım ve Satış	16
2.3. Tersine Tedarik Zincirinin Önemi.....	17
2.4. Tersine Tedarik Zincirinin Gerekçeleri ve Engeller	18
2.5. İleri ve Tersine Tedarik Zinciri Karşılaştırılması.....	19
2.6. Tersine Tedarik Zinciri Kararları ve Çalışma Alanları.....	23

2.7. Tersine Tedarik Zincirinde Ağ Tasarımı	26
2.8. Tersine Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı Problemleri ve Çözüm Yaklaşımları	30
2.9. Otomotiv Endüstrisinde Tersine Tedarik Zinciri	42
2.9.1. Otomotiv Tersine Tedarik Zincirinde Olası Engeller	43
2.9.1.1. Yönetimsel Engel	43
2.9.1.2. Teknik engel	43
2.9.1.3. Müşteri Bakış Açısı Engeli	44
2.9.2. Geri Dönen Araçların Değerlendirilmesi	44
3. MATERYAL ve YÖNTEM	52
3.1. Genetik Algoritma	52
3.1.1. Aday Çözüm Gösterimi	53
3.1.2. Genetik Operatörler	55
3.1.2.1. Seçim Operatörü	55
3.1.2.2. Çaprazlama Operatörü	57
3.1.2.3. Mutasyon Operatörü	60
3.1.3. Durdurma Kriteri	61
3.1.4. Genetik Algoritma Parametreleri	62
3.2. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması	63
3.2.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu	65
3.2.2. Temel Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması	66
3.3. Gri Sistem Teori	70
3.3.1. Gri Modellemede Parametre Optimizasyonu	74
3.3.2. Fourier Serisi ile Hata Düzeltmesi	75
3.3.3. Markov Zinciri ile Hata Düzeltmesi	77
3.4. Problem Tanımı	80
3.4.1. Otomotiv Endüstrisinde Tersine Tedarik Zinciri Faaliyetleri	80
3.4.1.1. Ömrünü Tamamlamış Araçların Toplanması	82
3.4.1.2. Ömrünü Tamamlamış Araçların Arındırma, Söküm ve Depolama İşlemleri	82
3.4.1.3. Ömrünü Tamamlamış Araçların İşlenmesi	83
3.4.1.4. Ömrünü Tamamlamış Araç Geçici Depolama ve İşleme Tesislerinin Asgari Teknik Özellikleri	84
3.4.2. Tersine Tedarik Zinciri Ağ Yapısı	85

3.5. Tersine Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı Çözüm Yaklaşımları	87
3.5.1. Probleme Özgü Matematiksel Model Tasarımı	87
3.5.2. Probleme Özgü Genetik Algoritma Tasarımı	93
3.5.2.1. Aday Çözüm Gösterimi	94
3.5.2.2. Uygunluk Fonksiyonu ve Seçim	97
3.5.2.3. Çaprazlama Operatörü	98
3.5.2.4. Mutasyon Operatörü	98
3.5.3. Probleme Özgü Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Tasarımı.....	100
3.5.3.1. Parçacık Gösterimi.....	101
3.5.3.2. Hız ve Pozisyon Güncelleme	101
3.6. Ömrünü Tamamlamış Araç Adedi Tahmini için Gri Tahmin Sistemi Tasarımı	105
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	112
4.1. Matematiksel Model Deneysel Sonuçları	112
4.2. Sezgisel Algoritmalar Deneysel Sonuçları	125
4.3. Ömrünü Tamamlamış Araçlar için Tersine Tedarik Zinciri Tasarımı Türkiye Uygulaması	135
4.3.1. Ömrünü Tamamlamış Araç Tahmin Sistemi.....	135
4.3.2. Uygulama İçin Gerekli Veriler	139
4.3.3. Ömrünü Tamamlamış Araçlar için Tersine Tedarik Zinciri Tasarımı Türkiye Uygulaması Sonuçları.....	144
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	151
KAYNAKLAR.....	155
EKLER.....	165
EK 1 Araç Kayıttan Düşme ve Bertaraf Formu (Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Yönetmeliği)	166
EK 2 İller Arası Mesafe Matrisi (<i>km</i>)	167
EK 3 Genetik Algoritma Parametre Analizi Deneyleri	179
EK 4 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Parametre Analizi Deneyleri	183
EK 5 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Parametre Analizi Deneyleri (Atalet Ağırlığı Doğrusal Azalan)	187
EK 6 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Parametre Analizi Deneyleri (Atalet Ağırlığı Doğrusal Olmayan Biçimde Azalan)	188

EK 7 Tüm İller İçin Tahmin Sistemi Sonuçları.....	189
EK 8 Tüm İller İçin Gelecek Dönem Tahmin Sonuçları (Adet Araç).....	192
EK 9 Bölgelerdeki Toplam Araç Sayısına Göre Alternatif İllerin Belirlenmesi (2012 Aralık).....	195
EK 10 Arsa m ² Fiyatları (2010 Yılı Asgari Ölçüde Arsa ve Arazi Metrekare Birim Değerleri) ve Tesis Açma Arsa Maliyetleri.....	199
EK 11 ÖTA-TTZ Ağ Tasarım Sonuçları (2015, 2016, 2017, 2018, 2019).....	202
ÖZGEÇMİŞ.....	206

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
D	Arama uzayı boyutu
w	Atalet ağırlığı
c_1 ve c_2	Bilişsel ve sosyal faktörler
cr	Çaprazlama oranı
J	Depolar kümesi
b_j	Depoların talebi
q	Doğrusal olmayan değişim katsayısı
n	Dönem adedi
S	Durum uzayı $i, j \in S$
er	Elitizm oranı
$X_{pf}^{(0)}$	FOGM modeli tahmin sonuçları
af, bf	Fourier katsayısı
F	Fourier veri matrisi
a	Gelişen katsayı
P	Geçiş olasılıkları matrisi
b	Gri girdi
$\varepsilon^{(0)}$	Hata serisi
U	Hata serisinin uzunluğu (dönemsel)
a_ε	Hata tahmini için oluşturulan gri modele ait gelişen katsayı
b_ε	Hata tahmini için oluşturulan gri modele ait gri girdi
P_{ij}	i durumundan j durumuna geçiş olasılığı
c_{ij}	i kaynağından j deposuna birim taşıma maliyeti
y_{ij}	i kaynağından j deposuna gönderim miktarı
f_i	i . kromozomun uygunluk değeri
p_i	i . kromozomun seçilme olasılığı
x_{id}	i . parçacığın d . boyuttaki pozisyon değeri
v_{id}	i . parçacığın d . boyuttaki hız değeri
\mathbf{P}_{eni}^i	i . parçacığın yerel en iyi pozisyon vektörü
P_{eni}^{id}	i . parçacığın d . boyuttaki yerel en iyi pozisyon değeri
x_{id}^{yeni}	i . parçacığın d . boyuttaki yeni pozisyon değeri
v_{id}^{yeni}	i . parçacığın d . boyuttaki yeni hız değeri
l	İterasyon numarası

Simgeler

L

$x^{(1)}(k)$

$z^{(1)}(k)$

$\varepsilon^{(0)}(k)$

$\varepsilon_p^{(0)}(k)$

$x_p^{(0)}(k)$

$x_{pf}^{(0)}(k)$

$\delta(k)$

$x_p^{(1)}(k+1)$

$x_p^{(0)}(k+1)$

$x_p^{(0)}(k+H)$

C

I

a_i

V

$X^{(1)}$

X_m

$X_p^{(0)}$

z

mr

$X_{po}^{(0)}$

N

x_{\max}

x_{\min}

v_{\max}

k

\mathbf{x}_i

\mathbf{v}_i

p

np

r_1 ve r_2

g_{eniyi}^d

\mathbf{g}_{eniyi}

Açıklama

Maksimum iterasyon adedi

k dönemine ait kümülatif veri serisi elemanı

k dönemine ait $Z^{(1)}$ serisi elemanı

k dönemindeki hata değeri

k dönemindeki hatanın tahmini değeri

k dönemindeki tahmini değer

k dönemindeki Fourier serisi ile düzeltilmiş tahmini değer

k . dönemin hatası için işaret değeri

$k+1$ dönemine ait tahmini kümülatif veri serisi elemanı

$k+1$ dönemine ait tahmini veri serisi elemanı

$k+H$ dönemine ait tahmini veri serisi elemanı

Katsayılar matrisi

Kaynak düğümler kümesi

Kaynakların kapasitesi

Kromozom

Kümülatif veri serisi

Markov zinciri

MFOGM modeli tahmin sonuçları

Minimum yayılım katsayısı

Mutasyon oranı

OGM modeli tahmin sonuçları

Parçacık adedi

Parçacığın alabileceği maksimum pozisyon değeri

Parçacığın alabileceği minimum pozisyon değeri

Parçacık hız sınır değeri

Parçacık hızını boyut aralığına göre sınırlandırmak için kullanılan parametre

Parçacık hız vektörü

Parçacık pozisyon vektörü

Popülasyon

Popülasyon boyutu

Rassal sayılar

Sürüdeki d . boyuttaki global en iyi pozisyon değeri

Sürüdeki global en iyi pozisyon vektörü

Simgeler

$\varepsilon_p^{(0)}$

$X_p^{(0)}$

T

f

$X^{(0)}$

B

Y

$Z^{(1)}$

α

TK

r

Açıklama

Tahmini hata serisi

Tahmini veri serisi

Transpoze operatörü

Uygunluk fonksiyonu

Veri serisi

Veri matrisi

Veri matrisi

$X^{(1)}$ 'in ardışık komşularından üretilen geçmiş veri serisi

Yatay düzeltme katsayısı

Zaman parametresi kümesi

[0,1] aralığında rassal sayı

Kısaltmalar

AHP

ANP

DM

EM

FOGM

GA

GDM

GM

MFOGM

OMYH

OGM

ÖTA

PSOA

TTZ

TM

TÜİK

ÜM

YÜM

Açıklama

Analitik Hiyerarşi Prosesi

Analytic Network Process

(Analitik Ağ Süreci)

Dağıtım Merkezi/Depo

Elden Çıkarma Merkezi

Fourier Serisi ile Düzeltilmiş Optimize Edilmiş Gri Model

Genetik Algoritma

Geri Dönüşüm Merkezi

Gri Model

Markov ve Fourier Serisi ile Düzeltilmiş Optimize Edilmiş Gri Model

Ortalama Mutlak Yüzdesel Hata

Optimize Edilmiş Gri Model

Ömrünü Tamamlamış Araç

Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması

Tersine Tedarik Zinciri

Toplama/Demontaj Merkezi

Türkiye İstatistik Kurumu

Üretim Merkezi

Yeniden Üretim/Geri Kazanım Merkezi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Olası tersine tedarik zinciri üyeleri	13
Şekil 2.2.	Tersine tedarik zinciri süreçleri.....	14
Şekil 2.3.	Ağ tasarım kararları için sistem.....	27
Şekil 2.4.	Otomotiv endüstrisinde tedarik zinciri.....	42
Şekil 2.5.	Geri dönen araç inceleme prosedürü	45
Şekil 3.1.	Genotip ve fenotiplerin adreslenmesi.....	54
Şekil 3.2.	Rulet tekerleği seçim prensibi	56
Şekil 3.3.	Turnuva seçim yöntemi prensibi	57
Şekil 3.4.	k -noktalı çaprazlama operatörü örneği.....	58
Şekil 3.5.	Uniform çaprazlama operatörü örneği	59
Şekil 3.6.	Uniform sıra tabanlı çaprazlama operatörü örneği.....	59
Şekil 3.7.	Sıra tabanlı çaprazlama operatörü örneği.....	60
Şekil 3.8.	Ters çevirme çaprazlama operatörü örneği.....	60
Şekil 3.9.	Mutasyon operatörleri örneği.....	61
Şekil 3.10.	Uygunluk fonksiyonunun iterasyonlar boyunca gelişim eğrisi.....	62
Şekil 3.11.	Genetik algoritma adımları.....	63
Şekil 3.12.	Parçacık sürü optimizasyonunda parçacık hareketi.....	65
Şekil 3.13.	Parçacık hız ve konum güncellemesi	66
Şekil 3.14.	Parçacık hızının yükselme eğilimi	68
Şekil 3.15.	Parçacık sürü optimizasyon algoritması adımları	69
Şekil 3.16.	Ömrünü tamamlamış araç tersine tedarik zinciri faaliyetleri yapısı.....	81
Şekil 3.17.	Ömrünün tamamlamış araçlar için tersine tedarik zinciri ağ modeli	86
Şekil 3.18.	Öncelik tabanlı kromozom gösterimi algoritması	95
Şekil 3.19.	Örnek kromozom gösterimi.....	96
Şekil 3.20.	Öncelik tabanlı kromozom gösterimi çözüm algoritması	97
Şekil 3.21.	Çaprazlama operatörü örneği	98
Şekil 3.22.	Mutasyon operatörü örneği	99
Şekil 3.23.	Tasarlanan genetik algoritma sözel kodu.....	99
Şekil 3.24.	Örnek bir parçacık sürü gösterimi	101
Şekil 3.25.	Parçacık pozisyonu güncelleme algoritması	102
Şekil 3.26.	Parçacık pozisyonu güncelleme örneği	103
Şekil 3.27.	Önerilen parçacık sürü optimizasyon algoritması sözel kodu	104
Şekil 3.28.	GM (1,1) modeli uygulama adımları	106
Şekil 3.29.	Bazı iller için geçmiş yıllara ait ömrünü tamamlamış araç adedi verileri.....	107
Şekil 3.30.	Optimize edilmiş gri model (OGM) uygulama adımları.....	108
Şekil 3.31.	Fourier serisi ile düzeltilmiş ve optimize edilmiş gri model (FOGM) uygulama adımları.....	108
Şekil 3.32.	Markov ve Fourier serisi ile düzeltilmiş optimize edilmiş gri model (MFOGM) uygulama adımları	109
Şekil 3.33.	Önerilen tahmin sisteminin uygulama adımları	110
Şekil 3.34.	Önerilen tahmin sisteminin yapısı.....	111
Şekil 4.1.	Elden çıkarma oranının amaç fonksiyonuna etkisi.....	115
Şekil 4.2.	Taşıma maliyetlerinin açılan tesis adedine etkisi.....	116

Şekil 4.3. Taşıma maliyetlerinin amaç fonksiyonuna etkisi.....	117
Şekil 4.4. Kapasite değişimlerinin açılan tesis adedine etkisi.....	117
Şekil 4.5. Kapasite değişimlerinin amaç fonksiyonuna etkisi.....	118
Şekil 4.6. Elden çıkarma maliyeti ve geri kazanım değerinin amaç fonksiyonuna etkisi.....	119
Şekil 4.7. Açılan tesis ve kullanılan merkezlerin dağılımı.....	122
Şekil 4.8. Birinci dönem için aşamalar arası akış miktarı	123
Şekil 4.9. İkinci dönem için aşamalar arası akış miktarı	123
Şekil 4.10. Üçüncü dönem için aşamalar arası akış miktarı.....	124
Şekil 4.11. Genetik algoritma parametre analizi	125
Şekil 4.12. Parçacık sürü optimizasyon algoritması parametre analizi	126
Şekil 4.13. Parçacık sürü optimizasyon algoritması parametre analizi (Doğrusal azalan atalet ağırlığı).....	127
Şekil 4.14. Parçacık sürü optimizasyon algoritması parametre analizi (Doğrusal olmayan biçimde azalan atalet ağırlığı)	127
Şekil 4.15. Problem seti 1 için matematiksel model ile elde edilen optimum tersine tedarik zinciri ağı.....	130
Şekil 4.16. Problem seti 1 için genetik algoritma ile oluşturulan tersine tedarik zinciri ağı.....	131
Şekil 4.17. Problem seti 1 için parçacık sürü algoritması ile oluşturulan tersine tedarik zinciri ağı.....	131
Şekil 4.18. Uygunluk fonksiyonu değerinin iterasyonlar boyunca gelişimi (PS 1).....	133
Şekil 4.19. Uygunluk fonksiyonu değerinin iterasyonlar boyunca gelişimi (PS 5)	134
Şekil 4.20. Uygunluk fonksiyonu değerinin iterasyonlar boyunca gelişimi (PS 10).....	134
Şekil 4.21. Toplama merkezleri ve sökülüm/ara depolama tesisleri arası araç akışı	148
Şekil 4.22. Sökülüm/ara depolama tesislerinden araç, parça ve malzeme akışı.....	149
Şekil 4.23. İşleme tesislerinden malzeme akışı.....	150

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1.	Ürün geri kazanım seçeneklerinin karşılaştırması.....	16
Çizelge 2.2.	Tersine tedarik zinciri gerekçeleri ve güçlükler.....	19
Çizelge 2.3.	Tersine ve ileri tedarik zinciri arasındaki farklar.....	21
Çizelge 2.4.	Tersine tedarik zincirinde performans ölçütleri.....	25
Çizelge 2.5.	Literatürde karşılaşılan tersine tedarik zinciri ağı tasarımı problem Tipleri.....	38
Çizelge 2.6.	Tersine tedarik zinciri ağı tasarımı probleminde kullanılan yöntemler.....	40
Çizelge 2.7.	Tersine tedarik zinciri ağı tasarımı probleminin uygulandığı alanlar.....	41
Çizelge 2.8.	Araç parça ve bileşenleri için geri kazanım alternatifleri.....	46
Çizelge 4.1.	Test problem setleri.....	113
Çizelge 4.2.	Test problem verileri.....	113
Çizelge 4.3.	Test problem setlerinin sonuçları.....	114
Çizelge 4.4.	Elden çıkarma maliyeti ve geri kazanım değeri için tanımlanan Durumlar.....	119
Çizelge 4.5.	Her aşama için aday iller.....	120
Çizelge 4.6.	Örnek problem için toplama merkezlerine gelen ömrünü tamamlamış araç adetleri.....	121
Çizelge 4.7.	İç Anadolu Bölgesi örnek problemi için matematiksel model Sonuçları.....	124
Çizelge 4.8.	Örnek problem verileri.....	128
Çizelge 4.9.	Örnek problem setleri.....	129
Çizelge 4.10.	Örnek problemlerin sonuçları.....	130
Çizelge 4.11.	Örnek problem seti boyutları.....	132
Çizelge 4.12.	Örnek problem setleri sonuçları.....	133
Çizelge 4.13.	Tahmin doğruluğu için önerilen OMYH referans değerleri.....	135
Çizelge 4.14.	Nevşehir ili için tahmin sistemi sonuçları.....	136
Çizelge 4.15.	Kocaeli ili için tahmin sistemi sonuçları.....	137
Çizelge 4.16.	Gümüşhane ili için tahmin sistemi sonuçları.....	137
Çizelge 4.17.	OMYH oranı yüksek olan illerin detaylı sonuçları.....	138
Çizelge 4.18.	Söküm/ara depolama tesisleri için aday iller.....	140
Çizelge 4.19.	İşleme tesisleri, geri dönüşüm/geri kazanım ve elden çıkarma merkezleri için aday iller.....	141
Çizelge 4.20.	Açılan söküm/ara depolama tesisleri ve atanan toplama merkezleri.....	145
Çizelge 4.21.	Açılan işleme tesisleri ve atanan söküm ara/depolama tesisleri.....	146
Çizelge 4.22.	Söküm/ara depolama tesisleri ve atanan elden çıkarma merkezleri.....	146
Çizelge 4.23.	İşleme tesisleri ve atanan geri dönüşüm/geri kazanım ve elden çıkarma merkezleri.....	146

1. GİRİŞ

Küreselleşen dünyada artan çevresel ve sosyal kaygılar nedeniyle yeşil tedarik zinciri yönetimi son yıllarda iş ve araştırma dünyasında giderek artan bir ilgiye sahiptir. Srivasta (2008) yeşil tedarik zinciri yönetimini; ürün tasarımı, malzeme tedariki ve seçimi, üretim işlemleri, bitmiş ürünün müşteriye teslimatı gibi operasyonları içeren tedarik zinciri yönetimine çevreci düşüncenin bütünleştirilmesi olarak tanımlamıştır. Ek olarak, yararlı ömrünün sonundaki ürünlerin yönetimini de yeşil tedarik zincirine dahil etmiştir. Yeşil tedarik zinciri yönetimi operasyonları içinde tersine tedarik zinciri (TTZ) stratejik bir öneme sahiptir. TTZ'nin tanınması ve uygulanmaya başlanması, ağ tasarımı, ulaştırma, kullanılmış ürünün seçimi, tedarikçilerin değerlendirilmesi, pazarlama, yeniden üretim, söküm ve ürün toplama yönetimi gibi pek çok alanda çalışma fırsatı yaratmıştır (Gupta 2013).

Yürürlüğe giren sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm ile ilgili yönetmelikler, müşteri farkındalığı, sosyal sorumluluklar ve ekonomik faydalar üretici firmaları çevreye duyarlı stratejiler uygulamaya ve ömrünün sonundaki ürünlerinin sorumluluğunu almaya zorlamaktadır. Çevre dostu ürünler üretilmesi, geri dönüşüm uygulamaları, geri dönüşüm uygulamalarının yaygınlaştırılması ve geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı bu noktada uygulanabilecek çevreye duyarlı stratejilerdendir. Gelişen teknoloji ile birlikte, son yıllarda, kullanım ömrünün sonundaki otomobil, beyaz eşya, cep telefonu, kişisel bilgisayar vb. ürünlerde oluşan artış bu ürünlerin geri alınması, geri kazanımı ve geri dönüşümü faaliyetlerinin yönetilmesine hayati önem katmıştır. İyi yönetilen bir TTZ ağı, hem işletmelerin maliyetlerinde düşüş elde etmelerine, hem de müşterilerinin gözünde iyi bir imaj oluşturmalarına katkı sağlamaktadır (Srivasta 2008).

Ürün odaklı yönetmelikler pek çok endüstri alanını etkilemektedir. Dünyadaki en büyük sektörlerden biri olan otomotiv sektöründe de gelişen teknolojiler ile birlikte üretim aşamasında ve araçların kullanımı sırasında çevreye olan zararların en aza indirilmesi gerekmektedir. Yeni araçların ve bunlara ait malzeme ve parçaların tasarım ve üretimi, araç ömrünü tamamladıktan sonra sökümünü, yeniden kullanımını, geri kazanımını ve geri dönüşümünü kolaylaştıracak şekilde yapılmalıdır. Çevre ve insan sağlığını

korumak adına araçlardan kaynaklanan atıkların oluşumunun engellenmesi gerekmektedir. Eski veya hurdaya çıkan araçların ise çevreye olan zararları sebebiyle kullanılmaması ve bu araçlara ait parçaların geri kazanım, tekrar kullanım, geri dönüşüm veya bertaraf işlemlerinin yapılması gerekmektedir.

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı (2011 itibariyle T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı), 30 Aralık 2009 tarihinde 27448 sayılı resmi gazete ile Ömrünü Tamamlamış Araçların (ÖTA) kontrolü hakkında yönetmelik yayımlamıştır. Bu yönetmelikte amaç, araçlardan kaynaklanan atıkların oluşumunu engellemek, ÖTA'lar ve bunlara ait parçaların yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım işlemleri ile bertaraf edilecek atık miktarını azaltmak, ekonomik operatörlerin ve geçici depolama alanlarının tabi olacakları standartları ve yükümlülükleri belirlemektir. 1 Ocak 2011 tarihinde uygulanmaya başlayan yönetmelik ile birlikte ÖTA'ların geri kazanım ve geri dönüşüm faaliyetlerinin yapılabilmesi için gerekli olan geçici depolama alanı, işleme tesisi gibi tesislerin açılacağı yerler ve bu tesisler arasındaki taşımalar önem kazanmıştır.

Yapılan tez çalışmasının amacı Türkiye'de otomotiv endüstrisine yönelik TTZ ağ tasarımı yapmak ve ÖTA kontrol yönetmeliğine göre TTZ uygulamalarının yönetimine katkıda bulunmaktır. Çok aşamalı TTZ ağ tasarımı, uygun yöntemler kullanılarak ÖTA'ların geri kazanım ve geri dönüşüm işlemlerinin yapılacağı tesislerin, hangilerinin nereye açılacağına ve bu tesisler arasında gerçekleşecek taşıma miktarlarına karar verilecektir. Ayrıca TTZ ağının yönetiminde, önümüzdeki yıllar için ağa giriş yapacak ÖTA adedini tahmin edebilmek, tasarlanacak ağın başarısını arttırarak daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Tez çalışması kapsamında, uygun yöntemler kullanılarak önümüzdeki yıllar için tüketim noktalarına teslim edilebilecek ÖTA adedi tahmin çalışması yapılarak TTZ ağı tasarımı çalışmalarına bütünleştirilmiştir.

Literatürde TTZ ağı tasarımı ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde uygulamaların daha çok varsayımsal veya betimsel uygulamalar içerdiği, betimsel uygulamaların dışında farklı sektörlere ait örnek olayların yer aldığı çalışmalarda ise yaygın olarak elektrik-elektronik sektörüne ait uygulamaların yapıldığı, bunun dışında beyaz eşya,

plastik, lastik, cam, kağıt, kum gibi ürünlerin çalışıldığı görülmektedir. Otomotiv endüstrisine yönelik yapılan çalışmalarda ise, TTZ ağ tasarımının çoğunlukla kavramsal olarak incelendiği, uygulamaya ve model geliştirmeye yönelik çalışmaların sınırlı sayıda olduğu gözlenmiştir. Tez çalışmasında, ÖTA'ların TTZ ağı tasarımı için geliştirilen matematiksel model ve önerilen çözüm yaklaşımları olan genetik algoritma (GA) ve parçacık sürü optimizasyon algoritmasının (PSOA) ve yapılan Türkiye uygulamasının literatürdeki bu eksikliği gidereceği ve literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca tez çalışmasında önerilen PSOA'nın, TTZ ağ tasarımı problemine uygulandığı çalışmalara ve gri modellemenin ömrünü tamamlamış ürün adedi tahminine uygulandığı çalışmalara literatürde rastlanmamıştır. Tez çalışması, önerilen aday çözüm gösterimi ile probleme özgü tasarlanan PSOA ve PSOA'da geliştirilen gösterime uygun operatörler ile ve önerilen gri modelleme tabanlı tahmin sistemi ile literatüre katkı sağlayacaktır.

Yapılan tez çalışması çevreye duyarlı bir strateji ile Türkiye'de ÖTA'ların geri kazanım faaliyetlerinin yönetilmesine katkı sağlayacaktır. Bunun yanı sıra TTZ ağının tasarımını ve planlanmasını yaparak kazanılan ekonomik değerler ile Türkiye ekonomisine yapılacak katkıyı arttıracak, önümüzdeki yıllar için oluşacak ÖTA adedindeki değişimler hakkında kullanıcılara yol gösterecek ve tüm sürecin ÖTA kontrol yönetmeliğine uygun olarak yürütülmesini sağlayacaktır.

Bu tez çalışması kapsamında, Bölüm 2'de, TTZ kavramı, TTZ'nin işleyişi, önemi, TTZ aktiviteleri, TTZ'de ağ tasarımı açıklanmış ve literatürde karşılaşılan TTZ ağ tasarımı problemi ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir. Bölüm 3'de, TTZ'de ağ tasarımı probleminin çözümü için önerilen yöntemler olan GA ve PSOA ve ÖTA adedi tahmini için önerilen yöntem olan gri sistem teorisi açıklanmıştır. Ardından çalışılan TTZ'de ağ tasarımı problemi detaylı olarak açıklanarak probleme özgü tasarlanan matematiksel model, GA ve PSOA'ya yer verilmiş ve ÖTA adedi tahmini için geliştirilen tahmin sistemi açıklanmıştır. Bölüm 4'de, önerilen yöntemler ile elde edilen araştırma bulgularına yer verilerek, Türkiye'de TTZ ağ tasarımı uygulaması kapsamında ÖTA adedi tahmin çalışması ve ağ tasarım sonuçları verilmiştir. Bölüm 5'de ise tez çalışması sonucu elde edilen genel sonuçlar tartışılmış ve elde edilen kazanımlar özetlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tez çalışmasının bu bölümünde öncelikle TTZ kavramının gelişimi ve tanımları, TTZ'nin işleyişi, önemi, ürün geri dönüşlerinin sebepleri, TTZ aktiviteleri açıklanmış ve TTZ'nin ileri tedarik zincirinden farkları tanımlanmıştır. Daha sonra, literatürde TTZ ile ilgili araştırma alanları belirtilerek, TTZ'de ağ tasarımı hakkında bilgi verilmiş, TTZ'de ağ tasarımı problemlerine yönelik literatürde rastlanan çalışmalara yer verilmiş ve bu çalışmalar inceledikleri problem tiplerine, uygulama alanlarına ve önerilen çözüm yaklaşımlarına göre sınıflandırılmıştır. Son olarak, otomotiv endüstrisinde TTZ faaliyetleri hakkında bilgi verilmiştir.

2.1. Tersine Lojistik ve Tersine Tedarik Zinciri Kavramları

Tersine lojistik ve TTZ kavramlarının uzun yıllardır süre gelen bir tarihi olsa da, kavramların doğru bir şekilde isimlendirilmesi zor olmuştur. 1970'li yıllarda, Tersine Akış, Tersine Kanallar gibi terimler kullanılmıştır. Stock (1992)'un belirttiğine göre tersine lojistik ile ilgili bilinen ilk tanım 1990'lı yılların başında Lojistik Yönetimi Konseyi tarafından yapılmıştır. Tersine lojistik, geri dönüşüm, atıkların elden çıkarılması ve zararlı maddelerin yönetiminde lojistiğin rolü, daha geniş anlamda kaynak azaltımı, geri dönüşüm, malzeme ikamesi, malzemelerin yeniden kullanımı ve elden çıkarılmasında gerçekleştirilen lojistik aktiviteler olarak tanımlanmıştır (De Brito ve Dekker 2002).

Fleischmann ve ark. (1997) ise tersine lojistiği, kullanıcıya artık gerekmeyen kullanılmış üründen, pazarda yeniden kullanılabilen ürüne kadar olan tüm lojistik aktivitelerini kapsayan bir süreç olarak tanımlamıştır. Bu tanıma göre tersine lojistik, dağıtım planlaması açısından, kullanılmış ürünün son kullanıcıdan üreticiye doğru fiziksel nakliyesini içermektedir. Sonraki adım, geri dönmüş ürünün üretici tarafından yeniden kullanılabilir ürün haline dönüştürülmesidir.

Tersine lojistik atık yönetiminden farklıdır. Atık yönetimi, atıkların etkin bir şekilde toplanması ve işlenmesini ifade etmektedir, yeniden kullanımı içermemektedir (De Brito ve Dekker 2002).

Dowlatshahi (2000) tersine lojistiği olası geri dönüşüm, yeniden üretim ve elden çıkarma işlemleri için ürünlerin son tüketim noktasından, üretim merkezine doğru sistematik hareketi olarak tanımlamıştır. Tersine lojistik sistemi, geri dönüşüm, yeniden üretim ve elden çıkarma işlemlerinde ürün ve parça akışının yönetimi için yeniden tasarlanmış bir tedarik zincirini ifade etmektedir (Dowlatshahi 2000).

Yukarıda verilen tanımlarda da görülebildiği gibi, literatürde, kullanılmış veya ömrünün sonundaki ürünlerin geri kazanım, geri dönüşüm ve elden çıkarma faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde yürütülen lojistik faaliyetler çoğunlukla tersine lojistik olarak tanımlanmakta, hatta tersine lojistik ve TTZ kavramları birbirlerinin yerine kullanılarak eş anlamlı kabul edilmektedir. Fakat tersine lojistik ve TTZ kavramları arasında ince bir fark vardır. Ürünlerin son tüketim noktasından geri kazanım, yeniden üretim veya elden çıkarma faaliyetleri için tersine akışını, tedarik zinciri süreci olarak değerlendirmek lojistik ve tedarik zinciri tanımlarına göre daha doğru bir yaklaşımdır. Lojistik, tedarik zincirinin bir parçasıdır. Tedarik Zinciri Yönetimi Profesyonelleri Konseyi, 1998 yılında tedarik zinciri sürecinin bir parçası olan lojistiği, ürün, hizmet veya bilginin, bir kaynak noktasından bir tüketim noktasına, doğru ve etkin bir şekilde akışı ve depolanmasının planlanması, uygulanması ve kontrolü olarak tanımlamıştır (Lambert ve Cooper 2000). Tedarik zinciri yönetimi, Global Tedarik Zinciri Forumu tarafından, son kullanıcıdan tedarikçiye kadar ürün, hizmet ve bilgi sağlayan ve değer katan tüm kritik iş süreçlerinin entegrasyonu olarak tanımlanmıştır (Lambert ve Cooper 2000). Tedarik zinciri ise, bir ürünün pazara ulaşmasında katkı sağlayan organizasyonların tamamından oluşan bir ağıdır. Bu tanımlar doğrultusunda, tez çalışması kapsamında ömrünü tamamlamış ve kullanılmış ürünlerin toplama, geri kazanım, söküm, depolama, yeniden üretim, yeniden satış veya elden çıkarma işlemlerinin tamamı TTZ süreci olarak kabul edilecek ve bu kavram kullanılacaktır.

Guide ve Van Wassenhove (2002) TTZ'yi, kullanılmış ürünlerin müşteriden toplanması ve tekrar kullanım veya elden çıkarma işlemleri için gerekli aktiviteler serisi olarak tanımlamıştır. TTZ'deki kritik süreçler ise, kullanılmış ürünlerin toplanması, tersine lojistik, kontrol ve sınıflandırma, yeniden üretim veya yenileme ve pazarlama olarak tanımlanmıştır (Guide ve Van Wassenhove 2002). Ürünlerin tüketim noktasından tedarikçiye doğru akışını içeren TTZ'de, kullanılmış ve yararlı ömrünün sonundaki ürünlerden maksimum değer elde etmek ve tersine lojistik maliyetlerini azaltmak hedeflenmektedir (Kannan ve ark 2010).

2.2. Tersine Tedarik Zinciri Sistemi, İşleyişi ve Aktiviteleri

TTZ sisteminin tasarımı için sistemin girdilerinin, sistemdeki belirsizliklerin, zincire geri dönüş yapan ürünlerin yapısının, geri kazanım seçeneklerinin ve olası pazarların doğru bir şekilde incelenmesi ve tanımlanması gerekmektedir.

2.2.1. Ürün Geri Dönüşlerinin Sebepleri

TTZ, ürünlerin tedarik zincirine geri dönmesi veya geri dönüşüm için çağırılmasıyla başlamaktadır. Ürün geri dönüşlerinin sebeplerini farklı araştırmacılar farklı şekilde sınıflandırmışlardır.

De Brito ve Dekker (2002) ürünlerin geri dönüşlerinin nedenlerini tedarik zinciri hiyerarşisine bağlı kalarak üç ana başlıkta açıklamıştır; üretim geri dönüşleri, dağıtım geri dönüşleri ve müşteri/kullanıcı geri dönüşleri.

- Üretim geri dönüşleri, ürün veya bileşenlerin üretim aşamasında kurtarılabileceği geri dönüşleri tanımlamaktadır. Üretim geri dönüşleri, kalite kontrolünü geçemeyen bitmiş veya ara ürünler, üretim sonucu artan ürünler, hammadde fazlalığı gibi durumlarda gerçekleşmektedir.
- Dağıtım geri dönüşleri, bitmiş ürünün dağıtım aşamasında tedarik zincirindeki bir üye tarafından başlatılan ürün geri dönüşlerini ifade etmektedir. Dağıtım

geri dönüşleri, ürün geri çağırma, ticari geri dönüşler, stok anlaşmaları ve fonksiyonel geri dönüşlerden oluşmaktadır. Ürün geri çağırma, sağlık veya güvenlik sebebiyle toplanan ürünleri ifade etmektedir. Ticari geri dönüşler, satın alma sözleşmelerine bağlı olarak hatalı veya zarar görmüş teslimatlar, satılmamış yani kullanım süresi dolmuş ürünlerin geri dönüşleri ile sezon sonu ürün geri dönüşlerinden oluşmaktadır. Stok anlaşmaları kaynaklı geri dönüşler, zincirdeki bir üyenin, stokları depolar veya mağazalar arasında tekrar dağıtması durumunu ifade etmektedir. Fonksiyonel geri dönüşler ise, kullanım fonksiyonu gereği tedarik zincirinde geri dönen ürünleri ifade etmektedir. Fonksiyonel geri dönüşler için en belirgin örnek, dağıtımda taşıyıcı olarak kullanılan paletlerdir.

- Müşteri/kullanıcı geri dönüşleri, müşteri veya kullanıcıdan tüketim veya kullanım sonucu gerçekleşen geri dönüşleri ifade etmektedir. Müşteri/kullanıcı geri dönüşleri, garanti ve servis geri dönüşleri, kullanım sonu ve ömür sonu geri dönüşleri ve iade garantisi kaynaklı geri dönüşlerden oluşmaktadır. Garanti ve servis geri dönüşleri, garanti süresince vaat edilen kalite standardını taşımayan ürünlerin tamir veya ürünün ikamesi ile değişimi için gerçekleşen geri dönüşlerini ifade etmektedir. Kullanım sonu ürün geri dönüşleri, kullanıcının ürün yaşam çevriminde bir aşamada ürünü geri gönderdiği durumlardır. Genellikle kiralanmış ve iade edilebilir şişe gibi ürünlerde karşılaşılan ürün geri dönüşüdür. Ömür sonu ürün geri dönüşleri, ekonomik ve fiziksel olarak yararlı ömrünün sonundaki ürünlerin geri dönüşlerini ifade etmektedir. Ömür sonu geri dönüşleri, yasal düzenlemeler gereği orijinal üreticilere veya geri kazanım işlemleri için farklı firmalara olabilmektedir. İade garantisi kaynaklı geri dönüşler ise, müşterilerin ürünü satın aldıktan kısa bir süre sonra fikir değişikliği veya beklentinin karşılanmaması gibi sebeplerle ürünü iade etmesiyle oluşan geri dönüşlerdir.

Thierry ve ark. (1995) ürün geri dönüşlerinin sebeplerini üç kategoride açıklamıştır: yasal düzenleme gereği kullanılmış ürün geri dönüşü, kira sonu ürün geri dönüşleri ve arızalı ürün geri dönüşleri.

- Yasal düzenleme gereği kullanılmış ürün geri dönüşü, kullanılmış ürünlerin yasa veya sözleşme gereği üreticiler tarafından geri alındığı ürün geri dönüşü tipidir.
- Kira sonu ürün geri dönüşleri, anlaşılan sözleşme gereği tanımlanan süre sonunda ürünlerin üreticiye geri döndüğü ürün geri dönüş tipidir.
- Arızalı ürün geri dönüşü, servis sözleşmelerine ve ürün garantilerine bağlı olarak gerçekleşen ürün geri dönüşleridir.

Guide ve Van Wassenhove (2009) ürün geri dönüşlerini, ticari, kullanım sonu, ömür sonu ve tamir/garanti dönüşü olmak üzere dört kategoride sınıflandırmıştır.

- Ticari geri dönüşler, tüketicilerden, satıcıya geri dönen ürünleri açıklamaktadır.
- Kullanım sonu ürün geri dönüşleri, ürünün teknolojik olarak yükseltilmiş bir versiyon ile değişmesi durumunda oluşmaktadır.
- Ömür sonu ürün geri dönüşleri, teknolojik olarak eskimiş ve mevcut kullanıcıya herhangi bir yararı kalmamış ürünlerin geri dönüşlerini açıklamaktadır.
- Tamir/garanti geri dönüşleri, ürün yaşam çevrimi boyunca gerçekleşen servis ve garanti geri dönüşlerini açıklamaktadır.

2.2.2. Geri Dönen Ürün Özellikleri

Geri dönen ürünlerin özelliklerini ve tiplerini bilmek, ürün geri kazanımının cazip veya zorunlu olduğu durumları tanımlamak TTZ tasarımında önemli bir bakış açısı kazandırmaktadır. De Brito ve Dekker (2002) ürünlerin geri kazanımla ilgili özelliklerini üç kategoride açıklamıştır: ürün bileşimi, ürün kullanım biçimi ve ürünün yıpranma durumu.

2.2.2.1. Ürün Bileşimi

Ürün bileşimi ile ilgili özellikler, ürün tasarımı sırasında belirlenmektedir ve ürünün yapısal özellikleridir. Bu özellikler çoğunlukla, TTZ ekonomisini etkilemekte ve ürünün

sökülüp parçalarının geri kazanımının yapılmasının mı, yoksa ürün yapısının bozulup malzeme geri dönüşümün yapılmasının mı daha karlı olacağını belirlenmesini sağlamaktadır. Ürün bileşiminde, dört önemli özellik öne çıkmaktadır:

- Söküm kolaylığı
- Ürünü oluşturan elemanların homojenliği
- Zararlı maddelerin varlığı
- Taşıma kolaylığı

Ürün bileşimindeki bu özellikler, ürün tasarımında geri kazanım seçeneklerinin dikkate alınmasının önemini de vurgulamaktadır (De Brito ve Dekker 2002).

2.2.2.2. Ürün Kullanım Biçimi

Ürünün kullanım biçimi, ürünlerin toplanmasını etkilemektedir ve ürünlerdeki kullanıma bağlı yıpranma ile doğrudan ilişkilidir. Ürünün kullanım biçiminin iki temel özelliği mevcuttur; kullanım yeri, kullanım yoğunluğu ve süresi. Ürünlerin kullanım yerlerinin sayısı arttıkça ürün toplama işlemi zorlaşmaktadır ve kullanım yerleri toplama işleminin maliyetini belirlemektedir. Kullanımın yoğunluğu ve süresi ise geri dönen ürünün kalite seviyesini ve tekrar kullanılabilirliğini etkilemektedir (De Brito ve Dekker 2002).

2.2.2.3. Ürünün Yıpranma Durumu

Ürünün yıpranma veya eskime ile ilgili özellikleri, ürünün veya parçalarının tekrar kullanılabilir fonksiyonelliğini sürdürüp sürdürmediğini belirlemektedir. Bu özellikler geri kazanım ve elden geçirme alternatiflerini de doğrudan etkilemektedir. Geri dönen ürünlerin yıpranması ile ilgili dört temel özellik mevcuttur:

- İçsel yıpranma
- Tamir edilebilme
- Yıpranmanın homojenliği

- Ekonomik yıpranma

İçsel yıpranma, ürünün kullanım süresince ne kadar hızlı yıprandığı ile ilgilidir. Ürünün içsel yıpranması, geri kazanım seçeneklerini etkilemektedir. Tamir edilebilme, ürünün kolayca tamir edilebilmesi veya daha iyi bir duruma getirilerek kalitesinin iyileştirilmesi ile ilgilidir. Bu özellik, servis ve garanti dönüşlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Ürünlerdeki yıpranmanın homojenliği, ürünlerdeki tüm parçaların aynı seviyede yıpranıp yıpranmadığı ile ilgilidir. Ekonomik yıpranma ise pazarda var olan yeni ürünlere bağlı olarak ürünün eskiyip eskimediği veya fonksiyonelliğini kaybedip kaybetmediği ile ilgilidir (De Brito ve Dekker 2002).

2.2.3. Tersine Tedarik Zinciri için Gerekli Bilgiler

TTZ, ürünlerin tedarik zincirine geri dönmesi ile başlamaktadır. Firmaların, geri dönen ürünleri kabul etme aşamasında, ürünün bileşimi, geri dönen ürün akışının büyüklüğü ve belirsizliği, yeniden işlenmiş ürün, bileşen ve materyallerin pazarı, fiili ürün geri alma ve atık yönetimi operasyonları hakkında bilgi edinmeleri gerekmektedir (Thierry ve ark. 1995).

2.2.3.1. Ürün Bileşimi

Ürün bilgisi kategorisi üretilen ürünlerin bileşimi hakkında bilgi gerektirmektedir. Toplanan bilgiler, farklı malzeme tiplerinin analizi, miktarları, değerleri, potansiyel zararları, farklı bileşen ve malzemelerin nasıl birleştirildikleri gibi bilgiler içermelidir. Bu bilgilere ek olarak, farklı ürün geri kazanım seçeneklerinin teknik fizibilite analizi ve ilgili ürün, bileşen veya malzeme için uyulması gereken yasal düzenlemeler olup olmadığı belirlenmelidir (Thierry ve ark. 1995).

2.2.3.2. Geri Dönen Ürün Akışının Belirsizliği ve Büyüklüğü

Tedarik zincirine geri dönen kullanılmış ürünler için gerekli olan ikinci bilgi kategorisi, kullanılmış ürün, bileşen veya malzemelerin tedarik tarafıyla ilgilidir. Geri dönen ürün

akışındaki belirsizlikler dikkatlice analiz edilmelidir. Farklı tipteki ürün geri dönüşleri farklı özellikler taşıyabilmektedir. Örneğin, üretici firmaların ömür sonunda ürünlerini müşteriden almak zorunda olduğu durumda, kullanılmış ve yararlı ömrünün sonuna gelmiş ürün miktarını doğru bir şekilde tahmin edebilmek oldukça zordur. Kiralanmış ürünlerin kira sonunda üreticiye döndüğü durumu kapsayan ürün geri dönüşünde ise geri dönecek ürün adedi veya zamanı sözleşme içeriğinde tanımlandığı için doğru bir şekilde tahmin edilebilmektedir, fakat geri dönen ürünün kalitesini doğru bir şekilde tahmin edebilmek oldukça zordur. Teknik arızalı ürünlerin geri dönüşünde ise ürün geri dönüşlerinin miktarı, servis sözleşmesine, ürün garantisine ve müşteride ürünün tamir edilebilmesine göre değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca arızalı ürün geri dönüşlerinin tahmininde ürünün yapısı da kritik bir faktördür. Elektronik ürünler zaman içerisinde rassal bir arızalanma eğilimi gösterirken, mekanik ürünlerin arızalanma eğilimi kullanım yılına göre değişmektedir (Thierry ve ark. 1995).

2.2.3.3. Yeniden İşlenmiş Ürün ve Malzeme Pazarı

Kullanılmış ürünler için talep bazında potansiyel pazar değerlendirmesi yapılmalıdır. Kullanılmış ürünlerin pazarda kendilerine yer bulabilmesi büyük oranda kullanılmış ve yeni ürün arasındaki kalite ve maliyet farkına dayanmaktadır. Ürün veya malzemeler, üretici firmanın kendisi, tedarik zincirindeki diğer firmalar veya zincir dışından farklı firmalar tarafından tekrar kullanılabilir (Thierry ve ark. 1995).

2.2.3.4. Ürün Geri Kazanım ve Atık Yönetimi Operasyonları

Tedarik zincirine geri dönen kullanılmış ürünler için, ürün geri kazanım ve atık yönetimi operasyonları doğru bir şekilde analiz edilmelidir. Bu operasyonların hangi firmalar tarafından yapıldığı, eğer varsa ne tür engellerle karşılaşılacağı, maliyetleri ve gelirleri, her bir geri kazanım ve atık yönetimi operasyonunda işlem göreceği ürün miktarı ve tüm bu süreçlerin çevreye olan etkisi değerlendirilmelidir (Thierry ve ark. 1995).

2.2.4. Tersine Tedarik Zinciri Aktiviteleri

Guide ve Van Wassenhove (2002) TTZ sürecinde gerçekleştirilen aktiviteleri beş temel adıma ayırmıştır; ürünün toplanması, tersine lojistik, kontrol ve sınıflandırma, elden geçirme, dağıtım ve satış.

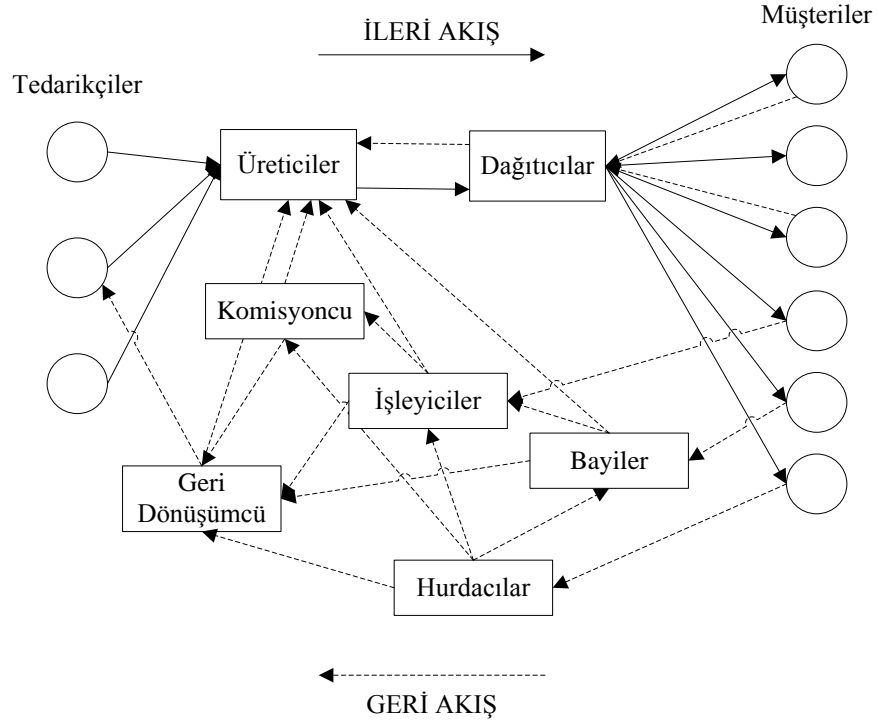
2.2.4.1. Toplama

Toplama, ürünlerin müşteriden alınması işlemidir. Yaygın olarak karşılaşılan üç ürün toplama kaynağı bulunmaktadır; ürünlerin ileri tedarik zinciri yoluyla toplanması, kurulmuş TTZ yolu ile toplanması veya atık akışı yolu ile toplanması.

İleri tedarik zinciri yolu ile ürünlerin toplanması, ürün geri çağırımları ve hatalı veya zarar görmüş ürünlerin geri dönüşünü içermektedir. Pazar odaklı, mevcut TTZ ile ürünlerin toplanması ise depozitolu, kira sonu ürün geri dönüşleri gibi anlaşmalı ürün geri dönüşlerini kapsamaktadır. Bu tip ürün toplamada, genellikle belli bir kalite seviyesinde ürünler toplanmakta, kalite seviyesindeki değişkenlik düşük olmakta ve ürünleri elden geçirme ve geri kazanımın ekonomik değeri yüksek olmaktadır. TTZ’de, ileri tedarik zinciri ile aynı üyeler olabileceği gibi genellikle tersine akış alternatif üyelerle desteklenmektedir (Prahinski ve Kocabaşoğlu 2006). TTZ’de yer alabilecek alternatif üyeler Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Atık akışı yolu ile toplanan ürünler, atılmış fakat geri kazanım değeri olan ürünlerden oluşmaktadır. Atık akışı yolu ile toplanan ürünlerin değişkenliği yüksek olduğu için bu ürünlerin kalitesi ve varlığı ya da adedi bilgisi önceden bilinmemektedir (Prahinski ve Kocabaşoğlu 2006).

Ürünlerin toplanması, oluşturulan zincirin karlılığının artırılmasında kritik bir aktivitedir. Ürün geri dönüşlerinin, kalitesi, miktarı ve zamanlaması dikkatlice yönetilmelidir (Guide ve Van Wassenhove 2002).



Şekil 2.1. Olası tersine tedarik zinciri üyeleri (Prahinski ve Kocabaşoğlu 2006)

2.2.4.2. Tersine Lojistik

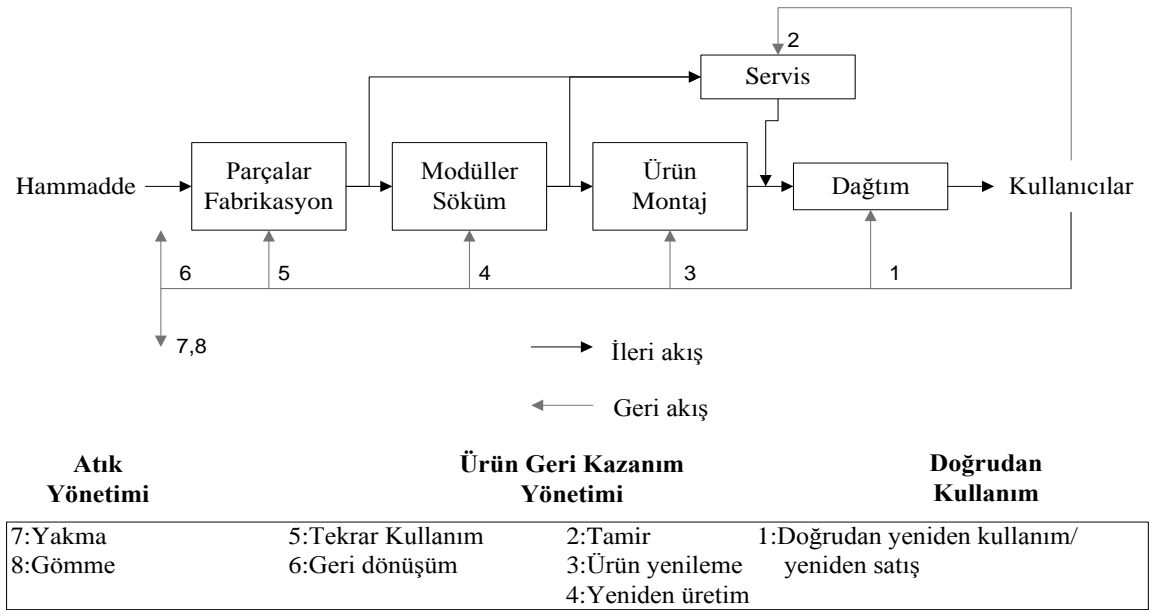
Tersine lojistik, ürünlerin kontrol, sınıflandırma ve değer kazanımı alternatifleri için tesislere taşınması sürecidir. Tersine lojistik süreci, taşıma, depolama, dağıtım ve envanter yönetimi aktivitelerinden oluşmaktadır. Bu aktiviteler arasında en büyük tersine lojistik maliyet kalemi, taşımadır (Prahinski ve Kocabaşoğlu 2006). Tersine lojistikte, taşıma maliyetlerinin yanı sıra, ürünlerden en kısa sürede değer kazanılması da dikkate alınmalıdır (Guide ve Van Wassenhove 2002).

2.2.4.3. Kontrol ve Sınıflandırma

Kontrol ve sınıflandırma, tedarik zincirine geri dönen ürünlerin kalite seviyelerinin ve en uygun geri kazanım stratejisinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir aktivitedir (Prahinski ve Kocabaşoğlu 2006). Thierry ve ark. (1995) TTZ'deki elden geçirme seçeneklerini, atık yönetimi, ürün geri kazanım yönetimi ve doğrudan kullanım kategorileri altında özetlemişlerdir.

- Atık yönetimi: Yakma, gömme
- Ürün geri kazanım yönetimi: Tamir, ürün yenileme, yeniden üretim, geri dönüşüm, tekrar kullanım
- Doğrudan kullanım: Doğrudan kullanım, yeniden satış

Thierry ve ark. (1995) TTZ'deki aktiviteleri atık yönetimi, ürün geri kazanım yönetimi ve doğrudan kullanım süreçleri bazında Şekil 2.2'de görüldüğü gibi özetlemiştir.



Şekil 2.2. Tersine tedarik zinciri süreçleri (Thierry ve ark. 1995)

2.2.4.4. Elden Geçirme ve Geri Kazanım

Elden geçirme, TTZ'de ürünlerin kontrol ve sınıflandırmadan sonra belirlenen uygun geri kazanım seçeneğine göre yönlendirildiği aktivitedir. Ürün geri kazanım seçenekleri Şekil 2.2'de de görülebildiği gibi, tamir, ürün yenileme, yeniden üretim, geri dönüşüm ve tekrar kullanım olarak tanımlanmıştır. Ürün geri kazanım seçeneklerinin karakteristikleri ve temel farklılıkları ise Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

- **Tamir:** Tamir, geri dönen kullanılmış ürünleri çalışır duruma getirmek amacıyla yapılan bir işlemdir. Tamir edilen ürünlerin kalitesi, yeni ürünlerin kalitesinden daha düşüktür. Tamir işleminde, üründe sınırlı oranda söküm ve montaj işlemi yapılmakta, sadece bozulan parçalar tamir edilmekte ya da değiştirilmekte, diğer parçalar etkilenmemektedir (Thierry ve ark. 1995).
- **Ürün Yenileme:** Ürün yenileme, ürünleri belirlenen kalite seviyesine getirme işlemidir. Kalite standartları yeni ürün standartları kadar katı değildir. Kullanılmış ürünün tüm modülleri sökülerek incelenmekte, ardından tamir edilmekte ya da değiştirilmektedir. Onaylanan modüllerin tekrar montajı yapılmaktadır. Yenileme işlemi, sıklıkla teknoloji yükseltme amacıyla, güncelliğini yitirmiş modülleri daha yüksek teknolojiye sahip olanlarla değiştirme biçiminde yapılmaktadır.
- **Yeniden Üretim:** Yeniden üretim, kullanılmış ürünlerden yeni ürün kalitesinde ürün üretme işlemidir. Kullanılmış üründeki tüm modüller tamamen sökülmemektedir. Hurda olanlar yenileriyle değiştirilmekte, tamir edilebilir olanlar tamir edilmekte ve kapsamlı bir biçimde test edilmektedir. Onaylanan ürünlerin yeniden montajı yapılmaktadır. Yeniden üretim, teknoloji yükseltme ile birleştirilebilmektedir.
- **Tekrar Kullanım:** Tekrar kullanım, kullanılmış ürünlerdeki tekrar kullanılabilir bazı parçaların kurtarılması işlemidir. Bu parçalar, başka parçaların tamir, yenileme ve yeniden üretim işlemlerinde tekrar kullanılmaktadır. Bu parçaların kalite standartları kullandıkları işleme göre değişmektedir. Literatürde tekrar kullanım, üründen parça çalma (cannibalization) olarak da isimlendirilmektedir.
- **Geri Dönüşüm:** Geri dönüşüm, kimliğini ve fonksiyonelliğini kaybetmiş ürünlere uygulanmaktadır. Bu işlemde amaç, kullanılmış ürünlerdeki hammaddelerin tekrar kullanılmasıdır (Thierry ve ark. 1995).

Çizelge 2.1. Ürün geri kazanım seçeneklerinin karşılaştırması (Thierry ve ark. 1995)

Seçenek	Söküm seviyesi	Kalite gereksinimi	Nihai ürün
Tamir	Ürün seviyesi	Ürünü çalışır duruma getirme	Bazı parçalar tamir edilir ve yedek parça takılır
Yenileme	Modül seviyesi	Tüm kritik modüller kontrol edilir ve istenilen kalite seviyesine çıkartılır	Bazı modüller olası yeni modelleri ile yer değiştirir
Yeniden üretim	Parça seviyesi	Tüm kritik modüller ve parçalar kontrol edilir, yeni ürün kalite seviyesine çıkartılır	Kullanılmış veya yeni parça ve modüller yeni üründe birleştirilir
Tekrar kullanım	Seçilen parçalar seviyesi	Parçaların tekrar kullanıldığı süreçlere bağlıdır	Bazı parçalar yeniden kullanılır, ürünün kalanı geri dönüşüm veya elden çıkarmaya tabi olur
Geri dönüşüm	Malzeme seviyesi	Orijinal parça üretimi için yüksek, diğer parçalar için daha düşük	Malzemeler yeni parçaların üretiminde tekrar kullanılır

2.2.4.5. Dağıtım ve Satış

TTZ'de, kullanılmış veya geri kazanılmış ürünler için son aşama dağıtım ve satış aşamasıdır. Ürünlerin tekrar satılması ile ürün ömrü uzatılabilmektedir. Ürünlerin yeniden satışı çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Geri kazanılmış bir ürünün tekrar satılabilmesi için öncelikle ilgili ürün için talep olup olmadığı veya yeni bir pazar yaratılıp yaratılamayacağı belirlenmelidir (Guide ve Van Wassenhove 2002). Buna ek olarak ürünün tahmini ömrü, teknolojik yeniliğin oranı ve ürün tasarımı gibi faktörler de

yeniden ürün satışını etkileyebilmektedir. Kullanılmış veya geri kazanılmış ürünlerin satışında farklı satış kanalları kullanılabilir. Örneğin yeni ürün satış kanalı ile aynı kanal kullanılabilir gibi özel komisyoncular kanalıyla da satış yapılabilir (Prahinski ve Kocabaşoğlu 2006).

2.3. Tersine Tedarik Zincirinin Önemi

TTZ, kullanılmış parçalardan en yüksek fayda sağlama, ömrünün sonundaki ürünleri ziyan olmaktan kurtarma veya yeniden kullanıma sunma gibi konularda büyük öneme sahiptir.

TTZ'nin önemi son yıllarda artmakta ve faaliyetleri yaygınlaşmaktadır. Prahinski ve Kocabaşoğlu (2006) bu artışı aşağıdaki beş madde ile özetlemiştir:

- Ürün geri dönüşlerinin miktarı oldukça fazla olabilmektedir, bazı endüstrilerde %50' lik geri dönüş oranı tecrübe edilmiştir.
- Ömrünü tamamlamış ürünlerin geri alınmasıyla ilgili yasalar son yıllarda yaygınlaşmıştır ve bu durum ürünlerin tüm yaşam çevrimi boyunca etkin olarak yönetilmesini gerektirmektedir.
- Global ve ikinci el pazarlarındaki satış fırsatları iskartaya atılmış ürünlerden elde edilen değeri ve kazancı arttırmıştır.
- Müşterilerin olumlu baskıları neticesinde, firmalar, zararlı atık içeren ürünlerinin elden çıkarma işlemlerinin sorumluluğunu almaktadırlar.
- Atık gömme işleminin pahalı ve gömme kapasitesinin sınırlı olması nedeniyle yeniden üretim, geri kazanım, geri dönüşüm gibi seçenekler daha geçerli olmuş ve yaygınlaşmıştır.

2.4. Tersine Tedarik Zincirinin Gerekçeleri ve Engeller

Firmaların TTZ'yi uygulamaları için güdüleyici pek çok gerekçesi bulunmakta ve bununla birlikte uygulamada karşılaşılabilecekleri bazı engeller bulunmaktadır. Çizelge 2.2'de önemli TTZ gerekçeleri ve güçlükler özetlenmiştir.

Firmaları ürün geri dönüşlerini ve yeniden elden geçirmeyi kabul etmeye iten sebepler literatürde genellikle üç ana kategoride sınıflandırılmaktadır: ekonomik sebepler, yasalar ve sosyal sorumlulardır (De Brito ve Dekker 2002).

TTZ'nin gerekçeleri arasında en önemli etken ekonomik sebeplerdir. Ekonomik sebepler firmalara doğrudan veya dolaylı pek çok yarar sağlamaktadır. Geri kazanım faaliyetleri, firmaların maliyetlerini ve malzeme kullanımlarını azaltarak, değeri yüksek yedek parça edinmelerini sağlamakta ve kar elde etmelerine olanak sağlamaktadır (De Brito ve Dekker 2002). Firmaların üretim ve satın alma maliyetleri azaldığında ise geri kazanılan ürünlerin değerleri ürüne tekrar dahil edilerek yeniden değer kazanılmaktadır (Srivastava 2013). Diğer yandan, firmalar, TTZ'yi rakip firmalara karşı bir rekabet avantajı olarak, teknolojilerinin diğer firmalar tarafından alınmasını önlemek veya farklı firmaların pazara ortak olmasına engel olmak amacıyla da kullanabilmektedir (De Brito ve Dekker 2002)

Yasal sebepler, firmaların ürünlerini geri almak ve geri kazanımını yapmakla yükümlü tutulduğu yasal düzenlemeleri ifade etmektedir. Sanayisi gelişmiş pek çok ülkede, motorlu taşıtlar, elektrikli ve elektronik ürün, ambalaj gibi ömrünü tamamlamış ürünlerden kaynaklanan atık akışının önlenmesi ve yönetimi için yasal düzenlemeler getirilmiştir. Firmalar TTZ'yi, mevcut veya gelecekteki yasal düzenlemelere uyum amacıyla kullanabilmektedir (Srivastava 2013).

Sosyal sorumluluklar, firmaların, müşterilerin çevresel kaygıları doğrultusunda sürdürülebilirlik stratejilerini benimsemelerini ifade etmektedir. Firmalar, TTZ uygulamaları ile müşterilerine, çevreye, topluma ve doğaya saygı duydukları mesajını vermekte ve müşterilerin gözünde iyi bir imaj oluşturmaktadır (Srivastava 2013).

Çizelge 2.2. Tersine tedarik zinciri gerekçeleri ve güçlükler (Srivastava 2013)

Gerekçeler	Güçlükler
Üretim ve tedarik zinciri maliyetlerinde azalma	Yüksek maliyetler ve destekleyici ekonomik politikaların eksikliği
Müşteri hizmetinde ilerleme	TTZ hakkında bilinç eksikliği
Firma imajına destek	Gerekli teknolojilerin yetersizliği
Yasal düzenlemeler	Destekleyici yasaların eksikliği
Çevresel yükümlülüklerle uyum	Talepte ve tedarikte tahmin edilemeyen değişkenlik
Ürün geri dönüşlerinin yönetimine odaklanma	Değişime direnç

Yukarıda açıklanan TTZ gerekçelerinin yanısıra, firmalar TTZ'yi uygulamada bazı güçlüklerle de karşılaşabilmektedir. Bu güçlüklerin başında bilinç eksikliği, üst yönetimin TTZ'yi uygulamada kararlı davranmaması, stratejik planlamanın olmaması, finansal kısıtlar ve çalışanların değişikliğe açık olmamaları gelmektedir (Srivastava 2013). Bunlara ek olarak, firmalar TTZ'yi uygularken, hangi aktiviteleri dış kaynak kullanımı ile hangi aktiviteleri kendilerinin yapacağına, değer kazanımı için yenilikçi yollar ararken maliyetleri minimumda nasıl tutacağına karar vermek ve çevresel standartları sağlamak durumundadır (Guide ve Van Wassenhove 2002). Üstesinden gelinen her bir güçlük ise firmalara avantaj olarak geri dönecektir.

2.5. İleri ve Tersine Tedarik Zinciri Karşılaştırılması

TTZ, ileri tedarik zincirinin simetrik bir fotoğrafı değildir (Fleischmann ve ark. 1997). Tersine ve ileri tedarik zinciri pek çok açıdan farklılık göstermektedir (Tibben-Lembke ve Rogers 2002). Tersine ve ileri tedarik zinciri arasındaki farklar Çizelge 2.3'de özetlenmiştir.

Tersine akışta, geleceğe yönelik tahminler yapmak, geri dönen kullanılmış ürün adedindeki belirsizlikler nedeniyle ileri akışa kıyasla daha zordur. İleri akışta, geleneksel tahmin teknikleri kullanılabilirken tersine akışta, geleneksel tahmin tekniklerinde bazı değişikliklere ihtiyaç duyulmaktadır (İlgin ve Gupta 2013).

İleri akışta dağıtım kanalı, bir kaynaktan çok varış noktasına doğru iken, tersine akışta, çok kaynak noktasından, tek varış noktasına doğrudur (Tibben-Lembke ve Rogers 2002). İleri akışta, bir üretim tesisinde üretilen yeni ürünler pek çok dağıtıcıya gönderilirken, tersine akışta, pek çok toplama merkezinden toplanan kullanılmış veya ömür sonundaki ürünler yeniden işleme veya geri kazanım tesisine gönderilmektedir.

İleri tedarik zincirinde, ürün ve paketleme kalitesi standart iken, TTZ'de standart değildir. Hatta tersine akışta, pek çok ürünün tam bir paketi olmamaktadır ve bu durum geri dönen ürünlerin taşınması, elleçlenmesi ve tanınmasında sorunlar oluşturabilmektedir (Tibben-Lembke ve Rogers 2002).

Yeni ürünlerin, tanımlanmış ürün ağacı listesine göre standart bir yapılışı vardır ve belirli kalite standartlarını sağlamak adına sıkı kalite kontrolünden geçirilmektedirler. Fakat geri dönen kullanılmış ürünlerin, kayıp, zarar görmüş veya değiştirilmiş parçaları bulunmaktadır ve bu nedenle kontrol ve sınıflandırmaya daha çok zaman harcanmaktadır. Ayrıca işlem adımları ve zamanı, geri dönen kullanılmış ürünün durumuna göre değişkenlik göstermektedir (İlgin ve Gupta 2013).

TTZ'de kurtarılmış ürünleri pazarlamak, tedarikteki belirsizlik, satıcıların önyargıları gibi sebeplerle ileri tedarik zincirindeki yeni ürünleri pazarlamaya kıyasla çok daha karmaşıktır.

Yeni ürünlerin fiyatlandırılması, ürünlerin tamamı aynı kalitede olduğu için çoğunlukla standarttır. Geri kazanılan ürünlerin fiyatlandırılması ise pek çok faktöre bağlı olduğundan standart değildir.

Çizelge 2.3. Tersine ve ileri tedarik zinciri arasındaki farklar (Ilgin ve Gupta 2013)

İleri tedarik zinciri	Tersine Tedarik Zinciri
Maliyet veya kar optimizasyonuna dayanmaktadır	Maliyet ve kar optimizasyonunun yanı sıra çevresel yasa ve ilkelere de dayanmaktadır
Talep tahmini göreceli olarak kolaydır	Ürün geri dönüşlerinin tahmini daha zordur
Ürün kalitesinde değişkenlik azdır	Ürün kalitesi stokastiktir
Geleneksel pazarlama teknikleri uygulanabilir	Pazarlama karmaşıktır
İşlem zamanları ve adımları net olarak tanımlıdır	İşlem zamanları ve adımları geri dönen ürünün durumuna göre değişkendir
Ürünler dağıtım kanalında bir kaynaktan çok varış noktasına doğru hareket eder	Ürün hareketi çok kaynak noktasından tek varış noktasına doğrudur
Hız bir rekabet avantajıdır	Hız kritik bir faktör değildir
Ürün paketlenmesi standarttır	Ürün paketi eksiktir veya paket durumu değişkendir
Ürün yapısı standarttır	Ürün yapısı değişkendir
Maliyet tahmini kolaydır	Maliyet faktörlerinin belirlenmesi karmaşıktır
Elden çıkarma alternatifleri açıktır	Elden çıkarma seçenekleri geri dönen ürünün durumuna bağlıdır
Envanter yönetimi tutarlıdır	Envanter yönetimi tutarlı değildir
Finansal etkiler açıktır	Finansal etkiler belirgin değildir
Ağ tasarımı ve envanter yönetimi TTZ'ye göre deterministiktir	Belirsizlikler nedeniyle ağ tasarımı ve envanter yönetimi stokastiktir
Ürün yaşam çevrimi yönetimi kolaydır	Ürün yaşam çevrimindeki değişiklikler nedeniyle yönetim daha zordur
Gerçek zamanlı ürün izleme sistemlerine bağlı olarak süreçler izlenebilir	Bilgi sistemlerinin eksikliği nedeniyle ürün ve süreç izleme imkanı azdır
Birincil önem üreticidedir	Birincil önem ömür sonu ürün işleme operatörlerindedir

İleri tedarik zincirinde, dağıtım, envanter, elleçleme maliyetleri belirgin iken TTZ'de maliyetler daha az belirgindir (Tibben-Lembke ve Rogers 2002).

İleri tedarik zincirinde, hız ve stok yokluğunu önlemek oldukça önemlidir çünkü yeni bir ürün, zamanında müşteriye ulaştırılamazsa, müşteri rakip firmalardan birini tercih edebilir. TTZ'de ise, geri dönen ürünler firmanın kendisi tarafından toplandığı için ürünlerin yavaş veya geç ulaştırılması müşteri kaybı veya stoksuz kalma gibi durumlara sebebiyet vermemektedir.

İleri ve tersine tedarik zinciri arasındaki bir diğer önemli fark, envanter yönetim sistemidir. İleri tedarik zinciri özellikleri dikkate alınarak geliştirilmiş pek çok envanter modeli olmasına rağmen, sınırsız tedarik, deterministik talep gibi varsayımlar TTZ'ye uygulanamamaktadır. Ürün geri dönüşlerindeki belirsizlik sebebiyle, TTZ'deki envanter yönetimi tutarsız ve kaotik bir hal alabilmektedir.

İleri tedarik zincirleri temelde maliyet minimizasyonu ve kar maksimizasyonuna göre tasarlanırken, TTZ tasarımında çevresel kurallara ve yönetmeliklere uymak da maliyet minimizasyonu ve kar maksimizasyonu kadar önemlidir.

Firmalar, ileri tedarik zincirinde, ürün takibi için bilgi sistemleri altyapılarını oluşturmaktadır. Fakat, tersine akışa daha az önem verildiği için aynı sistem yeterlilikleri TTZ'de bulunmamaktadır. Bu sebeple de, yoldaki veya stoktaki ürün adedi gibi kritik bilgilere erişilememekte ve operasyonel planlama zorlaşmaktadır (Ilgin ve Gupta 2013). Ürün yaşam çevrimi, TTZ'de, ileri akışa göre çok farklı bir rol oynamaktadır. Pazarlama ve lojistiğin ürün yaşam çevrimi boyunca rolünün değişmesi, TTZ'de bazı özel ayarlar yapılmasını gerektirmektedir. Örneğin, bir ürünün ömrünün sonuna ulaştığında talebinin düştüğü bilinmektedir. Bu aşamada, ilgili ürünün bir daha üretilmeyecek olması veya benzer bir modelle yer değiştiriyor olması iki farklı sonuç verebilir. İlk durumda, ürünün değeri ikinci el pazarında düşük olabilir. İkinci durumda ise, ürünün değeri yüksek kalabilir, çünkü ürüne olan ilgi hala yüksektir ve popüler bir ürünün daha düşük ücretli versiyonuna ilgi yüksek olabilir.

TTZ’de, ürün kalitesi sabit olmadığından, anlaşmalar daha karmaşıktır. İleri tedarik zincirinde, tedarikçiler ve müşteriler bir ürünün gelecekte gerçekleşecek bir gönderimi ile ilgili anlaşmaya otururken, TTZ’de anlaşmalar, genellikle toplama merkezlerindeki mevcut ürünler hakkındadır ve garanti istenebilmektedir (Tibben-Lembke ve Rogers 2002).

2.6. Tersine Tedarik Zinciri Kararları ve Çalışma Alanları

Firmaların, TTZ süreçlerini işletmelerine ve tedarik zincirlerine bütünleştirebilmeleri için stratejik, taktik ve operasyonel seviyelerde yeni kararlar almaları gerekmektedir. Lambert ve ark. (2011) stratejik seviyedeki kararları aşağıdaki gibi özetlemiştir:

- TTZ ile ileri tedarik zincirinin bütünleştirilip bütünleştirilmemesi
- Ürün geri dönüş politikalarının sınıflandırılması ve tanımlanması
- Ürün geri dönüşü ile ilgili kurumların, konuların ve geri dönüş sebeplerinin belirlenmesi
- Finansal kaynakların paylaşılması
- Çevresel yönetim sistemi uygulanarak, ilgili yasal düzenleme ve yönetmelikler hakkında bilgi edinilmesi
- Çeşitli TTZ işlemleri için alternatif yerleşim bölgelerinin belirlenmesi
- Gerekli tesislerin yerlerine ve kapasitelerine karar verilmesi
- TTZ işlemleri için yeniden işleme, yenileme, tamir gibi seçeneklerin belirlenmesi
- Yeniden üretim ve diğer işlemler için optimal politikaların belirlenmesi
- Eldeki bilgilere ve belirsizliklere göre risk değerlendirmesinin yapılması

Lambert ve ark. (2011)’a göre TTZ’de taktik seviyesindeki kararlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- TTZ aktiviteleri için planlama sisteminin geliştirilmesi
- Envanter yönetimi için sistem geliştirilmesi
- Performans ölçütlerinin belirlenmesi

- Geri dönen ürünleri taşıma araçlarına ve rotalarına karar verilmesi
- Ürünlerin malzeme listesinin tanımlanması ve olası işlemler için kalite standartlarının belirlenmesi
- Zararlı atıklar için arıtma programlarının hazırlanması
- Depolama ve elleçleme yöntemlerinin seçilmesi
- TTZ ağı tasarımı için model geliştirilmesi ve düşük maliyetli yaklaşımların araştırılması

TTZ’de operasyonel seviyedeki kararlar ise Lambert ve ark. (2011) tarafından aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Personelin eğitilmesi
- Ürün geliştirme için ürün geri dönüşlerinin analiz edilmesi
- Bilginin yönetilmesi ve maliyet kontrolü
- Söküm seviyesinin belirlenmesi
- Geri dönen ürünlerin zaman değerinin dikkate alınması
- Üretim çizelgeleme

Performans ölçütünün doğru bir şekilde seçilmesi, tasarlanan TTZ’nin başarısında kritik bir faktördür. TTZ literatüründe, bu alanda sınırlı miktarda bilgi bulunmaktadır. Literatürde var olan sınırlı sayıdaki çalışmada, çevresel düzenlemelere uygunluk, müşteri ilişkilerinin geliştirilmesi, maliyet kontrolü, kar arttırımı gibi ölçütlere rastlanmıştır (Lambert ve ark. 2011). TTZ’deki performans ölçütleri stratejik, taktik ve operasyonel seviyede Lambert ve ark. (2011) tarafından detaylı olarak analiz edilmiştir. Stratejik, taktik ve operasyonel seviyedeki performans ölçütleri Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Firmaların TTZ süreçlerini uygulama aşamasında mevcut dağıtım, planlama, envanter yönetimi gibi süreçlerinde değişiklikler yapmalarını gerektiren düzenlemelerin her biri literatürde farklı bir çalışma alanıdır.

Çizelge 2.4. Tersine tedarik zincirinde performans ölçütleri (Lambert ve ark. 2011)

Stratejik Seviye	Taktik Seviye	Operasyonel Seviye
<ul style="list-style-type: none">• Finansal yatırım• Müşteriye ulaşan hizmet seviyesi• Kapasite ayarlama kolaylığı• Teslimat performansı• Net kara karşı verimlilik oranı• Yatırım getirisi oranı• Geri dönen bir ürünü işleminin çevrim süresi• Teslimat süresi• Bütçeye bağlı sapmalar	<ul style="list-style-type: none">• Çevresel düzenlemelere saygı• Elden çıkarma maliyeti• Maliyet yönetimi ve planlaması• Garanti maliyetleri• Geri dönen ürünlerin maliyeti• Geri dönen ürünleri alma ve depolama maliyeti• Teslimat güvenilirliği• Ana üretim çizelgesinin etkinliği• İşlem çevrim süresi• İstihdam seviyesi• Tahmin tekniklerinin doğruluğu• Geri dönen ürünlerin değeri	<ul style="list-style-type: none">• Zararsız teslimatlar• Geri dönen ürünleri işleme izninin maliyeti• Operasyon saati başına maliyet• Geri dönen ürünlerin doğrulama maliyeti• Tanılama doğruluğu• Toplam envanter düzeyi• Bilgi taşıma maliyeti• Teslim edilen ürün ve belgelerin kalitesi• Kullanılmış ürünleri toplama süresi• Müşteriye hizmet süresi• Kapasite kullanım oranı• Envanterde bekleme süresi

TTZ'deki belli başlı çalışma alanları aşağıda sıralanmaktadır:

- TTZ Ağı Tasarımı
- TTZ Sağlayıcısı Seçimi
- Geri Kazanımlı Sistemlerde Envanter Kontrolü
- Yeniden Kullanılan Ürün ve Malzemeler için Üretim Planlama

- TTZ’de Araç Rotalama

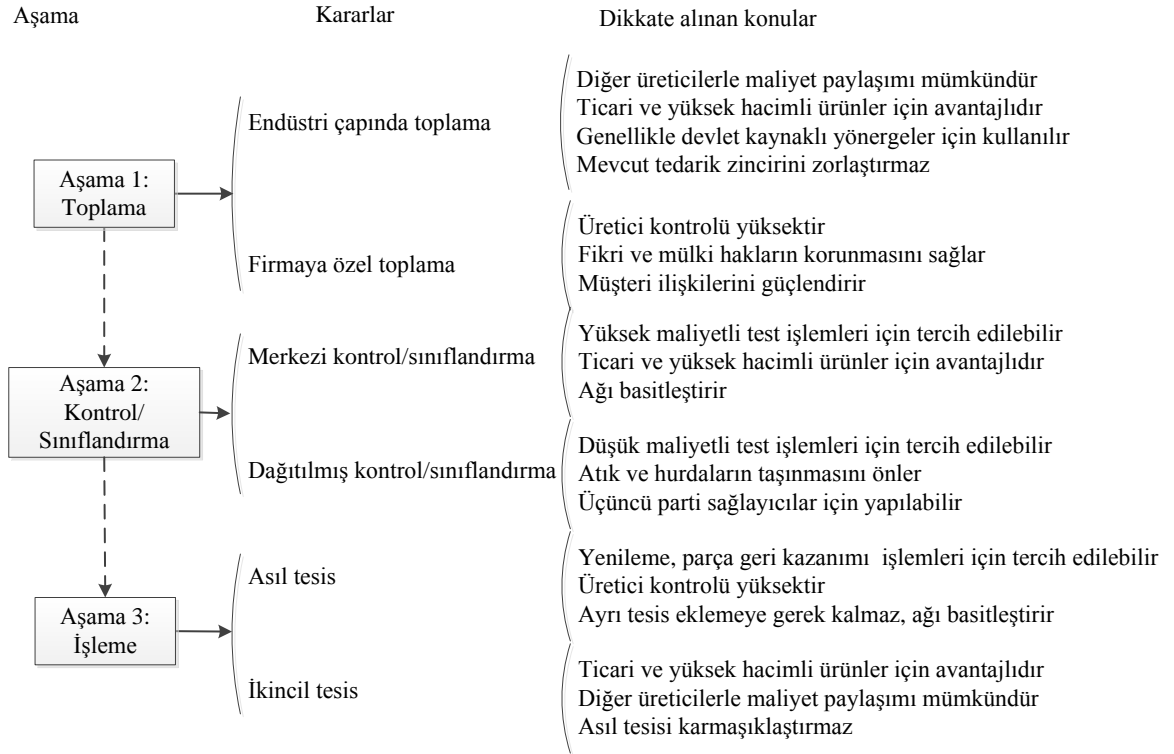
Tez çalışması kapsamında, belirtilen çalışma alanlarından TTZ ağı tasarım problemi ele alınarak bu konuda yapılmış literatürdeki çalışmalar incelenmiştir.

2.7. Tersine Tedarik Zincirinde Ağ Tasarımı

TTZ’nin stratejik planlanması, hangi ürünlerin, nerede toplanacağı, nasıl ve nerede yeniden işleneceği gibi kritik kararlar sebebiyle zor bir problemdir. Ayrıca, ürünlerin müşterilerden toplanıp üreticilere geri dönüşünün sağlanması sürecinde pek çok paydaş yer almaktadır. İleri tedarik zincirindeki tedarikçi, üretici, toptancı, perakendeci gibi paydaşların yanı sıra tersine zincirde, geri dönüşüm tesisi, belediye, kamu veya özel sektör kurumları gibi tersine akışa özgü paydaşlar da yer almaktadır (Srivastava 2013). Ürünlerin geri kazanımı için oluşturulan TTZ ağları değişkenlik gösterebilmektedir. Srivastava (2013) literatürde TTZ ağı ile ilgili sık rastlanan modelleri dört gruba ayırmıştır:

- **Model 1:** Kullanılmış ürünleri müşterilerden üreticiler toplamaktadır ve firmaların farklı ürünler için farklı yöntemleri mevcuttur.
- **Model 2:** Üreticiler, kullanılmış ürünlerin toplanması için perakendeci ile anlaşmaktadır. Bu modelde, perakendeciler yeni ürün dağıtımına ek olarak kullanılmış ürünlerin toplanması ve tanıtımı aktivitelerini de gerçekleştirmektedir.
- **Model 3:** Üreticiler, kullanılmış ürünlerin toplanması için bu konuda uzmanlaşmış üçüncü parti firmalar ile anlaşmaktadır. Üçüncü parti hizmet sağlayıcı firmalar, müşteri ve üretici arasında komisyoncu olarak görev yapmaktadır.
- **Model 4:** Farklı malzemeler, kendi malzemelerinin geri kazanımını yapması için tedarikçilere, üretici, toptancı ve perakendeci yolu ile gönderilmektedir.

Barker ve Zabinsky (2008) ürün geri kazanım sürecinin ağ tasarımında üç temel akış aşamasını; toplama, kontrol/sınıflandırma ve işleme aşamalarını dikkate almıştır ve bu aşamalara ait kararları ve ağ özelliklerini tanımlamışlardır. Aşamalara göre ağ tasarım kararları sistem yapısı Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Ağ tasarım kararları için sistem (Barker ve Zabinsky 2008)

Barker ve Zabinsky (2008) tarafından oluşturulan sistem, farklı ağ yapılarını içeren bir sınıflandırma sistemi sunmakta ve bu sistemle sekiz farklı tipte ağ yapısı oluşturulabilmektedir. Örneğin endüstri çapında toplama, merkezi kontrol/sınıflandırma ve ikincil işleme tesisi içeren ağ yapısı; endüstri çapında toplama, dağıtılmış kontrol/sınıflandırma ve ikincil işleme tesisi içeren ağ yapısı; firmaya özel toplama, dağıtılmış kontrol/sınıflandırma ve asıl işleme tesisi içeren ağ yapısı gibi.

Tasarlanacak ağda, toplama sisteminin endüstri çapında yapılması farklı üreticilere ait aynı tip ürünlerin tek bir sistem ile toplanmasını ifade etmektedir. Bu toplama sistemi genellikle kağıt, elektronik ürünler gibi ticari ürünlerde kullanılmaktadır. Endüstri

çapında toplama, yüksek ilk sistem kurulum maliyetlerine sahip olsa da ürünlerin yüksek hacimde olması nedeniyle maliyet avantajı sağlamakta ve firmaların tedarik zincirlerini karmaşıklaştırmamaktadır. Firmaya özel toplama sisteminin tercih edilmesi durumu ise firmaların kendi taşıma sistemlerini kullanmaları veya üçüncü parti lojistik sağlayıcılarla anlaşıp ürünlerini toplatmasını ifade etmektedir. Ağda bu tip bir toplama sisteminin tercih edilmesi, firmanın fikri ve mülki haklarının korunmasını sağlamanın yanı sıra, müşteri ilişkilerinin güçlendirilmesi, pazarlama ve satış konularında yararlı olmaktadır. Endüstri çapında toplamaya göre taşıma maliyetleri daha yüksek olsa da müşteri adedinin az olduğu durumda firmaya özel toplama sistemi daha avantajlı olabilmektedir. Ayrıca bu sistemde tersine akış ile ileri akış birleştirilip kapalı döngü tedarik zinciri sistemi de uygulanabilmektedir (Barker ve Zabinsky 2008).

TTZ ağında kontrol ve sınıflandırma aşaması için iki seçenek söz konusudur: merkezi veya dağıtılmış kontrol/sınıflandırma sistemi. Merkezi kontrol/sınıflandırma sistemi, yüksek maliyetli test işlemleri durumunda teçhizat ve uzman personel maliyetlerini azalttığı için daha avantajlıdır. Dağıtılmış kontrol/sınıflandırma sistemi ise, kağıt, tekrar kullanılabilir konteynır gibi ürünlere ait TTZ ağında, test yatırım maliyetlerinin düşük olduğu durumlarda tercih edilmektedir (Barker ve Zabinsky 2008).

Son olarak, TTZ ağında, işleme (elden geçirme ve geri kazanım) aşamasında, işleme tipine (ürün yenileme, yeniden üretim, geri dönüşüm veya tekrar kullanım) karar verildikten sonra iki seçenek söz konusudur; ürünleri asıl tesiste veya ikincil tesiste işleme. Üretici firmanın asıl tesisinin kullanılması tesisteki makine ve teçhizatların verimliliğini arttıracaktır. Fakat bu durumda da kapasite arttırım ihtiyacı oluşabilecektir. İkincil tesiste işleme seçeneğinin tercih edilmesi ise, tek bir firmaya değil, tüm endüstriye yönelik kullanıldığı durumda önemli maliyet avantajları sağlamaktadır (Barker ve Zabinsky 2008).

Fleischmann ve ark. (2000) ise, gerçekleştirilen ürün elden geçirme ve geri kazanım işlemini ayırt edici en temel faktör olarak dikkate alarak, ürün geri kazanım ağlarını süreç odaklı bir sınıflandırma ile üçe ayırmıştır:

- **Geri dönüşüm ağları:** Geri dönüşüm ağları, kağıt, plastik, kum gibi ürün değerinin düşük olduğu durumlarda malzeme geri kazanımı ile ilgili ağlardır. Geri dönüştürülen malzemelerin tekrar orijinal ürünün üretiminde kullanılması zorunluluğu yoktur. Bu sebeple, geri dönüşüm ağlarında malzeme tedarikçileri önemli bir rol oynamaktadır. Toplanan ürün değerinin düşük olduğu ve yatırım maliyetlerinin yüksek olduğu dikkate alınacak olur ise, yüksek işleme hacimlerine gerek duyulduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, geri dönüşüm ağları, tedarik hacmindeki belirsizliklere karşı zayıftırlar ve gelen ürünün kalitesi elde edilen malzemenin saflığını etkilediği için, kalite, ağ maliyetinde önemli ve ayırt edici bir etkidir.
- **Yeniden üretim ağları:** Yeniden üretim ağları, cep telefonu, bilgisayar, otomobil gibi değeri yüksek ürünlerin ürün veya parça seviyesinde yeniden üretilip tekrar kullanımı ile ilgili ağlardır. Bu tip ağlarda, geri kazanım işlemi çoğunlukla orijinal üreticiler tarafından gerçekleştirilmekte, mevcut lojistik ve tedarik zincirleri genişletilmekte, çok aşamalı, karmaşık ağ yapıları oluşturulmakta veya kapalı döngü oluşturulmaktadır. Fakat, pazara giriş engellerinin çok yüksek olmadığı durumlarda geri kazanım ile ilgili fırsatlar uzmanlaşmış üçüncü parti firmaları için de çekici olabilmektedir. Yeniden üretim ağlarında da tedarikteki belirsizlik ve operasyon maliyetlerinin yüksekliği ağ tasarımında önemli etkenlerdir. Ayrıca, orijinal ürün ve geri kazanılmış ürün pazarının çakıştığı durumda, ürün geri kazanımının pazarda önemli etkileri olabilmektedir. Yeniden üretilip kullanılacak ürünlere uygulanacak geri kazanım işlemleri veya bu işlemlerin sırası, büyük oranda ürün kalitesinden etkilendiği için, tedarikteki belirsizliğin yanı sıra toplanan ürün kalitesindeki belirsizlik de yeniden üretim ağlarında kritik bir faktördür.
- **Tekrar kullanım ağları:** Tekrar kullanım ağları, tekrar kullanılabilir kasa, şişe, palet, ambalaj gibi ürünlerin, temizleme, kontrol gibi küçük yeniden işleme aktivitelerinden geçip doğrudan kullanıldığı ağ tipidir. Bu ağ tipinde, ürünlerin taşınması ve satın alınması temel maliyet kalemleridir ve bu nedenle, merkezi yerine, dağıtılmış ağ yapısı tercih edilmektedir. Tekrar kullanılabilir

ürünler az sayıda yeniden işleme aktivitesi gerektirdiği için, gerek duyulan ağ aşaması az olmakta ve daha sade ağ yapıları elde edilmektedir. Tekrar kullanım ağlarındaki en önemli belirsizlik elemanı ise, ürün geri dönüşlerinin zamanlaması olarak belirtilmektedir. Ayrıca, tekrar kullanım ağlarında orijinal kullanım veya yeniden kullanım arasında belirgin farklar bulunmadığı için, kapalı döngü tedarik zinciri yapısı avantajlı olabilmektedir. Kapalı döngü ağ yapısında ise, sistemin çalıştırılması için ihtiyaç duyulan ürün adedinin belirlenmesi ve kaybının önlenmesi önemli konulardır (Fleischmann ve ark. 2000).

Sonuç olarak, incelenen tüm ağ tiplerinin kendine ait özelliklerinin, avantaj ve dezavantajlarının olduğu görülmektedir. Dikkate alınan ürünün yapısı ve ekonomik değerine, içerilen geri kazanım ve elden geçirme aktivitelerine göre farklı ağ yapıları oluşturulabilmektedir ve ağ tiplerini arttırmak mümkündür.

2.8. Tersine Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı Problemleri ve Çözüm Yaklaşımları

Bu bölümde, literatürde karşılaşılan TTZ ağı tasarımı ile ilgili yapılmış çalışmalara yer verilerek, çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

Jayaraman ve ark. (2003) çalışmalarında, toplama ve dağıtım merkezi katmanlarını içeren ağ tasarım problemi için öncelikle matematiksel model geliştirmişler, ardından problemin karmaşıklığı nedeniyle SolveRefrub adı verilen sezgisel çözüm yöntemine başvurmuşlardır.

Listeş ve Dekker (2005) ürün geri kazanım ağı tasarımı için stokastik programlama yaklaşımıyla çözüm önermişlerdir. Önerilen çözüm yaklaşımı, elenmiş kum geri dönüşümü gerçek problemine uygulanmıştır.

Dowlatshahi (2005) örnek olaylar üzerinden, tersine lojistik sisteminin etkin tasarımı ve uygulanması için gerekli ve kritik stratejik faktörleri tartışmıştır.

Li ve ark. (2006) başlangıç toplama noktalarının ve tersine lojistik merkezlerinin yerine ve sayısına karar verecek ağ tasarım problemini incelemişlerdir. Çözüm için, önce stokastik doğrusal olmayan karma tamsayılı programlama modelini oluşturmuşlardır. Ancak, problem oldukça zor, kararlı olmayan optimizasyon problemi olduğundan, probleme genetik algoritma (GA) yaklaşımını uygulamışlardır.

Ko ve Evans (2007) bütünleşik ileri ve tersine dağıtım ağının eş zamanlı optimizasyonu için karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli önermişlerdir. Problemin doğrusal olmayan yapısı nedeniyle, çözüm için GA tabanlı sezgisel algoritma önermişlerdir ve elde edilen sonuçları test problemleri ile değerlendirmişlerdir.

Salema ve ark. (2007) çok ürünlü, kapasite kısıtlı ve ürün geri dönüşlerinde belirsizlik durumu altında tersine lojistik ağı tasarımı için karma tamsayılı matematiksel model geliştirmişlerdir. Önerilen ağda, müşteri, üretim merkezi, depo ve söküm merkezi aşamaları dikkate alınmıştır.

Kara ve ark. (2007) tersine lojistik ağ tasarımı için simülasyon modeli önermişlerdir. Önerilen yaklaşım, ömrünü tamamlamış beyaz eşya toplama problemine uygulanmıştır. Yapılan uygulamada, mevcut toplama yapısı kullanılarak model test edilmiş ve taşıma maliyetleri, envanter maliyetleri, yükleme-boşaltma zamanları ve ürün adedi üzerinden duyarlılık analizi yapılmıştır.

Pochampally ve Gupta (2008) ise, TTZ ağı stratejik planlama problemine üç aşamalı bulanık mantık yaklaşımı uygulamışlardır. TTZ ağı planlamanın ilk aşaması olan kullanılmış ürünün seçiminde, bulanık fayda fonksiyonu tabanlı bir teknik kullanmışlardır. İkinci aşamasında, aday yeniden üretim tesislerini seçmek için analitik hiyerarşi proses (AHP) yöntemini kullanmışlardır. Son aşamada ise, toplama tesisleri ve geri dönüşüm tesisleri arasındaki kullanılmış ürün taşımaları ile geri dönüşüm tesisleri ve talep merkezleri arasındaki yeniden işlenmiş ürünün taşınmasına odaklanmışlar ve bununla ilgili tek ürün ve tek dönem için matematiksel model oluşturmuşlardır.

Lee ve Dong (2008) çalışmalarında, ömrünü tamamlamış bilgisayar ürünlerini kurtarmak için lojistik ağı tasarlama problemini incelemişlerdir. İleri ve tersine lojistik ağlarını birlikte optimize etmek için tasarladıkları ağda, hibrid işlem tesisi kullanmışlardır. Problemin çözümü için, öncelikle deterministik programlama modelini oluşturmuşlardır. Ancak, problem NP-zor tipinde olduğundan, tabu arama algoritmasını içeren iki aşamalı sezgisel çözüm yaklaşımını geliştirmişlerdir.

Demirel ve Gökçen (2008) ileri ve tersine lojistik akışlarını içeren yeniden üretim sistemi için karma tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Modelde, üretilen ve yeniden üretilen parçaların üretim ve taşıma miktarlarına karar verilmektedir. Aynı zamanda, demontaj, toplama ve dağıtım merkezlerinin yerlerine de karar verilmektedir. Çalışmada amaç fonksiyonu, üretim, taşıma, toplama, kiralama, demontaj ve elden çıkarma maliyetlerinin tamamını minimize edecek şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan model, iki ürünlü gerçek endüstri uygulamasında kullanılmıştır.

Lee ve Dong (2009) çalışmalarında, tersine lojistik operasyonları ağ tasarımı için iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirmişlerdir. Ancak, problem NP-zor tipinde olduğundan, dinamik lokasyon ve ürün akış problemi için tavlama benzetimi tabanlı sezgisel algoritma önermişlerdir.

Lee ve ark. (2009) geri dönüş, demontaj ve işleme merkezi katmanlarını içeren tersine lojistik ağ tasarımı problemini incelemişlerdir. Problemin çözümü için, öncelikle matematiksel model oluşturmuşlar, ardından öncelik tabanlı GA yaklaşımını önermişlerdir.

Salema ve ark. (2009) çok ürünlü ileri tedarik zinciri ve TTZ'nin eş zamanlı tasarımı için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. İncelenen tedarik zinciri ağında, üretim merkezi, depo, söküm merkezi ve müşteri aşamaları dikkate alınmıştır. İleri ve tersine tedarik zincirinin her ikisinde de iki aşamalı bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Modelde, stratejik ve taktik kararlar için iki zaman ölçeği kullanılmıştır. Önerilen çözüm yaklaşımı örnek olaya uygulanmıştır.

Mutha ve Pokarel (2009) çalışmalarında, parça geri dönüşleri için tersine lojistik ağı tasarlama problemine matematiksel model önermişlerdir. Modelde, tüm tersine lojistik maliyetlerini dikkate alarak çeşitli tesislerin yerine, sayısına, kapasitesine ve bu tesisler arasındaki malzeme akışlarının miktarına çözüm üretmişlerdir. Ayrıca, modelde, mevcut tesislerin belirli oranlarda tersine ağ için kullanılması durumu için kapasite kısıtları oluşturmuşlardır.

Cruz-Rivera ve ark. (2009) Meksika'da, ömrünü tamamlamış araçların (ÖTA) toplanması için stratejik ağ tasarımı yapmışlardır. Tersine lojistik modelini kapasite sınırı olmayan tesis yerleşim problemi olarak modellemişlerdir.

Dehghanian ve Mansour (2009) ömrünü tamamlamış ürünlerin geri kazanım ağının tasarımı problemini incelemişlerdir. Çözüm için ekonomik ve sosyal yararları maksimize eden, çevre üzerindeki negatif etkiyi ise minimize eden çok amaçlı matematiksel model geliştirmişler. Pareto optimal sonuçları elde edebilmek için probleme çok amaçlı GA uygulanmıştır. Önerilen çözüm yaklaşımları atık lastik geri kazanım ağı tasarım problemine uygulanmıştır.

Achillas ve ark. (2010) atık elektrikli ve elektronik ürünlerin tersine lojistik ağının optimizasyonu için bir karar destek aracı önermişlerdir. Önerilen araç, karma tamsayılı doğrusal programlama modeline dayanmaktadır ve mevcut toplama noktaları ve geri dönüşüm tesislerinin yapısını dikkate almaktadır. Oluşturulan ağ yapısında, toplama merkezi, bölgesel ve yöresel depolama merkezi ve geri dönüşüm merkezi aşamaları dikkate alınmıştır. Önerilen model, gerçek bir probleme uygulanarak test edilmiştir.

Salema ve ark. (2010) tedarik zincirinin tersine akışlarla eş zamanlı planlanması ve tasarımı için çok dönemli, çok ürünlü ağ modeli önermişlerdir. Tedarik zinciri dört aşamadan oluşmaktadır; üretim merkezi, depo, söküm merkezi ve müşteri. Önerilen model ile, global tedarik zinciri maliyetlerini minimize eden ağ yapısı, aşamalar arası akış miktarı, üretim ve stok seviyeleri belirlenmektedir. Geliştirilen model bir cam fabrikasına uygulanmıştır.

Pishvae ve ark. (2010) çok aşamalı tersine lojistik ağ maliyetlerini minimize edecek karma tamsayı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Çalışmalarında, müşteriler, toplama/kalite kontrol merkezi, kurtarma ve elden çıkarma merkezlerinden oluşan tek ürün tipi için çok aşamalı tersine lojistik ağını incelemişlerdir. Problem NP-zor tipinde olduğu için, probleme tavlama benzetimi algoritması uygulamışlardır.

Chen ve ark. (2010) Tayvan'da ÖTA geri dönüşüm sisteminin kurulmasını incelemişlerdir. Öncelikle Tayvan'daki mevcut geri dönüşüm sistemini irdelemişler ve ÖTA sökümlerini tanımlamışlardır. Daha sonra ÖTA geri dönüşüm sistemindeki üç temel finansal araç; geri dönüşüm ücreti, geri dönüşüm ödülleri ve geri dönüşüm operatörü devlet destekleri hakkında açıklamalar yapılmış ve sistemin performansı analiz edilmiştir.

Sasikumar ve ark. (2010) çalışmalarında, çok aşamalı tersine lojistik ağ tasarımında kar maksimizasyonunu sağlayan karma tamsayı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen matematiksel modelde, açılacak başlangıç toplama noktası ve merkezleştirilmiş geri dönüş merkezlerinin adedine, müşterilerin hangi başlangıç toplama noktasına atanacağına ve dönem başına ağda belirtilen tesisler arasında gönderilecek ürün miktarına karar verilmektedir. Araştırmacılar, modeli, kamyon lastiği yeniden üretimi örnek olayı üzerine uygulamışlardır. Uygulamadan elde edilen sonuçlara göre, müşteriler ve başlangıç noktaları arasında mesafe arttıkça ağ maliyetlerinde azalma olduğu belirlenmiştir.

Tuzkaya ve ark. (2011) çalışmalarında tersine lojistik ağ tasarım problemi için çok amaçlı bir model ve yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntem iki aşamadan oluşmaktadır. Merkezleştirilmiş geri dönüş merkezlerinin değerlendirilmesinin yapıldığı ilk aşamada, analitik ağ süreci (ANP) ve bulanık topsis yöntemlerini kullanmışlardır. İkinci aşamada ise, ilk aşamadan elde edilen geri dönüş merkezlerinin ağırlıkları kullanılarak, tersine lojistik ağ modeli için GA tasarlamışlardır. Tasarladıkları model ile Türkiye'de beyaz eşya sektöründe bir uygulama yapmışlardır.

Gomes ve ark. (2011) Portekiz’de atık elektrikli ve elektronik ürünlerin geri kazanım ağının tasarımı ve planlanması için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Modelde amaç, maliyet minimizasyonudur. Geri kazanım ağında, kaynak noktası, sınıflandırma merkezi ve geri dönüşüm merkezi aşamalarına yer verilmiştir. Ele alınan problem, farklı dönemlerden oluşan senaryolar ile test edilmiştir.

Ramezani ve ark. (2013) çok amaçlı, çok aşamalı ve çok ürünlü stokastik ağ tasarım problemini incelemişlerdir. Çalışmada, ileri ve tersine lojistiği eş zamanlı olarak analiz eden kapalı döngü lojistik ağı tasarlamışlardır. İleri ağda, tedarikçiler, fabrikalar ve dağıtım merkezi; geri ağda ise toplama ve elden çıkarma merkezlerini dikkate almışlardır. Tasarlanan ağ için belirsizliklerle mücadele edebilmek adına, stokastik programlama modeli geliştirmişlerdir.

Das ve Chowdhury (2012) tedarik zinciri ve tersine lojistik süreçlerini birlikte inceleyerek farklı kalite seviyelerinde modüler ürün tasarımı yaklaşımını önermişlerdir. Geri dönen ürünlerin toplanması ve ürün modüllerinin geri kazanımını dikkate alan tersine lojistik ağı için karma tamsayılı programlama modeli geliştirilmiş ve kârın maksimizasyonu amaçlanmıştır. Model, tasarlanan örnek probleme uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Assavapokee ve Wongthatsanekorn (2012) ürün geri kazanım aktivitelerini desteklemek amacıyla, tersine üretim sistemi altyapısının tasarımı için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Model, Teksas’da ömrünü tamamlamış elektronik ürünlerin geri kazanımı problemine uygulanmıştır. Model, açılacak tesislerin yerlerine, kullanılacak kaynaklara ve TTZ’deki malzeme akışlarına karar vermektedir.

Alumur ve ark. (2012) çalışmalarında, tersine lojistik ağ tasarım problemi için karı maksimize eden karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Geliştirilen modelde, kontrol merkezlerinin adedine, yerine, kapasitesine, eğer açmak karlı ise yeniden üretim merkezlerinin kurulmasına, geri dönüşüm merkezine ve dış yeniden üretim merkezine gönderilecek ürün miktarına, yeniden üretim merkezi için

satın alınacak parça adedine karar verilmektedir. Model, Almanya'da çamaşır makinesi ve kuru temizleyici için tersine lojistik ağı tasarımına uygulanmıştır.

Chan ve ark. (2012) makalelerinde, otomotiv endüstrisinde tersine lojistik aktivitelerini araştırmışlar ve bu araştırmaya göre otomotiv endüstrisinde tersine lojistik aktiviteleri için bir yapı önermişlerdir. Ancak, otomotiv endüstrisine tersine lojistik uygulamalarında, müşterinin bakış açısı, yönetsel ve teknik engeller gibi bazı engellemeler olduğunu belirtmişlerdir. Yönetsel engel, otomotiv endüstrisinde tedarik zincirine katılan pek çok üyenin olması sebebiyle kapalı bir döngü olarak tersine lojistik aktivitelerini uygulamanın, kontrol, koordinasyon ve entegrasyonunun zor olduğunu ifade etmektedir. Teknik engel, bir aracın demontajı yapıldığında farklı materyal tipinde binlerce parça elde edileceğini ve her parçanın geri dönüşümünün de olmayabileceğini ifade etmektedir. Müşterinin bakış açısı engeli ise, kullanıcıların kullanılmış veya geri dönüştürülmüş ürün içeren araçları kullanırken güvensizlik sorununu yaşayabilecek olmalarını ifade etmektedir. Araştırmacılar, geliştirdikleri modelde, ekonomik değeri ve pazarı olan motor, katalitik konvörtör, akü, radyatör, süspansiyon gibi geri dönen parçaların kalitesine göre yenilenmesi veya yeniden üretilmesi, ekonomik değeri düşük olan koltuk, cam, kapı, kablo gibi parçaların ise hammadde haline geri dönüştürülerek otomotiv veya başka endüstrilerde kullanılmasını önermişlerdir.

Dat ve ark. (2012) çalışmalarında, elektrikli ve elektronik ürünlerin tersine lojistik ağı tasarımında toplam işleme maliyetlerini minimize eden matematiksel model önermişlerdir. Modelde, tersine lojistik ağına optimal tesis yerlerine ve malzeme akışına karar verilmiştir. Ayrıca, çalışmada, ürünlerin hacmi ve ağırlığı taşıma maliyetlerini etkileyen faktörlerden olduğu için, geri dönen bir ürün, parçalarına ayrıldığında oluşan alt parçaların maliyetinin hacmine ve ağırlığına bağlı olarak artması ya da azalması durumu da dikkate alınmıştır.

Kannan ve ark. (2012) karbon ayak izi tabanlı tersine lojistik ağı tasarımı yapmışlardır. Ağı tasarımı için geliştirilen karma tamsayılı programlama modeli, toplama, ulaştırma, tesis açma, elden çıkarma ve CO₂ emisyonu maliyetlerini minimize etmektedir. Ürünlerin taşınması sebebiyle ve tesislerde oluşan CO₂ emisyon miktarı modele eklenen

bir kısıt ile hesaplanmaktadır. Modelde, toplama noktalarının nerede açılacağına ve geri dönüşüm ve elden çıkarma merkezi ile toplama noktaları arasındaki akışa karar verilmektedir. Model, tek ürün ve tek dönem için tasarlanmıştır.

Schweiger ve Sahamie (2013) kağıt geri dönüşüm ağı tasarımı problemini, kesikli ve sürekli tesis yerleşim-paylaşım problemi olarak incelemiştir. Problemin çözümü için hibrid tabu arama algoritması önermişlerdir. Önerilen hibrid çözüm yaklaşımında, tabu arama, karma tamsayılı programlama ve geliştirme yaklaşımı kullanılmıştır.

Eskandarpour ve ark. (2014) ürün geri dönüşlerinin yönetimi için tersine lojistik ağ tasarımı incelemiştir ve ağda; ilk müşteri, toplama/yeniden dağıtım merkezi, geri kazanım, geri dönüşüm, elden çıkarma ve ikincil müşteri aşamalarını dikkate almışlardır. Çözüm için, öncelikle karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişler, ardından, problemin karmaşık yapısı nedeniyle tabu aramaya dayanan bir sezgisel algoritma önermişlerdir. Algoritmada, parametre optimizasyonu için Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Önerilen algoritma tasarlanan örnek problemlerle test edilmiştir.

Literatürde karşılaşılan ve yukarıda kısaca özetlenen makalelerde TTZ ağ tasarım problemi, tanımlanan ağ katmanlarına, dönem ve ürün adedine, ileri ve tersine akışları içerip içermemesine, modelin stokastik ya da deterministik oluşuna göre farklılaşabilmektedir. Çizelge 2.5' de literatürde karşılaşılan makalelerde kullanılan TTZ problem tipleriyle ilgili özet bilgiler yer almaktadır.

Çizelge 2.5. Literatürde karşılaşılan tersine tedarik zinciri ağı tasarımı problem tipleri

Kaynaklar	Modelin Yapısı				Ağ Katmanları							Kapalı Döngü	Dönem Adedi		Ürün Adedi	
	Stokastik	Deterministik	Statik	Dinamik	T	ÜM	DM	TM	YÜM	GDM	EM		Tek	Çok	Tek	Çok
Jayaraman ve ark. 2003		✓	✓				✓	✓					✓			✓
Listeş ve Dekker 2005	✓	✓	✓						✓	✓			✓			✓
Schulmann ve ark. 2006		✓	✓									✓				
Li ve ark. 2006	✓		✓					✓					✓			✓
Ko ve Evans 2007		✓		✓		✓	✓		✓					✓		✓
Salema ve ark. 2007	✓		✓			✓	✓	✓			✓		✓			✓
Kara ve ark. 2007	✓			✓			✓	✓	✓	✓				✓		✓
Lee ve Dong 2008		✓	✓			✓			✓			✓				✓
Demirel ve Gökçen 2008		✓	✓				✓	✓	✓			✓	✓			✓
Pochampally ve Gupta 2008	✓		✓					✓	✓	✓			✓			✓
Lee ve ark. 2009		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓			✓
Lee ve Dong 2009	✓	✓		✓		✓		✓	✓			✓		✓		✓
Mutha ve Pokharel 2009		✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓
Cruz-Rivera ve Ertel 2009		✓	✓					✓								✓
Salema ve ark. 2009		✓		✓		✓	✓	✓				✓		✓		✓
Dehghanian ve Mansour 2009		✓	✓					✓	✓	✓	✓		✓		✓	
Salema ve ark. 2010		✓		✓		✓	✓	✓			✓	✓		✓		✓

T:Tedarikçi ÜM: Üretim Merkezi DM:Dağıtım Merkezi/Depo TM:Toplama/Demontaj Merkezi YÜM: Yeniden Üretim/Geri Kazanım Merkezi GDM: Geri Dönüşüm Merkezi EM: Elden Çıkarma Merkezi

Çizelge 2.5. Literatürde karşılaşılan tersine tedarik zinciri ağı tasarımı problem tipleri (Devam)

Kaynaklar	Modelin Yapısı				Ağ Katmanları								Kapalı Döngü	Dönem Adedi		Ürün/Parça Adedi	
	Stokastik	Deterministik	Statik	Dinamik	T	ÜM	DM	TM	YÜM	GDM	EM	Tek		Çok	Tek	Çok	
Pishvae ve ark. 2010		✓	✓					✓		✓	✓		✓		✓		
Sasikumar ve ark. 2010		✓		✓				✓	✓	✓				✓	✓		
Achillas ve ark. 2010		✓	✓					✓		✓			✓			✓	
Tuzkaya ve ark. 2011		✓	✓			✓		✓			✓				✓		
Gomes ve ark. 2011		✓		✓				✓		✓	✓			✓		✓	
Ramezani ve ark. 2013	✓		✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓			✓	
Alumur ve ark. 2012		✓		✓	✓			✓	✓	✓	✓			✓		✓	
Dat ve ark. 2012		✓	✓					✓	✓	✓	✓		✓			✓	
Kannan ve ark. 2012		✓	✓					✓		✓	✓		✓		✓		
Assavapokee ve Wongthatsanekorn 2012		✓	✓			✓		✓						✓		✓	
Das ve Chowdhury 2012		✓	✓		✓	✓	✓			✓			✓			✓	
Schweiger ve Sahamie 2013		✓	✓		✓	✓		✓						✓		✓	
Eskandarpour ve ark. 2014		✓	✓					✓	✓	✓	✓		✓			✓	

T:Tedarikçi ÜM: Üretim Merkezi DM:Dağıtım Merkezi/Depo TM:Toplama/Demontaj Merkezi YÜM: Yeniden Üretim/Geri Kazanım Merkezi GDM: Geri Dönüşüm Merkezi EM: Elden Çıkarma Merkezi

Literatürde TTZ ağı tasarımı problemine uygulanan çözüm yaklaşımlarının özeti Çizelge 2.6' da görülmektedir.

Çizelge 2.6. Tersine tedarik zinciri ağı tasarımı probleminde kullanılan yöntemler

Kullanılan Yöntem	Kaynaklar
Genetik Algoritmalar	Li ve ark. 2006, Ko ve Evans 2007, Lee ve ark. 2009, Dehghanian ve Mansour 2009, Tuzkaya ve ark. 2011
Tavlama Benzetimi Algoritması	Pishvae ve ark. 2010, Lee ve Dong 2009
Tabu Arama Algoritması	Lee ve Dong 2008, Schweiger ve Sahamie 2013, Eskandarpour ve ark. 2014
Diğer Sezgisel Yöntemler	Jayaraman ve ark. 2003, Lee ve Dong 2008
Simülasyon	Kara ve ark. 2007
ANP, TOPSIS	Tuzkaya ve ark. 2011
Matematiksel Programlama	Jayaraman ve ark. 2003, Listeş ve Dekker 2005, Li ve ark. 2006, Schultmann ve ark. 2006, Ko ve Evans 2007, Salema ve ark. 2007, Lee ve Dong 2008, Demirel ve Gökçen 2008, Lee ve Dong 2009, Mutha ve Pokharel 2009, Cruz-Rivera ve Ertel 2009, Dehghanian ve Mansour 2009, Salema ve ark. 2009, Pishvae ve ark. 2010, Achillas ve ark. 2010, Salema ve ark. 2010, Sasikumar ve ark. 2010, Gomes ve ark. 2011, Ramezani ve ark. 2013, Alumur ve ark. 2012, Dat ve ark. 2012, Kannan ve ark. 2012, Assavapokee ve Wongthatsanekorn 2012, Das ve Chowdhury 2012, Schweiger ve Sahamie 2013, Eskandarpour ve ark. 2014
Bulanık Mantık, AHP	Pochampally ve Gupta 2008

TTZ ağı tasarım probleminin uygulandığı alanlar Çizelge 2.7' de özetlenmiştir.

Çizelge 2.7. Tersine tedarik zinciri ağı tasarımı probleminin uygulandığı alanlar

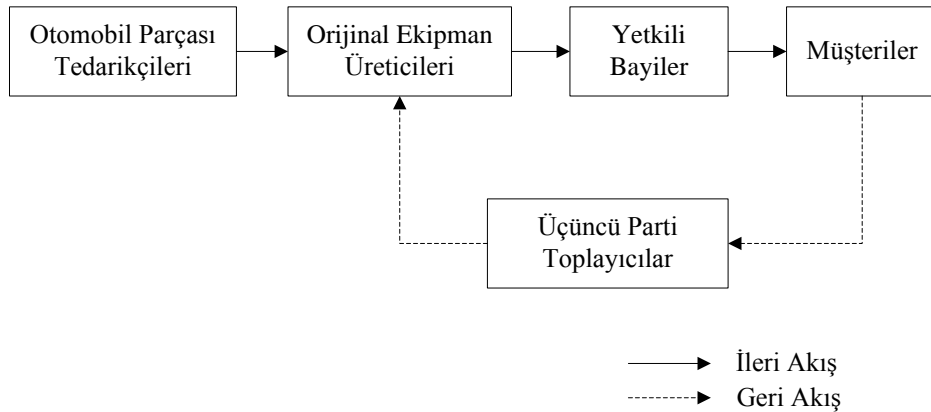
Uygulama Alanı	Kaynaklar
Elektronik	Lee ve Dong 2008, Achillas ve ark. 2010, Cueto ve ark. 2011, Gomes ve ark. 2011, Dat ve ark. 2012, Assavapokee ve Wongthatsanekorn 2012
Otomotiv	Schultmann ve ark. 2006, Zhu ve ark. 2007, Cruz-Rivera ve Ertel 2009, Chen ve ark. 2010, Lin ve ark. 2011, Olugu ve ark. 2011, Chan ve ark. 2012
Beyaz eşya	Kara ve ark. 2007, Tuzkaya ve ark. 2011, Alumur ve ark. 2012
Cam	Salema ve ark. 2010
Kağıt	Schweiger ve Sahamie 2013
Kum	Listeş ve Dekker 2005
Plastik, Lastik	Dehghanian ve Mansour 2009, Sasikumar ve ark. 2010, Kannan ve ark. 2012
Varsayımsal uygulamalar	Jayaraman ve ark. 2003, Li ve ark. 2006, Ko ve Evans 2007, Salema ve ark. 2007, Pochampally ve Gupta 2008, Demirel ve Gökçen 2008, Lee ve Dong 2009, Salema ve ark. 2009, Lee ve ark. 2009, Mutha ve Pokharel 2009, Pishvae ve ark. 2010, Ramezani ve ark. 2013, Das ve Chowdhury 2012, Eskandarpour ve ark. 2014

Literatürde karşılaşılan TTZ ağı tasarımı ile ilgili çalışmaların problem tiplerine, çözüm yaklaşımlarına ve uygulama alanlarına göre sınıflandırıldığı Çizelge 2.5, 2.6 ve 2.7 incelendiğinde, çalışmalarda ele alınan problemlerin her birinde dikkate alınan ağ yapısının ve katmanlarının farklılık gösterdiği, çözüm yaklaşımı olarak çoğunlukla matematiksel programlamanın kullanıldığı ve bununla birlikte yaygın çalışılan sezgisel algoritmaların da kullanıldığı, yapılan uygulamaların ise daha çok varsayımsal veya betimsel uygulamalar içerdiği göze çarpmaktadır. Betimsel uygulamaların dışında farklı

sektörlere ait örnek olayların incelendiği çalışmalarda ise, yaygın olarak elektrik-elektronik sektörüne ait uygulamaların yapıldığı, bunun dışında ise, beyaz eşya, plastik, lastik, cam, kağıt, kum gibi ürünlerin çalışıldığı görülmektedir. Otomotiv endüstrisine yönelik yapılan çalışmalarda ise, TTZ ağ tasarımının çoğunlukla kavramsal olarak incelendiği, uygulamaya ve model geliştirmeye yönelik çalışmaların sınırlı sayıda olduğu gözlenmiştir. Bundan sonraki bölümde, otomotiv endüstrisinde TTZ uygulamaları ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

2.9. Otomotiv Endüstrisinde Tersine Tedarik Zinciri

Otomotiv endüstrisi, üretim hacmi ile dünyadaki en büyük ve en önemli endüstrilerden biridir. Dünyada otomotiv endüstrisi 2013 yılında 82,6 milyon adetlik pazar payına ve 86,7 milyon adetlik üretim hacmine ulaşmıştır (Anonim, 2014). Sonuç olarak otomotiv endüstrisi, büyük miktarlarda kaynak ve değer içermektedir. Otomotiv endüstrisinde, araçların üretilmesi, gönderilmesi, tedariği, lojistik faaliyetleri vb. için pek çok tedarik zinciri aktivitesi mevcuttur. Küreselleşmenin de etkisiyle otomotiv endüstrisinde, tedarik zincirinin pek çok üyesi bulunmaktadır (Chan ve ark. 2012). Otomotiv tedarik zinciri diğer sektörlerin tedarik zincirlerine göre daha karmaşıktır. Bu karmaşıklığın temel sebebi, araçların, farklı coğrafik bölgelerden, farklı maliyetler ile gelen çok sayıda bileşen ve parçadan oluşmasıdır (Olugu ve ark. 2011). Otomotiv endüstrisine ait genel bir tedarik zinciri yapısı Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Otomotiv endüstrisinde tedarik zinciri (Chan ve ark. 2012)

Otomotiv tedarik zincirinin temel amacı, araçların son kullanıcıya doğru zamanda, doğru miktarda ve iyi koşullarda ulaştırılmasını sağlamaktır. Otomotiv TTZ'nin temel amacı ise, ÖTA'ların toplanıp etkin bir şekilde geri dönüşümünün yapılmasını ve tekrardan üretim faaliyetlerine katılmasını sağlamaktır (Olugu ve ark. 2011).

Otomotiv endüstrisinde TTZ'ye olan ihtiyaç, başta ekonomik faktörler olmak üzere çevresel faktörler ve sürdürülebilirlik gibi faktörler ile artmaktadır. Otomotiv endüstrisinin karmaşık tedarik zinciri yapısında, toplam maliyette önemli bir yer tutan ileri ve tersine tedarik zincirinin iyi analiz edilmesi ve yönetilmesi gerekmektedir.

2.9.1. Otomotiv Tersine Tedarik Zincirinde Olası Engeller

Otomotiv endüstrisinde TTZ uygulamasında bazı engeller mevcuttur. Bu engellerin başında, yönetimsel, teknik ve müşterinin bakış açısı engelleri gelmektedir.

2.9.1.1. Yönetimsel Engel

Otomotiv endüstrisinde tedarik zincirine katılan pek çok üyenin olması TTZ aktivitelerini uygulamayı, kontrol, koordinasyon ve entegrasyonu zorlaştırmaktadır. Ayrıca çok fazla kişiye özel araç üretimi yapıldığı için, aynı modelde bile sökümü yapılan araçlardan elde edilen parçalar diğer endüstrilerdeki (elektronik ürünler) gibi homojen olmamaktadır. Dolayısıyla belirsizlik yüksektir ve tahmin oldukça zordur (Chan ve ark. 2012).

2.9.1.2. Teknik engel

Teknik engeller, fiziksel ve teknik kısıtlar veya problemlerden oluşmaktadır. Geri dönüşüm teknolojilerinde yetersizliklerle karşılaşılabilen ve her parçanın geri dönüşümü de yapılamamaktadır. Bir başka teknik engel ise, geri dönen araçlardaki sökümün ölçeğidir. Bir aracın sökümü yapıldığında farklı materyal tipinde binlerce parça ve bileşen elde edilmektedir. Ayrıca, araçların sökümünü yapmak için büyük

ölçekli teçhizat ve karmaşık teknikler gerekebilmektedir ve söküm işlemleri diğer endüstrilere kıyasla daha az ekonomik olabilmektedir (Chan ve ark. 2012).

2.9.1.3. Müşteri Bakış Açısı Engeli

Müşteri bakış açısı engeli, kullanıcıların kullanılmış veya geri dönüştürülmüş ürün içeren araçları kullanırken güvensizlik sorununu yaşayabilecek olmalarını ifade etmektedir. Bu tür ürünlerin nasıl pazarlanacağı ise bir diğer önemli noktadır (Chan ve ark. 2012).

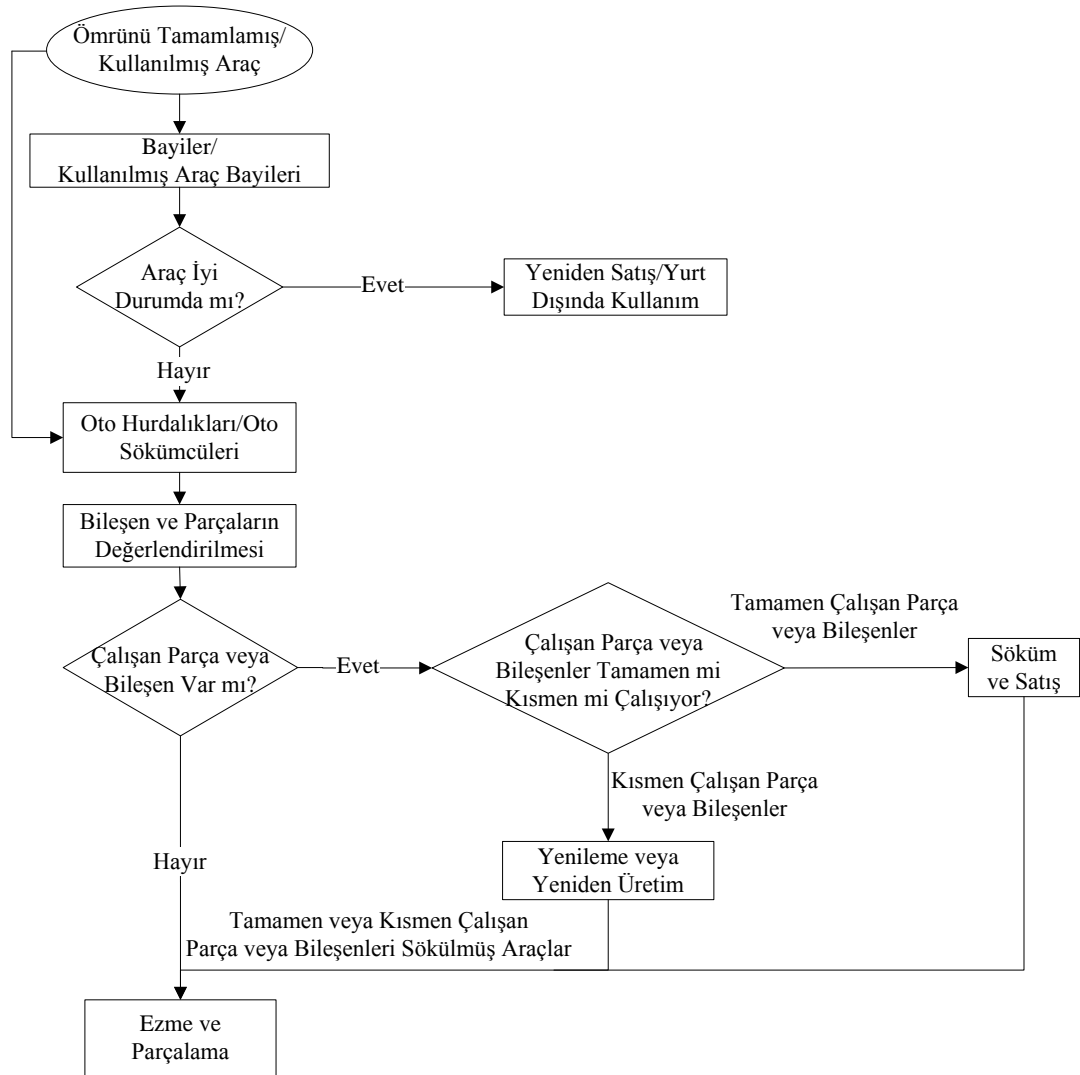
Yukarıda açıklanan engellere rağmen, çevresel etkinin ve araçların geri kazanım ve elden çıkarma faaliyetleri için gerekli yasal düzenlemelerin önemi hakkında bilinç her geçen gün artmaktadır. Kaynakların sınırlı olduğu günümüzde, geri dönen araçlardaki parça ve bileşenlerin geri dönüşüm değeri de otomotiv üretici firmalarını ÖTA'larda geri dönüşüme güdülemektedir (Chan ve ark. 2012).

2.9.2. Geri Dönen Araçların Değerlendirilmesi

Otomotiv TTZ'de, geri dönen araçların incelenmesi ve söküm sürecinin belirlenmesi, araçlarda geri dönüştürülebilir veya tekrar kullanılabilir parça ve malzemelerden elde edilecek yararın en yüksek olacak şekilde uygulanmasında kritik bir süreçtir. Geri dönen araçları inceleme genel prosedürü Şekil 2.5'de gösterilmiştir.

Ömrünü tamamlamış veya kullanılmış araç sahipleri, araçlarını elden çıkarmak için, bayilere, ÖTA bayisine veya doğrudan oto hurdacılarına/oto sökücülerine götürebilmektedir. Bayide yapılan ön inceleme ve test sonucunda, aracın durumu iyi ve karlı bir tekrar satım durumu söz konusu ise, araç ikinci el pazarında satılabileceği gibi yenilenerek bir otomobil firması ile yapılacak işbirliği çerçevesinde ihraç da edilebilmektedir. Eğer aracın karlı bir tekrar satım durumu söz konusu değil ise, oto söküm veya hurda firmalarına gönderilmektedir. Burada yapılan detaylı inceleme ve değerlendirme sonucunda, herhangi bir tamir işlemi gerekmeden tekrar kullanılabilir durumdaki parça ve bileşenler araçtan çıkarılıp satılmaktadır. Kısmen çalışan parça ve

bileşenler, araçtan çıkarılıp yenileme ve yeniden üretim işlemine tabi olmaktadır. Yenileme ve yeniden üretim işlemi, oto sökücüler veya oto üreticileri tarafından yapılabilmektedir. Faydalı ve tekrar kullanılabilir tüm parça ve bileşenler çıkarıldıktan sonra arta kalan araç gövdesi, kırma, parçalama ve ezme işlemine tabi olmaktadır. Bu işlemde elde edilen metal malzemeler, geri dönüşüm ile otomotiv veya başka endüstrilerde kullanılabilir hammadde haline getirilmekte, metal dışı malzemeler ise, yakma, gömme gibi işlemlerle elden çıkarılmaktadır (Chan ve ark. 2012).



Şekil 2.5. Geri dönen araç inceleme prosedürü (Chan ve ark. 2012)

Yukarıda açıklanan prosedür genel bir ÖTA değerlendirme prosedürüdür. Dikkate alınması gereken ürün yönetmeliklerine veya yasal düzenlemelere göre farklı prosedürler uygulanabilmektedir.

Geri dönen araçlardan elde edilen parça ve bileşenler, yenileme, yeniden üretim ve geri dönüşüm gibi geri kazanım işlemlerine uğramaktadır. Chan ve ark. (2012) geri dönen araçlardaki parçaları hangi işleme uğrayacaklarına göre Çizelge 2.8'deki gibi sınıflandırmışlardır.

Çizelge 2.8. Araç parça ve bileşenleri için geri kazanım alternatifleri

Parça veya Bileşen	Yeniden Üretim	Yenileme	Geri Dönüşüm
Motor kapağı			✓
Motor	✓	✓	
Kablo tesisatı			✓
Motor yağı			✓
Vites yağı			✓
Soğutucu			✓
Radyatör		✓	✓
Tampon		✓	✓
Akü	✓	✓	
Vites kutusu	✓	✓	
Süspansiyon		✓	✓
Tekerlek		✓	✓
Katalitik konvertör	✓		✓
Kapı			✓
Lastik		✓	✓
Bagaj			✓
Araç gövdesi			✓
Koltuk			✓
Cam			✓

Yenileme işlemi, geri dönen ürünlerdeki süresi geçmiş parça veya bileşenler ile yeni teknoloji parça veya bileşenlerin yer değiştirmesi işlemidir. Yenileme işleminde amaç, tamir ve değiştirme gibi işlemlerle parça veya bileşenlerin kalitesini arttırmaktır. Fakat bu parça veya bileşenler, yeni birer parça veya bileşen gibi olmayabilmektedir. Yeniden üretim işlemi ise, yenileme işlemine benzemekle birlikte burada geri dönen ürünlerdeki parça veya bileşenler yeni bir parça veya bileşen olacak şekilde teknolojik geliştirmeler ve testler yapılmaktadır. Geri dönüşüm işleminde ise, geri dönen ürünlere ait parça veya bileşenlerdeki hammaddeler tekrar kullanılabilir şekilde ezme, küçük parçalara ayırma gibi süreçlere maruz kalmaktadır (Chan ve ark. 2012).

Bir araçtaki yenileme, yeniden üretim ve geri dönüşüme tabi olacak parça ve bileşenler Çizelge 2.8’de özetlenmişti. Her bir parça veya bileşen daha detaylı olarak analiz edilecek olur ise;

- **Motor kapağı:** Araç parçalarından motor kapağı, genellikle çelikten üretilmektedir. Demir alaşımı olan çelik, en popüler geri dönüşüm malzemelerinden ve sınırlı kaynaklardan biridir. Dolayısıyla geri dönüştürülmüş çelik kullanımı üretim maliyetlerini azaltacaktır. Ayrıca, her aracın boyutları ve özellikleri farklıdır ve motor kapaklarının yenilenmesi veya yeniden üretimi pratik değildir. Sonuç olarak, barındırdığı metal değeri nedeniyle motor kapakları için en uygun işlem geri dönüşüm olarak belirlenmiştir.
- **Motor:** Çok sayıda küçük parçadan oluşan motor, bir araçtaki en kritik ve karmaşık bileşendir. Motor, eğer iyi durumda ise karlı bir yeniden satış değerine sahiptir. Yenilenen motorlar, yeniden üretim için bazı üreticilere geri gönderilebilir. Yeniden üretilen motorlar ise, motor değişimi amacı ile de kullanılabilir.
- **Kablo tesisatı:** Bir araçtaki kablo tesisatı, çoğunlukla bakır ve plastik malzemeden oluşmaktadır. Kablo tesisatının yeni ürün olarak üretilmesi, kullanılmış kabloların toplanması, yenilenmesi veya yeniden üretilmesinden

daha ekonomiktir. Bu sebeple, kablo tesisatının geri dönüştürülmesi önerilmektedir. Bakırın talebi yüksek, tedariki ise belirsiz olduğu için geri dönüşümden elde edilecek bakırın hammadde olarak kullanılması diğer geri kazanım yöntemlerine göre daha etkindir.

- **Motor yağı, vites yağı, soğutucu:** Motor yağı, vites yağı ve soğutucu, alternatif yakıt olarak tekrar kullanılabilir. Bu malzemelerin araçtan çıkarılması için özel teknikler gerekmekte ve güvenlik nedeniyle özel depolama yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, bu malzemelerin geri dönüşümü lisanslı geri dönüşüm firmaları tarafından yapılmalıdır.
- **Radyatör:** Radyatörler, alüminyum ve bakır malzemelerden oluşmaktadır. Bu sebeple geri dönüşüm değeri yüksektir. Radyatörlerin yenilenme ve yeniden üretim durumunda ise, zararlı kimyasallardan arındırılması ve depolama, taşıma gibi aktivitelerde özenli olunması gerekmektedir. Radyatörlerin yeniden satış değeri düşük olsa da, ikinci el pazarına yapılacak satışlarda kar olasılığı mevcuttur.
- **Tampon:** Tamponlar, termoplastik malzemelerden oluşmaktadır. Kolay kırılan tamponlar, araç kullanıcıları tarafından sıkça değiştirilmektedir. Eğer tamponun durumu yeniden kullanıma uygun değilse, geri dönüşüm uygulanmakta ve elde edilen malzemeler hammadde olarak kullanılmaktadır. Fakat, geri dönüşüm işleminde, söküm ve sınıflandırma için yüksek emek gerekmektedir. Tamponların yeniden üretiminde ise tamponlar büyük parça olduğu için taşınmaları maliyetlidir. Dolayısıyla yenileme, yeniden üretime göre tamponlar için daha kullanışlı bir yöntemdir. Yenilenen tamponlar, tamir veya parça değişikliğinde kullanılabilir.
- **Akü:** Aküler, kurşun, kadmiyum gibi insan sağlığına ve çevreye zararlı malzemeler içerdiği için geri kazanım faaliyetleri genellikle belirli yasalar çerçevesinde belirlenmekte ve özel işlemler gerektirmektedir. Bu sebeple, aküler için geri dönüşümden çok yenileme ve yeniden üretim seçenekleri önerilmektedir. Her araçta bir akü olduğu için ve aküler hızlıca eskimedığı için

akü talebi belirgindir. Uygun taşıma ve elleçleme yatırımları ile yenileme veya yeniden üretim uygulanabilmektedir.

- **Vites kutusu:** Çelik ve alüminyumdan oluşan vites kutusunun, geri dönüşüm ile hammadde değeri olsa da, yeniden satış değeri geri dönüşüm değerinden yüksektir. Bu sebeple, yenileme ve yeniden üretim ile yeni araçlar için veya yedek parça amacıyla kullanılabilir.
- **Süspansiyon:** Çelik ve alüminyumdan oluşan süspansiyon parçaları araçla tekerlekler arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Süspansiyon, araç sürüşü ve frenlemede güvenliği sağlamakta ve sürüş zevki ile yolcuların titreşim ve gürültüden uzak konforlu bir yolculuk geçirmelerini sağlamaktadır. Düşük kalitedeki süspansiyon parçaları için geri dönüşüm, iyi kalitedeki süspansiyon parçaları için yenileme önerilmektedir. Toplama ve taşıma maliyetlerinin yüksekliği sebebiyle, süspansiyon parçalarının yeniden üretim için üretim merkezlerine gönderilmesi önerilmemektedir.
- **Tekerlek:** Çelik ve alüminyumdan oluşan tekerleklerin ekonomik değeri sebebiyle geri dönüştürülmesi önerilmektedir. Tekerlekler için yeniden üretim seçeneği söz konusu olsa da, ağır ve geniş hacimli parçalar oldukları için taşıma maliyetleri yüksektir. Yeniden satış değerinin yüksek olması sebebiyle ise, yenileme maliyetleri kabul edilebilir. Eğer parçanın durumu iyi ise, tekrar satış için ya da yedek parça olarak kullanım amacıyla yenilenmesi önerilmektedir.
- **Katalitik konvertör:** Katalitik konvertördeki değerli metaller geri kazanılabilmektedir. Araçlardan kaynaklanan salınımların zehirlilik seviyeleri ile ilgili sıkı kurallar nedeniyle yenileme önerilmemektedir. Katalitik konvertörlerin tekrar kullanım için çeşitli kalite testlerinden geçmeleri gerekmektedir.
- **Kapı:** Kapıların şekli ve büyüklüğü, araçtan araca veya modelden modele değişiklik gösterdiği için yenileme ve yeniden üretim önerilmemiştir. Ayrıca,

taşıma maliyetlerinin yüksekliği sebebiyle yeniden üretim ekonomik değildir ve yenilenen veya yeniden üretilen kapıların yeniden satış değeri düşüktür. Bu sebeple, çelikten üretilen kapılar için geri dönüşüm önerilmektedir.

- **Lastik:** Kullanılmış lastikler, geçmişte genellikle bertaraf edilmekteyken, çevresel bilincin artmasıyla ve getirilen yasal düzenlemeler ile birlikte geri dönüşüme ve geri kazanıma tabi olmaktadır. Eğer lastik iyi durumda ise, tekrar satılabilmektedir. Fakat, lastikler çoğunlukla yıpranmış oldukları için satış değerleri düşüktür. Yenilenerek satılan lastikler, TTZ maliyetlerinin azalmasına katkı sağlayacaktır.
- **Bagaj ve araç gövdesi:** Sökülen bagajların ve araç gövdelerinin tekrar kullanımı elverişli ve mantıklı bir seçenek değildir. Çelikten yapılan araç gövdesi ve bagajın geri dönüşüm değeri ise yüksektir. Modelden modele değişiklik gösteren araç gövdesi ve bagajın yenileme veya yeniden üretim yerine çelik geri dönüşümü için kullanılması önerilmektedir.
- **Koltuk:** Araç koltukları, polimer, poliüretan sünger, elyaf gibi çeşitli malzemelerden oluşmaktadır. Bu tür malzemelerin ayrıştırılması karmaşık teknikler gerektirmektedir ve dolayısıyla geri dönüşümü zordur. Koltukların karlı bir pazar değeri olmadığı için yenilenmeleri veya yeniden üretilmeleri ekonomik değildir. Bu sebeple, koltukların geri dönüşümü veya bertaraf edilmesi önerilmektedir. Plastik ve cam dışında, araçlardan çıkan malzemelerin büyük çoğunluğu geri kazanım ve geri dönüşüme uğramaktadır. Son yıllarda ÖTA yönetmelikleri ile geri kazanım ve geri dönüşüm oranı için belirlenen alt sınırlar, koltukların da geri dönüşüme tabi tutulmasını teşvik etmektedir.
- **Cam:** Koltuklar gibi camların da yeniden üretim veya yenileme değerleri yüksek değildir. Camların geri dönüşümü önerilmektedir. Fakat, cam geri dönüşümü, maliyet ve zaman gereksinimleri nedeniyle revaçta değildir. Araçlarda genellikle tavllanmış, havaalı, kırılmaz ve lamine cam kullanılmaktadır. Tavllanmış camlar kırılarak kolayca araçtan sökülürken, lamine camlar kırılmamaktadır ve manuel olarak araçtan çıkarılmakta, zaman

ve maliyet gerektirmektedir. Camın pazar değeri düşük olduğu için geri dönüşümü üreticiler tarafından çok çekici bulunmasa da, gelecekte geri dönüştürülmüş cama duyulan ihtiyacın artabileceği düşünülmektedir (Chan ve ark. 2012).

Temelde, Chan ve ark. (2012) tarafından ekonomik değeri ve pazarı olan parçaların kalitesine göre yenilenmesi veya yeniden üretilmesi, ekonomik değeri düşük olan parçaların ise hammadde haline geri dönüştürülerek otomotiv veya başka endüstrilerde kullanılması önerilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Tez çalışmasının bu bölümünde, öncelikle tez kapsamında ağ tasarım problemi için kullanılan yöntemlerden olan genetik algoritma (GA) ve parçacık sürü optimizasyon algoritması (PSOA) ile ömrünü tamamlamış araç (ÖTA) tahmini için kullanılan gri sistem teori detaylı olarak açıklanmıştır. Ardından, Türkiye’de gerçekleştirilen ÖTA geri kazanımı ve geri dönüşümü faaliyetleri hakkında bilgi verilerek çalışılan problem kapsamlı olarak tanımlanmıştır. Son olarak, problemin çözümü için geliştirilen matematiksel model ve probleme özgü tasarlanan GA ve PSOA algoritmaları ve gri tahmin sistemi açıklanmıştır.

3.1. Genetik Algoritma

Bu bölümde kullanılan simgeler ve açıklamaları aşağıda verilmektedir.

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
np	Popülasyon boyutu
f_i	i . kromozomun uygunluk değeri
p_i	i . kromozomun seçilme olasılığı
r	[0,1] aralığında rassal sayı
cr	Çaprazlama oranı
mr	Mutasyon oranı
er	Elitizm oranı
L	Maksimum iterasyon adedi

Doğal seleksiyon ve genetik temellerine dayanan arama algoritması olan GA, John Holland ve ekibi tarafından geliştirilmiştir. Holland ve ekibinin çalışmalarındaki amaç, doğal sistemlerdeki uyum sürecini açıklamak ve doğal sistemlerdeki bu mekanizmayı kullanan yapay sistem yazılımlarını geliştirmek olmuştur. Diğer optimizasyon ve arama prosedürlerinden farklı olarak, GA’da, parametrelerin kendileri ile değil, kodlanmış parametre kümeleri ile çalışılmakta, tek bir noktada değil, noktalar popülasyonunda arama yapılmaktadır. Ayrıca GA’da amaç fonksiyonu bilgisi kullanılmakta, türetme gibi

ek işlemlere ihtiyaç duyulmamakta ve deterministik değil olasılıksal geçiş kuralları kullanılmaktadır (Goldberg 1989).

GA'da problemin karar değişkenleri sonlu uzunluktaki dizilerle kodlanmaktadır. Her biri bir aday çözüm olan bu diziler, kromozom olarak adlandırılmaktadır. İyi çözümlerin değerlendirilmesi ve doğal seleksiyonun uygulanabilmesi için uygunluk fonksiyonu tanımlanarak iyi çözümlerin kötü çözümlerden ayırt edilmesi sağlanmaktadır. Uygunluk fonksiyonu, matematiksel model gibi objektif bir fonksiyon olabileceği gibi, kişilerin iyi çözümleri seçtiği subjektif bir fonksiyon da olabilmektedir. Uygunluk fonksiyonu, iyi çözümlerin evrim sürecine rehberlik edeceği için aday çözümün uygunluğunu doğru bir şekilde belirleyebilmelidir. Geleneksel arama algoritmalarından farklı olarak, GA'da aday çözümlerden oluşan popülasyonlar kullanılmaktadır. Algoritma, aday çözümlerden oluşan bir başlangıç nesliyle başlamakta ve seçim, çaprazlama, mutasyon gibi genetik operatörler kullanarak çözümleri değerlendirmektedir (Sastry ve ark. 2014).

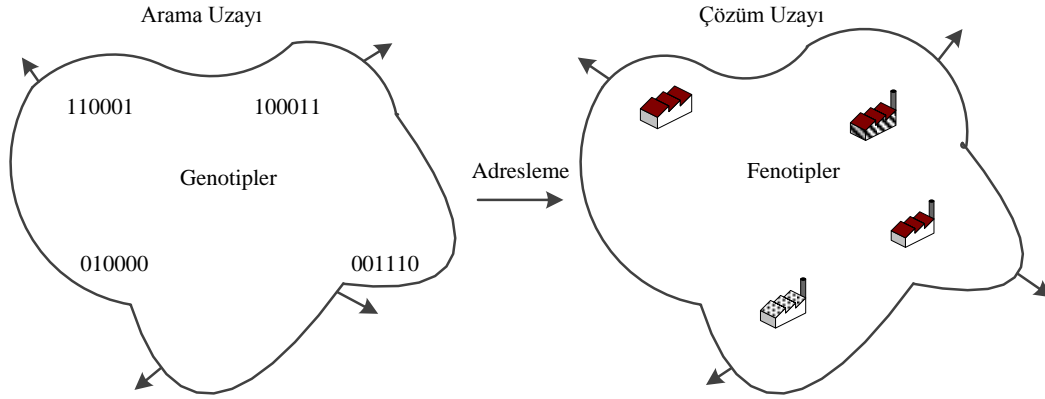
Gen ve Cheng (2000)'in belirttiğine göre Michalewicz (1996) GA'nın beş temel bileşenini aşağıdaki gibi özetlemiştir;

- Problemin çözümüne uygun genetik gösterim
- Başlangıç popülasyonu
- Çözümlerin uygunluğuna göre değerlendirme yapmak için değerlendirme fonksiyonu
- Yeniden üretim süresince genetik kompozisyonu değiştirmek için genetik operatörler
- Genetik algoritma parametre değerleri

3.1.1. Aday Çözüm Gösterimi

GA'da, arama uzayı ve çözüm uzayı olmak üzere iki tip uzay kullanılmaktadır. Arama uzayı, kodlanmış çözümlerin uzayı, çözüm uzayı ise, gerçek problem çözümlerinin uzayıdır. Kodlanmış çözümler genotip, gerçek çözümler ise fenotip olarak adlandırılmaktadır. Genotipte, her bir karakter gen olarak tanımlanmakta ve bir

genotipteki genlerin tamamı kromozom olarak adlandırılmaktadır (Bentley 1999). Şekil 3.1’de, aday çözümlerin arama uzayında genotip ve çözüm uzayında ise fenotip olarak adreslenmesi ile ilgili örnek bir gösterim sunulmuştur. Verilen örnekte, farklı parametre değerlerine sahip aday çözümlerin ikili değişken gösterimi ile genotip olarak kodlandığı görülmektedir.



Şekil 3.1. Genotip ve fenotiplerin adreslenmesi (Bentley 1999)

GA’da, probleme ait bir çözümün kromozom olarak kodlanması algoritmanın performansını etkileyen kritik bir konudur. Kromozomun adreslediği aday çözüm, probleme ait bir çözüm olmalı ve problemin olurlu çözüm alanının dışında olmamalıdır. Yaygın kullanılan aday çözüm gösterimi kodlama yaklaşımları; ikili değişken gösterimi, reel sayı gösterimi, tam sayılı permütasyon gösterimi ve veri yapısı gösterimi şeklinde sıralanmaktadır (Gen ve Cheng 2000).

İkili değişken gösteriminde, Şekil 3.1’de verilen örnekte de görüldüğü gibi aday çözümler ikili değişken içeren dizilerden oluşmaktadır. İkili değişken gösteriminin en belirgin dezavantajı, fenotip arama uzayındaki yerelliği yakalayamamasıdır. Örneğin, 011111 ve 100000 dizilerinin fenotip uzayında komşu çözümler olduğu durumda, bu iki genotip arasında arama uzayındaki mesafe yüksek olacaktır ve bu mesafeyi aşabilmek için çeşitli genetik operatörlerin uygulanması gerekmektedir. Endüstri mühendisliğinde pek çok problem için ikili değişken gösterimi uygun olmayabilir. Reel sayı gösterimi, fonksiyon optimizasyonu problemleri için yaygın kullanılan bir aday çözüm

gösterimidir. Bu gösterimde, genotip uzayının topolojik yapısı, fenotip uzayına çok benzediği için etkin genetik operatörler kolaylıkla uygulanabilmektedir. Tamsayıli permütasyon gösterimi, kombinatoryel optimizasyon problemleri için en yaygın aday çözüm kodlama yaklaşımıdır. Daha karmaşık gerçek problemler için ise veri yapısı gösterimi kullanılabilir (Gen ve Cheng 2000).

3.1.2. Genetik Operatörler

GA'da, yeni bir popülasyon oluşturmak için yapılan her iterasyon nesil olarak adlandırılmaktadır (Yang 2014). Yeni bir nesil oluşturmak için kullanılan temel GA operatörleri, seçim, çaprazlama ve mutasyon olarak tanımlanmıştır (Sastry ve ark 2014).

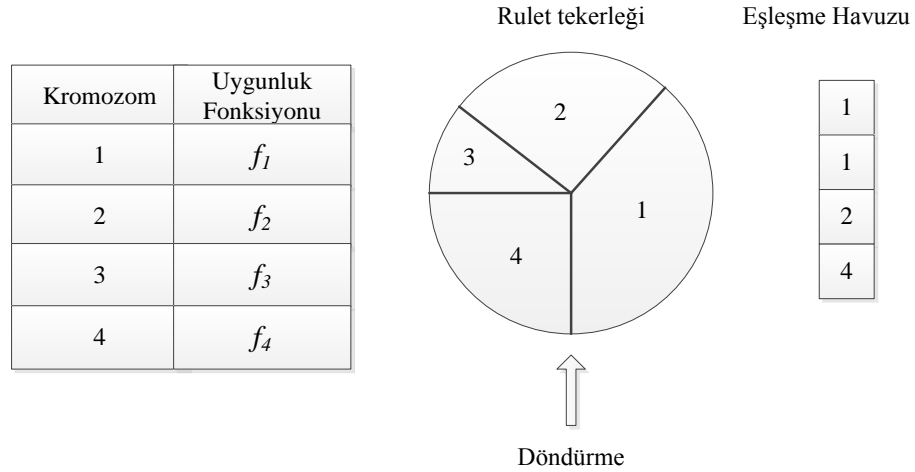
3.1.2.1. Seçim Operatörü

Seçim operatöründe temel prensip, uygunluk fonksiyonu değerine göre iyi olan çözümlerin, kötü olan çözümlere tercih edilmesini ve iyi çözümlerin sonraki nesillere daha çok aktarılmasını sağlamaktır. Yeniden üretim işlemi için yaygın kullanılan seçim yöntemleri, rulet tekerleği seçim yöntemi, sıralı seçim yöntemi, turnuva seçim yöntemi ve elitist seçim yöntemidir.

- **Rulet tekerleği seçim yöntemi:** Rulet tekerleği seçim yöntemi, en yaygın kullanılan olasılıksal seçim yöntemidir. Bu yöntemde, popülasyondaki her kromozom, uygunluk değeri ile orantılı olarak rulet tekerleğinde alana atanmaktadır (Sastry ve ark. 2014). Rulet tekerleği seçim yöntemi prensibi Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Popülasyondaki her bir kromozomun uygunluk değeri f_i , uygunluk fonksiyonuna göre değerlendirilmekte ve her bir kromozomun np adetli popülasyonda seçilme olasılığı p_i , denklem (3.1) ile hesaplanmaktadır (Sastry ve ark. 2014).

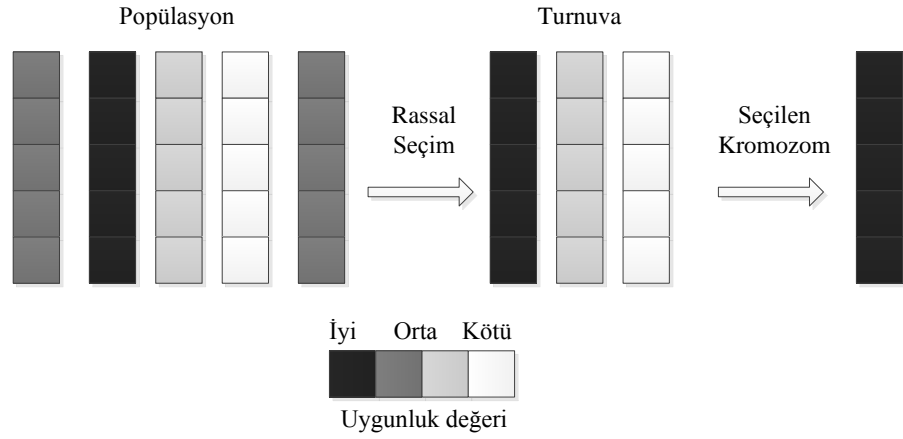
$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^{np} f_j} \quad (3.1)$$



Şekil 3.2. Rulet tekerleği seçim prensibi (Shopova ve Vaklieva-Bancheva 2006)

Denklem (3.1) ve Şekil 3.2’de görüldüğü gibi, rulet tekerleği her döndürüldüğünde uygunluk fonksiyonu değeri yüksek olan kromozomların seçilme olasılığı daha yüksektir (Arora 2004).

- **Sıra tabanlı seçim yöntemi:** Sıra tabanlı seçim, olasılıksal seçim yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde, her kromozom uygunluk fonksiyonu değerine göre sıralanmakta ve seçim olasılığı, uygunluk değeri yerine kromozomun sırasına göre belirlenmektedir (Shopova ve Vaklieva-Bancheva 2006).
- **Turnuva seçim yöntemi:** Turnuva seçim yönteminde, rastgele seçilen bir grup kromozom, birbirlerine karşı turnuvaya sokulmaktadır. Seçilen grupta, uygunluk fonksiyonu en yüksek olan kromozom turnuvayı kazanarak, yeniden üretim için seçilmektedir (Sastri ve ark. 2014). Turnuva seçim yönteminin temel prensibi Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Turnuva seçim yöntemi prensibi (Shopova ve Vaklieva-Bancheva 2006)

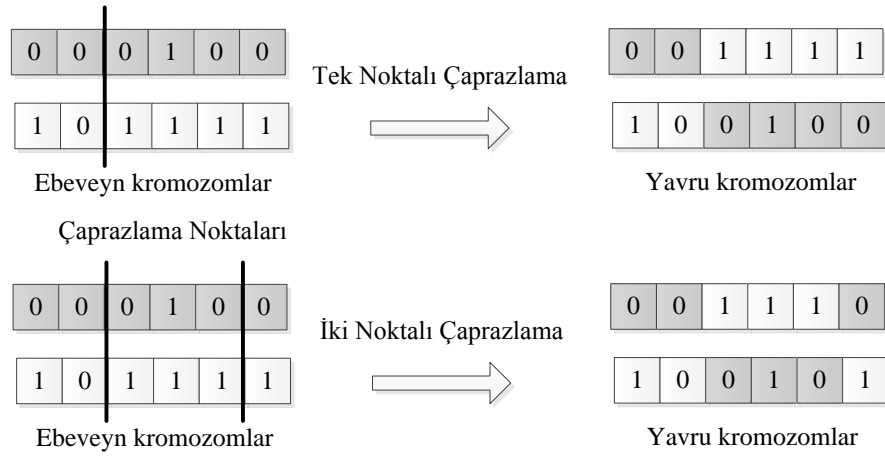
- **Budama (Truncation) seçim yöntemi:** Bu yöntemde, belli bir eşik değerin üzerinde uygunluk değerine sahip olan kromozomlar yeniden üretim için seçilmektedir (Jebari ve Madiafi 2013).
- **Elitist seçim yöntemi:** Elitist seçim yöntemi, genellikle diğer seçim yöntemlerine ek olarak, en iyi uygunluk değerine sahip kromozom veya kromozomların sonraki nesillerde korunması amacıyla kullanılmaktadır (Gen ve Cheng 2000).

3.1.2.2. Çaprazlama Operatörü

Seçim işleminden sonra, eşleşme havuzundaki kromozomlar çaprazlanarak yeni ve daha iyi uygunluk değerine sahip olması beklenen kromozomlar oluşturulmaktadır. Pek çok çaprazlama operatöründe, $cr \times np$ kadar kromozom popülasyon içinden rasgele seçilerek çaprazlama işlemi uygulanmaktadır. Yaygın kullanılan bir başka yaklaşımda ise, öncelikle iki kromozom rassal olarak seçilmekte, ardından cr çaprazlama oranına göre çaprazlamaya uğratılmaktadır. Eğer üretilen r rassal sayısı, cr 'den küçük ise, seçilen kromozoma çaprazlama yapılmakta, aksi halde yapılmamaktadır. Literatürde, çoğu probleme özgü olan, pek çok çaprazlama yöntemi geliştirilmiştir. Problemden bağımsız genel çaprazlama operatörleri, k -noktalı çaprazlama, uniform çaprazlama,

uniform sıra tabanlı çaprazlama, sıra tabanlı çaprazlama ve ters çevirme olarak sıralanabilir (Sastry ve ark. 2014).

- ***k*-noktalı çaprazlama:** Tek veya iki noktalı çaprazlama, en yaygın kullanılan ve en basit çaprazlama operatörlerindedir. Tek noktalı çaprazlamada, ebeveyn kromozomlar üzerinde rastgele bir çaprazlama noktası seçilmekte ve çaprazlama alanındaki genler yer değiştirmektedir. İki noktalı çaprazlamada ise, rastgele iki çaprazlama noktası seçilmekte ve bu iki nokta arasında kalan genler yer değiştirmektedir. Tek ve iki noktalı çaprazlama Şekil 3.4’de görsel olarak da açıklanmıştır (Sastry ve ark. 2014). Benzer çaprazlama prensibi, üç veya daha çok noktalı çaprazlama olarak genişletilebilmektedir.



Şekil 3.4. *k*-noktalı çaprazlama operatörü örneği (Sastry ve ark. 2014)

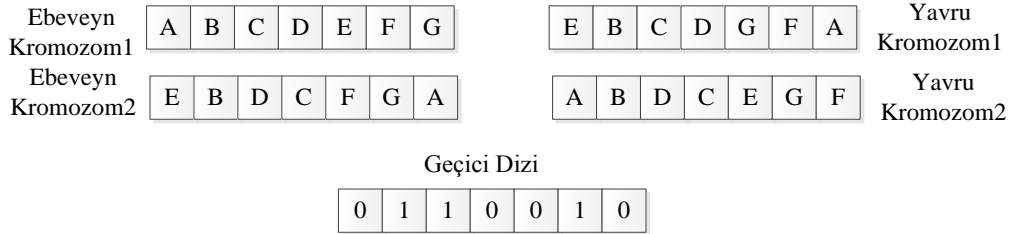
- **Uniform çaprazlama:** Uniform çaprazlama operatörü ile ilgili literatürde farklı yaklaşımlar mevcuttur (Shopova ve Vaklieva-Bancheva 2006, Sastry ve ark. 2014, Bolat ve ark. 2004). Yaygın kullanılan yaklaşıma göre uniform çaprazlamada, ilk etapta ebeveyn kromozomlarla aynı uzunlukta geçici bir dizi oluşturulmaktadır. Geçici dizinin 1 elemanları, 1. yavru kromozomda seçilen 1. ebeveyn kromozom elemanlarının, 2. yavru kromozomda ise seçilen 2. ebeveyn kromozom elemanlarının kullanılacağını göstermektedir. Geçici dizinin 0 elemanları ise 1. yavru kromozomda seçilen 2. ebeveyn kromozom

elemanlarının, 2. yavru kromozomda ise seçilen 1. ebeveyn kromozom elemanlarının kullanılacağını göstermektedir.



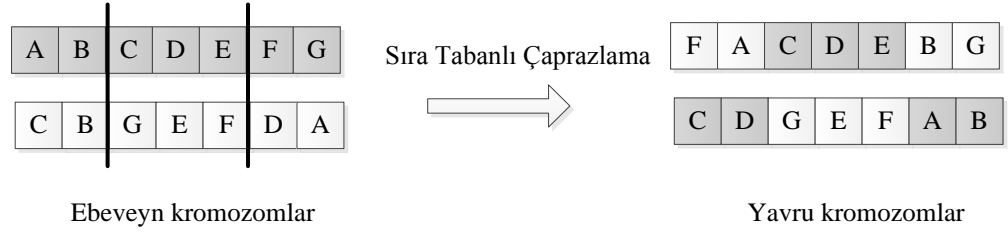
Şekil 3.5. Uniform çaprazlama operatörü örneği

- **Uniform sıra tabanlı çaprazlama:** Uniform sıra tabanlı çaprazlama, Şekil 3.6’da görüldüğü gibi permütasyon kodlama ile oluşturulmuş kromozomlara özgü çaprazlama yaklaşımıdır. Öncelikle rastgele ebeveyn kromozomlar seçilmekte ve geçici bir dizi oluşturulmaktadır. Birinci yavru kromozom için geçici dizide “1” değerindeki genler, birinci ebeveyn kromozomdan seçilmekte, birinci ebeveyn kromozomda atanmamış gen değerleri, ikinci ebeveyn kromozomda görüldüğü sırayla yavru kromozomdaki boşluklara atanmaktadır. İkinci yavru kromozom da benzer yaklaşımla oluşturulmaktadır.



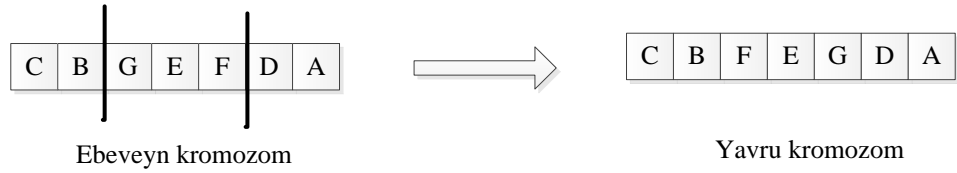
Şekil 3.6. Uniform sıra tabanlı çaprazlama operatörü örneği (Sastry ve ark. 2014)

- **Sıra tabanlı çaprazlama:** Şekil 3.7’de verilen sıra tabanlı çaprazlama, uniform sıra tabanlı çaprazlamaya benzemektedir. Rastgele seçilen iki ebeveyn kromozom üzerinde, rastgele iki kesme noktası belirlenmekte ve bu kesme noktaları arasında kalan genler yavru kromozomlara aktarılmaktadır. Yavru kromozoma henüz atanmamış genler ise, diğer ebeveyn kromozomda görüldüğü sıra ile ikinci kesme noktasından itibaren yavru kromozoma aktarılmaktadır (Sastry ve ark. 2014).



Şekil 3.7. Sıra tabanlı çaprazlama operatörü örneği (Sastry ve ark. 2014)

- **Ters çevirme:** Şekil 3.8’de verilen ters çevirme operatöründe, kromozomdan rastgele iki nokta seçilmekte ve bu iki nokta arasında kalan genler ters çevrilmektedir (Reeves ve Rowe 2003).

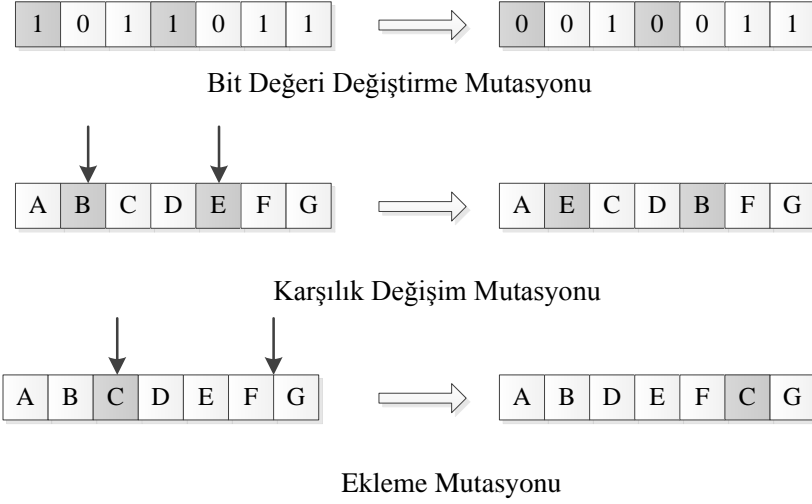


Şekil 3.8. Ters çevirme çaprazlama operatörü örneği

3.1.2.3. Mutasyon Operatörü

Mutasyon işlemi, popülasyonun çeşitliliğini arttırmak ve tüm arama uzayının incelenmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilmektedir (Sastry ve ark. 2014). En yaygın kullanılan mutasyon operatörleri, bit değeri değiştirme, karşılıklı değişim ve ekleme operatörleridir. Mutasyon operatörleri uygulama prensipleri Şekil 3.9’da görsel olarak açıklanmıştır.

Bit değeri değiştirme operatöründe, ikili değişken gösterimine sahip kromozom üzerindeki genlerin değeri, mutasyon olasılığına göre 1’den 0’a veya 0’dan 1’e değiştirilmektedir (Sastry ve ark. 2014).



Şekil 3.9. Mutasyon operatörleri örneği

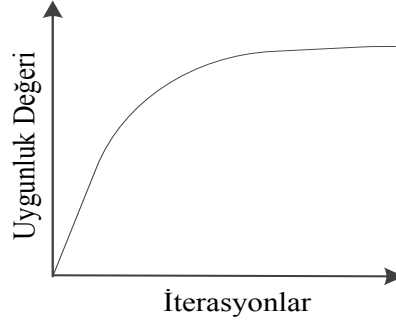
Karşılıklı değişim mutasyon operatöründe, kromozom üzerinde rastgele seçilen iki gen yer değiştirerek kromozom mutasyona uğratılmaktadır. Ekleme mutasyon operatöründe ise, kromozom üzerinde rastgele seçilen bir gen, bulunduğu pozisyondan çıkarılıp rastgele seçilen bir pozisyona eklenerek kromozom mutasyona uğratılmaktadır (Gen ve Cheng 2000, Lee ve ark. 2009).

3.1.3. Durdurma Kriteri

Yerel optimuma ulaşıncaya sona eren komşuluk arama algoritmalarından farklı olarak, GA, olasılıksal arama algoritmasıdır ve temel prensipte sonsuza kadar devam etmektedir. Pratik uygulamalarda, algoritmayı sonlandırmak için bir durdurma koşuluna ihtiyaç duyulmaktadır. Yaygın kullanılan durdurma kriterleri, iterasyon adedi, bilgisayar hesaplama zamanı veya popülasyonun çeşitliliğini izleyip belirli bir eşik değer altına düşünce durdurmaktır (Reeves ve Rowe 2003).

Deneysel çalışmalarda görülmüştür ki, GA'da, başlangıç popülasyonunda çeşitli unsurlar bir araya getirilip denendiği için evrim başlangıçta büyük aşama kaydetmektedir. Zaman içerisinde adaylar birbirine benzemekte ve popülasyon yakınsamaya başlamaktadır. Bu durum, çözüm uzayında aramayı daraltmakta, evrimde gerçekleştirilen değişimleri azaltmakta ve nihayetinde popülasyonun tek bir çözüme

yakınsamasına sebep olmaktadır. Uygunluk fonksiyonunun iterasyonlar boyunca gelişimi analiz edildiğinde, Şekil 3.10'da verildiği gibi tipik bir eğri elde edilmektedir (Bentley 1999).



Şekil 3.10. Uygunluk fonksiyonunun iterasyonlar boyunca gelişim eğrisi (Bentley 1999)

GA'da kullanılan bir diğer durdurma kriteri de minimum iyileşme kriteridir. Uygunluk değerinin iyileşme hızı, belirlenen bir değer altına düştüğünde algoritma sonlandırılmaktadır.

3.1.4. Genetik Algoritma Parametreleri

GA'nın performansını etkileyen başlıca parametreler, çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve popülasyon büyüklüğü olarak tanımlanmaktadır. Çaprazlama oranı cr , genellikle yüksek alınarak $[0,7 - 1,0]$ aralığında tanımlanmaktadır. Eğer cr çok küçük alınırsa, çaprazlama seyrek olarak gerçekleştirilecektir ve bu durum evrim açısından verimli değildir. cr 'nin gereğinden çok yüksek alınması ise, daha iyi yapıları üretmeden iyi yapıların çok hızlı bozulmasına sebep olabilmektedir. Mutasyon oranı mr , genellikle daha küçük alınarak $[0,001 - 0,05]$ aralığında tanımlanmaktadır. Eğer mr çok yüksek alınırsa, optimum çözüme yaklaşılsa bile çözümün etrafından atlanabilmektedir. Ayrıca yüksek mr , popülasyonun tahribatına sebep olabilmektedir. Popülasyon boyutu np 'nin doğru bir şekilde seçimi de bir diğer önemli konudur. np çok küçük alınırsa, arama uzayı örnekleme yetersiz kalacak, yeterince evrim gerçekleşmeyecek ve yerel optimuma takılma riski oluşacaktır. np çok büyük alındığında ise, amaç fonksiyonunun daha fazla evrimi gerekeceği için işlem süresi artacaktır.

Pek çok optimizasyon probleminin çözümü için yaygın olarak kullanılan GA, ağ optimizasyonu, kombinatoriyel optimizasyon, çok amaçlı optimizasyon vb. alanlarda en kuvvetli evrimsel algoritmalarından biridir (Lotfi ve Tavakkoli-Moghaddam 2013).

GA'nın, çizelgeleme, araç rotalama, montaj hattı dengeleme, ağ tasarımı, tesis yerleşimi, hücreli üretim sistemi tasarımı, atama problemi gibi pek çok uygulama alanı bulunmaktadır (Gen ve Cheng 2000). Bölüm 2.8'de detaylı olarak belirtildiği gibi, literatürde ağ tasarım problemlerinin çözümüne yönelik geliştirilmiş GA yaklaşımlarından başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Temel bir GA uygulama adımları Şekil 3.11'de verilmiştir.

Adım 1: Genetik algoritma başlangıç parametrelerini (np , mr , cr , er), f uygunluk fonksiyonunu ve durdurma kriterini tanımla.
Adım 2: $P(l)$ başlangıç popülasyonunu oluştur. $l=1, \dots, L$: iterasyon numarası
Adım 3: $P(1)$ 'deki her bir kromozomun uygunluğunu f uygunluk fonksiyonuna göre değerlendir.
Adım 4: Elitizm uygulanıyorsa, $np \times er$ adet en iyi uygunluk değerine sahip kromozomu yeni popülasyonda tut.
Adım 5: Uygun seçim yöntemi ile üreme işlemini gerçekleştir.
Adım 6: Yeni oluşan popülasyonda, elitizm uygulanan kromozomlar dışındaki kromozomlara cr ve mr oranı ile çaprazlama ve mutasyon işlemlerini uygula.
Adım 7: Yeni popülasyonda uygunluk fonksiyonu değerlerini hesapla. Durdurma koşulu sağlanıyorsa dur, bulunan en iyi uygunluk fonksiyonu değerine sahip kromozomu çözüm olarak belirle. Aksi halde $l=l+1$ ve Adım 4'e git.

Şekil 3.11. Genetik algoritma adımları (Coley 1999, Mitchell 1996)

3.2. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması

Bu bölümde kullanılan simgeler ve açıklamaları aşağıda verilmektedir.

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
D	Arama uzayı boyutu

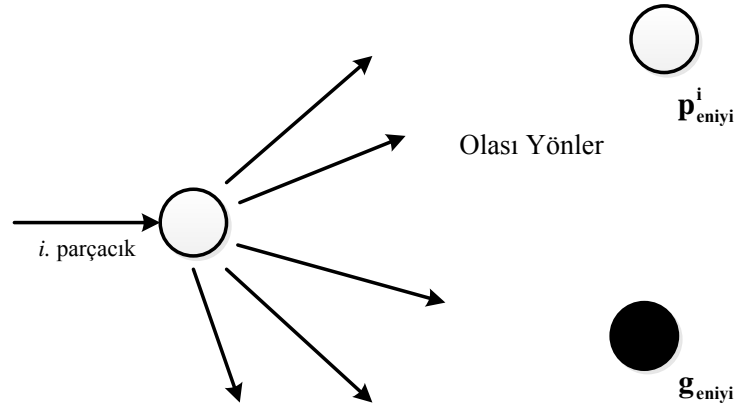
N	Parçacık adedi
L	Maksimum iterasyon adedi
l	İterasyon numarası
\mathbf{x}_i	Parçacık pozisyon vektörü
\mathbf{v}_i	Parçacık hız vektörü
T	Transpoze operatörü
x_{id}	i . parçacığın d . boyuttaki pozisyon değeri
v_{id}	i . parçacığın d . boyuttaki hız değeri
v_{\max}	parçacık hız sınır değeri
$\mathbf{p}_{\text{eniyi}}^i$	i . parçacığın yerel en iyi pozisyon vektörü
$\mathbf{g}_{\text{eniyi}}$	Sürüdeki global en iyi pozisyon vektörü
p_{eniyi}^{id}	i . parçacığın d . boyuttaki yerel en iyi pozisyon değeri
g_{eniyi}^d	Sürüdeki d . boyuttaki global en iyi pozisyon değeri
r_1 ve r_2	Rassal sayılar
c_1 ve c_2	Bilişsel ve sosyal faktörler
k	Parçacık hızını boyut aralığına göre sınırlandırmak için kullanılan parametre

Sürü içerisindeki tek bir organizmanın davranışı genellikle önemsizdir. Fakat, sürü içerisinde organizmaların ortak ve toplu hareketi oldukça önemlidir (Kiranyaz ve ark. 2014). Parçacık sürü optimizasyon yöntemi, Eberhart ve Kennedy (1995) tarafından optimizasyon algoritması olarak geliştirilmiştir ve global optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan sürü zekası yöntemlerinden biridir. Parçacık sürü optimizasyonu, sürü teorileri, evrimsel hesaplama, evrimsel stratejiler ve GA ile ilgilidir (Kadadevaramath ve ark. 2012). Evrimsel algoritmaların ortak özelliği, popülasyon tabanlı olmaları ve yerel optimuma yakalanmayı önlemeleridir. Amaç, çok boyutlu, doğrusal veya doğrusal olmayan sistemlerde ya da fonksiyonlarda global optimuma yakınsamaktır (Kiranyaz ve ark. 2014).

3.2.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonu, organize olmuş, karmaşık sistemler olan sürülerin ortak davranışlarını ve toplumsal özelliklerini inceleyen sürü zekası yöntemlerinden biridir. Sürü, rassal olarak hareket ediyor gibi görünen ve kümelenme eğilimi gösteren hareketli organizmalar popülasyonudur. Sürüdeki her bir organizmanın, diğer organizmalarla etkileşime geçebilme yeteneği vardır. Sürü zekası tekniklerinin motivasyon kaynağı, kuş sürüsü, karınca kolonisi, balık sürüsü gibi doğada var olan ve kendini örgütlenme ve ortak/toplumsal adaptasyon yeteneği yüksek olan sürülerdir. Doğadaki sürülerin bir hedef ararken ortaya koydukları davranışlarının bilgisayar ortamında simüle edilmesi ile çeşitli sürü zekası algoritmaları geliştirilmiştir (Kiranyaz ve ark. 2014).

Parçacık sürü optimizasyonunda, her biri optimizasyon probleminde birer aday çözüm olan parçacıklar arama uzayında hareket etmektedir. Başlangıçta arama uzayında rassal olarak dağıtılmış olan parçacıklar ile global optimuma yakınsama hedeflenmektedir. Her parçacık, arama uzayındaki konumunu ve o ana kadar bulunduğu en iyi çözümü hafızasında tutmaktadır. Ayrıca, parçacık sürü optimizasyonunda sürünün bulunduğu en iyi çözüm de hafızada tutulmaktadır (Kiranyaz ve ark. 2014). Parçacık sürü optimizasyonunda parçacık hareketi, Şekil 3.12’de şematik olarak ifade edilmiştir.

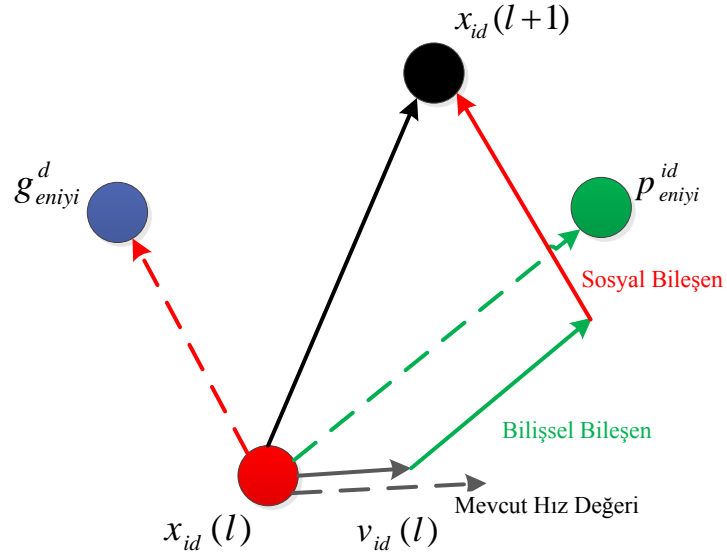


Şekil 3.12. Parçacık sürü optimizasyonunda parçacık hareketi (Yang 2014)

Her parçacığın sonraki iterasyondaki hızı, üç parametre dikkate alınarak hesaplanmaktadır; mevcut hız değeri, sürünün bulunduğu en iyi pozisyon değeri ve

parçacığın o ana kadar bulduğu en iyi pozisyon değeri. Yeni parçacık pozisyonuna, sürünün bulduğu en iyi pozisyon değerini içeren sosyal bileşen ve parçacığın o ana kadar bulduğu en iyi pozisyon değerini içeren bilişsel bileşen rassal olarak katkı koymaktadır (Kiranyaz ve ark. 2014). Parçacık hız ve konum güncellemesi, grafiksel olarak Şekil 3.13’de ifade edilmiştir.

Her iterasyonda, parçacık, mevcut hız değeri, sosyal bileşen (sürünün bulduğu en iyi pozisyon değeri) ve bilişsel bileşenden (parçacığın o ana kadar bulduğu en iyi pozisyon değeri) aldığı bilgileri sonraki iterasyondaki pozisyon ve hız değerlerini elde etmek için kullanmaktadır (Mikki ve Kishk 2008).



Şekil 3.13. Parçacık hız ve konum güncellemesi (Mikki ve Kishk 2008)

3.2.2. Temel Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması

PSOA’da, her bir parçacık bir aday çözümü temsil etmektedir. Parçacıklar, problem uzayında belirlenen hızla hareket ederek, iteratif olarak yeni çözümler aramaktadır. Her parçacık, pozisyon ve hız vektörel bileşenlerine sahiptir. D boyutlu arama uzayında, N adet parçacıktan oluşan sürüde, her bir parçacığa hız ve pozisyon vektörü atanmaktadır. Pozisyon ve hız vektörleri sırasıyla denklem (3.2) ve (3.3)’de tanımlanmıştır.

$$\mathbf{x}_i = [x_{i1} \ x_{i2} \ x_{i3} \ \cdot \ \cdot \ \cdot \ x_{iD}]^T \quad i \in \{1,2,\dots,N\} \quad (3.2)$$

$$\mathbf{v}_i = [v_{i1} \ v_{i2} \ v_{i3} \ \cdot \ \cdot \ \cdot \ v_{iD}]^T \quad i \in \{1,2,\dots,N\} \quad (3.3)$$

Parçacığın o ana kadar bulduğu en iyi uygunluk fonksiyonu değerine sahip pozisyonu tanımlayan yerel en iyi ve sürü tarafından bulunan en iyi uygunluk fonksiyonu değerine sahip pozisyonu tanımlayan global en iyi vektörleri ise sırasıyla denklem (3.4) ve (3.5)'de verilmiştir.

$$\mathbf{p}_{eniye}^i = [p_{eniye}^{i1} \ p_{eniye}^{i2} \ \cdot \ \cdot \ \cdot \ p_{eniye}^{id} \ \cdot \ \cdot \ \cdot \ p_{eniye}^{iD}]^T \quad i \in \{1,2,\dots,N\} \quad (3.4)$$

$$\mathbf{g}_{eniye} = [g_{eniye}^1 \ g_{eniye}^2 \ \cdot \ \cdot \ \cdot \ g_{eniye}^d \ \cdot \ \cdot \ \cdot \ g_{eniye}^D]^T \quad (3.5)$$

Yerel ve global en iyi pozisyon vektörleri ile birlikte, ilgili pozisyondaki uygunluk fonksiyonu değerleri de hafızada saklanmaktadır. f , optimize edilen uygunluk fonksiyonu olarak kabul edilirse, problemin uygunluk fonksiyonu değerinin maksimize edilmesi durumunda yerel en iyi ve global en iyi pozisyon güncellemesi denklem (3.6) ve (3.7)'de verildiği şekilde yapılmaktadır.

$$p_{eniye}^{id}(l+1) = \begin{cases} x_{id}^{yeni} & \text{eğer } f(x_{id}^{yeni}) > f(p_{eniye}^{id}(l)) \quad d \in \{1,2,\dots,D\} \quad i \in \{1,2,\dots,N\} \\ p_{eniye}^{id}(l) & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.6)$$

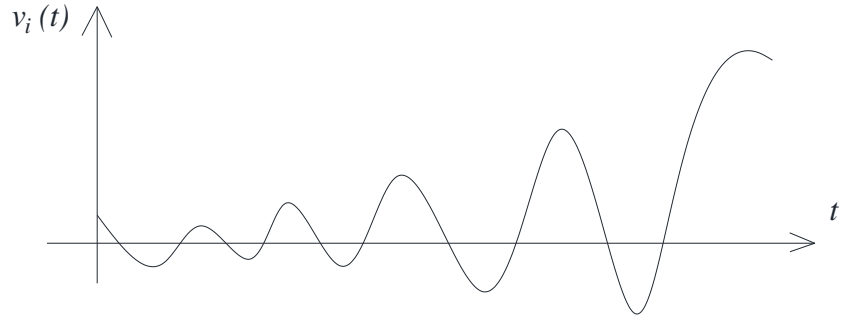
$$g_{eniye}^d(l+1) = \begin{cases} x_{id}^{yeni} & \text{eğer } f(x_{id}^{yeni}) > f(g_{eniye}^d(l)) \quad d \in \{1,2,\dots,D\} \quad i \in \{1,2,\dots,N\} \\ g_{eniye}^d(l) & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.7)$$

Parçacığın pozisyon değişikliğini tanımlayan yeni hız vektörü değerleri, mevcut hız vektörü değeri, yerel en iyi ve mevcut pozisyon vektör değerleri arasındaki fark, global en iyi ve mevcut pozisyon vektörü değerleri arasındaki farkın lineer kombinasyonu ile oluşturulan bir eşitlik ile hesaplanmaktadır. Hız güncelleme eşitliği denklem (3.8)'de, pozisyon güncelleme eşitliği ise denklem (3.9)'da tanımlanmıştır (Yasuda ve ark. 2008).

$$v_{id}^{yeni} = v_{id} + c_1 r_1 (p_{eniyi}^{id} - x_{id}) + c_2 r_2 (g_{eniyi}^d - x_{id}) \quad i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad d \in \{1, 2, \dots, D\} \quad (3.8)$$

$$x_{id}^{yeni} = v_{id}^{yeni} + x_{id} \quad i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad d \in \{1, 2, \dots, D\} \quad (3.9)$$

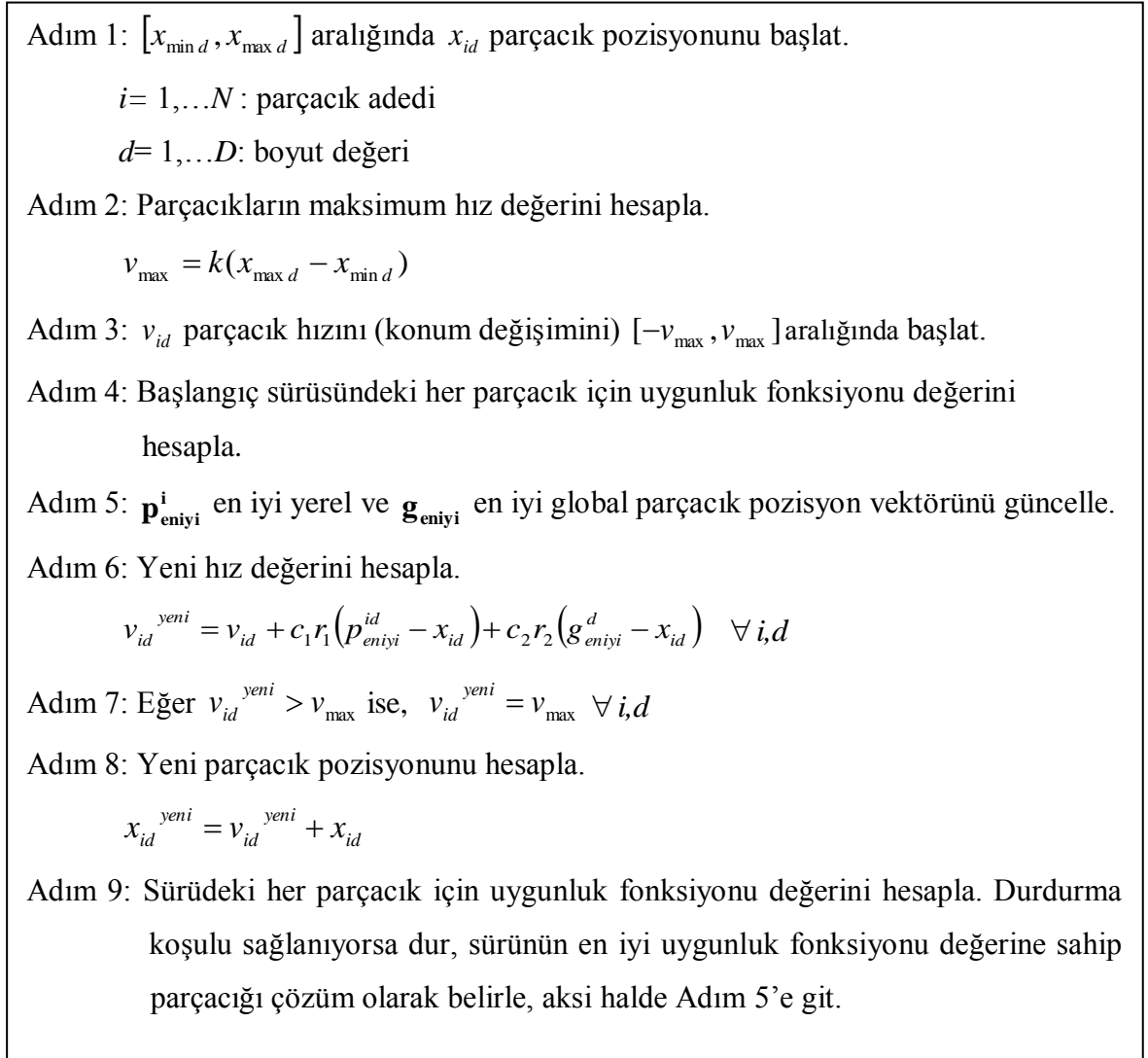
r_1 ve r_2 , $[0, 1]$ aralığında düzgün dağılıma sahip rassal değişkenlerdir. c_1 ve c_2 , bilişsel ve sosyal faktörlerdir (Latha Shankar ve ark. 2013, Babazadeh ve ark. 2011). Üzerinde çalışılan optimizasyon problemine göre algoritma belli bir sayıda iterasyon adedine ulaşılan kadar veya istenen uygunluk fonksiyonu değerine ulaşılan kadar iterasyonlar devam etmektedir. PSOA'da, parçacık hızı genellikle kontrol edilmektedir. Parçacık hızı sınırlandırılmadığı zaman, Şekil 3.14'de verildiği gibi bir salınım göstererek artış eğiliminde olmaktadır.



Şekil 3.14. Parçacık hızının yükselme eğilimi (Kiranyaz ve ark. 2014)

Parçacık hızını kontrol etmek için kullanılan yaygın yöntemlerden biri, hızı $[-v_{\max}, v_{\max}]$ aralığında sınırlandırmaktır. v_{\max} , her parçacığın maksimum hızını sınırlandırmak için parçacığın boyut aralığına göre, $v_{\max} = k(x_{\max d} - x_{\min d})$ eşitliği ile belirlenmektedir. Farklı çalışmalarda farklı k değerlerine rastlanabilmektedir. Parçacık hızını sınırlandırmak için başvurulabilecek diğer bir yöntem, c_1 ve c_2 faktörlerinin değerlerini ayarlamaktır. c_1 ve c_2 faktörleri hızlandırma katsayıları olarak da tanımlanmaktadır. c_1 ve c_2 çok küçük seçildiğinde, parçacıkların yörüngedeki hareketleri yavaş olacak, çok yüksek seçildiğinde ise parçacıkların salınım sıklığı

artacaktır. Literatürde genellikle $c_1 = c_2 = 2$ olarak alınması önerilse de, çalışılan probleme göre parametre analizi yaparak belirlenmesi daha uygun olacaktır (Kiranyaz ve ark. 2014). Şekil 3.15’de, genel bir PSOA adımları gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Parçacık sürü optimizasyon algoritması adımları (Yasuda ve ark. 2008)

PSOA, hafıza ve işlemci hızı gereksinimlerinin düşük olması sebebiyle pek çok optimizasyon problemine kolaylıkla uygulanabilmektedir (Latha Shankar ve ark. 2013).

Literatürde, ağ tasarım problemlerinde PSOA’nın kullanıldığı sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Che (2012) çok aşamalı, dengeli olmayan tedarik zinciri planlama problemi için PSOA geliştirmiştir. Kadadevaramath ve ark. (2012) üç aşamalı tedarik

zinciri ağı planlama optimizasyonu için PSOA önermişlerdir. Latha Shankar ve ark. (2013) çok aşamalı tedarik zinciri için çok amaçlı hibrid PSOA geliştirmişlerdir. Babazadeh ve ark. (2011) ulaştırma ağı tasarlama problemine PSOA uygulamışlardır.

3.3. Gri Sistem Teori

Bu bölümde kullanılan simgeler ve açıklamaları aşağıda verilmektedir.

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
n	Dönem adedi
$X^{(0)}$	Veri serisi
$X^{(1)}$	Kümülatif veri serisi
$x^{(1)}(k)$	k dönemine ait kümülatif veri serisi elemanı
$Z^{(1)}$	$X^{(1)}$ 'in ardışık komşularından üretilen geçmiş veri serisi
$z^{(1)}(k)$	k dönemine ait $Z^{(1)}$ serisi elemanı
α	Yatay düzeltme katsayısı
a	Gelişen katsayı
b	Gri girdi
B	Veri matrisi
Y	Veri matrisi
$x_p^{(1)}(k+1)$	$k+1$ dönemine ait tahmini kümülatif veri serisi elemanı
$x_p^{(0)}(k+1)$	$k+1$ dönemine ait tahmini veri serisi elemanı
$x_p^{(0)}(k+H)$	$k+H$ dönemine ait tahmini veri serisi elemanı

Disiplinler arası bir yaklaşım olan gri sistem teori, ilk olarak 1980'li yılların başında, Deng tarafından, belirsizliğin sayısallaştırılmasında alternatif bir metot olarak ortaya atılmıştır. Ortaya çıkışındaki temel düşünce, belirsiz sistemlerin davranışlarını, sınırlı sayıda veri yardımı ile tahmin etmektir (Köse ve ark. 2010).

Literatürde, belirsizlikle mücadele edebilmek için genellikle olasılık, istatistik, bulanık mantık, gri sistem teori gibi yaklaşımlar kullanılmaktadır. Farklı tipteki belirsizliklerle

uğraşmalarına rağmen, bu teorilerin ortak noktası, eksik bilgi ve belirsizliğin olduğu durumlarda anlamlı sonuçlar çıkarabilme gücüne sahip olmalarıdır (Köse ve ark. 2010). Diğer yöntemlerden farklı olarak, gri sistem teori, çoğunlukla belirsiz ve küçük boyutta verinin olduğu veri setleri ile ilgilenmektedir (Wang ve ark. 2013). Gri modeller, yakın geçmiş verisini kullanarak gelecek dönem değerlerini tahmin etmektedir (Kayacan ve ark. 2010).

Gri sistem teorisinde, $GM(\eta, m)$, m adet değişkeni ve η . dereceden diferansiyel denkleme sahip bir gri modeli ifade etmektedir. Genellikle hesaplamalardaki etkinliği nedeniyle $GM(1,1)$ modeli kullanılmaktadır (Kayacan ve ark. 2010). $GM(1,1)$ modeli, sadece pozitif veri dizilerinden oluşabilir ve veri büyüklüğü en az dört ($n \geq 4$) olmalıdır. $GM(1,1)$ modeli ile tahmin, temel olarak üç aşamadan oluşmaktadır; kümülatif üretim operasyonu, gri modelleme ve ters kümülatif üretim operasyonu (Deng 1989). $GM(1,1)$ modelinin detayları denklem (3.10)-(3.23)'de verilmiştir.

Örneğin $X^{(0)}$ bir zaman serisi olsun :

$$X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)) \quad n \geq 4 \quad (3.10)$$

Bu seriye kümülatif üretim operasyonu uygulandığında $X^{(1)}$ serisi elde edilmektedir:

$$X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)) \quad n \geq 4 \quad (3.11)$$

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3.12)$$

$X^{(1)}$ ' in ardışık komşularından üretilen geçmiş veri serisi $Z^{(1)}$ ise denklem (3.13) 'deki gibi tanımlanmaktadır:

$$Z^{(1)} = (z^{(1)}(1), z^{(1)}(2), \dots, z^{(1)}(n)) \quad (3.13)$$

$x^{(1)}$ 'in ardışık komşularından üretilen geçmiş veri serisi elemanı $z^{(1)}(k)$ denklem (3.14)'de verildiği gibi hesaplanmaktadır (Hamzeci ve Es 2014).

$$z^{(1)}(k) = \alpha x^{(1)}(k) + (1-\alpha)x^{(1)}(k-1) \quad k = 2,3,\dots,n \quad (3.14)$$

Komşu verilerin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanan $z^{(1)}(k)$ 'nin elde edilmesinde kullanılan, α yatay düzeltme katsayısı, literatürde genellikle 0,5 olarak alınmakta ve $z^{(1)}(k)$ denklem (3.15)'de verildiği gibi hesaplanmaktadır (Kayacan ve ark. 2010).

$$z^{(1)}(k) = 0,5 x^{(1)}(k) + (1-0,5)x^{(1)}(k-1) \quad k = 2,3,\dots,n \quad (3.15)$$

GM(1,1) modelinin temel hali denklem (3.16)'da verildiği gibi tanımlanmaktadır (Deng 1989):

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b \quad (3.16)$$

a ve b katsayıları göstermektedir. a , gelişen katsayı, b ise, gri girdidir. Denklem (3.16) matris formda yazıldığında, denklem (3.17) elde edilmektedir. $x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)$ alınmaktadır (Hui ve ark. 2009).

$$\begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \cdot \\ \cdot \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

a ve b değişkenlerini en küçük kareler metodu ile hesaplamada, \mathbf{B} ve \mathbf{Y} veri matrisleri kullanılmaktadır. \mathbf{B} ve \mathbf{Y} , denklem (3.18) ve (3.19) 'da verildiği gibi tanımlanmaktadır:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

$$\mathbf{Y} = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T \quad (3.19)$$

a ve b değişkenlerinin, en küçük kareler metodu ile hesaplanması formülasyonu denklem (3.20)' de verildiği gibidir (Deng 1989):

$$[a, b]^T = (\mathbf{B}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{Y} \quad (3.20)$$

Beyazlatma eşitliği ise denklem (3.21) 'de tanımlanmaktadır (Kayacan ve ark. 2010):

$$\frac{dx^1(t)}{dt} + ax^1(t) = b \quad (3.21)$$

Beyazlatma eşitliğine göre, $x^{(1)}(t)$ 'nin $k+1$ zamanındaki çözümü için gerekli matematiksel işlemler yürütüldüğünde, $x^{(1)}(t) = b/a - (1/aC)e^{-at}$ olarak hesaplanmakta, $x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)$ alınarak, $C = e^{-a} / (b - ax^{(0)}(1))$ olarak elde edilmekte ve sonuç olarak $x_p^{(1)}(k+1)$, denklem (3.22)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$x_p^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (3.22)$$

$(k+1)$ zamanında veri tahminini elde etmek için ters kümülatif üretim operasyonu $(x^{(0)}(k+1) = x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k))$ ile denklem (3.23) elde edilmektedir (Deng 1989):

$$x_p^{(0)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} (1 - e^{-a}) \quad (3.23)$$

$(k+H)$ zamanında yapılacak tahmin için ise denklem (3.24) kullanılmaktadır:

$$x_p^{(0)}(k+H) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-a(k+H-1)} (1 - e^{-a}) \quad (3.24)$$

Gri sistem teorisi gereğince oluşturulan gri modelleme ile tahminde, belirsiz ve sınırlı sayıda veri ile diğer tahmin yöntemlerine göre başarılı sonuçlar elde edilebilse de, tahmin modelinin doğruluğunu arttırmak için literatürde Fourier serisi ve Markov zinciri ile hata düzeltmesi, sinirsel ağlar ile hata işaret tahmini, genetik programlama, parametre optimizasyonu gibi çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar, çoğunlukla tahmin hatasının modellenmesine dayanmaktadır.

3.3.1. Gri Modellemede Parametre Optimizasyonu

Bu bölümde kullanılan simgeler ve açıklamaları aşağıda verilmektedir.

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
α	Yatay düzeltme katsayısı

Gri modellemede, tahmin performansını etkileyen, Denklem (3.13) ve Denklem (3.14)'de verilen $Z^{(1)}$ 'in elde edilmesinde kullanılan α yatay düzeltme katsayısı ($0 < \alpha < 1$), tahmin modelinin hatasını minimize edecek şekilde seçilerek modelin doğruluğu arttırılabilmektedir. Denklem (3.15)'de verilen $z^{(1)}(k)$ 'nin ifadesinde de görüldüğü gibi, literatürde α katsayısı genellikle 0,5 olarak alınmaktadır. Fakat deneysel çalışmalarla, α parametresinin en iyi değeri belirlenebilmekte ve GM (1,1) tahmin modelinin hatası azaltılabilmektedir (Hamzacebi ve Es 2014).

Hamzacebi ve Es (2014) gri modelleme ile yıllık elektrik tüketiminin tahmini için yaptıkları çalışmalarında, parametre optimizasyonu yaparak, daha doğru tahmin modeli elde etmişlerdir. Literatürdeki gri modelleme ile elektrik talep tahmini için yapılan çalışmalarla kıyaslandığında, önerdikleri yaklaşımın, hatayı % 1,32 oranında düşürdüğünü belirtmişlerdir. Lee ve ark. (2014) yeşil elektronik malzemelerin artışı ile

ilgili yaptıkları çalışmalarında, GM(1,1) α modelini geliştirmişler ve en uygun α değerini elde ederek yapılan tahmin çalışmasında ortalama mutlak hatayı % 7,27'ye düşürmüşlerdir.

3.3.2. Fourier Serisi ile Hata Düzeltmesi

Bu bölümde kullanılan simgeler ve açıklamaları aşağıda verilmektedir.

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
n	Dönem adedi
$\varepsilon^{(0)}$	Hata serisi
$\varepsilon^{(0)}(k)$	k dönemindeki hata değeri
$\varepsilon_p^{(0)}$	Tahmini hata serisi
$\varepsilon_p^{(0)}(k)$	k dönemindeki hatanın tahmini değeri
af, bf	Fourier katsayısı
T	Transpoze operatörü
U	Hata serisinin uzunluğu (dönemsel)
z	Minimum yayılım katsayısı
F	Fourier veri matrisi
C	Katsayılar matrisi
$x_p^{(0)}(k)$	k dönemindeki tahmini değer
$x_{pf}^{(0)}(k)$	k dönemindeki Fourier serisi ile düzeltilmiş tahmini değer
$x^{(0)}(k)$	k dönemindeki veri serisi elemanı

Gri modelleme ile elde edilen tahminde, Fourier serisinin kullanımı ile düşük frekanslı verilerin de dikkate alınması ve verilerdeki rassallığın veya gürültünün filtrelenmesi sağlanmaktadır (Lin ve ark. 2009).

Eşitlik (3.23) ile edilen tahmin değerlerinin hata serisi denklem (3.25)'deki gibi elde edilmektedir:

$$\varepsilon^{(0)} = (\varepsilon^{(0)}(2), \varepsilon^{(0)}(3), \dots, \varepsilon^{(0)}(n)) \quad (3.25)$$

k dönemindeki hata değeri $\varepsilon^{(0)}(k)$, denklem (3.26) ile elde edilmektedir:

$$\varepsilon^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) - x_p^{(0)}(k) \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (3.26)$$

Hata değerleri, Fourier serisi ile denklem (3.27)'deki gibi ifade edilmektedir:

$$\varepsilon^{(0)}(k) \cong \frac{1}{2} af_0 + \sum_{i=1}^z \left[af_i \cos\left(\frac{2\pi i}{U} k\right) + bf_i \sin\left(\frac{2\pi i}{U} k\right) \right] \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (3.27)$$

Bu eşitlikte hata serisinin uzunluğu U , $U = n - 1$ ve minimum yayılım katsayısı z , $z = \left(\frac{n-1}{2}\right) - 1$ olarak hesaplanmaktadır. Denklem (3.27), denklem (3.28)'de verildiği gibi yazılabilmektedir:

$$\varepsilon^{(0)} \cong \mathbf{F} \mathbf{C} \quad (3.28)$$

\mathbf{F} ve \mathbf{C} matrisleri ise denklem (3.29) ve (3.30)'da verildiği gibi tanımlanmaktadır:

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1/2 & \cos\left(2 \frac{2\pi}{U}\right) & \sin\left(2 \frac{2\pi}{U}\right) & \cos\left(2 \frac{2\pi 2}{U}\right) & \sin\left(2 \frac{2\pi 2}{U}\right) & \dots & \cos\left(2 \frac{2\pi z}{U}\right) & \sin\left(2 \frac{2\pi z}{U}\right) \\ 1/2 & \cos\left(3 \frac{2\pi}{U}\right) & \sin\left(3 \frac{2\pi}{U}\right) & \cos\left(3 \frac{2\pi 2}{U}\right) & \sin\left(3 \frac{2\pi 2}{U}\right) & \dots & \cos\left(3 \frac{2\pi z}{U}\right) & \sin\left(3 \frac{2\pi z}{U}\right) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/2 & \cos\left(n \frac{2\pi}{U}\right) & \sin\left(n \frac{2\pi}{U}\right) & \cos\left(n \frac{2\pi 2}{U}\right) & \sin\left(n \frac{2\pi 2}{U}\right) & \dots & \cos\left(n \frac{2\pi z}{U}\right) & \sin\left(n \frac{2\pi z}{U}\right) \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

$$\mathbf{C} = [a_0 \ a_1 \ b_1 \ a_2 \ b_2 \ \dots \ a_z \ b_z]^T \quad (3.30)$$

Denklem (3.28) en küçük kareler yöntemi ile çözüldüğünde, katsayılar matrisi \mathbf{C} , denklem (3.31)'de verildiği gibi hesaplanmaktadır (Kayacan ve ark. 2010):

$$\mathbf{C} \cong (\mathbf{F}^T \mathbf{F})^{-1} \mathbf{F}^T \boldsymbol{\varepsilon}^{(0)} \quad (3.31)$$

Denklem (3.31) ile elde edilen katsayılar matrisi değerleri denklem (3.27)'de yerine koyulduğunda, $\boldsymbol{\varepsilon}_p^{(0)}$ tahmini hata serisi elde edilmektedir. Fourier serisi ile düzeltilmiş tahmin modeli k dönemi için denklem (3.32)'de verildiği gibi elde edilmektedir (Lin ve ark. 2009, Kayacan ve ark. 2010):

$$x_{pf}^{(0)}(k) = x_p^{(0)}(k) + \boldsymbol{\varepsilon}_p^{(0)}(k) \quad k = 2, 3, \dots, n+1 \quad (3.32)$$

Kayacan ve ark. (2010), Huang ve Lee (2011), Nguyen ve ark. (2013) Fourier serisi ile düzeltilmiş gri tahmin modelini uygulamışlardır. Kayacan ve ark. (2010) farklı gri tahmin modellerinin performanslarını karşılaştırdıkları çalışmalarında, GM (1,1) modeline, Fourier serisi ile hata düzeltmesi uyguladıklarında ortalama mutlak yüzdesel hatayı % 0,1517'den, % 0,0804'e düşürmüşlerdir. Huang ve Lee (2011) turizm talebinin tahmini ile ilgili yaptıkları çalışmalarında, gri tahmin modeline Fourier serisi ile hata düzeltmesi uygulayarak, ortalama mutlak hatayı % 6,47'den % 1,30'a düşürmüşlerdir. Nguyen ve ark. (2013) ise yine turizm talep tahmini ile ilgili çalışmalarında, GM (1,1) tahmin modeline Fourier serisi ile hata düzeltmesi uygulayarak, ortalama mutlak yüzdesel hatayı, % 0,129'dan % 0,0105'e indirmişlerdir.

3.3.3. Markov Zinciri ile Hata Düzeltmesi

Bu bölümde kullanılan simgeler ve açıklamaları aşağıda verilmektedir.

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
X_m	Markov zinciri
S	Durum uzayı $i, j \in S$
P_{ij}	i durumundan j durumuna geçiş olasılığı

P	Geçiş olasılıkları matrisi
TK	Zaman parametresi kümesi

Markov zinciri, stokastik süreçlerin özel bir tipidir ve biyoloji, finans, mühendislik gibi pek çok farklı alanda stokastik model oluşturmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. X ile tanımlanan bir stokastik süreçte, ortaya çıkan rasgele değişkenler $X(t)$ ise, bu süreç, $X = \{X(t), t \in TK\}$ şeklinde tanımlanır. Markov zincirinde, geçmiş verilerden bağımsız olarak, bir sonraki dönemde, değişkenin değeri sadece mevcut durumdaki değere bağlı olarak değişmektedir. Markov zinciri, bu özelliği nedeniyle, geçmiş verilerden bağımsız, mevcut duruma bağlı olarak değişkenlik gösteren durumlarda bir tahmin metodu olarak da kullanılmaktadır (Hsu ve ark. 2009).

Bir Markov zincirinin $\{X_m\}$ durum uzayı S olarak kabul edilirse, mevcut durum i 'den sonraki durum j 'ye geçiş olasılığı denklem (3.33)'de verildiği gibi tanımlanmaktadır:

$$P_{ij} = \text{Prob}\{X_{m+1} = j | X_m = i\} \quad i, j \in S, m \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad (3.33)$$

Tüm i ve j durumları için, P_{ij} geçiş olasılıklarının yer aldığı matris **P** ise, geçiş olasılıkları matrisi olarak denklem (3.34)'de verildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1k} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{k1} & P_{k2} & \dots & P_{kk} \end{bmatrix} \quad S = 1, 2, \dots, k \quad (3.34)$$

P matrisinin aşağıdaki özellikleri taşıması gerekmektedir (Hsu ve ark. 2009):

- 1) $P_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \in S$
- 2) $\sum_{j \in S} P_{ij} = 1 \quad \forall i \in S$

Verideki rassal dalgalanmanın yüksek olduğu durumda, Markov zinciri, GM (1,1) tahmin modelini geliştirmek amacıyla kullanılabilir (Kumar ve Jain 2010). Literatürde, Markov zinciri ile tahmin modelinin doğruluğunun artırılması için kullanılan iki yaklaşıma rastlanmaktadır: tahmin hata değerlerinin ve tahmin hata değerlerinin işaretlerinin tahmini. Tahmin hatasını tahmin etmek için, maksimum ve minimum hata değerleri arasında, benimsenen aralık oluşturma yaklaşımına göre olası durumları temsil eden hata aralıkları belirlenmekte ve geçiş olasılıkları, tanımlanan durumlar arasında gerçekleşen geçiş sıklığına göre hesaplanmaktadır. Tahmin hatasının işaret tahmininde ise hata değerinin pozitif veya negatif olmasını temsil eden iki durum tanımlanmakta ve geçiş olasılıkları, tanımlanan durumlar arasında gerçekleşen geçiş sıklığına göre hesaplanmaktadır.

Hsu (2003), Lee ve ark. (2004), Li ve ark. (2007), Wang ve Meng (2008), Kumar ve Jain (2010), çalışmalarında, Markov teorisi ile gri modellemeyi geliştirerek yüksek doğrulukta tahmin modelleri elde etmişlerdir. Hsu (2003) GM (1,1) tahmin modelini Markov zincir teorisi ile geliştirerek, tahmin hatasını % 4,19'dan % 0,88'e düşürmüştür. Lee ve ark. (2004) Gri-Markov tahmin modelini önerdikleri çalışmalarında, modelin doğruluk performansı ile ilgili çeşitli testler yapmışlar ve GM (1,1) modelinin doğruluk oranı yüksek olduğu zaman, Gri-Markov modelinin doğruluğunun da arttığını vurgulamışlardır. Li ve ark. (2007) gri modelleme uyguladıkları tahmin çalışmasında, Markov zincir teorisini kullanarak, ortalama mutlak hatayı % 6,15'den, % 5,67'e düşürmüşlerdir. Kumar ve Jain (2010) enerji tüketim tahmini ile ilgili çalışmalarında, GM (1,1) modelini Markov zincir teorisi ile geliştirerek % 99,2'lik doğruluk oranı elde etmişlerdir. Wang ve Meng (2008) ise elektrik talep tahmininde, GM (1,1) modeli ile % 92,06'lık doğruluk oranı elde ederken, Gri-Markov tahmin modeli ile % 99,46'lık doğruluk oranı elde etmişlerdir.

Lin ve ark. (2001), Lin ve Lee (2007), Hsu ve ark. (2009), Lin ve ark. (2009), gri tahmin modeli üzerinde Fourier serisi ve Markov teorisi ile birinci ve ikinci seviye hata tahmini yaparak tahmin modellerini geliştirmişlerdir. Lin ve ark. (2001) Markov zincir teorisi ve Fourier serisi ile hata düzeltmesi uygulayarak geliştirdikleri gri tahmin modelinde, ortalama mutlak hatayı, GM (1,1) modeline göre % 0,0121'den % 0,0070'e

düşürmüşlerdir. Lin ve Lee (2007) Markov zincir teorisi ve Fourier serisini birlikte kullanarak geliştirdikleri gri tahmin modelinde, ortalama mutlak hatayı % 0,221'den % 0,069'a düşürmüşlerdir. Hsu ve ark. (2009) Markov-Fourier gri tahmin modeli ile ortalama mutlak hatayı, % 5,06'dan % 0,93'e düşürmüşlerdir. Lin ve ark. (2009) ise, önerdikleri Markov zinciri ve Fourier serisi ile geliştirilmiş model ile ortalama hatayı, GM (1,1)'e göre % 5,70'den % 4,23'e düşürmüşlerdir.

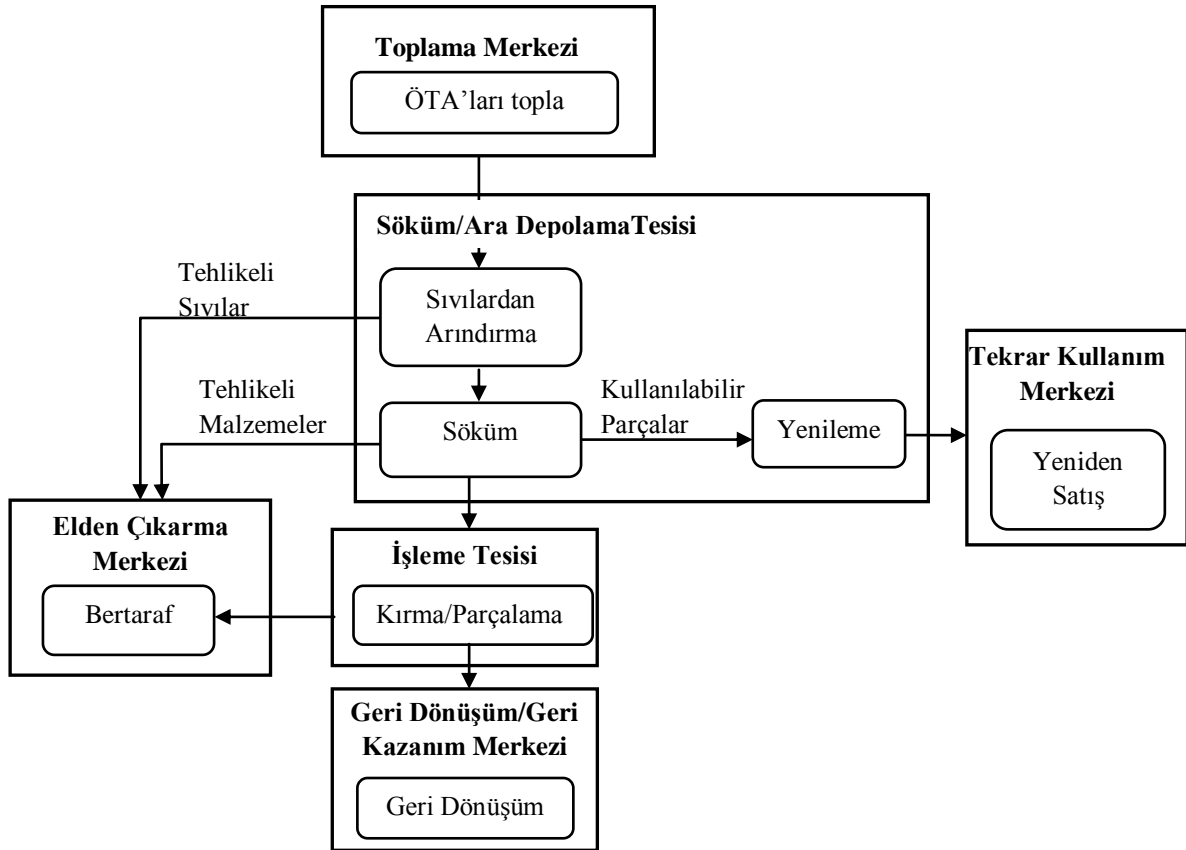
3.4. Problem Tanımı

Tez kapsamında, üzerinde çalışılan otomotiv endüstrisinde TTZ ağı tasarımı problemini tanımlayabilmek, problemin kapsamını ve çerçevesini belirleyebilmek için öncelikle otomotiv endüstrisinde TTZ sürecinin araştırılması ve gerçekleştirilen ÖTA geri kazanım ve geri dönüşüm faaliyetlerinin tanımlanması gerekmektedir. ÖTA-TTZ'si ile ilgili ön incelemelerden sonra, ağ tasarımında ihtiyaç duyulacak ağ yapısı tanımlanmıştır.

3.4.1. Otomotiv Endüstrisinde Tersine Tedarik Zinciri Faaliyetleri

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 2009 yılında yayınlanan Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik'de, ekonomik operatörlerin ve geçici depolama alanlarının tabi olacakları standartlar ve yükümlülükler, ÖTA'ların toplanması, arındırma ve sökülme işlemlerinde uyulması gereken kurallar ve işlem adımları belirtilmiştir. Ayrıca, işleme tesisinde aracın parçalanması, parçalama sonrası oluşan atıkların geri kazanıma veya elden çıkarmaya hazırlanması için yapılan her türlü faaliyetler, yeniden kullanım-geri kazanım ve yeniden kullanım-geri dönüşüm oranları ile ilgili gerekli tüm bilgiler detaylı olarak açıklanmıştır. ÖTA-TTZ faaliyetlerinin özet gösterimi Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Mevcut sistemde, yönetmeliğin temel odak noktası atık oluşumunu engellemek ve yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım işlemleri ile bertaraf edilecek atık miktarını azaltmaktır. Yönetmelik ile ilgili yapılacak güncellemelerde araç parça veya bileşenleri için yeniden üretim, tamir veya yenileme gibi stratejiler de dikkate alınabilir.

ÖTA'lar ile bu araçları geçici depolayan, işleyen, geri kazanan ve bertaraf eden tesislerden kaynaklanan atık sular, atık yağlar, ömrünü tamamlamış lastikler, atık pil ve akümülatörler, poliklorlu bifenilli atıklar ile tehlikeli özellik taşıyan diğer atıkların arıtılması, geri kazanımı ve bertarafı ilgili malzemenin atık kontrol yönetmeliğine uygun olarak gerçekleştirilmek zorundadır.



Şekil 3.16. Ömrünü tamamlamış araç tersine tedarik zinciri faaliyetleri yapısı

Binek araç kapsamındaki ÖTA'ları iki şekilde sınıflandırmak mümkündür;

- Son kullanıcıdan gelen araçlar
- Sigorta şirketlerinden gelen tam hasarlı araçlar

ÖTA'lardaki tekrar kullanılabilir parçalar; ön ve arka kapılar, bagaj kapağı, motor kaputu, torpido ve iç göstergelerin bulunduğu konsül, motor bloğu, diferansiyel, tavan

sacı, patlamamış hava yastıkları, vites kutusu, ön ve arka tamponlar şeklinde sıralanabilir. Bu parçaların, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığının (2011 itibariyle T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının) veri sistemi doğrultusunda barkodlanması gerekmektedir. ÖTA'lardaki tehlikeli maddeler ise; akü ve pil, sıvılar, hava yastıkları, LPG tankları, yağ ve yakıt filtreleri, katalitik konvertör, cıva içeren anahtarlar, asbest içeren balatalar şeklinde sıralanabilir.

3.4.1.1. Ömrünü Tamamlamış Araçların Toplanması

ÖTA'lar, araç sahipleri tarafından ÖTA teslim yerlerine teslim edilir. ÖTA teslim yerinde EK 1'de örneği verilen ÖTA kontrol yönetmeliğinde tanımlanan kayıttan düşme ve bertaraf formu temin edilerek, ÖTA'nın kayıttan düşme işlemleri tamamlanır. ÖTA teslim yerleri ekonomik operatörler tarafından kurulur. Yönetmeliğe göre her ilde mutlaka en az bir adet ÖTA teslim yeri bulunması gerekmektedir. ÖTA teslim yerleri, araç yoğunluğuna bağlı olarak yeterli sayıda ve araç sahibinin kolaylıkla ulaşabileceği mesafelerde tesis edilmelidir. ÖTA teslim yeri bulunmayan veya yetersiz olan illerde, bu yerler araç üreticileri tarafından oluşturulur. Teslim yerinde 10 adetten fazla araç bekletilemez ve bekletme süresi 60 günü geçemez. Ekonomik operatörler, teslim yerlerini ilgililerin kolaylıkla erişebileceği şekilde duyurmalıdır.

3.4.1.2. Ömrünü Tamamlamış Araçların Arındırma, Söküm ve Depolama İşlemleri

ÖTA'ların arındırıldığı, söküldüğü ve işleme tesisine gönderilinceye kadar geçici olarak bekletildiği çevre izin ve lisansı alması gereken yerler, Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik'de, geçici depolama alanı olarak tanımlanmaktadır. Yönetmeliğe göre ÖTA'ların arındırılmasında aşağıdaki işlemlerin yapılması gerekmektedir:

- Sıvılaştırılmış gaz tankları ve akülerin çıkarılması,
- Hava yastıkları gibi patlama olasılığı bulunan parçaların çıkarılması ya da nötralizasyonu,

- Uygulama olanağının bulunması durumunda cıva içerdiği bilinen tüm parçaların araçtan çıkarılması,
- Sıvı ve/veya sıvılaştırılmış yakıt, motor yağı, transmisyon yağı, şanzıman yağı, hidrolik yağı, soğutma sıvıları, antifiriz, fren sıvıları ve klima sıvılarının boşaltılması ve ayrı depolanması,
- Kullanılan konteyner ve tankların, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 2008 yılında 26927 sayılı resmi gazete ile yayımlanan Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik'te yer alan atık kodlarına uygun olarak etiketlenmesi.

Parçalama ve geri dönüşüm öncesi, ÖTA'lardan aşağıdaki parça ve malzemelerin sökülmesi zorunludur:

- Katalizörler,
- Parçalayıcıda ayrıştırılmayacaksa, bakır, alüminyum ve magnezyum içeren metal parçalar,
- Camlar,
- Tampon, kontrol paneli, sıvı içeren kaplar gibi büyük plastik parçalar,
- Parçalayıcıda parçalanarak geri dönüşüm için uygun malzeme elde edilemeyeceği durumlarda lastikler.

Depolama işleminin, sıvı içeren parçaların veya geri kazanılabilir aksam ve yedek parçaların zarar görmeyeceği şekilde yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, depo içinde düzeni ve sınıflandırmayı sağlayacak ekipmanlar bulundurulması gerekmektedir.

3.4.1.3. Ömrünü Tamamlamış Araçların İşlenmesi

Arındırma ve söküm işlemi gerçekleştiren ÖTA'ların kesme, parçalama, parçalama sonrası oluşan atıkların geri kazanıma veya bertarafı hazırlanması faaliyetleri işleme tesisince yürütülür. İşleme tesislerinin çevre izin ve lisansı almış olması gerekmektedir.

ÖTA'lerden çıkarılan parçalar, araç güvenliği ve çevre standartlarını karşılamaları durumunda yeniden kullanılabilir. Yeniden kullanılamayan parçalar için çevresel açıdan uygunsa geri dönüşüm, geri kazanım işlemleri uygulanır. Bu faaliyetler, hava emisyonları, gürültü kontrolü gibi çevresel gerekliliklere uygun olarak yapılır. Yönetmeliğe göre, ÖTA'larda yeniden kullanım ve geri kazanım oranları ortalama araç ağırlığının en az % 85'i; yeniden kullanım ve geri dönüşüm oranları ise ortalama araç ağırlığının en az % 80'i olmalıdır. 1/1/1980 tarihinden önce üretilmiş olan araçlarda yeniden kullanım-geri kazanım oranı, ortalama araç ağırlığının % 75'inden, yeniden kullanım-geri dönüşüm oranı ise, ortalama araç ağırlığının % 70'inden az olmamalıdır. 1/1/2020 tarihinden itibaren ÖTA'larda yeniden kullanım-geri kazanım oranları, ortalama araç ağırlığının en az % 95'ine; yeniden kullanım-geri dönüşüm oranları ise ortalama araç ağırlığının en az % 85'ine çıkarılmalıdır.

Yeniden kullanım-geri kazanım oranı; toplam yeniden kullanım miktarı, arındırma ve söküm sonrası geri kazanım miktarı ve ihraç edilen ÖTA'ların (parçalarının) toplam geri kazanım miktarının toplamının işlem gören ÖTA'ların toplam ağırlığına bölünmesi ile elde edilmektedir. Yeniden kullanım-geri dönüşüm oranı ise; toplam yeniden kullanım miktarı, arındırma ve söküm sonrası geri dönüşüm miktarı ve ihraç edilen ÖTA'ların (parçalarının) toplam geri dönüşüm miktarının toplamının işlem gören ÖTA'ların toplam ağırlığına bölünmesi ile elde edilmektedir.

3.4.1.4. Ömrünü Tamamlamış Araç Geçici Depolama ve İşleme Tesislerinin Asgari Teknik Özellikleri

Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik'e göre ÖTA geçici depolama alanlarında ve işleme tesislerinde aşağıdaki özelliklerin bulunması gerekir:

- Eğimli geçirimsiz zemin,
- Sızıntı ve dökülmelerin toplanmasını sağlayacak drenaj kanalları,
- Drenaj kanallarına bağlı yağ tutucular,
- Sökülen aksam parçalar için kapalı bir depolama alanı ve bu depoda biriktirilecek yağla kirlenmiş parçalar için geçirimsiz zemin,

- Akü ve piller, filtreler, PCB (Poliklorlu bifenil)/PCT (Poliklorlu terfenil) içeren radyatörler için konteynerler,
- Yakıt, motor yağı, şanzıman yağı, transmisyon yağları, hidrolik yağlar, soğutma sıvıları, antifiriz, fren sıvıları, klima sıvıları ve ÖTA'lardan çıkan diğer sıvılar için depolama tankları,
- Yağ ile kirlenmiş yüzeyi temizlemek amacıyla absorban malzemeler ile yağ çözücüler,
- Lastik depolama alanları,
- Yeniden kullanım amaçlı satışa sunulacak aksam parçaların barkodlanması işlemi için barkodlama cihazı.

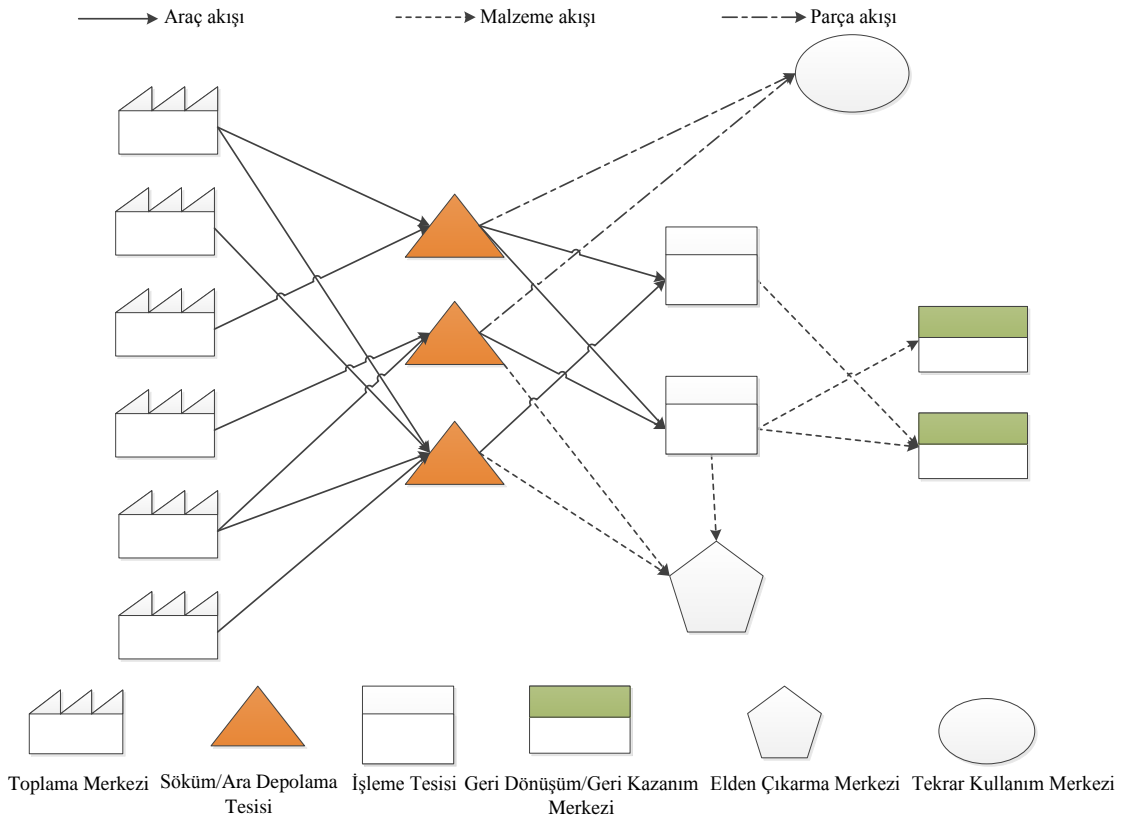
Bir geçici depolama alanında arındırıldığı belgelenen ÖTA'ları kabul edecek işleme tesislerinin; akü ve piller, filtreler, PCB/PCT içeren radyatörler için konteynerler, yakıt, motor yağı, şanzıman yağı, transmisyon yağları, hidrolik yağlar, soğutma sıvıları, antifiriz, fren sıvıları, klima sıvıları ve ÖTA'lardan çıkan diğer sıvılar için depolama tankları bulundurma zorunluluğu yoktur.

3.4.2. Tersine Tedarik Zinciri Ağ Yapısı

ÖTA kontrol yönetmeliğinde tanımlanan tesisler ve işlem adımları göz önüne alınarak, tez çalışması kapsamında tanımlanan ÖTA-TTZ ağı tasarımı problemi, altı aşamadan oluşmaktadır: toplama merkezleri, söküm/ara depolama tesisleri, işleme tesisleri, tekrar kullanım merkezleri, geri dönüşüm/geri kazanım merkezleri ve elden çıkarma merkezleri. Önerilen ağ tasarım modeli Şekil 3.17'de gösterilmektedir.

Yönetmeliğe göre, Türkiye'de her ilde bir toplama yeri olması gerektiği için ağın başlangıç aşaması olarak toplama merkezleri alınmıştır. Toplama merkezlerine araç kayıttan düşme ve bertaraf formu ile teslim edilen ÖTA'lar, toplama merkezlerinden söküm/ara depolama tesisine gönderilecektir. Burada, arındırma ve söküm işlemleri yapılarak araçlar geçici olarak depolanacaktır. Arındırma sonrası sıvılar ve tehlikeli maddeler, uygun şekilde bertaraf işlemleri için elden çıkarma merkezlerine gönderilecektir. Sökülen tekrar kullanılabilir durumdaki parçalar ise, uygun şekilde

yıkama ve temizleme işlemlerinden sonra barkodlanarak, tekrar kullanım merkezlerine gönderilecektir. Arındırılıp sökülmiş ÖTA'lar, söküm/ara depolama tesisinden işleme tesisine gönderilecektir. İşleme tesisinde kırma ve parçalama işlemleri yapılacaktır. Parçalama işleminden, demirli hurda (çelik), demir dışı metaller (alüminyum, bakır, çinko, kurşun vs.), parçalanmış hafif fraksiyon, diğer tiplerde malzemeler ve elden çıkarılacak atık malzemeler elde edilecektir. Bu malzemeler geri dönüşüm/geri kazanım merkezlerine ve elden çıkarma merkezlerine gönderilecektir.



Şekil 3.17. Ömrünün tamamlanmış araçlar için tersine tedarik zinciri ağ modeli

Şekil 3.17'de verilen ağ modelinde de görülebildiği gibi, toplama merkezleri ile söküm/ara depolama tesisleri arasında ve söküm/ara depolama tesisleri ile işleme tesisleri arasında araç akışı; söküm/ara depolama tesisleri ile tekrar kullanım merkezleri arasında parça akışı gerçekleşmektedir. Söküm/ara depolama tesisleri ile elden çıkarma merkezleri arasında, işleme tesisleri ile elden çıkarma merkezleri arasında ve işleme tesisleri ile geri dönüşüm/geri kazanım merkezleri arasında ise malzeme akışı gerçekleşmektedir.

3.5. Tersine Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı Çözüm Yaklaşımları

TTZ ağı tasarımı probleminin çözümü için kesin çözümleri aramak adına öncelikle karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Daha sonra, büyük boyutlu problemlerde kabul edilebilir sürelerde sonuç alabilmek için optimuma yakın sonuçlar veren sezgisel algoritmalara başvurulmuştur. Sezgisel algoritmalarından ise, ilk olarak, benzer problemlere başarılı sonuçlar verdiği bilinen GA ile çözüm algoritması geliştirilmiş, ardından sürü zekası yöntemlerinden olan PSO, kolay uygulanabilir yapısı, hesaplama ve hız avantajları ve sahip olduğu hafıza yapısı nedeniyle pek çok optimizasyon problemine başarılı sonuçlar vermesi sebebiyle tercih edilerek TTZ ağ tasarımı problemine özgü tasarlanmıştır.

3.5.1. Probleme Özgü Matematiksel Model Tasarımı

ÖTA-TTZ ağı tasarımı probleminin çözümü için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. TTZ ağ tasarımı için geliştirilen matematiksel modelin gelişim aşamaları aşağıda sıralanmıştır:

- Çok aşamalı, tek ürünlü, tek dönemli ağ tasarımı için model oluşturulması
- Çok aşamalı, çok ürünlü, tek dönemli ağ tasarımı için model oluşturulması
- Çok aşamalı ağ yapısında senaryo tabanlı, çok ürünlü, çok dönemli ağ tasarımı için model oluşturulması
- İleri ve tersine tedarik zinciri akışlarını içeren kapalı döngü yapısında, çok ürünlü, çok dönemli ağ tasarımı için model oluşturulması
- ÖTA'ya özgü çok aşamalı ağ yapısında çok parçalı, çok dönemli, senaryo tabanlı ağ tasarımı için model oluşturulması.

ÖTA-TTZ ağı tasarımı probleminin çözümü için önerilen model, yukarıda sıralanan aşamalar neticesinde çok aşamalı ağ yapısında çok parçalı, çok dönemli, senaryo tabanlı ağ modeli olarak son şeklini almıştır. TTZ ağ tasarımı probleminde en büyük problem, geri dönen kullanılmış ürün adedindeki belirsizliktir. Bu belirsizlikle mücadele

edebilmek için modelde senaryo tabanlı bir yaklaşım oluşturulmuştur. Modelde kullanılan indisler, karar değişkenleri ve parametreler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

İndisler

I	Toplama merkezleri kümesi $\forall i \in I$
J	Söküm/ Ara depolama tesisleri kümesi $\forall j \in J$
K	İşleme tesisleri kümesi $\forall k \in K$
L	Geri dönüşüm/ Geri kazanım merkezleri kümesi $\forall l \in L$
M	Elden çıkarma merkezleri kümesi $\forall m \in M$
N	Tekrar kullanım merkezleri (İkinci el pazarı) kümesi $\forall n \in N$
T	Dönemler kümesi $\forall t \in T$
P	Ürün parçaları kümesi $\forall p \in P$
S	Senaryolar kümesi $\forall s \in S$

Karar Değişkenleri

$$a_j = \begin{cases} 1 & j. \text{ aday yerde söküm/ara depolama tesisi açılırsa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$b_k = \begin{cases} 1 & k. \text{ aday yerde işleme tesisi açılırsa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$\alpha_{ijts} = \begin{cases} 1 & i. \text{ toplama merkezinden } j. \text{ söküm/ara depolama tesisine } s. \\ & \text{senaryoya göre } t. \text{ dönemde akış varsa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$x_{ijts} \quad i. \text{ toplama merkezinden } j. \text{ söküm/ara depolama tesisine } s. \text{ senaryoya göre } t. \\ \text{dönemde giden araç adedi}$$

- y_{jkts} j . söküm/ara depolama tesisinden k . işleme tesisine s . senaryoya göre t . dönemde giden yeniden kullanılabilir parçaları çıkarılmış ve elden çıkarılacak malzemelerden arındırılmış araç adedi
- z_{jnpts} j . söküm/ara depolama tesisinden n . tekrar kullanım merkezine s . senaryoya göre t . dönemde giden p . parça adedi
- w_{klts} k . işleme tesisinden l . geri dönüşüm/geri kazanım merkezine s . senaryoya göre t . dönemde giden malzeme miktarı (ton)
- u_{jmts} j . söküm/ara depolama tesisinden m . elden çıkarma merkezine s . senaryoya göre t . dönemde giden malzeme miktarı (ton)
- $u_{kmts}^{(2)}$ k . işleme tesisinden m . elden çıkarma merkezine s . senaryoya göre t . dönemde giden malzeme miktarı (ton)

Parametreler

- $c_j^{(1)}$ j . söküm/ara depolama tesisini açmanın sabit maliyeti (pb)
- $c_k^{(2)}$ k . işleme tesisini açmanın sabit maliyeti (pb)
- $cap_j^{(1)}$ j . söküm/ara depolama tesisinin kapasitesi (araç adedi)
- $cap_k^{(2)}$ k . işleme tesisinin kapasitesi (araç adedi)
- $cap_l^{(3)}$ l . geri dönüşüm/geri kazanım merkezinin kapasitesi (ton)
- $cap_m^{(4)}$ m . elden çıkarma merkezinin kapasitesi (ton)
- $ct_{ij}^{(1)}$ i . toplama merkezinden j . söküm/ara depolama tesisine birim taşıma maliyeti ($pb/araç$)
- $ct_{jk}^{(2)}$ j . söküm/ara depolama tesisinden k . işleme tesisine birim taşıma maliyeti ($pb/araç$)
- $ct_{jn}^{(3)}$ j . söküm/ara depolama tesisinden n . tekrar kullanım merkezine birim taşıma maliyeti ($pb/parça adedi$)
- $ct_{kl}^{(4)}$ k . işleme tesisinden l . geri dönüşüm/geri kazanım merkezine birim taşıma maliyeti (pb/ton)

$ct_{km}^{(5)}$	k . işleme tesisinden m . elden çıkarma merkezine birim taşıma maliyeti (pb/ton)
$ct_{jm}^{(6)}$	j . sökülüm/ara depolama tesisinden m . elden çıkarma merkezine birim taşıma maliyeti (pb/ton)
c_d	Birim elden çıkarma maliyeti (pb/ton)
c_v	Toplama merkezlerinde gelen araç başına ödenen miktar ($pb/araç$)
$oc_{jts}^{(1)}$	j . sökülüm/ara depolama tesisinde t . dönemde s . senaryoya göre birim operasyon maliyeti ($pb/araç$)
$oc_{kts}^{(2)}$	k . işleme tesisinde t . dönemde s . senaryoya göre birim operasyon maliyeti ($pb/araç$)
r_p	Tekrar kullanılan p . parçadan elde edilen birim gelir ($pb/parça$ adedi)
$r^{(1)}$	Geri kazanılan malzemelerden elde edilen birim gelir (pb/ton)
e_{its}	i . toplama merkezine t . dönemde s . senaryoya göre gelen araç adedi
k_1	Sökülüm/ara depolama tesisinden elden çıkarma merkezine gönderilen malzeme oranı (%)
k_2	İşleme tesisinden elden çıkarma merkezine gönderilen malzeme oranı (%)
aw	Ortalama araç ağırlığı (ton)
aw_2	Tekrar kullanılabilir parçaları ve elden çıkarılacak malzemeleri çıkarılmış ortalama araç ağırlığı (ton)
q_p	Her araçtaki p . parçanın adedi
v_p	Her araçtaki kullanılabilir p . parçanın oranı
ps_s	s . senaryonun gerçekleşme olasılığı ($\sum_s ps_s = 1$)

J kümesinin tüm alt bölgeleri gösteren alt kümelerinin kümesi F olsun. Her $O \in F$ için $\sigma(O)$, O alt kümesinde açılacak maksimum sökülüm/ara depolama tesisi adedini göstermektedir. Matematiksel modelde amaç fonksiyonu ve kısıtlar yukarıda tanımlanan notasyonlar dikkate alınarak aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

Amaç Fonksiyonu

$$\begin{aligned}
\max z = & \sum_j \sum_n \sum_p \sum_t \sum_s p s_s z_{jnpts} r_p + \sum_k \sum_l \sum_t \sum_s p s_s w_{klts} r^{(1)} - \sum_j a_j c_j^{(1)} - \sum_k b_k c_k^{(2)} - \\
& \sum_i \sum_j \sum_t \sum_s p s_s x_{ijts} c_v - \sum_i \sum_j \sum_t \sum_s p s_s x_{ijts} ct_{ij}^{(1)} - \sum_j \sum_k \sum_t \sum_s p s_s y_{jkts} ct_{jk}^{(2)} - \\
& \sum_j \sum_n \sum_p \sum_t \sum_s p s_s z_{jnpts} ct_{jn}^{(3)} - \sum_k \sum_l \sum_t \sum_s p s_s w_{klts} ct_{kl}^{(4)} - \sum_j \sum_m \sum_t \sum_s p s_s u_{jmts} ct_{jm}^{(6)} - \\
& \sum_k \sum_m \sum_t \sum_s p s_s u_{kmts}^{(2)} ct_{km}^{(5)} - \sum_i \sum_j \sum_t \sum_s p s_s x_{ijts} oc_{jts}^{(1)} - \sum_j \sum_k \sum_t \sum_s p s_s y_{jkts} oc_{kts}^{(2)} - \\
& \sum_j \sum_m \sum_t \sum_s p s_s u_{jmts} c_d - \sum_k \sum_m \sum_t \sum_s p s_s u_{kmts}^{(2)} c_d \tag{3.35}
\end{aligned}$$

Kısıtlar

$$x_{ijts} = e_{its} \alpha_{ijts} \quad \forall i, j, t, s \tag{3.36}$$

$$\sum_j \alpha_{ijts} = 1 \quad \forall i, t, s \tag{3.37}$$

$$\sum_i x_{ijts} \leq cap_j^{(1)} a_j \quad \forall j, t, s \tag{3.38}$$

$$\sum_{j \in O} a_j \geq 1 \quad \forall O \in F \tag{3.39}$$

$$\sum_{j \in O} a_j \leq \sigma(O) \quad \forall O \in F \tag{3.40}$$

$$\sum_j y_{jkts} \leq cap_k^{(2)} b_k \quad \forall k, t, s \tag{3.41}$$

$$\sum_k w_{klts} \leq cap_l^{(3)} \quad \forall l, t, s \tag{3.42}$$

$$\sum_j u_{jmts} + \sum_k u_{kmts}^{(2)} \leq cap_m^{(4)} \quad \forall m, t, s \tag{3.43}$$

$$\sum_j y_{jkts} \times aw_2 \times (1-k_2) = \sum_l w_{klts} \quad \forall k, t, s \tag{3.44}$$

$$\sum_i x_{ijts} = \sum_k y_{jkts} \quad \forall j, t, s \tag{3.45}$$

$$\sum_i x_{ijts} \times aw \times k_1 = \sum_m u_{jmst} \quad \forall j, t, s \quad (3.46)$$

$$\sum_j y_{jkts} \times aw_2 \times k_2 = \sum_m u_{kmst}^{(2)} \quad \forall k, t, s \quad (3.47)$$

$$\sum_i x_{ijts} \times q_p \times v_p = \sum_n z_{jnpts} \quad \forall j, p, t, s \quad (3.48)$$

$$x_{ijts}, y_{jkts}, z_{jnpts}, w_{klts}, u_{jmst}, u_{kmst}^{(2)} \geq 0 \quad \forall i, j, k, m, l, n, t, s \quad (3.49)$$

$$a_j, b_k \in \{0,1\} \quad \forall j, k \quad (3.50)$$

Amaç fonksiyonu (3.35) ağıdaki toplam kârı maksimize etmektedir. Amaç fonksiyonundaki ilk iki toplam ifadesi, tekrar kullanılan parçalardan ve geri kazanılan malzemelerden elde edilen geliri göstermektedir. Sonraki iki toplam ifadesi, tesis açma sabit maliyetlerini belirtmektedir. Beşinci toplam ifadesi, toplama merkezlerine, araçlar için ödenen miktarı göstermektedir. 6-11. toplam ifadeleri, aşamalar arası birim taşıma maliyetlerini göstermektedir. 12 ve 13. toplam ifadeleri operasyon maliyetlerini, son iki toplam ifadesi ise, elden çıkarma maliyetlerini belirtmektedir.

Kısıt (3.36), tüm toplama merkezlerine gelen ÖTA taleplerinin her dönem ve senaryo için karşılanması gerektiğini belirtmektedir. Kısıt (3.37), her dönem ve senaryo için toplama merkezlerinin araç gönderiminin bölünmemesini sağlamaktadır. Kısıt (3.38), açılan bir sökül/ara depolama tesisine gönderilen araç miktarının, her dönem ve senaryo için ilgili tesisin kapasitesini aşmamasını sağlamaktadır. Kısıt (3.39), her alt bölgede en az bir sökül/ara depolama tesisi bulunması gerektiğini belirtmektedir. Kısıt (3.40) her alt bölgede açılacak maksimum sökül/ara depolama tesisi sayısının aşılamayacağını göstermektedir. Kısıt (3.41), açılan bir işleme tesisine gönderilen araç miktarının, her dönem ve senaryo için ilgili merkezin kapasitesini aşmamasını sağlamaktadır. Kısıt (3.42) ve (3.43) sırasıyla her dönem ve senaryo için geri dönüşüm-geri kazanım ve elden çıkarma merkezlerine gönderilen toplam malzeme miktarının ilgili merkezin kapasitesini aşmaması gerektiğini belirtmektedir. Kısıt (3.44), her dönem ve senaryo için işleme tesisinden geri dönüşüm/geri kazanım merkezlerine gönderilen toplam malzeme miktarını belirtmektedir. Kısıt (3.45) her dönem ve senaryo için sökül/ara depolama tesisine gelen araç adedi ile tesisten çıkan kullanılabilir parçaları

ve elden çıkarılacak malzemeleri çıkarılmış araç adedinin eşit olmasını sağlamaktadır. Kısıt (3.46), her dönem ve senaryo için söküm/ara depolama tesisinden elden çıkarma merkezlerine gönderilen toplam malzeme miktarını; Kısıt (3.47), her dönem ve senaryo için işleme tesisinden elden çıkarma merkezlerine gönderilen toplam malzeme miktarını göstermektedir. Kısıt (3.48), her dönem ve senaryo için söküm/ara depolama tesisinden tekrar kullanım merkezlerine gönderilecek toplam parça miktarını belirtmektedir. Kısıt (3.49), x , y , z , w , u ve $u^{(2)}$ değişkenlerinin pozitif olması gerektiğini; Kısıt (3.50) ise a_j ve b_k değişkenlerinin ikili değişken olduğunu belirtmektedir.

3.5.2. Probleme Özgü Genetik Algoritma Tasarımı

Bu bölümde kullanılan simgeler ve açıklamaları aşağıda verilmektedir.

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
I	Kaynak düğümler kümesi
J	Depolar kümesi
b_j	Depoların talebi
a_i	Kaynakların kapasitesi
c_{ij}	i kaynağından j deposuna birim taşıma maliyeti
y_{ij}	i kaynağından j deposuna gönderim miktarı
V	Kromozom
L	Maksimum iterasyon adedi
l	İterasyon numarası
cr	Çaprazlama oranı
mr	Mutasyon oranı
p	Popülasyon
f	Uygunluk fonksiyonu

Literatürde, ağ tasarımı problemlerinin çözümü için önerilmiş çeşitli sezgisel yaklaşımlar mevcuttur. Probleme uygun aday çözüm gösterim biçimi, sezgisel algoritma tasarımının en kritik konularından biridir. Çözüm gösterimi olarak, literatürde genetik

algoritmalarındaki kromozom gösterimini örnek alan farklı tiplerde gösterimlere rastlanmıştır. Michalewicz ve ark. (1991) ağaç yapısında permütasyon kromozom gösterimini geliştirmişlerdir. Gen ve Cheng (1997, 2000) Prüfer sayılarına dayanan kromozom gösterimini önermişlerdir. Min ve ark. (2006) ikili değişken tipinde kromozom gösterimini önermişlerdir. Gen ve ark. (2006) ise çalışmalarında öncelik tabanlı kromozom gösterimini geliştirmişlerdir.

İkili kromozom gösteriminde tesis karar değişkenleri ve dönemler yer almaktadır (Min ve ark. 2006). Ağaç yapısında permütasyon kromozom gösteriminde, matris yapısı temel alınmıştır. I adet kaynağın, J adet deponun bulunduğu bir ağ varsayılırsa, matrisin boyutu $I \times J$ olacaktır (Michalewicz ve ark. 1991). Bu yaklaşımda, kromozom gösterimi basit olmasına rağmen büyük boyutlu ve çok aşamalı problemlerde gen sayısı oldukça artacak ve özel mutasyon veya çaprazlama operatörlerine ihtiyaç duyulacaktır. Prüfer sayılarına dayalı kromozom gösteriminde, $(I+J)-2$ adet gen yer alacaktır (Gen ve Cheng 1997, 2000). Fakat Prüfer sayılarına dayalı gösterimde hem düzeltmelere ihtiyaç duyulmakta hem de uygun olmayan çözümler üretilebilmektedir. Öncelik tabanlı gösterimde ise, her bir kromozom I adet kaynak ve J adet deponun önceliklerini göstermektedir. Kromozomun uzunluğu da $I+J$ olacaktır (Gen ve ark. 2006).

Tez çalışmasında, hesaplamalarda ve kodlamalarda sağlayacağı hız sebebiyle TTZ ağı tasarımı için öncelik tabanlı kromozom gösterimine sahip GA tasarlanmıştır.

3.5.2.1. Aday Çözüm Gösterimi

TTZ ağı tasarımı için tasarlanan genetik algoritmada, aday çözüm gösterimi olarak, öncelik tabanlı kromozom gösterimi kullanılmıştır. Öncelik tabanlı kromozom gösterimi algoritma adımları Şekil 3.18'de sunulmuştur.

Öncelik tabanlı kromozom gösterimi algoritmasının adımlarının yer aldığı Şekil 3.18'de de görüldüğü gibi, ağı tasarımı problemleri için tasarlanacak kromozom gösterimi, kaynak ve depoların önceliklerinden oluşmaktadır. I adet kaynak ve J adet deponun var olduğu kabul edilirse, düğümlere öncelik ataması en yüksek öncelik değeri $|I| + |J|$ 'den

başlamakta ve tüm düğümlere öncelik atanana dek her iterasyonda birer azaltılarak devam etmektedir. Her iterasyonda, kaynak ve depo düğümleri arasından, en düşük birim taşıma maliyetine sahip, gönderim miktarı talep veya kapasite değerine eşit düğüm seçilerek en yüksek öncelik değerine atanmaktadır. Seçilen düğüm kaynak düğümlerinden ise öncelik değeri i' gene atanmaktadır. Eğer seçilen düğüm, depo düğümlerden seçilmiş ise, toplam kaynak adedine seçilen depo indisinin değeri eklenmekte ($|I| + j'$) ve elde edilen konumdaki gene öncelik ataması yapılmaktadır. Her atamadan sonra kaynak ve depo düğümlerinin, kapasite ve talep değerleri, gönderim miktarı çıkarılarak güncellenmektedir.

Algoritma 1: Öncelik Tabanlı Gösterim Kodlama Algoritması

Girdiler: I : Kaynak düğümler kümesi

J : Depolar kümesi

b_j : Depoların talebi $\forall j \in J$

a_i : Kaynakların kapasitesi $\forall i \in I$

c_{ij} : i kaynağından j deposuna birim taşıma maliyeti $\forall i \in I, \forall j \in J$

y_{ij} : i kaynağından j deposuna gönderim miktarı $\forall i \in I, \forall j \in J$

Çıktı: $v[t]$: kromozom

Adım 1: Öncelik $p \leftarrow (|I| + |J|), v[t] \leftarrow 0, \forall t \in \{1 \dots (|I| + |J|)\}$;

Adım 2: $(i', j') \leftarrow \arg \min \{c_{ij} | y_{ij} \neq 0 \text{ ve } (b_j = y_{ij} | a_i = y_{ij})\}$;

Adım 3: $b_{j'} = b_{j'} - y_{i'j'}, a_{i'} = a_{i'} - y_{i'j'}$;

Adım 4: Eğer $b_{j'} = 0$ ise $v[|I| + j'] \leftarrow p, p \leftarrow p - 1$;

Eğer $a_{i'} = 0$ ise $v[i'] \leftarrow p, p \leftarrow p - 1$;

Adım 5: Eğer $(b_{j'} = 0, \forall j' \in J)$ ve $(a_{i'} = 0, \forall i' \in I)$ ise Adım 6'ya git, değilse Adım 1'e dön.

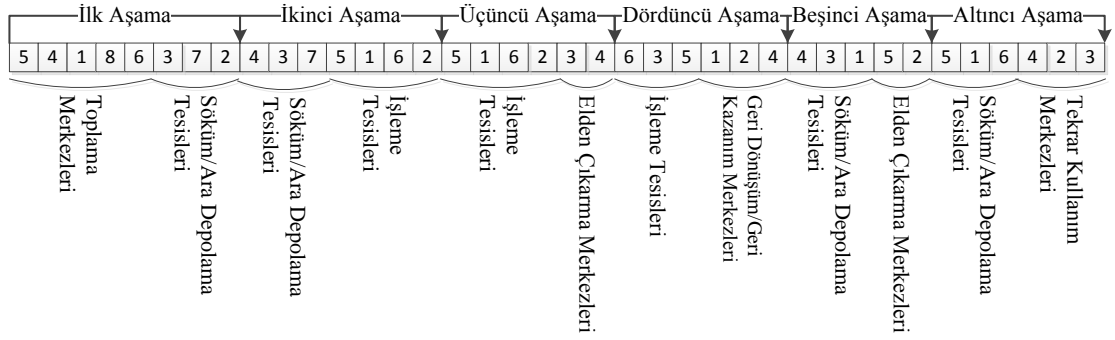
Adım 6: for ($l = 1$ to p)

$v[t] \leftarrow l, t = \text{rassal}[1, (|J| + |I|)]$ ve $v[t] = 0$;

Adım 7: Çıktı $v[t], \forall t \in \{1 \dots (|I| + |J|)\}$

Şekil 3.18. Öncelik tabanlı kromozom gösterimi algoritması (Gen ve ark. 2006)

Şekil 3.18’de verilen algoritma, TTZ ağı tasarımı problemine uyarlanmıştır. ÖTA’ların TTZ ağına, altı aşama mevcuttur ve her ağı aşaması için algoritma çağırılarak tüm aşamalar için örnek çözümü temsil eden kromozom gösterimi elde edilmektedir. Örnek bir kromozom gösterimi Şekil 3.19’da görülmektedir.



Şekil 3.19. Örnek kromozom gösterimi

Örnek kromozom gösteriminde, beş toplama merkezi, üç aday söküm ara depolama tesisi, dört aday işleme tesisi, iki aday geri dönüşüm/geri kazanım merkezi, iki aday elden çıkarma merkezi ve üç tekrar kullanım merkezi mevcuttur. Örneğin ilk aşamada, bir genin alabileceği maksimum öncelik değeri 8’dir. Şekil 3.18’deki algoritma ile birinci aşama için 1 ile 8 arasında permütasyon dizilimi elde edilmiştir. Her aşama için benzer yaklaşımla aday çözüm gösterimi elde edilerek kromozom oluşturulmuştur.

Öncelik tabanlı kromozom gösteriminde, aşamalar arası gönderilecek miktarların belirlenmesinde kullanılan çözüm algoritması adımları Şekil 3.20’de gösterilmiştir.

Öncelik tabanlı kromozom gösteriminde, ağı tasarımı, Şekil 3.20’de verildiği gibi sırayla ağı ark ekleyerek yapılmaktadır. Çok aşamalı gösterimde, her aşama için öncelikle en yüksek öncelik değerine sahip düğüm belirlenmektedir. Ardından, bu düğümün ilgili ağı aşamasındaki ilişkili olduğu düğümlerden en düşük taşıma maliyetli düğüm belirlenmektedir. Daha sonra, belirlenen düğümlerin kapasite ve talep değerlerine göre gönderilecek miktar belirlenmekte ve ilgili düğümlerin kapasite ve talep değerleri güncellenmektedir. Prosedür, sonraki en yüksek öncelik değerine sahip düğüm ile tekrar etmekte ve tüm talepler karşılanana kadar devam etmektedir.

Algoritma 2: Öncelik Tabanlı Gösterim Çözüm Algoritması

Girdiler: I : Kaynak düğümler kümesi

J : Depolar kümesi

b_j : Depoların talebi $\forall j \in J$

a_i : Kaynakların kapasitesi $\forall i \in I$

c_{ij} : i kaynağından j deposuna birim taşıma maliyeti $\forall i \in I, \forall j \in J$

$v[i+j]$: kromozom $\forall i \in I, \forall j \in J$

Çıktı: y_{ij} : i kaynağından j deposuna gönderim miktarı

Adım 1: $y_{ij} \leftarrow 0, \forall i \in I, \forall j \in J$;

Adım 2: $l \leftarrow \arg \max \{v(t), t \in |I| + |J|\}$; en yüksek öncelik değerine sahip düğümü belirle

Adım 3: Eğer $l \in I$ ise $i^* \leftarrow l$; kaynak düğümü seç

$j^* \leftarrow \arg \min \{c_{ij} | v(j) \neq 0, j \in J\}$; en düşük maliyetli depo düğümünü seç

Değilse $j^* \leftarrow l$; depo düğümü seç

$i^* \leftarrow \arg \min \{c_{ij} | v(j) \neq 0, i \in I\}$; en düşük maliyetli kaynak düğümünü seç

Adım 4: $y_{i^*j^*} \leftarrow \min \{a_{i^*}, b_{j^*}\}$; uygun büyüklükte gönderim miktarını ata

Kaynak (i^*) ve depo (j^*) düğümlerinde mevcut miktarları güncelle

$$a_{i^*} = a_{i^*} - y_{i^*j^*} \quad b_{j^*} = b_{j^*} - y_{i^*j^*}$$

Adım 5: Eğer $a_{i^*} = 0$ ise $v(i^*) = 0$ Eğer $b_{j^*} = 0$ ise $v(j^*) = 0$

Adım 6: Eğer $v(|I| + |J|) = 0, \forall j \in J$, ise maliyet ve gelir değerlerini hesapla, aksi durumda Adım 2'ye dön.

Şekil 3.20. Öncelik tabanlı kromozom gösterimi çözüm algoritması (Gen ve ark. 2006)

3.5.2.2. Uygunluk Fonksiyonu ve Seçim

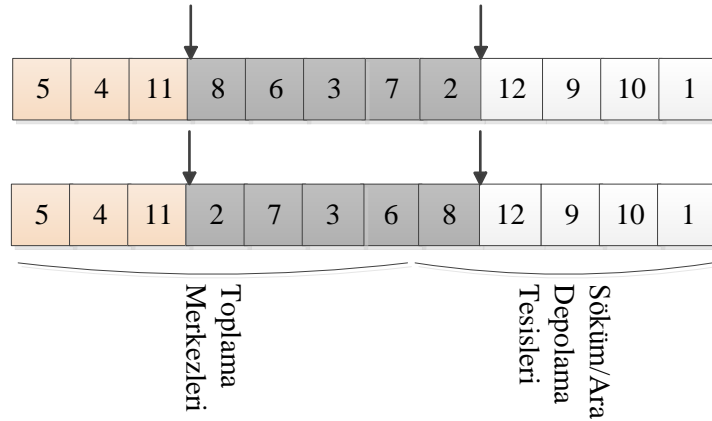
Uygunluk fonksiyonu, TTZ ağında elde edilen gelirler ile sabit ve değişken maliyetlerin toplamının farkı olarak tanımlanmıştır. Sabit maliyetler, tesis açma maliyetlerinden

oluşmaktadır. Değişken maliyetler, aşamalar arası birim taşıma maliyetleri, tesislerdeki birim operasyon maliyetleri ve elden çıkarma maliyetlerinden oluşmaktadır. Ağda oluşan gelirler ise, tekrar kullanılan parçalardan ve geri dönüştürülen malzemelerden elde edilen gelirlerdir.

Üreme işlemi için rulet tekerleği seçim yöntemi kullanılmıştır. Rulet tekerleği seçim yönteminde, her bir kromozomun sonraki jenerasyonlara aktarılma olasılığı, ilgili kromozomun uygunluk değerinin popülasyonun toplam uygunluk değerine oranı ile hesaplanmaktadır. Olasılık değeri popülasyon boyutu ile çarpılarak, kopyalanacak kromozom adedi belirlenmektedir.

3.5.2.3. Çaprazlama Operatörü

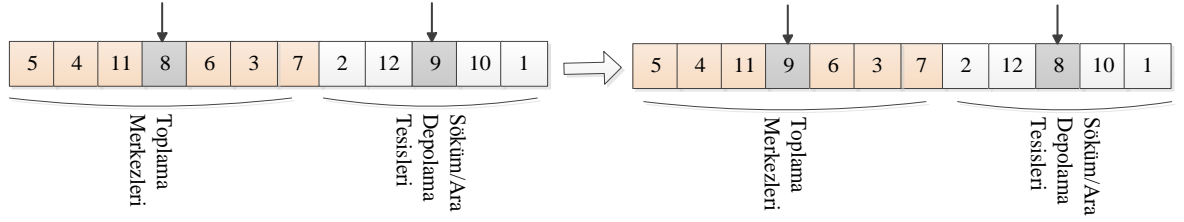
Bu tez çalışmasında çaprazlama işlemi için ters çevirme yöntemi kullanılmıştır. Şekil 3.21’de örnek gösterimi verilen çaprazlama işleminde, seçilen kromozom üzerinde her ağ aşaması için rastgele iki nokta belirlenmekte ve bu noktalar arasında kalan bitler ters çevrilerek yeni bir kromozom oluşturulmaktadır.



Şekil 3.21. Çaprazlama operatörü örneği

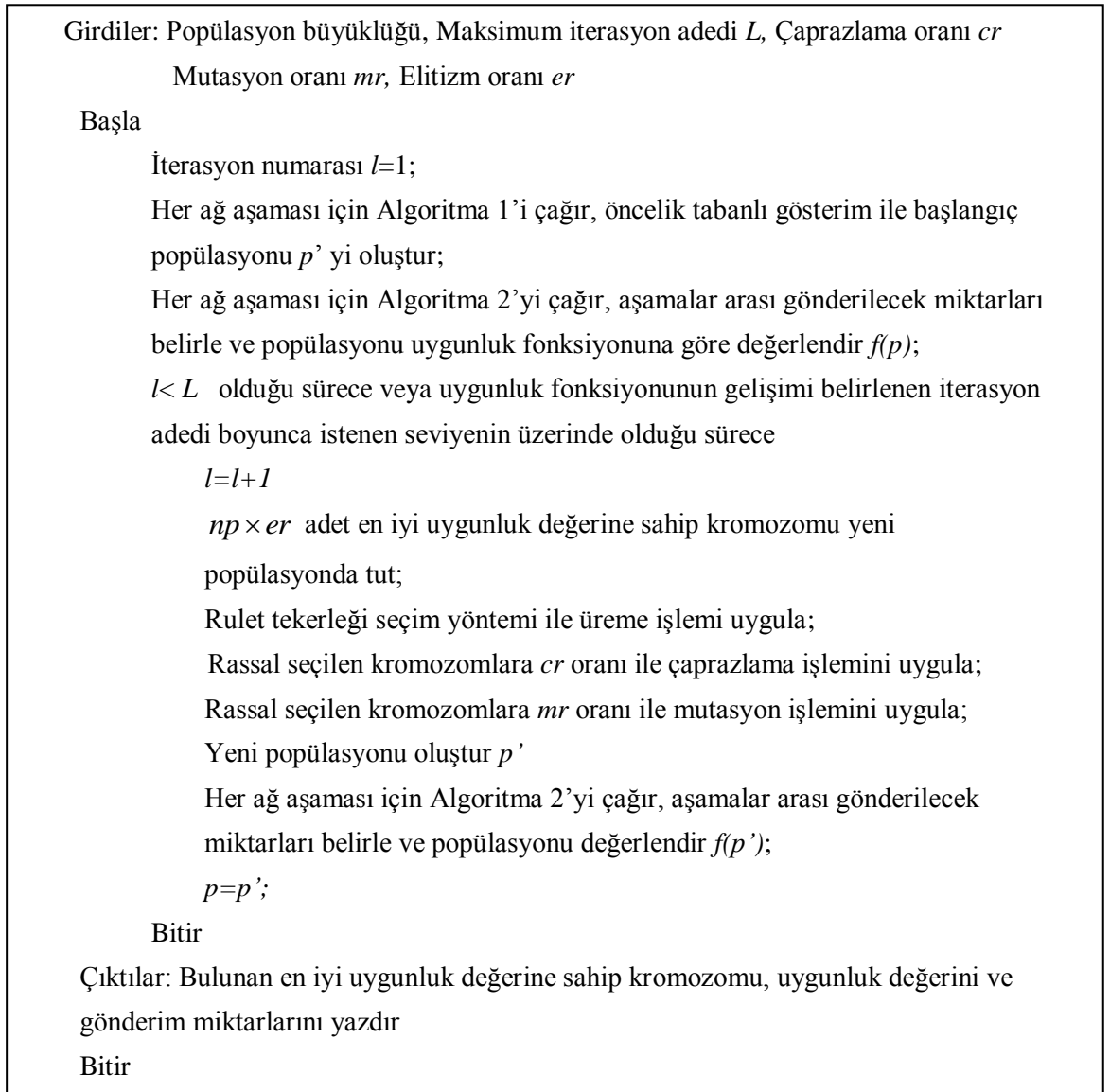
3.5.2.4. Mutasyon Operatörü

Mutasyon işleminde ise, Şekil 3.22’de görüldüğü gibi seçilen kromozom üzerindeki her ağ aşaması için rastgele iki nokta belirlenmekte ve bu noktalarda bulunan bitlerin yerleri birbirleriyle değiştirilerek kromozom mutasyona uğratılmaktadır.



Şekil 3.22. Mutasyon operatörü örneği

TTZ ağı tasarımı için tasarlanan GA taslak kodu Şekil 3.23’de sunulmuştur. Tasarlanan algoritma, çok aşamalı ağ yapısı için çözüm üretmektedir.



Şekil 3.23. Tasarlanan genetik algoritma sözel kodu

3.5.3. Probleme Özgü Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Tasarımı

Bu bölümde kullanılan simgeler ve açıklamaları aşağıda verilmektedir.

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
x_{max}	Parçacığın alabileceği maksimum pozisyon değeri
x_{min}	Parçacığın alabileceği minimum pozisyon değeri
x_{id}	i . parçacığın d . boyuttaki pozisyon değeri
x_{id}^{yeni}	i . parçacığın d . boyuttaki yeni pozisyon değeri
v_{id}	i . parçacığın d . boyuttaki hız değeri
v_{id}^{yeni}	i . parçacığın d . boyuttaki yeni hız değeri
\mathbf{p}_{eniyi}^i	i . parçacığın yerel en iyi pozisyon vektörü
\mathbf{g}_{eniyi}	Sürüdeki global en iyi pozisyon vektörü
p_{eniyi}^{id}	i . parçacığın d . boyuttaki yerel en iyi pozisyon değeri
g_{eniyi}^d	Sürüdeki d . boyuttaki global en iyi pozisyon değeri
w	Atalet (Eylemsizlik) ağırlığı
r_1 ve r_2	Rassal sayılar
c_1 ve c_2	Bilişsel ve sosyal faktörler
L	Maksimum iterasyon adedi
l	İterasyon numarası
f	Uygunluk fonksiyonu
q	Doğrusal olmayan değişim katsayısı

Tez çalışması kapsamında, TTZ ağı tasarımı problemi için öncelik tabanlı gösterime sahip PSOA tasarlanmıştır. Algoritmada uygunluk fonksiyonu, tasarlanan GA'da olduğu gibi, TTZ ağında elde edilen gelirler ile sabit ve değişken maliyetlerin toplamının farkı olarak tanımlanmıştır. Tasarlanan algoritma ile ilgili detaylı bilgiler devam eden alt bölümlerde açıklanmıştır.

3.5.3.1. Parçacık Gösterimi

Tasarlanan PSOA’da, öncelik tabanlı gösterime sahip parçacıklar, Şekil 3.18’de verilen Algoritma 1 ile oluşturulmaktadır. Her bir parçacıkta, TTZ ağındaki tüm aşamalar temsil edilmektedir. Önerilen yaklaşımda, klasik parçacık temsilinden farklı olarak tamsayı ve permütasyon dizilimine sahip parçacıklar elde edilmektedir. Parçacığın alabileceği maksimum pozisyon değeri x_{max} , ilgili ağ aşamasındaki düğümlerin toplam adedine eşittir. Minimum pozisyon değeri x_{min} ise, her aşama için en küçük öncelik değeri olan 1’dir. Örnek olarak TTZ ağı tasarımı için parçacık adedi dört olan bir sürü gösterimi Şekil 3.24’de gösterilmiştir.

	İlk Aşama				İkinci Aşama				Üçüncü Aşama				Dördüncü Aşama				Beşinci Aşama				Altıncı Aşama																	
Parçacık 1	5	4	1	8	6	3	7	2	4	3	7	5	1	6	2	5	1	6	2	3	4	6	3	5	1	2	4	4	3	1	5	2	5	1	6	4	2	3
Parçacık 2	7	3	2	6	8	4	5	1	5	6	2	4	7	3	1	2	4	6	3	5	1	1	4	3	6	5	2	1	2	5	4	3	2	3	5	1	4	6
Parçacık 3	8	7	1	6	5	3	2	4	3	2	7	1	5	6	4	6	5	1	4	3	2	2	3	1	4	6	5	2	5	4	3	1	1	4	3	2	5	6
Parçacık 4	1	3	2	5	7	4	6	8	1	2	6	4	5	7	3	1	2	5	3	4	6	5	6	3	2	4	1	3	2	1	5	4	6	3	1	4	5	2

Şekil 3.24. Örnek bir parçacık sürü gösterimi

Örnek parçacık sürü gösteriminde, beş toplama merkezi, üç aday söküm/ara depolama tesisi, dört aday işleme tesisi, iki aday geri dönüşüm/geri kazanım, iki elden çıkarma merkezi ve üç tekrar kullanım merkezi mevcuttur.

3.5.3.2. Hız ve Pozisyon Güncelleme

Önerilen algoritmada, parçacık pozisyon güncellemesi Şekil 3.25’de verilen Algoritma 3 ile gerçekleştirilmektedir.

Öncelik tabanlı parçacık gösteriminin tamsayı ve permütasyon dizilimindeki yapısı sebebiyle, parçacık pozisyonunun güncellenmesi, parçacık sürü algoritmasındaki klasik yöntem ile yapılamaz. Parçacık pozisyonunu güncellemek için önerilen Algoritma 3 ile TTZ ağının her aşaması için pozisyon güncellemesi yapılmaktadır. Öncelikle, hız vektörü tamsayıya yuvarlanmakta ve mutlak değerce en yüksek hız değeri ve boyutu belirlenmektedir. Ardından, ilgili boyuttaki pozisyon değeri ile hız değeri toplanarak maksimum pozisyon değerine göre modu alınmakta ve pozisyon güncellenmektedir.

Yeni pozisyonun eski pozisyon değeri, yeni pozisyondaki çakışan boyut ile değiştirilmektedir. Parçacık pozisyonu güncelleme yaklaşımında, güncellenecek parçacık pozisyonu adedi parçacığın boyutuna göre kullanıcı kararı ile veya testler ile belirlenebilir.

Algoritma 3: Öncelik Tabanlı Gösterimde Parçacık Pozisyonu Güncelleme Algoritması

Girdiler: x_{id} : Parçacık pozisyonu $\forall i \in I \quad \forall d \in D$

v_{id} : Parçacık hızı $\forall i \in I \quad \forall d \in D$

x_{\max} : Parçacığın bir aşama için alabileceği maksimum pozisyon değeri

Çıktı: x_{id}^{yeni} : Yeni parçacık pozisyonu

Adım 1: $v_{id} \leftarrow \text{Round}(v_{id}), \forall i \in I \quad \forall d \in D$; Hız değerlerini en yakın tamsayıya yuvarla

Adım 2: $(d') \leftarrow \arg \max \{|v_{id}|\} \forall i \in I$; Mutlak değerce en yüksek hız değerini ve boyutunu belirle

Adım 3: $x_{id'}^{yeni} = (|x_{id'} + v_{id'}| \bmod(x_{\max})), \forall i \in I$; Parçacık pozisyonunu güncelle

Adım 4: Eğer $x_{id'}^{yeni} = 0$ ise $x_{id'}^{yeni} = x_{\max} \quad \forall i \in I$; Parçacık pozisyonunu güncelle

Adım 5: for ($d = 1$ to D)

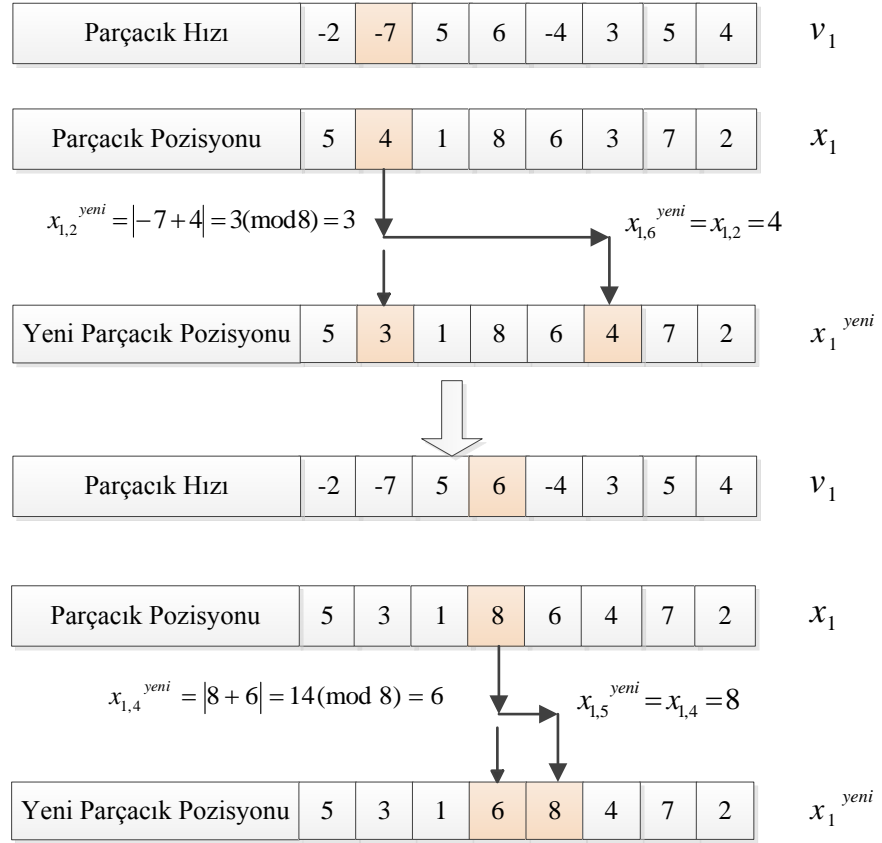
Eğer $(x_{id'}^{yeni} = x_{id}^{yeni}$ ve $d \neq d')$ ise $x_{id}^{yeni} = x_{id'}, \forall i \in I$; Parçacık pozisyonunu güncelle

Adım 6: Eğer yeni bir pozisyon güncellemesi yapılacaksa sonraki en yüksek hız değeri için Adım 2'ye, aksi halde Adım7'ye git.

Adım 7: Çıktı $x_{id}^{yeni}; \forall i \in I \quad \forall d \in D$

Şekil 3.25. Parçacık pozisyonu güncelleme algoritması

Önerilen yaklaşım Şekil 3.26'da görsel olarak da ifade edilmiştir. Şekildeki örnek, verilen örnek parçacık sürüsünde birinci parçacığın ilk aşaması üzerinden anlatılmıştır. En yüksek hız değerine sahip iki pozisyon güncellenerek, yeni parçacık pozisyonu elde edilmiştir.



Şekil 3.26. Parçacık pozisyonu güncelleme örneği

Önerilen algoritmada, parçacık hız vektörü, her aşama için $[-(x_{max}-1), (x_{max}-1)]$ aralığında yer almaktadır. Örneğin, Şekil 3.24'deki parçacık sürü gösteriminde ilk aşama dikkate alınır, hız vektörünün ilk aşaması, $[-7,7]$ aralığında yer alacak ve tamsayı değerler olacaktır. Hız vektörü, tüm aşamaların benzer yaklaşımla temsil edilmesinden oluşmaktadır ve maksimum hız değeri $(x_{max}-1)$ 'dir. Başlangıç hız vektörü rassal olarak oluşturulmaktadır. Hız vektörünün güncellenmesi denklem (3.51) ile gerçekleştirilmektedir. Denklem (3.51)'deki w atalet ağırlığı, doğrusal olarak azaltılarak Denklem 3.52'deki gibi, doğrusal olmayan biçimde azaltılarak ise, denklem (3.53)'deki gibi formülasyonla hesaplanmaktadır. Denklem (3.53)'de geçen q , doğrusal olmayan değişim katsayısıdır (Kadadevaramath ve ark. 2012).

$$v_{id}^{yeni} = wv_{id} + c_1r_1(p_{eni}^{id} - x_{id}) + c_2r_2(g_{eni}^d - x_{id}) \quad d = 1, \dots, D \quad (3.51)$$

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{\text{iterasyon}_{\max}} \times \text{iterasyon} \quad (3.52)$$

$$w = w_{\min} + (w_{\max} - w_{\min}) \times \left\{ \frac{(\text{iterasyon}_{\max} - \text{iterasyon})^q}{(\text{iterasyon}_{\max})^q} \right\} \quad (3.53)$$

TTZ ağı tasarımı problemi için önerilen PSOA taslak kodu Şekil 3.27’de gösterilmiştir.

Girdiler: Parçacık sürüsü büyüklüğü
 Parçacık boyut adedi
 Maksimum iterasyon adedi L

Başla

İterasyon numarası $l=1$;
 Her ağ aşaması için Algoritma 1’i çağır, her parçacık için başlangıç öncelik tabanlı parçacık pozisyonunu oluştur;
 Her parçacık için başlangıç hız vektörünü rassal olarak oluştur;
 Her ağ aşaması için Algoritma 2’yi çağır, aşamalar arası gönderilecek miktarları belirle ve sürüyü uygunluk fonksiyonuna göre değerlendir $f(x)$;
 $\mathbf{g}_{\text{eniyi}}$ ve her parçacık için **$\mathbf{p}_{\text{eniyi}}^i$** vektörlerini hesapla;
 $l < L$ olduğu sürece veya uygunluk fonksiyonun gelişimi belirlenen iterasyon adedi boyunca istenen seviyenin üzerinde olduğu sürece
 $l=l+1$
 Denklem (3.51) ile hız vektörünü güncelle;
 Algoritma 3 ile parçacık pozisyonlarını güncelle;
 Her parçacık için Algoritma 2 ile uygunluk değerini hesapla;
 $\mathbf{g}_{\text{eniyi}}$ ve her parçacık için **$\mathbf{p}_{\text{eniyi}}^i$** vektörlerini güncelle;

Bitir

Çıktılar: Bulunan en iyi uygunluk değerine sahip parçacık, uygunluk değerini ve gönderim miktarlarını yazdır

Bitir

Şekil 3.27. Önerilen parçacık sürü optimizasyon algoritması sözel kodu

3.6. Ömrünü Tamamlamış Araç Adedi Tahmini için Gri Tahmin Sistemi Tasarımı

Bu bölümde kullanılan simgeler ve açıklamaları aşağıda verilmektedir.

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$X^{(0)}$	Veri serisi
$X^{(1)}$	Kümülatif veri serisi
$Z^{(1)}$	Geçmiş veri serisi
a	Gelişen katsayı
b	Gri girdi
$x_p^{(1)}(k+1)$	$k+1$ dönemine ait tahmini kümülatif veri serisi elemanı
$x_p^{(0)}(k+1)$	$k+1$ dönemine ait tahmini veri serisi elemanı
$X_p^{(0)}$	Tahmini veri serisi
α	Yatay düzeltme katsayısı
$\varepsilon^{(0)}$	Hata serisi
$\varepsilon_p^{(0)}$	Tahmini hata serisi
$X_{po}^{(0)}$	OGM modeli tahmin sonuçları
$X_{pf}^{(0)}$	FOGM modeli tahmin sonuçları
F	Fourier veri serisi
C	Katsayılar matrisi
$\delta(k)$	k . dönemin hatası için işaret değeri
$X_p^{*(0)}$	MFOGM modeli tahmin sonuçları
a_ε	Hata tahmini için oluşturulan gri modele ait gelişen katsayı
b_ε	Hata tahmini için oluşturulan gri modele ait gri girdi

ÖTA'lar için TTZ ağı tasarımı probleminde, en kritik belirsizlik unsuru, gelecek dönemler için TTZ ağına giriş yapacak ÖTA veya hurda araç adedidir. Pek çok bilinen veya bilinmeyen parametreden etkilenen ÖTA adedini tahmin edebilmek oldukça zorlu

bir konudur. Ayrıca, ÖTA adetleri ile ilgili geçmiş dönemlere ait çok fazla bilgi de bulunmamaktadır.

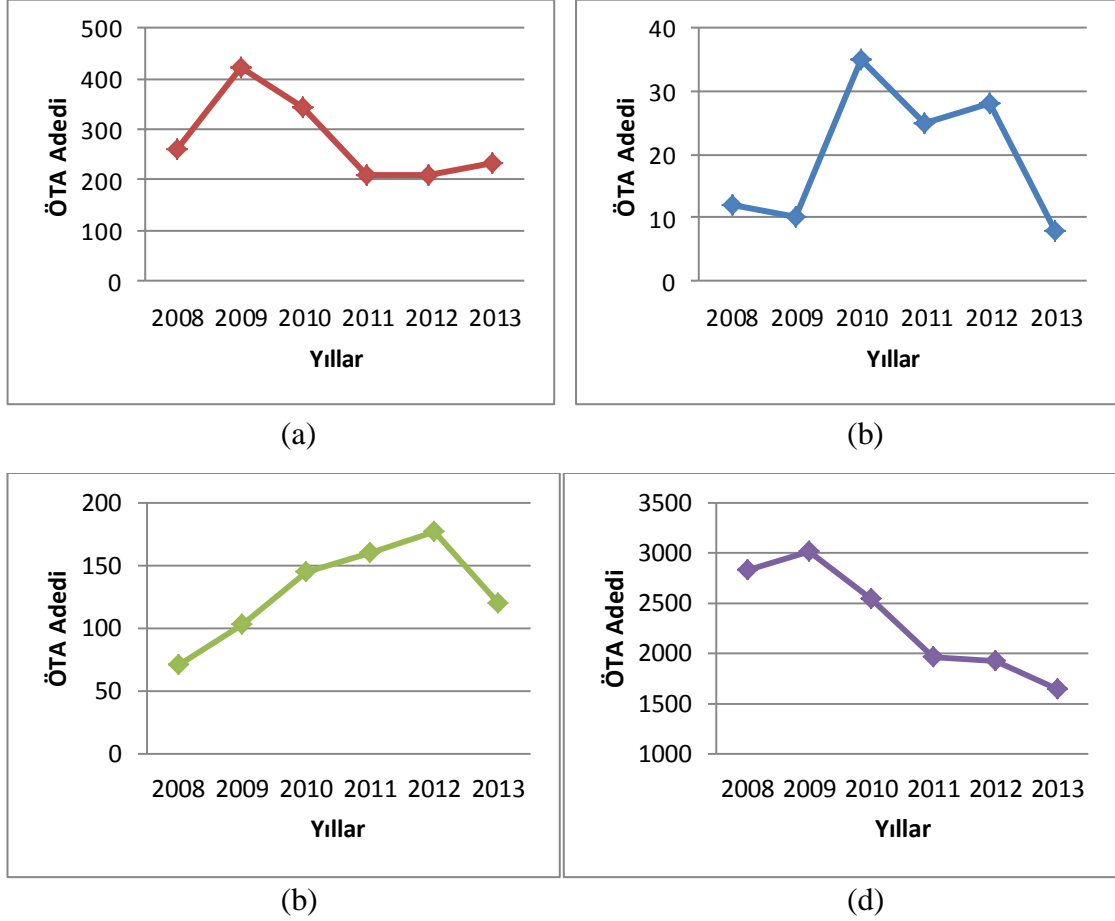
Tez çalışması kapsamında da, geçmiş döneme ait sınırlı sayıda ÖTA örnekleme ve zayıf bilgi mevcut olduğu için, ÖTA adedi tahmini için gri sistem teori yaklaşımı incelenmiş ve gri modellemeyi temel alan bir tahmin sistemi oluşturulmuştur. Bölüm 3.3’de detaylı olarak açıklanan GM (1,1) modelinin uygulama adımları Şekil 3.28’de gösterilmiştir. Tez çalışması kapsamında geliştirilen tahmin sisteminde, GM (1,1) tahmin modelinin doğruluğunu arttırmak için Bölüm 3.3’de detaylı açıklanan parametre optimizasyonu, Fourier serisi ve Markov zincir teorisi ile hata düzeltme yaklaşımları uygulanmıştır.

<p>Girdi: $X^{(0)}$ veri serisi (Denklem 3.10)</p> <p>Adım1: Kümülatif üretim operasyonu ile $X^{(1)}$ serisini elde et. (Denklem 3.11-3.12)</p> <p>Adım2: Geçmiş veri serisi $Z^{(1)}$’i oluştur. (Denklem 3.13-3.15)</p> <p>Adım3: Birinci derece tek değişkenli gri model eşitliğini oluştur (Denklem 3.16), a ve b katsayılarını hesapla. (Denklem 3.17-3.20)</p> <p>Adım4: $k+1$ dönemindeki tahmini kümülatif veri elamanı $x_p^{(1)}(k+1)$’i hesapla. (Denklem 3.22)</p> <p>Adım5: Ters kümülatif üretim operasyonu ile $k+1$ dönemine ait tahmini veri serisi elemanı $x_p^{(0)}(k+1)$’i hesapla. (Denklem 3.23)</p> <p>Çıktı: Tahmini veri serisi $X_p^{(0)}$</p>
--

Şekil 3.28. GM(1,1) modeli uygulama adımları

ÖTA TTZ ağının tasarımında, gelecek yıllar için ÖTA adedi tahmini, oluşturulan ağ yapısını etkileyebilecek önemli bir konudur. Tez çalışmasında yürütülen Türkiye uygulaması kapsamında, gelecek yıllar için yapılacak planlamanın başarısı açısından, her bir toplama merkezine gelecek araç adedinin iyi bir şekilde tahmin edilmesi önemli görülmektedir. Fakat Türkiye’deki 81 ilin, yani toplama merkezinin her birinin geçmiş yıllara ait veri setleri farklı özellikler göstermektedir. 81 farklı veri seti için tahmin hatasını minimize edecek tahmin sisteminin geliştirilmesi karmaşık bir problemdir.

Şekil 3.29 (a, b, c ve d)'de örnek olarak dört toplama merkezinin geçmiş yıllara ait ÖTA adedi verileri grafiklerle gösterilmiştir.



Şekil 3.29. Bazı iller için geçmiş yıllara ait ömrünü tamamlamış araç adedi verileri

Tez çalışması kapsamında, ÖTA adedi tahmini için sınırlı sayıda geçmiş veri ve zayıf bilgi bulunduğundan tahmin çalışması için önerilen sistem gri sistem teori yaklaşımına dayanmaktadır.

GM (1,1) modeli, tahmin sonuçlarını iyileştirmek adına öncelikle parametre optimizasyonu ile optimize edilmiş ve optimize edilmiş gri model (OGM) oluşturulmuştur. Bölüm 3.3.1'de yapılan açıklamalar da dikkate alınarak, OGM modeli uygulama adımları Şekil 30'da gösterilmiştir.

Girdi: Veri Seti

Adım 1: Veri setini kullanarak GM (1,1) modelini ($\alpha=0,5$) oluştur.

Adım 2: GM (1,1)'de $\alpha=0,1$ için ortalama mutlak yüzdesel hata değerini (OMYH) hesapla.

Adım 3: Eğer $\alpha < 0,9$ ise $\alpha^{yeni} = \alpha + 0,1$; değilse en küçük OMYH değerini veren α ile OGM tahmin modelini oluştur ve algoritmayı sonlandır.

Adım 4: GM (1,1)'de α^{yeni} için ortalama mutlak yüzdesel hata değerini hesapla (OMYH').

Adım 5: Eğer $OMYH' < OMYH$ ise $OMYH = OMYH'$; değilse OMYH aynı kalır. Adım 3'e git.

Çıktı: Belirlenen en düşük OMYH değerini veren α ile oluşturulan OGM tahmin modeli ve elde edilen tahmin değerleri

Şekil 3.30. Optimize edilmiş gri model (OGM) uygulama adımları

OGM tahmin modelinden elde edilen hata girdisi kullanılarak Fourier serisi ile birinci seviye hata tahmini yapılmış ve hata düzeltmesi uygulanarak, OGM, Fourier serisi ile düzeltilmiştir ve Fourier serisi ile düzeltilmiş optimize edilmiş gri model (FOGM) oluşturulmuştur. Bölüm 3.3.2'de yapılan açıklamalar da dikkate alınarak, FOGM modeli uygulama adımları Şekil 3.31'de verilmiştir.

Girdi: $\varepsilon^{(0)}$ OGM modeli hata serisi

$X_{po}^{(0)}$ OGM modeli tahmin sonuçları

Adım1: Hata değerlerini Fourier serisi denklemi (Denklem 3.27) ile hesaplayabilmek için, Fourier veri serisi F' 'yi oluştur (Denklem 3.29)

Adım2: Denklem (3.28)'in en küçük kareler yöntemi ile çözülmesi sonucu elde edilen denklem (3.31) ile katsayılar matrisi C 'yi elde et.

Adım3: Denklem (3.31) ile elde edilen katsayılar matrisi değerlerini denklem (3.27)'de yerine koyarak, $\varepsilon_p^{(0)}$ tahmini hata serisini elde et.

Adım4: Denklem (3.32) ile Fourier serisi ile düzeltilmiş tahmin değerlerini hesapla.

Çıktı: Fourier serisi ile düzeltilmiş tahmini veri serisi $X_{pf}^{(0)}$

Şekil 3.31. Fourier serisi ile düzeltilmiş optimize edilmiş gri model (FOGM) uygulama adımları

FOGM veya OGM üzerinden ise ikinci seviye hata tahmini için öncelikle GM(1,1) modeli ile hata tahmini yapılmış, tahmini hatanın işaret tahmini için Markov zinciri teorisi kullanılmıştır. Sonuç olarak, GM (1,1) modeli, optimize edilmiş, Fourier ve Markov serisi ile hata düzeltmesi uygulanarak geliştirilmiştir ve böylece Markov ve Fourier serisi ile düzeltilmiş optimize edilmiş gri model (MFOGM) oluşturulmuştur. Bölüm 3.3.3’de yapılan açıklamalar da dikkate alınarak, MFOGM modeli uygulama adımları, Şekil 3.32’de verilmiştir.

Girdi: OGM ve FOGM modelinin birinci seviye hata serisi $\varepsilon^{(0)}$

OGM ve FOGM modeli tahmin sonuçları

Adım1: Eğer $OMYH_{OGM} < OMYH_{FOGM}$ ise OGM modeli ile adımlara devam et; değilse FOGM modeli ile devam et.

Adım2: Birinci seviye hata değerlerinin (OGM veya FOGM’den gelen) mutlak değerlerini al.

Adım3: Birinci seviye hata değerleri için GM (1,1) tahmin modelini oluştur.

Hata değerleri için GM(1,1) modeli: $\varepsilon_p^{(0)}(k+1) = \left[\varepsilon^{(0)}(1) - \frac{b_\varepsilon}{a_\varepsilon} \right] e^{-a_\varepsilon k} (1 - e^{-a_\varepsilon})$

Adım4: Markov zinciri ile hata işareti tahmini için hata değerlerinin işaret değişimine ait durumlar:

Durum 1: Hata işaretinin ‘+’ olması

Durum 2: Hata işaretinin ‘-’ olması

Geçmiş verileri dikkate alarak durumlar arası geçiş olasılıklarını hesapla.

$\delta(k)$, k . dönemin hatası için işaret değeri,

$$\delta(k) = \begin{cases} +1 & k \text{ dönemi için eğer Durum 1'e geçiş olasılığı yüksek ise} \\ -1 & k \text{ dönemi için eğer Durum 2'ye geçiş olasılığı yüksek ise} \end{cases}$$

Adım 5: Markov zinciri ile işaret tahmini düzeltmesi yapılmış tahmin değerini elde et.

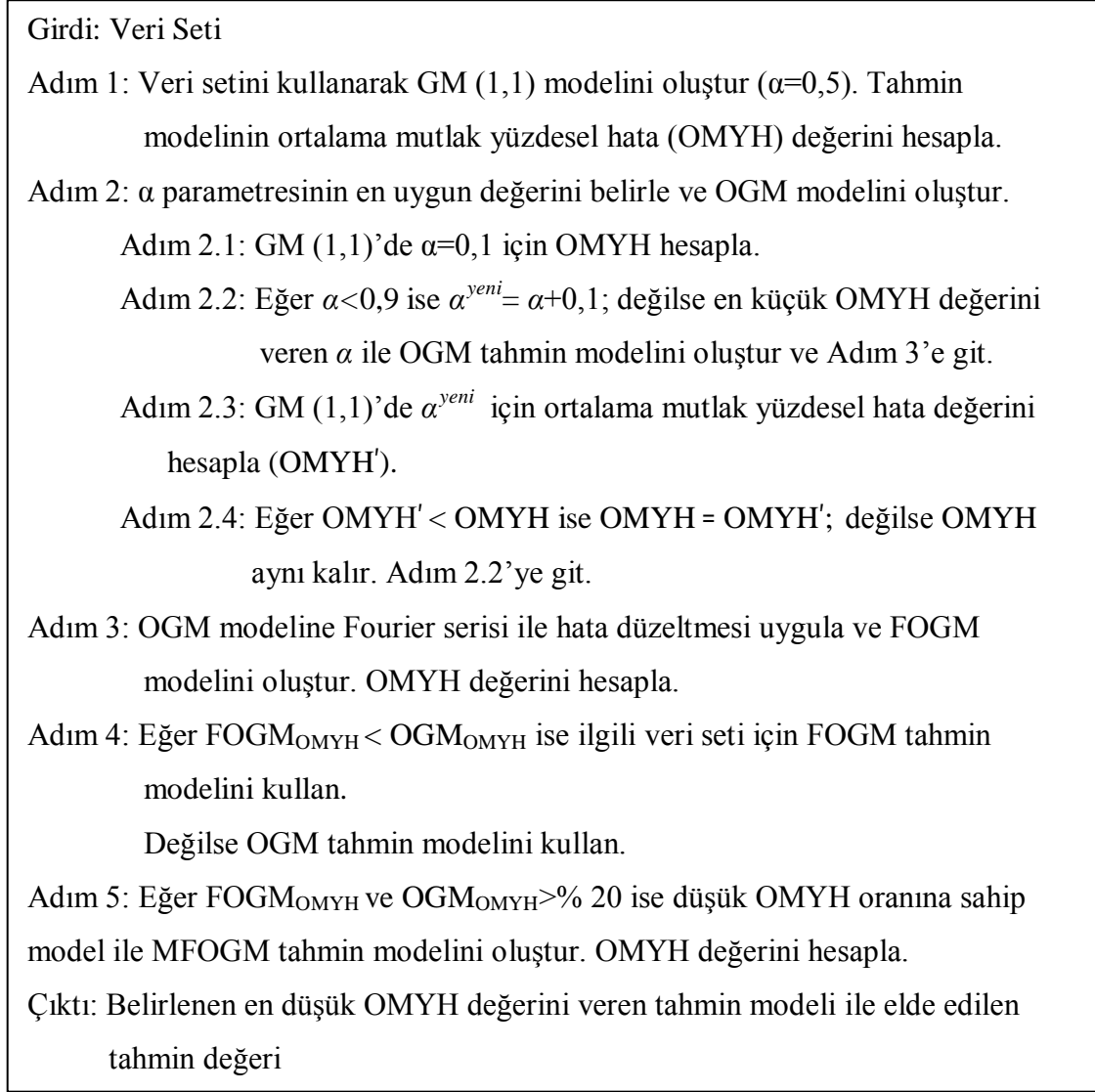
Eğer OGM modeli kullanıldı ise: $x_p^{(0)}(k+1) = x_{po}^{(0)}(k+1) + \delta(k+1)\varepsilon_p^{(0)}(k+1)$

Eğer FOGM modeli kullanıldı ise: $x_p^{(0)}(k+1) = x_{pf}^{(0)}(k+1) + \delta(k+1)\varepsilon_p^{(0)}(k+1)$

Çıktı: Markov zinciri ile işaret tahmini yapılmış Fourier serisi ile düzeltilmiş veya optimize edilmiş tahmini veri serisi $X_p^{(0)}$

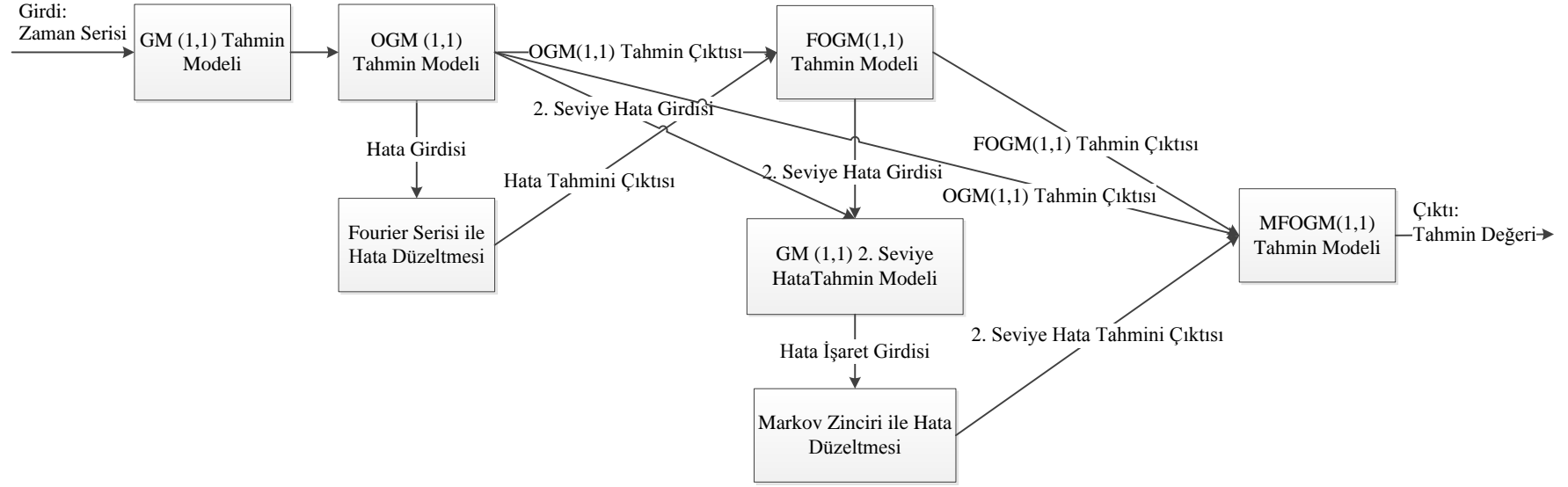
Şekil 3.32. Markov ve Fourier serisi ile düzeltilmiş optimize edilmiş gri model (MFOGM) uygulama adımları

OGM, FOGM ve MFOGM modellerinden oluşan, önerilen tahmin sisteminin kullanımında Şekil 3.33'de verilen uygulama adımları kullanılmaktadır.



Şekil 3.33. Önerilen tahmin sisteminin uygulama adımları

Önerilen tahmin sisteminin yapısı ise modellerde kullanılan girdi ve çıktı değerleri ile birlikte Şekil 3.34'de verilmiştir. Önerilen sistemin yapısı karmaşık bir görünümde olsa da, sistem, her biri farklı özelliğe sahip 81 farklı veri seti için en uygun tahmin modeli aracılığıyla en yüksek doğrulukta sonuç elde edilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 3.34. Önerilen tahmin sisteminin yapısı

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde, ilk aşamada, tersine tedarik zinciri (TTZ) ağı tasarımı problemi için önerilen çözüm yaklaşımlarından olan karma tamsayılı matematiksel programlama modelinin performansını test etmek ve geçerliliğini sağlamak amacıyla farklı boyutlu problem setleri ile model test edilmiş ve modele duyarlılık analizi uygulanmıştır. Daha sonra, önerilen diğer yöntemler olan genetik algoritma (GA) ve parçacık sürü optimizasyon algoritmasının (PSOA) performansını test etmek amacıyla farklı boyutlu problemlerle analizler yapılmış ve testler yapılarak algoritmaların en uygun parametre değerleri belirlenmiştir. Bölümün ikinci aşamasında ise, ömrünü tamamlamış araçlar için TTZ (ÖTA-TTZ) ağı tasarımı Türkiye uygulamasına yer verilmiştir. Öncelikle TTZ ağına giriş yapacak ÖTA adedini tahmin edebilmek amacıyla yürütülen çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Daha sonra, Türkiye’de ÖTA geri kazanım ve geri dönüşüm faaliyetlerinin yönetimi için TTZ ağı tasarımı problemine önerilen çözüm yaklaşımları ile elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

4.1. Matematiksel Model Deneysel Sonuçları

ÖTA-TTZ ağı tasarımı probleminin çözümü için önerilen matematiksel modelin performansını test edebilmek için öncelikle farklı boyutlarda problem setleri rassal olarak oluşturulmuştur. Literatürde önerilen çeşitli test problem setleri mevcut olsa da, Pishvae ve ark. (2010)’ın da belirttiği gibi, literatürde yer alan test problemlerinin yapısı ve dikkate alınan aşama adedi farklılık göstermektedir. Tez kapsamında çalışılan ağ yapısı da literatürde yer alan test problemlerinden oldukça farklıdır. Bu sebeple, tez kapsamında çalışılan problemle ilgili test problemleri rassal olarak oluşturulmuştur. Test problem setlerinin özellikleri Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Test problem setlerinde kullanılan veriler ise Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Çizelge 4.2’de, Bölüm 3.5.1’de tanımlanan matematiksel modele ait notasyonlar kullanılmıştır. Her problem seti için, ömrünü tamamlamış araç taleplerinin, gelecek planlama dönemlerini kapsayan kötümser, beklenen ve iyimser senaryoları tanımlanmıştır. Bu senaryoların gerçekleşme olasılıkları amaç fonksiyonuna bütünleştirilmiştir. Senaryoların gerçekleşme olasılıkları (ps_s) ise sırasıyla, 0,15, 0,50 ve 0,35 olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 4.1. Test problem setleri

Problem Setleri	Toplama Merkezi Sayısı	Söküm/Ara Depolama Tesisi Sayısı	İşleme Tesisi Sayısı	Geri Dönüşüm/Geri Kazanım Merkezi Sayısı	Elden Çıkarma Merkezi Sayısı	Tekrar Kullanım Merkezi Sayısı
PS 1	10	6	4	6	5	3
PS 2	20	15	8	10	10	3
PS 3	25	15	10	15	15	3
PS 4	40	20	15	15	18	5
PS 5	50	25	20	25	22	5
PS 6	80	40	25	28	25	10
PS 7	100	50	30	35	35	10
PS 8	125	60	35	35	35	10
PS 9	150	75	40	40	35	10
PS 10	200	80	45	40	40	15

Çizelge 4.2. Test problem verileri

Parametre	Değer
e_{its}	Senaryo 1: UNIF (0, 50) Senaryo 2: UNIF (50, 100) Senaryo 3: UNIF (100, 150)
$cap_j^{(1)}$	UNIF (500, 800)
$cap_k^{(2)}$	UNIF (1 000, 3 000)
$cap_l^{(3)}$ ve $cap_m^{(4)}$	UNIF (500, 1 500)
$ct_{ij}^{(1)}$	UNIF (150, 400) \times 0,4
$ct_{jk}^{(2)}$, $ct_{jn}^{(3)}$, $ct_{kl}^{(4)}$, $ct_{km}^{(5)}$, $ct_{jm}^{(6)}$	UNIF (150, 400) \times 0,23
$c_j^{(1)}$	UNIF (40 000, 65 000)
$c_k^{(2)}$	UNIF (85 000, 115 000)
k_1 ve k_2	0,15 ve 0,1
aw ve aw_2	1 ve 0,85

MPL programında kodlanan modelden, rassal test problemleri için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3’de özetlenmiştir. Model, Gurobi (5.5.0) çözücüsü ile çözülmüştür.

Çizelge 4.3. Test problem setlerinin sonuçları

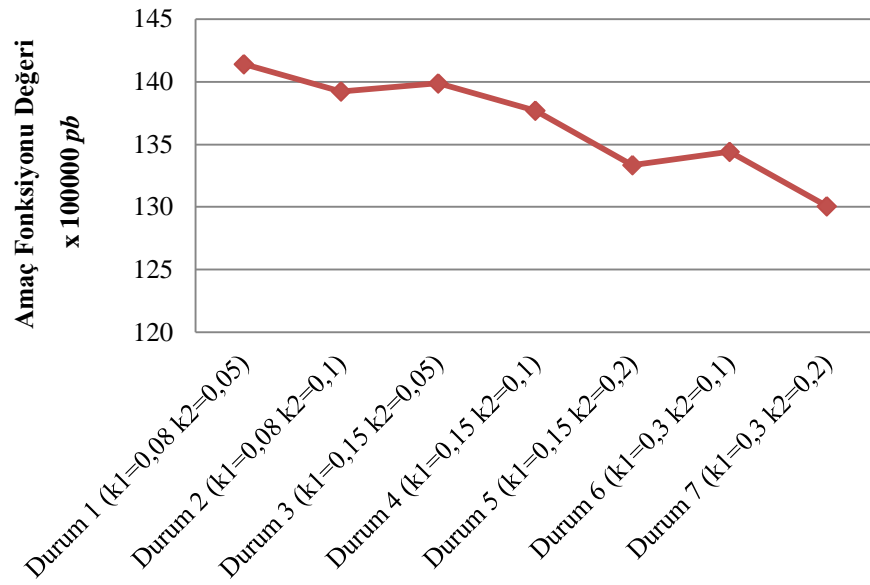
	Değişken Adedi	Kısıt Adedi	İterasyon Adedi	İşlem süresi	Sonuç
PS 1	3 916	1 647	2 110	1,11 <i>sn</i>	5 501 577,7 (Optimum)
PS 2	15 503	6 021	233 457	3 <i>dk</i> , 12 <i>sn</i>	13 769 593,8 (Optimum)
PS 3	17 710	6 165	702 108	20 <i>dk</i> , 39 <i>sn</i>	15 425 863,8 (Optimum)
PS 4	35 630	10 962	238 6229	4 <i>sa</i> , 55 <i>dk</i> , 48 <i>sn</i>	26 451 332,7 (Durduruldu)
PS 5	53 955	16 038	4 487 765	4 <i>sa</i> , 3 <i>dk</i> , 37 <i>sn</i>	32 907 018,9 (Durduruldu)
PS 6	130 790	36 072	3 103 031	5 <i>sa</i> , 14 <i>dk</i> , 29 <i>sn</i>	45 387 301,8 (Durduruldu)
PS 7	192 230	54 090	3 000 919	5 <i>sa</i> , 29 <i>dk</i> , 34 <i>sn</i>	56 695 424,9 (Durduruldu)
PS 8	259 745	78 300	930 711	5 <i>sa</i> , 25 <i>dk</i> , 50 <i>sn</i>	70 956 087,8 (Durduruldu)
PS 9	361 240	114 480	1 832 919	6 <i>sa</i> , 34 <i>dk</i> , 55 <i>sn</i>	84 768 074,2 (Durduruldu)
PS 10	511 325	158 535	682 119	6 <i>sa</i> , 31 <i>dk</i> , 54 <i>sn</i>	115 966 322,4 (Durduruldu)

Test problem setleri için matematiksel modelden elde edilen sonuçlar, modelin ilk üç problem setinde kısa sürede optimum sonuçları ürettiğini göstermektedir. Ancak problem boyutu arttıkça, değişken ve kısıt adedinin de artmasıyla birlikte çözüm süreleri oldukça yükselmektedir. Çizelge 4.3’de PS4 - PS10 problem setleri için belirli bir çalışma süresi sonrasında üretilen sonuçlar gösterilmiştir.

Problem parametrelerindeki değişimin elde edilen optimum sonuç üzerindeki etkisini görebilmek ve modelden edinilen kazanımları arttırmak amacıyla, önerilen

matematiksel modelde duyarlılık analizi çalışması yapılmıştır. Duyarlılık analizi için kabul edilebilir sürelerde optimum çözüm veren PS 2 tercih edilmiştir.

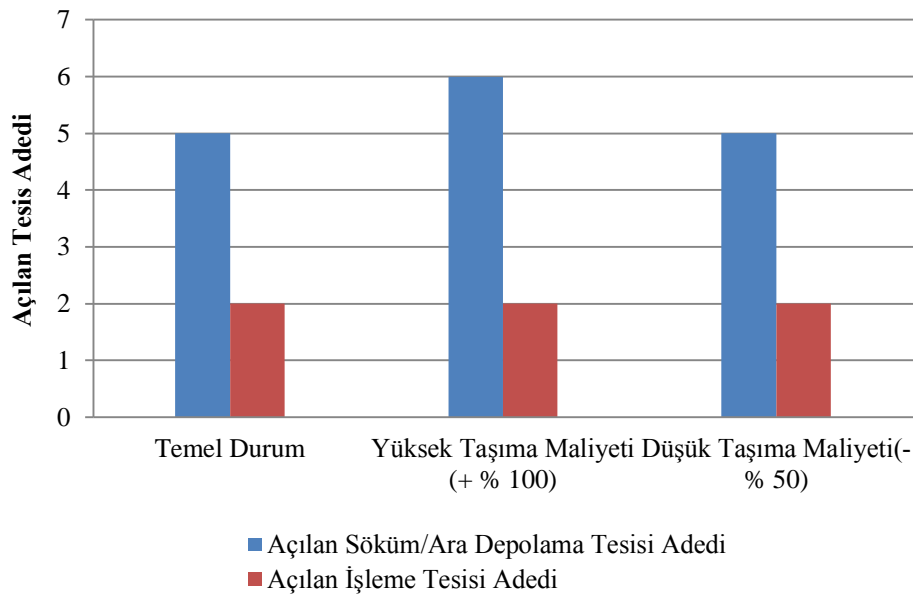
İlk olarak, çözümlerin, elden çıkarma oranlarına olan duyarlılığı analiz edilmiştir. Söküm/ara depolama tesisinden elden çıkarma merkezine gönderilen malzeme oranının (k_1) ve işleme tesisinden elden çıkarma merkezine gönderilen malzeme oranının (k_2) değerleri farklı oranlarda değiştirilerek yedi farklı durum tanımlanmıştır. Tanımlanan durumlara göre, k_1 ve k_2 'nin amaç fonksiyonuna etkisi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Elden çıkarma oranının amaç fonksiyonuna etkisi

Şekil 4.1 verilen sonuçlar incelendiğinde, k_1 ve k_2 azaldığında amaç fonksiyonu değerinin arttığı, k_1 ve k_2 arttığında ise amaç fonksiyonu değerinin azaldığı açıkça görülmektedir. Ayrıca amaç fonksiyonu üzerinde, k_2 'nin etkisinin k_1 'e göre daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Örneğin, Durum 4'e göre, Durum 5'de k_2 'nin değeri iki katına çıkarıldığında amaç fonksiyonunun değerinde % 3,16'lık azalma olurken, Durum 6'da k_1 'in değeri iki katına çıkarıldığında amaç fonksiyonunun değerinde % 2,39'luk azalma görülmektedir.

Birim taşıma maliyetlerinin amaç fonksiyonu ve açılan sökülüm/ara depolama tesisi ve işleme tesisi adedi üzerindeki etkisini analiz edebilmek için, temel durum, yüksek taşıma maliyeti ve düşük taşıma maliyetleri tanımlanmıştır. Yüksek taşıma maliyeti, temel durum olarak alınan PS 2’de çalışılan birim taşıma maliyetlerine % 100’lük artış yapılarak elde edilmiştir. Düşük taşıma maliyeti ise, temel durum taşıma maliyetlerinde % 50’lik azalma yapılarak elde edilmiştir. Şekil 4.2’de birim taşıma maliyetlerinin açılan tesis adedine etkisi, Şekil 4.3’de ise amaç fonksiyonuna etkisi grafiksel olarak gösterilmiştir.

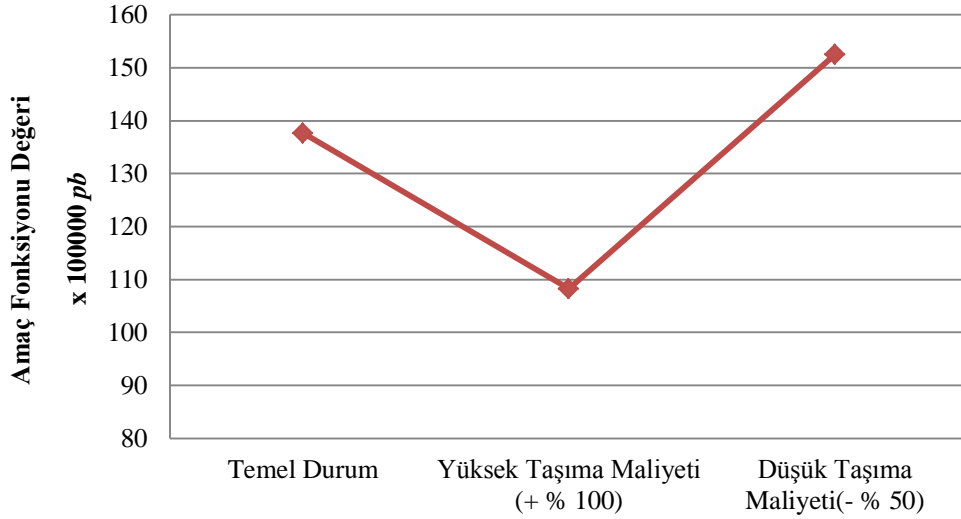


Şekil 4.2. Taşıma maliyetlerinin açılan tesis adedine etkisi

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, birim taşıma maliyetindeki değişim, açılan işleme tesisi adedi üzerinde bir etki yaratmamıştır. Açılan sökülüm/ara depolama tesisi adedi ise, yüksek taşıma maliyetinden etkilenmiş ve açılan tesis adedinde artış gözlenmiştir. Şekil 4.3’de ise, yüksek taşıma maliyetleri ile amaç fonksiyonu değerinde azalış yaşanırken, düşük taşıma maliyetleri ile amaç fonksiyonu değerinin arttığı görülmektedir.

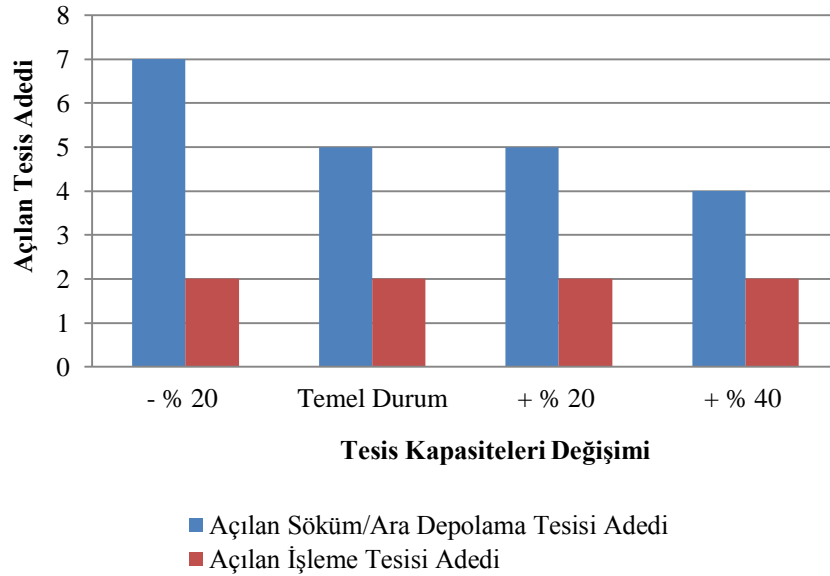
Söküm/ara depolama ve işleme tesislerinin kapasitelerinin modelden elde edilen çözümlere olan duyarlılığını analiz etmek amacıyla ise, dört farklı kapasite değeri tanımlanarak, sonuçlar, açılan tesis adedi, amaç fonksiyonu değeri ve iterasyon adedine göre analiz edilmiştir. Tanımlanan ilk durumda, tesis kapasiteleri % 20 oranında

arttırılmış, ikinci durumda tesis kapasiteleri % 40 oranında arttırılmıştır. Üçüncü durum PS 2’de çalışılan temel durumdur. Son olarak dördüncü durumda ise kapasiteler % 20 oranında azaltılmıştır.



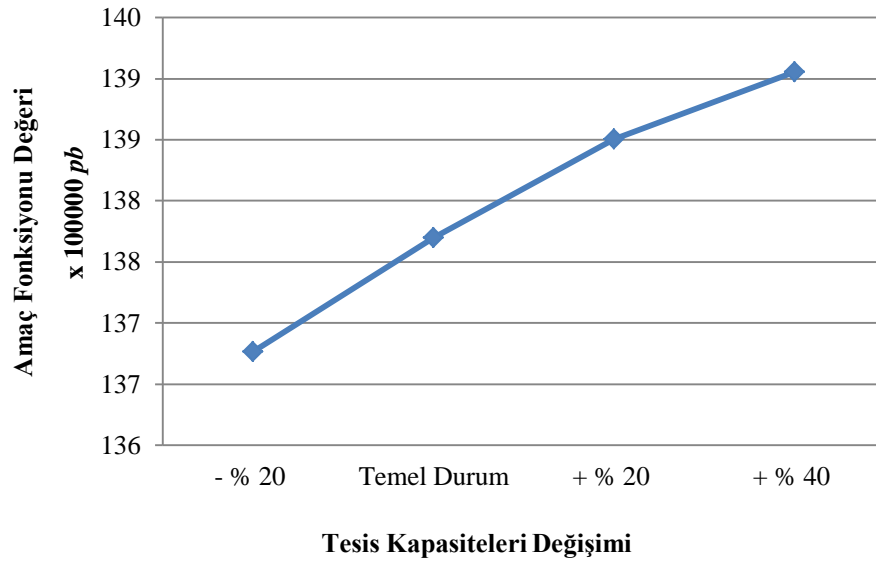
Şekil 4.3. Taşıma maliyetlerinin amaç fonksiyonuna etkisi

Tesis kapasitelerindeki değişimin açılan tesis adedine etkisi Şekil 4.4, amaç fonksiyonuna etkisi Şekil 4.5’de grafiksel olarak da gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Kapasite değişimlerinin açılan tesis adedine etkisi

Şekil 4.4’de verilen sonuçlardan, açılan işleme tesisi adedinin, tesis kapasitelerindeki değişime duyarlılık göstermediğini anlaşılmaktadır. Açılan sökül/ara depolama tesisi adedi ise, % 20’lik kapasite artışından etkilenmezken, tesis kapasitelerinde % 40’lık artış yapıldığında açılan sökül/ara depolama tesis adedi azalarak 5’den 4’e düşmüştür. % 20’lik kapasite azalışı durumunda ise açılan sökül/ara depolama tesisi adedi artarak 5’den 7’ye çıkmıştır.



Şekil 4.5. Kapasite değişimlerinin amaç fonksiyonuna etkisi

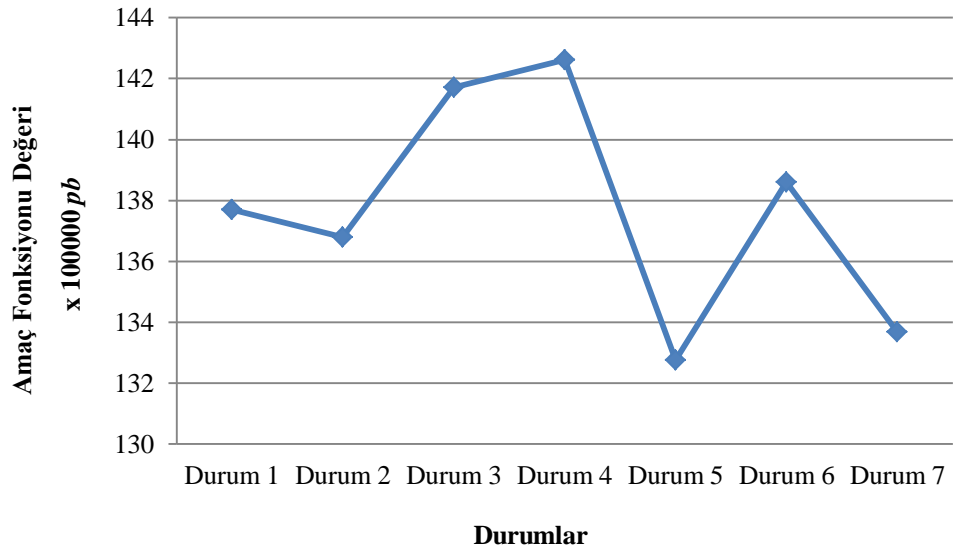
Tesis kapasiteleri arttığında, açılan sökül/ara depolama tesisi sayısı azaldığından Şekil 4.5’de görüldüğü gibi, amaç fonksiyonunun değeri de artmaktadır. Tesis kapasiteleri azaldığında ise, daha fazla sökül/ara depolama tesisi açmak gerekeceğinden amaç fonksiyonu değeri düşmektedir.

Son olarak, amaç fonksiyonunun birim elden çıkarma maliyeti ve geri kazanımdan elde edilen birim gelire duyarlılığı analiz edilmiştir. Elden çıkarma ve geri kazanım maliyetleri üzerinde değişiklikler yapılarak oluşturulan durumlar Çizelge 4.4’de gösterilmiştir. Birim elden çıkarma maliyeti ve birim geri kazanım değerinin amaç fonksiyonuna etkisi Şekil 4.6’da grafiksel olarak analiz edilmiştir.

Çizelge 4.4. Elden çıkarma maliyeti ve geri kazanım değeri için tanımlanan durumlar

Durumlar	Birim Elden Çıkarma Maliyeti	Birim Geri Kazanım Değeri
Durum 1	Temel durum	Temel durum
Durum 2	+ % 20	Temel durum
Durum 3	+ % 20	+ % 20
Durum 4	Temel durum	+ % 20
Durum 5	Temel durum	- % 20
Durum 6	- % 20	Temel durum
Durum 7	- % 20	- % 20

Sonuçlar göstermektedir ki, birim elden çıkarma maliyetindeki azalma ve geri kazanım değerindeki artış amaç fonksiyonunun değerinin artmasına sebep olmaktadır. Aksi durumda ise, amaç fonksiyonu değerinde azalma gözlenmektedir. Ayrıca birim geri kazanım değeri, birim elden çıkarma maliyetinden mutlak olarak da daha büyük olduğu için birim elden çıkarma maliyetine göre, birim geri kazanım değerinin amaç fonksiyonu üzerindeki etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6. Elden çıkarma maliyeti ve geri kazanım değerinin amaç fonksiyonuna etkisi

Önerilen matematiksel modelin sonuçlarını daha detaylı inceleyebilmek için, matematiksel model, öncelikle küçük bir probleme uygulanmıştır. Örnek olarak, gerçek verileri kullanabilmek adına İç Anadolu Bölgesi ele alınmıştır. İç Anadolu Bölgesindeki 13 il, toplama merkezi olarak, en yüksek araç yoğunluğuna sahip yedi il, söküm/ara depolama tesisi aday yeri olarak, beş il ise aday işleme tesisi yeri olarak belirlenmiştir. Geri dönüşüm/geri kazanım ve elden çıkarma merkezleri kümesi ise İç Anadolu Bölgesindeki mevcut merkezlerden oluşturulmuştur. Tasarlanacak ağın her bir aşaması için alternatifler Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Her aşama için aday iller

Ağ Aşaması	Aday İller
Toplama Merkezi	Ankara, Çankırı, Eskişehir, Kayseri, Kırşehir, Konya, Nevşehir, Niğde, Sivas, Yozgat, Aksaray, Karaman, Kırıkkale
Söküm/Ara Depolama Tesisi	Ankara, Eskişehir, Kayseri, Konya, Nevşehir, Sivas, Aksaray
İşleme Tesisi	Ankara, Eskişehir, Kayseri, Konya, Niğde
Geri Dönüşüm/Geri Kazanım Merkezi	Ankara, Eskişehir, Konya, Niğde, Kırıkkale, Sivas, Aksaray, Kayseri
Elden Çıkarma Merkezi	Ankara, Eskişehir, Kayseri, Konya, Niğde, Yozgat, Kırıkkale
Tekrar Kullanım Merkezi	Ankara, Eskişehir, Konya

Toplama merkezlerine gelecek kullanılmış ürün adetleri ile ilgili belirsizlikle mücadele edebilmek adına, matematiksel modelde oluşturulan senaryo tabanlı yaklaşım için, 3 dönem için kötümser, beklenen ve iyimser senaryolar tanımlanmıştır. Senaryolar, TÜİK’den alınan 2005-2013 dönemine ait ÖTA verileri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Senaryolarda, kullanılmış ürün adetleri, 2005- 2013 döneminde gerçekleşen üst ve alt sınır değerlerine göre rassal olarak belirlenmiştir. Senaryoların gerçekleşme olasılıkları ise sırasıyla, 0,15, 0,50 ve 0,35 olarak tanımlanmıştır. Toplama

merkezlerine gelen ömrünü tamamlamış araç adetleri ile ilgili bilgi Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Örnek problem için toplama merkezlerine gelen ömrünü tamamlamış araç adetleri

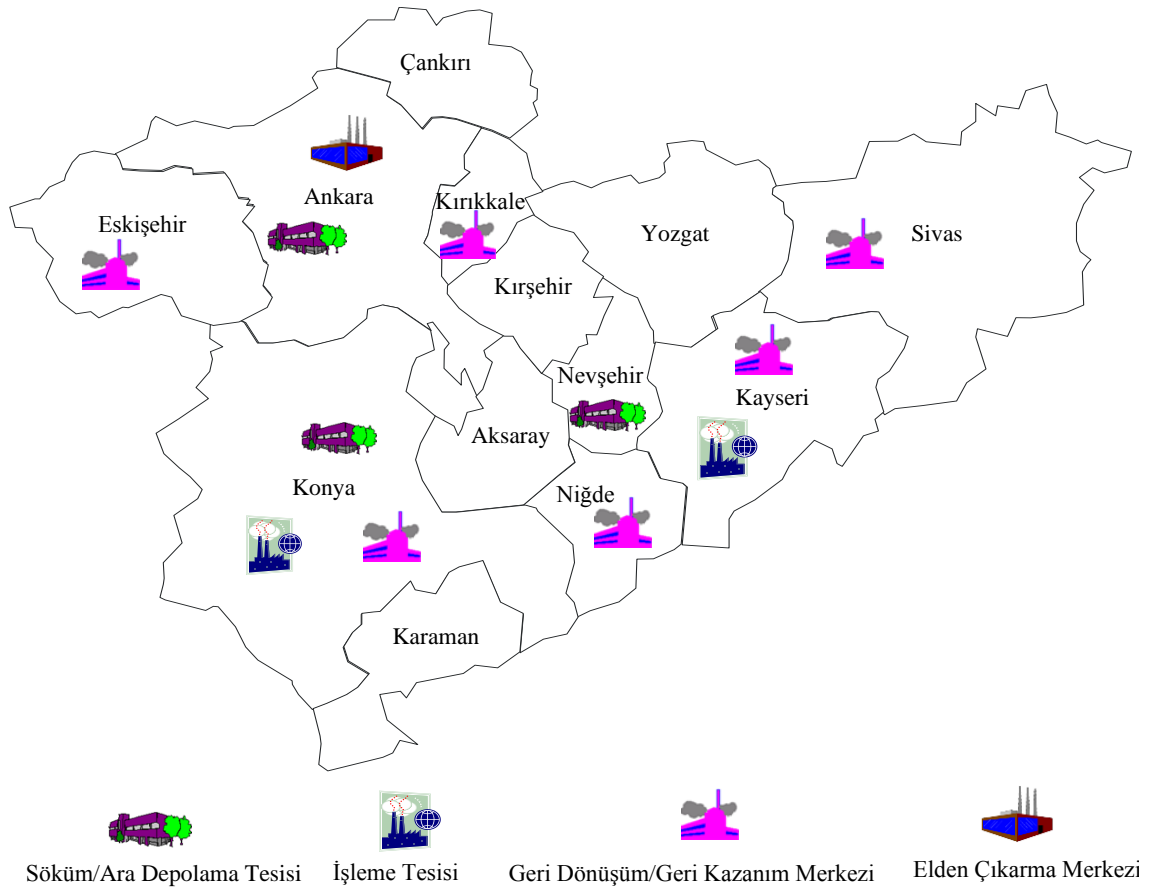
	Dönemler								
	t=1			t=2			t=3		
Toplama Merkezleri	Senaryolar								
	s=1	s=2	s=3	s=1	s=2	s=3	s=1	s=2	s=3
Ankara	1 105	1 445	1 990	1 138	1 656	2 046	1 068	1 564	1 887
Çankırı	19	30	40	11	26	41	10	35	36
Eskişehir	143	269	414	129	296	384	158	215	337
Kayseri	152	377	472	154	354	445	135	331	535
Kırşehir	32	36	74	13	58	62	19	60	71
Konya	280	387	590	122	351	610	129	364	483
Nevşehir	28	51	104	37	47	85	14	53	78
Niğde	23	31	52	31	37	45	29	36	50
Sivas	52	99	145	63	92	132	47	92	119
Yozgat	18	66	95	20	74	85	29	51	91
Aksaray	27	59	77	34	54	76	25	41	77
Karaman	36	40	58	27	44	60	35	41	63
Kırıkkale	20	53	62	33	41	67	15	50	58

Söküm/ara depolama ve işleme tesislerinin kapasiteleri araç olarak sırasıyla Unif (1 000-2 500) ve Unif (2 000-3 000) aralıklarında rassal olarak belirlenmiştir. Elden çıkarma ve geri dönüşüm/geri kazanım tesislerinin kapasiteleri ise ton cinsinden Unif (1 000-2 000) aralığında rassal olarak belirlenmiştir.

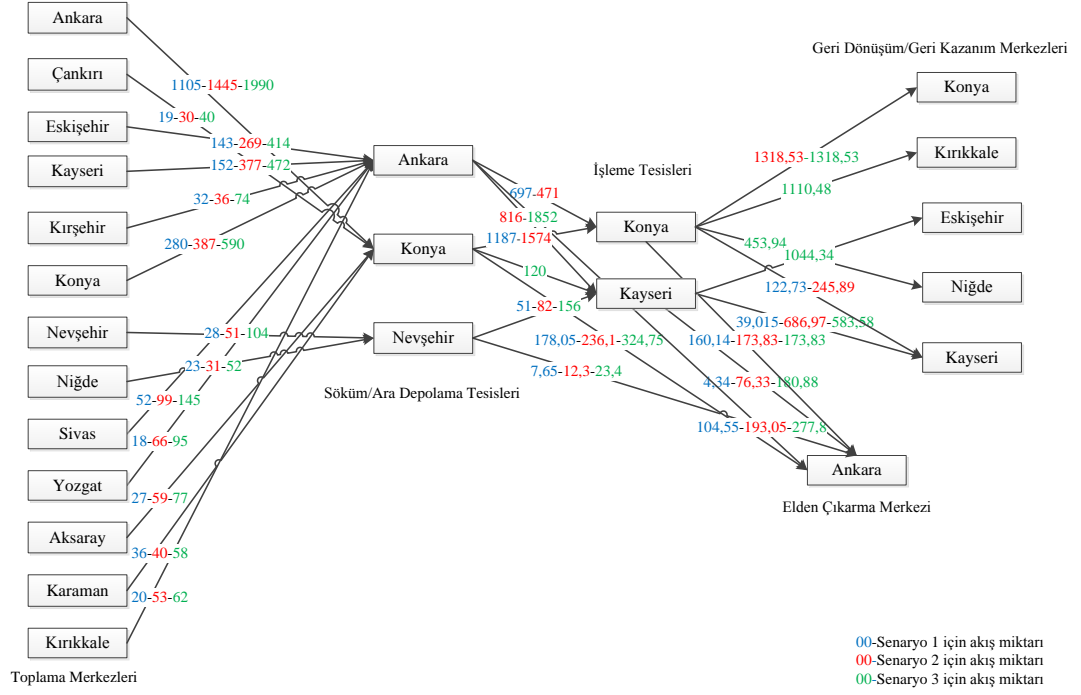
Ortalama araç ağırlığı 1 ton, tekrar kullanılabilir parçaları ve zararlı sıvıları çıkarılmış ortalama araç ağırlığı 0,85 ton olarak kabul edilmiştir. Kara Yolları Genel Müdürlüğünden alınan iller arası mesafelerin yer aldığı matris EK 2'de verilmiştir.

Şekil 4.7’de, İç Anadolu Bölgesi örnek probleminde açılacak sökül/ara depolama ve işleme tesislerinin hangi illerde kurulacağı; mevcut geri dönüşüm ve elden çıkarma merkezlerinden ise hangilerinin kullanıldığı görülmektedir. Buna göre, sökül/ ara depolama tesisi Ankara, Konya ve Nevşehir’de, işleme tesisi ise Kayseri ve Konya’da açılacaktır. Sonuçlara göre, Ankara, Eskişehir, Konya, Aksaray ve Kayseri’de mevcut olan geri dönüşüm merkezleri kullanılırken, elden çıkarma merkezlerinden ise Ankara’daki merkez seçilmiştir.

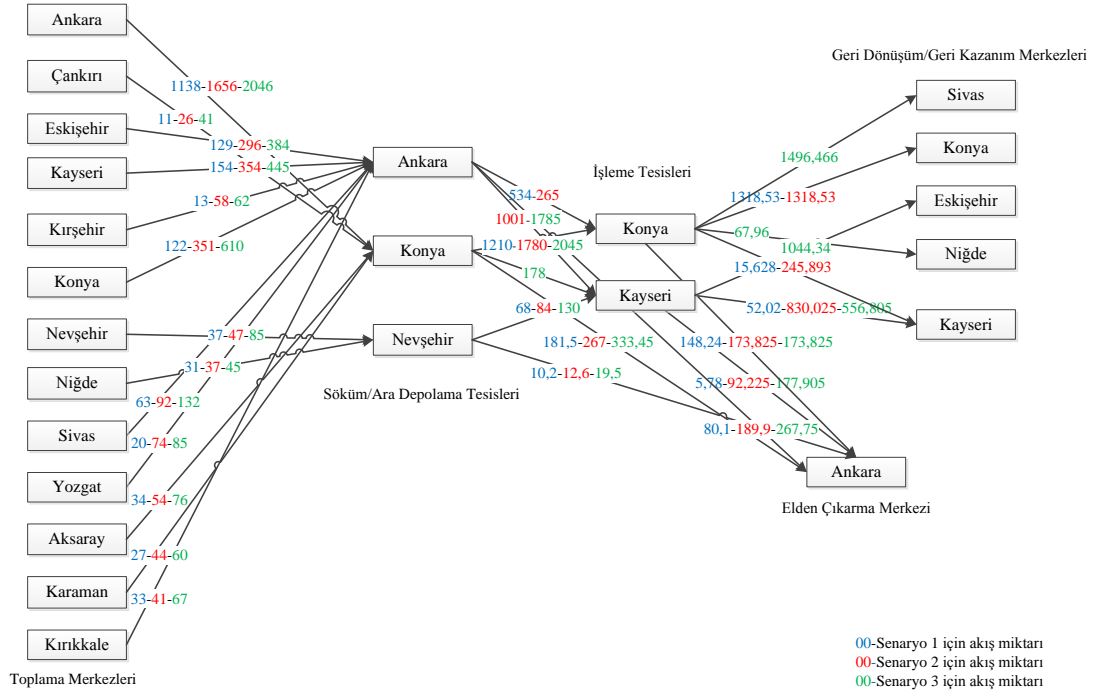
Matematiksel modelden elde edilen sonuçlara göre oluşturulan TTZ ağında gerçekleşecek ürün ve malzeme akışları, birinci, ikinci ve üçüncü dönemler için sırasıyla Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



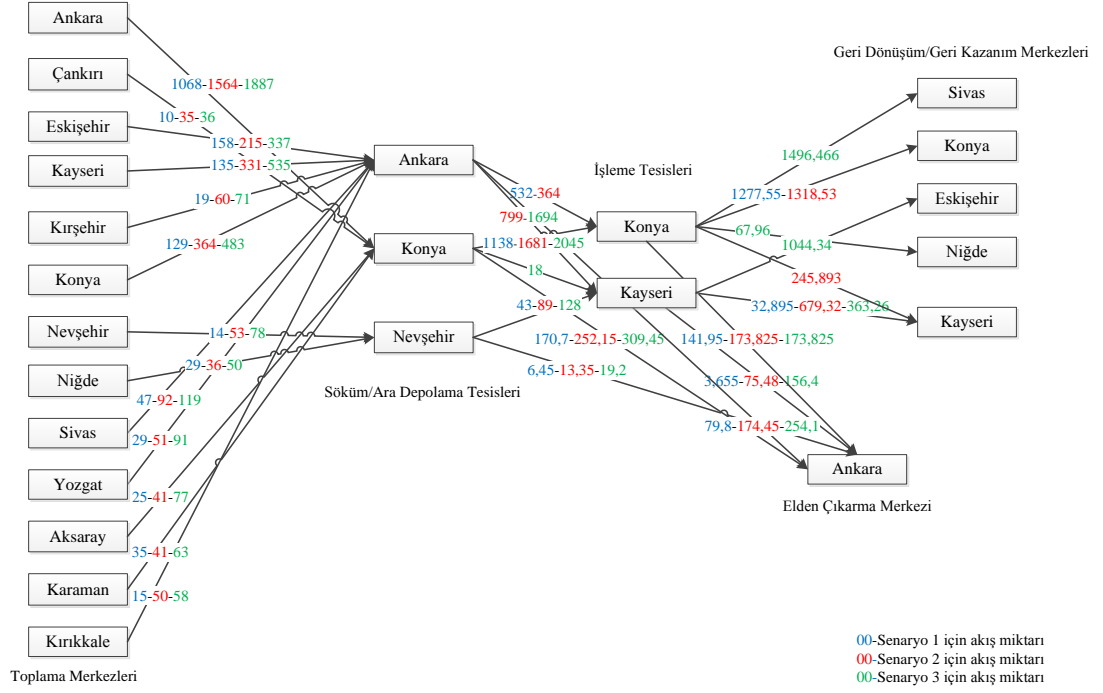
Şekil 4.7. Açılan tesis ve kullanılan merkezlerin dağılımı



Şekil 4.8. Birinci dönem için aşamalar arası akış miktarı



Şekil 4.9. İkinci dönem için aşamalar arası akış miktarı



Şekil 4.10. Üçüncü dönem için aşamalar arası akış miktarı

Çizelge 4.7’de, İç Anadolu Bölgesi örnek problemi için matematiksel modelden elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Çizelge 4.7. İç Anadolu Bölgesi örnek problemi için matematiksel model sonuçları

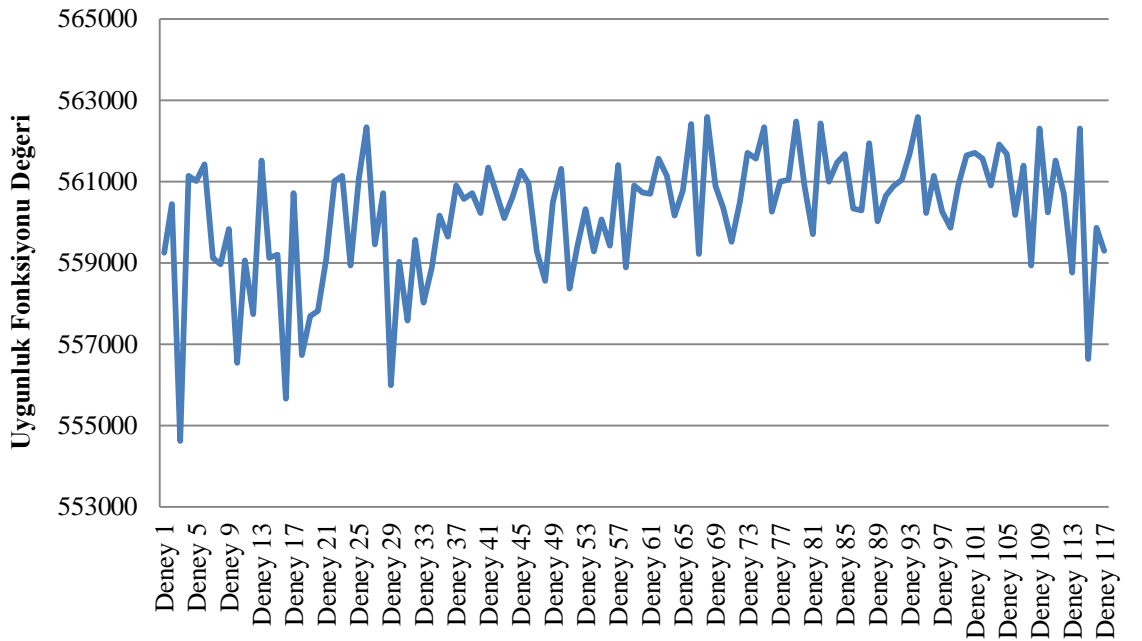
	Değişken Adedi	Kısıt Adedi	İterasyon Sayısı	İşlem Süresi	Optimum Sonuç
Model	4 621	2 048	6 831	2,71 sn	3 772 196,5913

Matematiksel modelden elde edilen sonuçlar, modelin küçük boyutlu problemlerde kabul edilebilir sürelerde çözüm ürettiğini göstermektedir. Ancak Çizelge 4.3’de de daha önce belirtildiği gibi, bulunan sonuçlar değerlendirildiğinde, tüm bölgeleri kapsayan Türkiye uygulaması için sezgisel algoritmalar ile çözüme ihtiyaç duyulmuştur.

4.2. Sezgisel Algoritmalar Deneysel Sonuçları

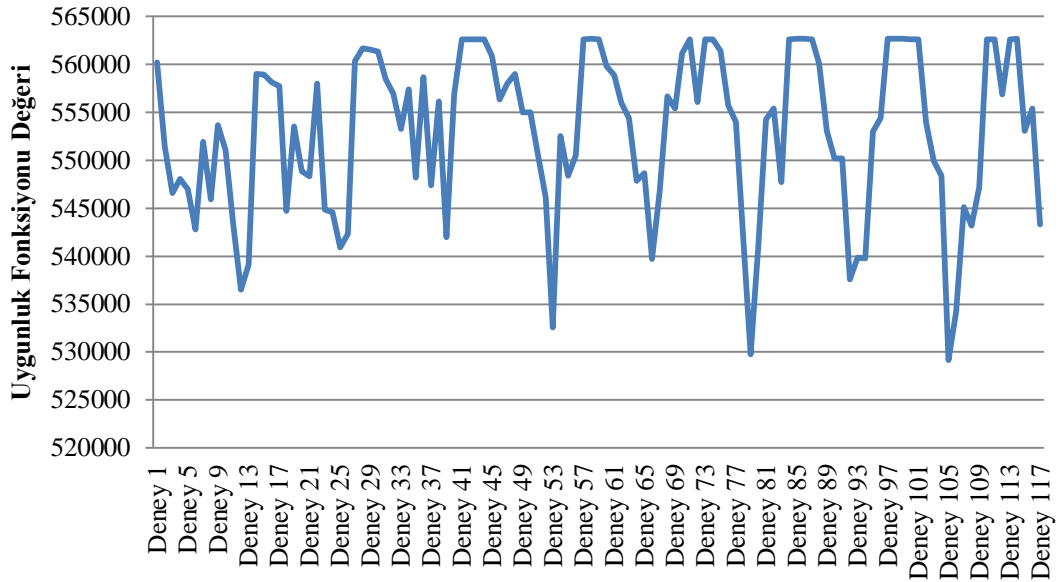
ÖTA-TTZ ağ tasarımı için Bölüm 3’de önerilen GA ve PSO, Visual Studio 2008 ortamında, C# programlama dilinde kodlanmıştır. GA ve PSO’nun en uygun parametre değerlerini belirlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda, GA ve PSO 1 000 iterasyon çalıştırılmıştır. Popülasyon büyüklüğü ve sürü büyüklüğü her iki algoritmada da 20 alınmıştır.

GA’da çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve elitizm oranının en uygun değerini belirlemek için yapılan deneylerde, çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve elitizm oranı için farklı kombinasyonlarda deneyler yapılmıştır. Şekil 4.11’de her bir deney için 5 tekrar sonucu elde edilen en iyi uygunluk değerleri grafiksel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre, GA tasarımında, en iyi uygunluk fonksiyonu değerini veren Deney 94 ile çaprazlama oranı 0,5, mutasyon oranı 0,2 ve elitizm oranı 0,05 olarak belirlenmiştir. Parametre analizi için yapılan tüm deneylerin detayları EK 3’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Genetik algoritma parametre analizi

PSOA’da ise, bilişsel faktör, sosyal faktör ve atalet ağırlığı parametrelerinin en uygun değerlerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. İlk olarak, atalet ağırlığının sabit değer aldığı durum için analizler yapılmıştır. Atalet ağırlığı 0,1-0,9 aralığında değerler alırken, bilişsel ve sosyal faktörlerin 0,1-0,9 ve 1-4 aralığında değer aldığı durumlar için farklı kombinasyonlarda deneyler yapılmıştır. Her bir deney için 5 tekrar sonucu elde edilen en iyi uygunluk değerleri grafiksel olarak Şekil 4.12’de analiz edilmiştir. Deneyler sonucunda, [0,1-4] aralığında değer alan bilişsel ve sosyal faktörlerin değeri arttığında (1’den 4’e kadar yapılan artışlar) elde edilen uygunluk fonksiyonu değerinin azaldığı görülmüştür.

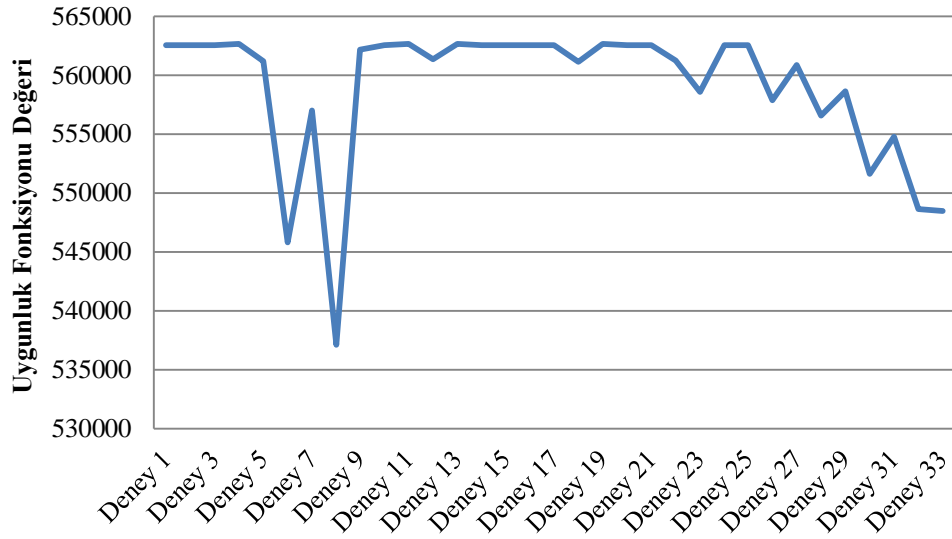


Şekil 4.12. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması parametre analizi

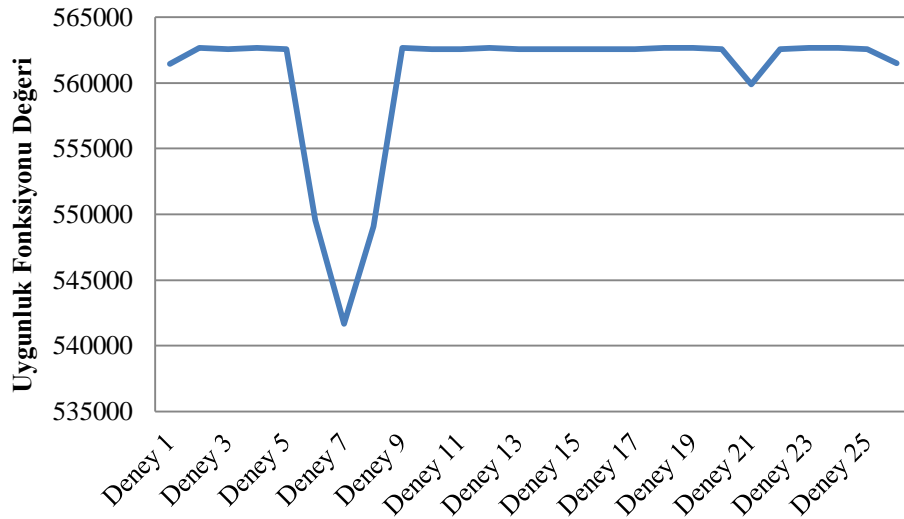
Benzer şekilde bilişsel ve sosyal faktörler 0,1-1 arasında değer alırken, atalet ağırlığının doğrusal olarak azaltıldığı durum için yapılan deney sonuçları Şekil 4.13’de gösterilmiştir.

Son olarak atalet ağırlığının doğrusal olmayan biçimde azaltıldığı durum için deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 4.14’de grafiksel olarak analiz edilmiştir.

Yapılan tüm deneylerin sonucunda, Deney 4 ile bilişsel ve sosyal faktörlerin değerleri 0,8 olarak belirlenmiştir. Atalet ağırlığı ise doğrusal olarak azalan biçimde kullanılmıştır ve ağırlık değerinin alabileceği maksimum değer 0,9, minimum değer ise 0,1 olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.13. Parçacık sürü optimizasyon algoritması parametre analizi (Doğrusal azalan atalet ağırlığı)



Şekil 4.14. Parçacık sürü optimizasyon algoritması parametre analizi (Doğrusal olmayan biçimde azalan atalet ağırlığı)

PSOA ile ilgili parametre analizi için yapılan tüm deneylerin detayları EK 4, EK 5 ve EK 6'da sırasıyla atalet ağırlığının sabit değerde alındığı, doğrusal olarak azaltıldığı ve doğrusal olmayan biçimde azaltıldığı durumlar için verilmiştir.

ÖTA-TTZ ağı tasarımı için önerilen GA ve PSOA'nın performanslarını test edebilmek ve optimum sonuçlarla karşılaştırma yapabilmek adına öncelikle küçük boyutlu problem setleri rassal olarak üretilmiştir. Örnek problem verileri ile ilgili detaylı bilgiler Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Örnek problem verileri

Parametre	Değer
Ömrünü tamamlamış araç adedi	UNIF (50,100)
Söküm/Ara depolama tesisinin kapasitesi	UNIF (250, 350)
İşleme tesisinin kapasitesi	UNIF (250, 400)
Söküm/Ara depolama tesisi açma maliyeti	UNIF (40 000, 65 000)
İşleme tesisi açma maliyeti	UNIF (85 000, 115 000)
Tekrar kullanılabilir ürünler	Dişli kutusu, motor, diferansiyel, ön ve arka kapılar
Söküm/Ara depolama tesisinden çıkan elden çıkarılacak malzeme oranı	0,15
İşleme tesisinden çıkan geri kazanılacak malzeme oranı	0,90
İşleme tesisinden çıkan elden çıkarılacak malzeme oranı	0,10
Ortalama araç ağırlığı	1 ton

Önerilen algoritmaların optimum sonuçlarla karşılaştırılması amacıyla ele alınan küçük boyutlu problemlerde, dört adet tekrar kullanılabilir araç parçası tanımlanmıştır. Geri dönüşüm/geri kazanım ve elden çıkarma merkezlerinin kapasitesi 1 000 ton olarak kabul edilmiştir. Elden çıkarma maliyetleri, geri kazanım ve geri dönüşümden elde

edilecek kazançlar pazar araştırmaları ile elde edilmiştir. Üretilen örnek problemlerin her ağ aşaması için boyutları ile ilgili bilgiler Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Örnek problem setleri

	Problem seti 1	Problem seti 2	Problem seti 3
Toplama merkezi sayısı	10	20	25
Söküm/Ara depolama tesisi sayısı	6	15	15
İşleme tesisi sayısı	4	8	10
Geri dönüşüm/Geri kazanım merkezi sayısı	6	10	15
Elden çıkarma merkezi sayısı	5	10	15
Tekrar kullanım merkezi sayısı	3	3	3

Visual Studio 2008 ortamında, C# programlama dilinde kodlanan GA ve PSO ve MPL programında kodlanarak Gurobi (5.5.0) çözücüsü ile çözülen matematiksel model ile yapılan tüm deneysel çalışmalar, Intel Core i7, 2.2 GHz işlemci, 8 GB Ram özelliklerine sahip bilgisayarda yapılmıştır. Küçük boyutlu örnek problemler için farklı çözüm yaklaşımları ile elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10’da özetlenmiştir.

Yapılan örnek uygulamalarda, durdurma kriteri olarak maksimum 1000 iterasyon veya 300 iterasyon boyunca en iyi uygunluk fonksiyonundaki değişimin 0,001’den küçük olması tanımlanmıştır. Matematiksel model ile algoritmalarından elde edilen sonuçlar arasındaki % fark denklem (4.1)’de verildiği gibi hesaplanmıştır.

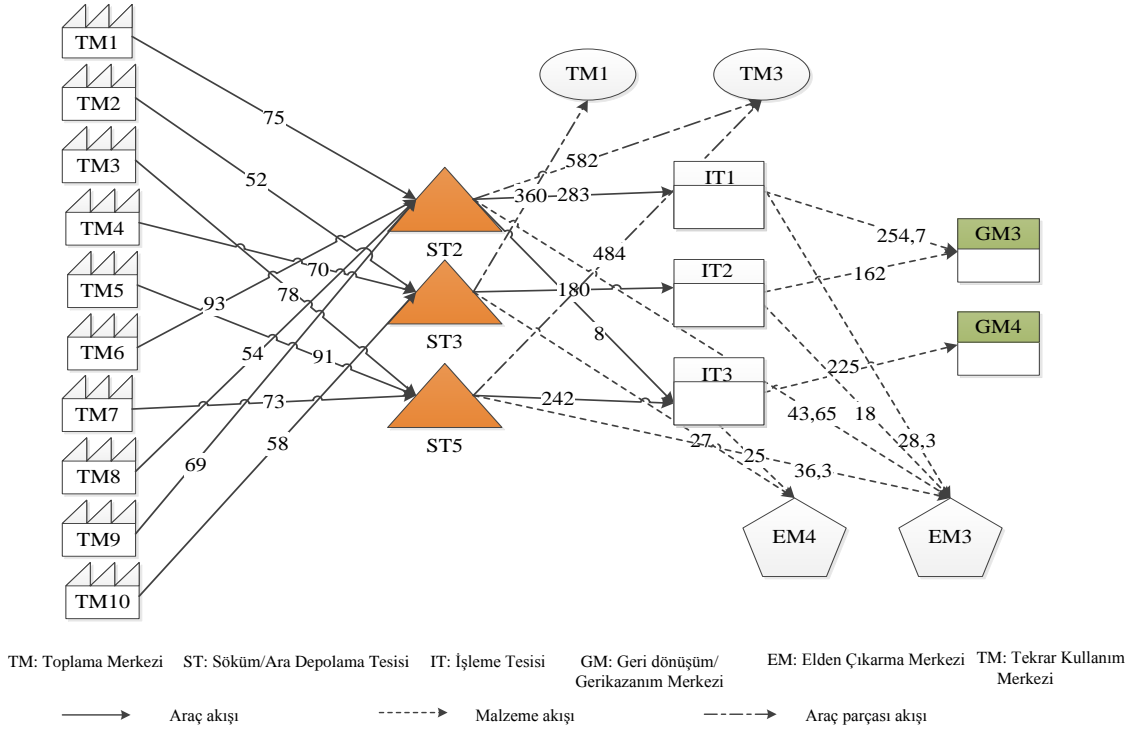
$$\% \text{ Fark} = \frac{\text{Optimum Sonuç} - \text{Algoritma Sonucu}}{\text{Optimum Sonuç}} \times 100 \% \quad (4.1)$$

Elde edilen sonuçlara göre, algoritmaların performansının, TTZ ağı tasarımı gibi karmaşık bir problem için başarılı olduğunu söylemek mümkündür. Önerilen iki algoritmadan ise PSO’nun GA’ya göre ilk iki problem setinde optimum sonuca daha yakın sonuçlar verdiği görölmektedir.

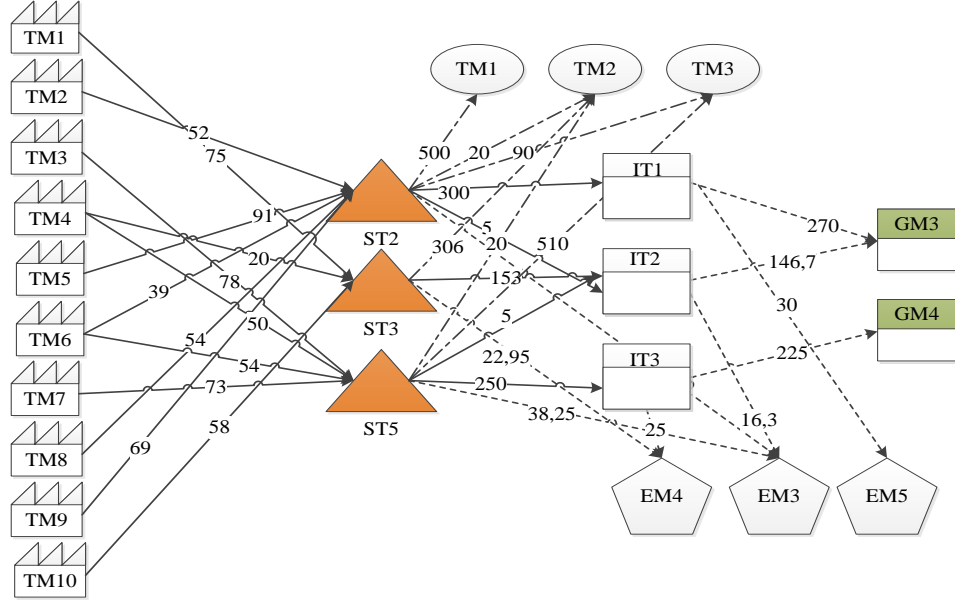
Çizelge 4.10. Örnek problemlerin sonuçları

Örnek problemler	Değişken adedi	Kısıt adedi	Matematiksel model	Genetik algoritma		Parçacık sürü algoritması	
			Sonuç (Optimum)	Sonuç	% Fark	Sonuç	% Fark
Problem seti 1	300	135	565 274,7	561 149	0,73	562 694	0,46
Problem seti 2	1 233	469	1 399 468,5	1 373 372	1,86	1 385 575	0,99
Problem seti 3	1 630	565	1 806 135,6	1 770 506	1,97	1 754 047	2,88

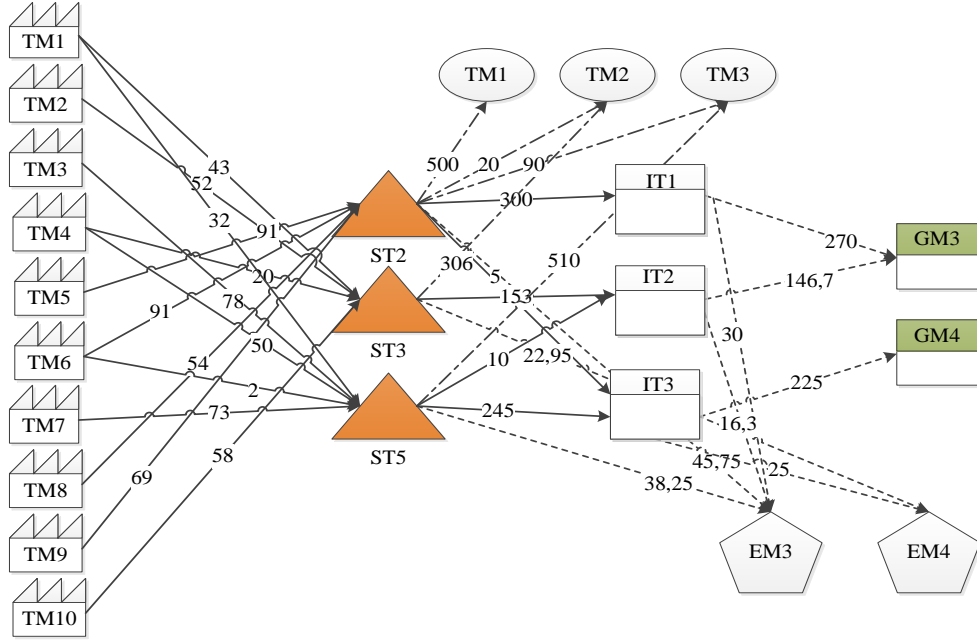
Önerilen çözüm yaklaşımları ile örnek olarak problem seti 1 için elde edilen TTZ ağ yapıları Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de sırasıyla matematiksel model, GA ve PSOA için görsel olarak da ifade edilmiştir.



Şekil 4.15. Problem seti 1 için matematiksel model ile elde edilen optimum tersine tedarik zinciri ağı



Şekil 4.16. Problem seti 1 için genetik algoritma ile oluşturulan tersine tedarik zinciri ağı



Şekil 4.17. Problem seti 1 için parçacık sürü algoritması ile oluşturulan tersine tedarik zinciri ağı

Matematiksel model ile kabul edilebilir sürelerde çözüm elde edilemeyen daha büyük boyutlu problemlerde algoritmaların performansını analiz edebilmek için, farklı boyutlarda problem setleri rassal olarak oluşturulmuş ve önerilen algoritmalara uygulanmıştır. Oluşturulan problem setleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Örnek problem seti boyutları

Problem Setleri	Toplama merkezi sayısı	Söküm/Ara depolama tesisi sayısı	İşleme tesisi sayısı	Geri dönüşüm/Geri kazanım merkezi sayısı	Elden çıkarma merkezi sayısı	Tekrar kullanım merkezi sayısı
PS 1	10	6	4	6	5	3
PS 2	20	15	8	10	10	3
PS 3	25	15	10	15	15	3
PS 4	40	20	15	15	18	5
PS 5	50	25	20	25	22	5
PS 6	70	35	22	25	25	5
PS 7	80	40	25	28	25	10
PS 8	100	50	30	35	35	10
PS 9	125	60	35	35	35	10
PS 10	150	75	40	40	35	10

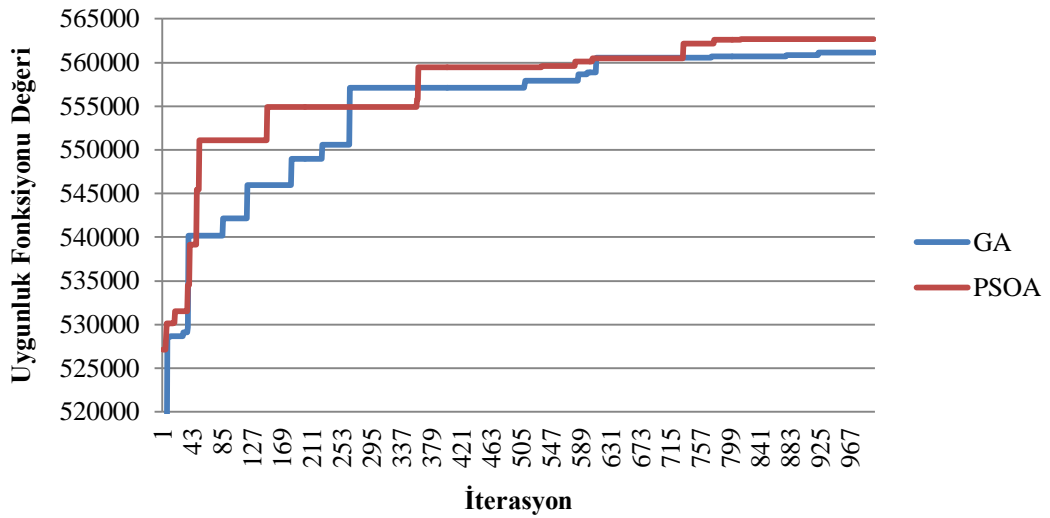
Çizelge 4.11’de verilen tüm örnek problem setleri ile önerilen GA ve PSOA’nın maksimum 1000 iterasyon veya 300 iterasyon boyunca en iyi uygunluk fonksiyonundaki değişimin 0,001’den küçük olması durdurma koşulu ile çalıştırılmasından elde edilen sonuçlar Çizelge 4.12’de sunulmuştur. Daha önce belirtilen parametre değerlerine ek olarak, yapılan deneyler sonucunda PSOA’ da, PS 6, PS 7, PS 8, PS 9 ve PS 10 için c_1 ve c_2 parametreleri 0,2 olarak belirlenmiştir.

Uygunluk fonksiyonunun iterasyonlar boyunca gelişimini görmek amacıyla problem seti 1, problem seti 5 ve problem seti 10 için oluşturulan örnek grafikler sırasıyla Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de sunulmuştur.

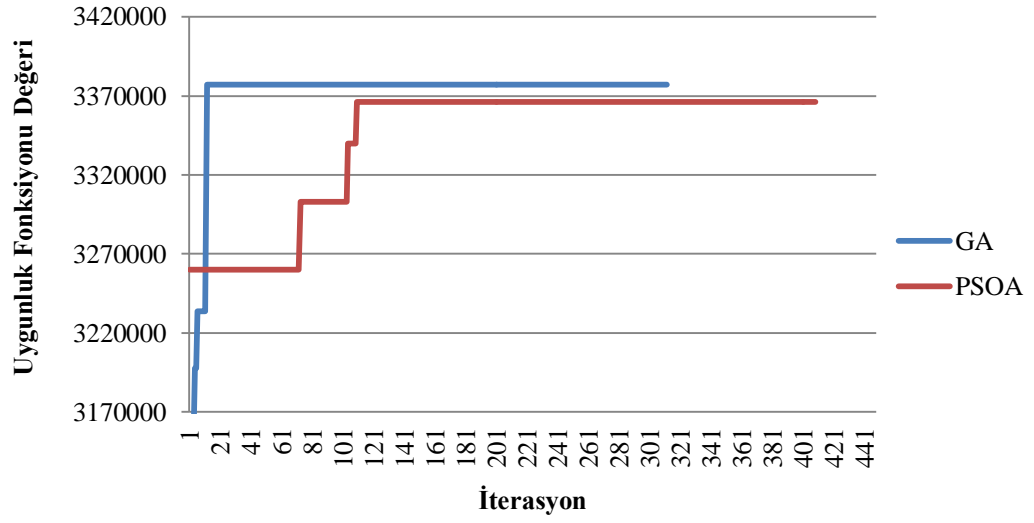
Çizelge 4.12. Örnek problem setleri sonuçları

Problem Setleri	Genetik algoritma		Parçacık sürü algoritması	
	Sonuç	İşlem süresi	Sonuç	İşlem süresi
PS 1	561 149	9 sn	562 694	5 sn
PS 2	1 373 280	33 sn	1 385 575	19 sn
PS 3	1 770 506	55 sn	1 754 047	17 sn
PS 4	2 777 083	1 dk, 38 sn	2 796 846	38 sn
PS 5	3 377 183	1 dk, 22 sn	3 366 115	44 sn
PS 6	4 780 098	9 dk, 5 sn	4 827 929	2 dk, 41 sn
PS 7	5 513 941	12 dk, 7 sn	5 514 532	3 dk, 6 sn
PS 8	6 735 712	22 dk, 54 sn	6 868 053	8 dk, 38 sn
PS 9	8 444 621	33 dk, 16 sn	8 455 059	10 dk, 54 sn
PS 10	10 052 220	34 dk 19 sn	10 009 834	19 dk, 48 sn

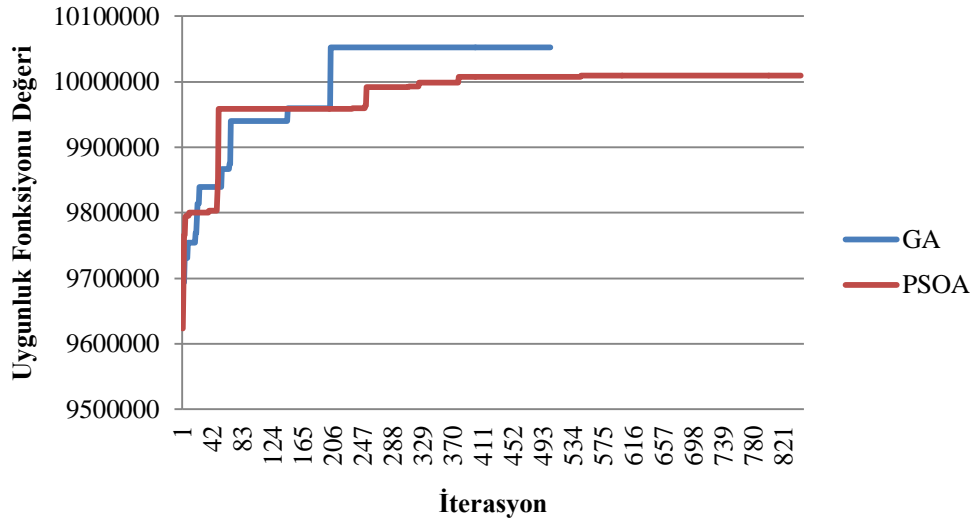
Çizelge 4.12 ve Şekil 4.18 - 4.20’de özetlenen sonuçlara göre, GA ve PSOA’nın genellikle birbirlerine yakın sonuçlar verdiği; ancak PS 3, PS 5 ve PS 10’da GA’nın, diğer tüm problem setlerinde ise PSOA’nın daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Sonuçlar işlem süresine göre irdelendiğinde ise, PSOA’nın, tüm problem setlerinde GA’dan daha hızlı sonuç verdiği görülmektedir.



Şekil 4.18. Uygunluk fonksiyonu değerinin iterasyonlar boyunca gelişimi (PS 1)



Şekil 4.19. Uygunluk fonksiyonu değerinin iterasyonlar boyunca gelişimi (PS 5)



Şekil 4.20. Uygunluk fonksiyonu değerinin iterasyonlar boyunca gelişimi (PS 10)

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, ÖTA-TTZ ağı tasarımı Türkiye uygulaması için, önerilen algoritmalarından, daha hızlı ve çoğunlukla daha başarılı sonuçlar verdiği için PSO seçilmiştir.

4.3. Ömrünü Tamamlamış Araçlar için Tersine Tedarik Zinciri Tasarımı Türkiye Uygulaması

Otomotiv endüstrisine yönelik ÖTA-TTZ ağı tasarımı Türkiye uygulamasında, öncelikle geçmiş dönemlere ait ÖTA verisi kullanılarak önerilen gri modelleme tabanlı tahmin sistemi ile gelecek yıllara ait ÖTA adedi tahmin çalışması yapılmıştır. Ardından Türkiye uygulaması için, Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK), TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan ve çeşitli ÖTA ekonomik operatörleri ile yapılan görüşmeler neticesinde gerekli veriler toplanarak ÖTA- TTZ ağı tasarımı çalışmaları yapılmıştır.

4.3.1. Ömrünü Tamamlamış Araç Tahmin Sistemi

ÖTA adedi tahmini için MS Office Excel ortamında yapılan uygulamada, TÜİK'den alınan 2008-2013 yıllarına ait her il için ömrünü tamamlamış araç verileri kullanılmıştır. Önerilen tahmin sisteminde, performans ölçütü olarak denklem (4.2)'de verilen yüzdesel hata ve denklem (4.3)'de verilen ortalama mutlak yüzdesel hata (OMYH) kullanılmıştır. Tahmin modellerinin doğruluğunun belirlenmesinde Lewis (1982) tarafından önerilen sınıflandırma Çizelge 4.13'de görülmektedir.

$$\% \text{ Hata} = \frac{|x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)|}{x^{(0)}(k)} \times \% 100 \quad (4.2)$$

$$\% \text{ OMYH} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{|x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)|}{x^{(0)}(k)} \times \% 100 \quad (4.3)$$

Çizelge 4.13. Tahmin doğruluğu için önerilen OMYH referans değerleri (Lewis 1982)

OMYH Aralığı	Tahmin modelinin doğruluğu
≤ % 10	Yüksek
% 10-20	İyi
% 20-50	Uygulanabilir
≥ 50	Düşük

Tahmin sisteminin çalışma mantığını detaylı inceleyebilmek ve tahmin alt modellerinin kullanımını görebilmek için Çizelge 4.14, 4.15 ve 4.16’da örnekler sunulmuştur.

Çizelge 4.14. Nevşehir ili için tahmin sistemi sonuçları

Yıl	Gerçek Değer (ÖTA Adedi)	GM (1,1) Sonuç	% Hata	OGM (1,1) Sonuç	% Hata	FOGM (1,1) Sonuç	% Hata
2008	44	44	0	44	0		0
2009	104	106	1,923	105	0,962	106	1,683
2010	98	94	4,082	93	5,102	96	1,786
2011	82	84	2,439	83	1,219	84	2,134
2012	74	74	0	74	0	72	2,365
2013	56	66	17,857	66	17,857	67	19,196
% OMYH			4,383		4,190		4,527

Çizelge 4.14’de verilen Nevşehir ili tahmin çalışmasında, öncelikle GM (1,1) modeli kurulmuş ve tahmin sonuçları elde edilerek OMYH değeri hesaplanmıştır. Ardından, en düşük OMYH değerini veren α parametresi belirlenerek ($\alpha=0,4$) OGM (1,1) modeli oluşturulmuştur. OGM modeline Fourier serisi ile hata düzeltmesi uygulanarak FOGM (1,1) modeli oluşturulmuştur. OGM ve FOGM modelleri için OMYH değeri hesaplandığında, en yüksek doğruluk oranına sahip OGM modelinin Nevşehir ili ile ilgili tahmin çalışmalarında kullanılmasına karar verilmiştir. OMYH değeri % 20’nin altında olduğu için MFOGM modeline gerek görülmemiştir.

Çizelge 4.15’de ise, Kocaeli iline ait tahmin çalışması örnek olarak sunulmuştur. Yine öncelikle GM (1,1) modeli kurulmuş ve tahmin sonuçları elde edilerek OMYH değeri hesaplanmıştır. Ardından en düşük OMYH değerini veren α parametresi belirlenerek ($\alpha=0,8$) OGM (1,1) modeli oluşturulmuştur. OGM modeline Fourier serisi ile hata düzeltmesi uygulanarak FOGM (1,1) modeli oluşturulmuştur. OGM ve FOGM modelleri için OMYH değeri hesaplandığında en yüksek doğruluk oranına sahip FOGM modelinin Kocaeli ili ile ilgili tahmin çalışmalarında kullanılmasına karar verilmiştir. OMYH değeri % 20’nin altında olduğu için MFOGM modeline gerek görülmemiştir.

Çizelge 4.15. Kocaeli ili için tahmin sistemi sonuçları

Yıl	Gerçek Değer (ÖTA Adedi)	GM (1,1) Sonuç	% Hata	OGM (1,1) Sonuç	% Hata	FOGM (1,1) Sonuç	% Hata
2008	223	223	0	223	0	223	0
2009	286	311	8,741	319	11,538	285	0,349
2010	310	280	9,677	287	7,419	311	0,323
2011	280	252	10	259	7,5	279	0,357
2012	194	227	17,01	233	20,103	195	0,515
2013	209	204	2,392	209	0	175	16,268
% OMYH		7,970		7,760		2,969	

Çizelge 4.16’da, Gümüşhane iline ait tahmin çalışması ile ilgili detaylara yer verilmiştir. GM (1,1) modeli kurularak tahmin sonuçları elde edilmiş ve OMYH değeri hesaplanmıştır. En düşük OMYH değerini veren α parametresi belirlenerek ($\alpha=0,4$) OGM (1,1) modeli oluşturulmuştur. OGM modeline Fourier serisi ile hata düzeltmesi uygulanarak FOGM (1,1) modeli oluşturulmuştur. OGM ve FOGM modelleri için OMYH değeri hesaplandığında en yüksek doğruluk oranının FOGM modeline ait olduğu görülmüş fakat OMYH değeri % 20’nin üzerinde hesaplanmıştır. Bu aşamada, ikinci derece hata düzeltmesi uygulanarak MFOGM modeli oluşturulmuştur ve hata oranında iyileşme sağlanarak OMYH değeri % 20’nin altına düşürülmüştür. Sonuç olarak, Gümüşhane ili ile ilgili tahmin çalışmalarında MFOGM modelinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.16. Gümüşhane ili için tahmin sistemi sonuçları

Yıl	Gerçek Değer (ÖTA Adedi)	GM (1,1) Sonuç	% Hata	OGM (1,1) Sonuç	% Hata	FOGM (1,1) Sonuç	% Hata	MFOGM (1,1) Sonuç	% Hata
2008	15	15	0	15	0	15	0	15	0
2009	21	26	23,809	26	23,809	25	19,048	18	14,286
2010	31	19	38,709	19	38,709	27	12,903	34	9,677
2011	11	15	36,364	14	27,273	15	36,364	11	0
2012	7	11	57,143	11	57,143	3	57,143	4	42,857
2013	7	8	14,286	8	14,286	7	0	5	24,127
% OMYH		28,385		26,870		20,910		15,158	

Önerilen tahmin sistemi ile 81 il için tahmin modellerinin performansları EK 7’de özetlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 81 il için yapılan ÖTA adedi tahmini çalışmasında, 42 ilde % 10’un altında, 33 ilde % 10-20 aralığında OMYH değeri elde edilmiştir. Altı ilde ise; Bingöl, Bitlis, Kars, Muş, Tunceli ve Bayburt’ta, % 20’nin üzerinde OMYH değeri elde edilmiştir. Bingöl, Bitlis, Tunceli ve Bayburt illerinde, OGM ve FOGM modellerinden elde edilen OMYH değeri % 20’nin üzerinde olmasına rağmen MFOGM modeli uygulanamamıştır. Liu ve Lin (2010)’un belirttiğine göre, GM (1,1) modelinde gelişim katsayısı $|a| < 2$ aralığında model kullanılabilir, aksi durumda kullanılmamalıdır. Hata tahmini için kullanılan GM (1,1) modelinde ise, gelişim katsayısı $a < -1$ durumunda model geçerliliğini yitirmektedir ve kullanılmamalıdır. Tasarlanan tahmin sisteminde de, Bingöl, Bitlis, Tunceli ve Bayburt illeri için ikinci derece hata tahmininde oluşturulan GM (1,1) modelinde gelişim katsayısı değeri $a < -1$ olarak elde edilmiştir. Bu nedenle, Bingöl, Bitlis, Tunceli ve Bayburt illerinde OMYH değeri % 20’nin üzerinde olmasına rağmen MFOGM modeli uygulanamamıştır. Bingöl, Bitlis, Kars, Muş, Tunceli ve Bayburt illerine ait geçmiş veriler incelendiğinde, bu illerin ortak özelliğinin ÖTA adetlerindeki düşük değerler olduğu görülmüştür. Çizelge 4.17’de bu illere ait gerçek değerler ve tahmin sistemi ile elde edilen sonuçlar detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. OMYH oranı yüksek olan illerin detaylı sonuçları

	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	Gerçek Değer	Tahmin	Gerçek Değer	Tahmin	Gerçek Değer	Tahmin	Gerçek Değer	Tahmin	Gerçek Değer	Tahmin	Gerçek Değer	Tahmin
Bingöl	3	3	17	18	22	21	16	17	11	10	5	10
Bitlis	12	12	10	15	35	30	25	30	28	23	8	26
Kars	15	15	16	11	46	29	11	12	10	15	10	9
Muş	10	10	8	10	26	28	15	12	9	9	4	1
Tunceli	5	5	4	4	3	4	5	5	4	5	2	4
Bayburt	13	13	7	9	15	14	10	12	6	5	2	5

Çizelge 4.17’de de görüldüğü gibi, OMYH oranı yüksek olan bu iller için tahmin sistemi ile elde edilen sonuçlar gerçek değerlere oldukça yakındır. Fakat ÖTA verileri düşük değerlerde olduğu için, tahmin hatası oransal olarak yüksek görünmektedir. Bu

sebeple, ilgili illerdeki hata oranlarının kabul edilebilir oranlar olduğu ve ağ tasarım probleminde tahmin sistemi sonuçlarının kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Önerilen tahmin sistemi ile her bir ile ait gelecek dönemler için yapılan tahmin sonuçları EK 8'de verilmiştir. Her bir ile ait tahmin çalışmasında, EK 7'de özetlenen sonuçlara göre doğruluğu en yüksek tahmin alt modeli kullanılmıştır.

4.3.2. Uygulama İçin Gerekli Veriler

Oluşturulan matematiksel modelde, TTZ ağının başlangıç aşaması olarak toplama merkezleri alınmıştır. Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik'e göre de her ilde en az bir toplama yeri olması gerektiği için, Türkiye'deki 81 ilin tamamı toplama merkezi olarak *I* kümesinde tanımlanmıştır. Ağ tasarım modelinde ikinci aşama sökülme/ara depolama tesisleridir. Model, sökülme/ara depolama tesislerinin, aday yerlerden hangisinde açılacağına karar verecektir. Sökülme/ara depolama tesislerinin açılacağı aday illeri belirlerken TÜİK'in 2012 Aralık ayı sonu itibariyle toplam araç sayıları verisi dikkate alınmıştır. Türkiye'deki 12 adet alt bölge dikkate alınmıştır; İstanbul, Batı Anadolu, Ege, Doğu Marmara, Akdeniz, Orta Anadolu, Batı Marmara, Doğu Karadeniz, Batı Karadeniz, Kuzeydoğu Anadolu, Ortadoğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu. Her bölgedeki toplam araç adedinin kümülatif olarak % 80 'ini oluşturan iller aday il olarak belirlenmiştir ve modelde *J* kümesinde tanımlanmıştır. Her bölgedeki aday illerin listesi ve TÜİK 2012 Aralık verilerine göre bölgedeki toplam araç sayısı Çizelge 4.18'de sunulmuştur, aday illerin belirlenmesindeki detaylı analiz ise EK 9'da sunulmuştur.

Açılacak sökülme/ara depolama tesislerinin minimum kapasiteleri dikkate alınarak, 2 800 000-3 000 000+ araç sayısına sahip bölgelerde maksimum 4 adet sökülme/ara depolama tesisi açılması; 1 500 000-2 800 000 araç sayısına sahip bölgelerde maksimum 3 adet sökülme/ara depolama tesisi açılması; 500 000-1 500 000 araç sayısına sahip bölgelerde maksimum 2 adet sökülme/ara depolama tesisi açılması; 500 000 ve daha az araç sayısına sahip bölgelerde ise 1 adet sökülme/ara depolama tesisi açılması önerilmektedir.

Çizelge 4.18. Söküm/ara depolama tesisleri için aday iller

Alt Bölge	Aday İller	Toplam Araç Adedi (2012 Aralık)
İstanbul	İstanbul	3 065 465
Batı Anadolu	Ankara, Konya	2 066 416
Ege	Manisa, Muğla, Denizli, İzmir, Aydın	2 958 365
Doğu Marmara	Bursa, Kocaeli, Eskişehir, Sakarya	1 546 238
Akdeniz	Antalya, Adana, Mersin, Hatay	2 665 452
Orta Anadolu	Kayseri, Sivas, Nevşehir, Aksaray, Yozgat, Niğde	830 824
Batı Marmara	Balıkesir, Tekirdağ, Çanakkale, Edirne	933 426
Doğu Karadeniz	Trabzon, Ordu, Giresun, Rize	385 302
Batı Karadeniz	Samsun, Zonguldak, Çorum, Tokat, Kastamonu, Amasya	1 007 346
Kuzeydoğu Anadolu	Erzurum, Erzincan, Kars, Ağrı	248 879
Ortadoğu Anadolu	Malatya, Elazığ, Van	351 152
Güneydoğu Anadolu	Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır, Adıyaman	974 548

Tasarlanan ağın üçüncü aşaması ise işleme tesisleridir. İşleme tesisleri için alternatif iller alt bölgelerdeki en yüksek araç sayısına sahip iller olarak belirlenmiştir. 12 alt bölgeden belirlenen alternatif iller modelde *K* kümesinde girdi olarak kullanılacaktır.

Ağın, üçüncü ve dördüncü aşamasını oluşturan geri dönüşüm/geri kazanım ve elden çıkarma merkezleri için aday iller, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının internet sayfasından belirlenmiş (Şubat 2015) ve modelde sırasıyla *L* ve *M* kümelerinde tanımlanmıştır. İşleme tesisi, geri dönüşüm/geri kazanım ve elden çıkarma merkezleri için belirlenen aday illerin listesi Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. İşleme tesisleri, geri dönüşüm/geri kazanım ve elden çıkarma merkezleri için aday iller

Ağ Aşaması	Aday İller
İşleme Tesisi	İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa, Antalya, Kayseri, Balıkesir, Trabzon, Samsun, Erzurum, Malatya, Gaziantep
Geri Dönüşüm/Geri Kazanım Merkezi	İzmir, Sakarya, Ankara, Uşak, Konya, Kocaeli, Adana, Bursa, İstanbul, Antalya, Gaziantep, Kütahya, Mardin, Osmaniye, Eskişehir, Aydın, Mersin, Samsun, Kırıkkale, Niğde, Tekirdağ, Kayseri, Denizli, Hatay, Bilecik, Zonguldak, Sivas, Manisa, Düzce, Karabük, Kahramanmaraş, Aksaray
Elden Çıkarma Merkezi	Kocaeli, Ankara, Balıkesir, Manisa, Gaziantep, Siirt, Bolu, Mardin, Hatay, Yozgat, Konya, Kırklareli, İzmir, Kars, Denizli, Niğde, Kayseri, Eskişehir, Mersin, Adıyaman, Elazığ, Bursa, Aydın, Samsun, Çanakkale, İstanbul, Adana, Tekirdağ, Düzce, Amasya, Kırıkkale, Malatya, Osmaniye, Tokat, Ordu

Ağın son aşaması olan tekrar kullanım noktaları ise, modelde N kümesinde, İstanbul, Ankara ve İzmir olarak belirlenmiştir. Tekrar kullanım noktaları için araç yoğunluğunun en fazla olduğu üç il seçilmiştir. İller arası mesafeler, Kara Yolları Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır, iller arası mesafe matrisi EK 2'de verilmiştir.

Tesis açma ile ilgili maliyet bilgileri, ömrünü tamamlamış araç geri kazanım faaliyetlerini yürüten ekonomik operatörler ile yapılan görüşmeler ve araştırmalar neticesinde elde edilmiştir. Yıllık 5 000 araç kapasiteli bir söküm/ara depolama tesisi açmak için gerekli sabit maliyetler kalemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Adaman ve ark. 2011):

- Sökülen parçalar için 500-2 000 m^2 kapalı depolama alanı maliyeti: 187 500-750 000 ₺
- (500-1 000 m^2) Geçirimsiz zemin maliyeti: 75 000-150 000 ₺
- Drenaj kanalları maliyeti: 45 000 ₺

- Drenaj kanallarına bağlı yağ tutucular maliyeti: 45 000 ₺
- Akü pil vs. için konteyner maliyeti: 36 000 ₺
- Lisans alma maliyetleri: 30 000-150 000 ₺
- Barkodlama cihazı maliyeti 2 000 ₺
- Ofis malzemeleri maliyeti: 3 000-22 000 ₺
- Depolama sistemleri maliyeti: 30 000 ₺
- Sökümde kullanılan teçhizatlar maliyeti: 45 000 ₺
- Depolamada kullanılan diğer teçhizat maliyetleri: 15 000 ₺

Söküm/ara depolama tesisi açma maliyetlerinden arsa maliyeti EK 10'da verildiği gibi, m^2 arsa fiyatları ile ihtiyaç duyulan 1000 m^2 'lik arsa alanı değerinin çarpılması ile elde edilmiştir.

Söküm/ara depolama tesisi açmanın toplam maliyeti denklem (4.4)'de verildiği gibi hesaplanmıştır:

$$(Unif [187,5 - 750] + Unif [75 - 150] + Unif [30 - 150] + Unif [3 - 22] + 218) \times 1 000 + Arsa Maliyeti \quad (4.4)$$

Açılacak söküm/ara depolama tesisleri için gerekli değerşken maliyetler ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Toplama merkezlerine gelen araçlara yapılan ödeme: 100 ₺/araç
- Toplama merkezi- Söküm/ara depolama tesisi arası ÖTA başına taşıma maliyeti: 0,40 ₺/km
- Elden çıkarma maliyeti: 500 ₺/ton

Yıllık 80 000 araç kapasiteli bir işleme tesisi açmak için gerekli sabit maliyetler kalemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Adaman ve ark. 2011) :

- Kırıcı-Parçalayıcı (Shredder) maliyeti: 4 000 000 ₺
- Kapalı alan maliyeti (1 900 m^2): 342 000 ₺
- Yükleme ekipmanları forklift vs. maliyeti: 300 000 ₺

- Ofis malzemeleri maliyeti: 3 000-22 000 ₺
- Diğer teçhizatlar maliyeti:100 000 ₺

İşleme tesisi açma maliyetlerinden arsa maliyeti EK 10'da verildiği gibi, m^2 arsa fiyatları ile ihtiyaç duyulan 13 000 m^2 'lık arsa alanı değerinin çarpılması ile elde edilmiştir.

İşleme tesisi açmanın toplam sabit maliyeti denklem (4.5)'de verildiği gibi hesaplanmıştır:

$$(4\ 742 + \text{Unif } [3 - 22]) \times 1\ 000 + \text{Arsa Maliyeti} \quad (4.5)$$

Açılacak işleme tesisleri için gerekli değişken maliyetler ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Söküm/Ara depolama tesisi-işleme tesisi arası ÖTA başına taşıma maliyeti: 0,23 ₺/km
- Elden çıkarma maliyeti: 500 ₺/ton

Araç başına elde edilen gelirleri ise aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Demir dışı metaller ve çelik: 750 ₺/ton

Söküm/ara depolama ve işleme tesislerinin açılacağı alternatif iller için arsa maliyetleri, Gelir İdaresi Başkanlığı'nın, "2010 Yılı Asgari Ölçüde Arsa ve Arazi Metrekare Birim Değerleri" isimli çalışması dikkate alınarak belirlenmiştir. İllere göre belirlenen metrekare birim fiyatları EK 10'da gösterilmiştir.

Söküm/ara depolama ve işleme tesislerinin kapasiteleri araç olarak sırasıyla Unif (3 000-5 000) ve Unif (4 000-8 000) aralıklarında rassal olarak belirlenmiştir. Elden çıkarma ve geri dönüşüm/geri kazanım tesislerinin kapasiteleri ise ton cinsinden Unif (1 000-3 000) aralığında rassal olarak belirlenmiştir.

Tekrar kullanılabilir parçaları çıkarılmış ortalama araç ağırlığı 1 ton olarak kabul edilmiştir. Ömrünü tamamlamış araçlarda tekrar kullanılabilir parçalar daha önce de belirtildiği gibi, yönetmelikte; ön ve arka kapılar, bagaj kapağı, motor kaputu, torpido ve iç göstergelerin bulunduğu konsül, motor bloğu, diferansiyel, tavan sacı, patlamamış hava yastıkları, vites kutusu, ön ve arka tamponlar şeklinde sıralanmaktadır. Bu parçalar, modelde *P* kümesinde tanımlanmış ve her bir parçanın getirisi, internet üzerinden yedek parça fiyatları üzerine pazar araştırması yapılarak yaklaşık olarak aşağıda belirtilen aralıklarda rassal olarak üretilmiştir:

- Ön ve arka kapılar, bagaj kapağı: Unif [200, 500] ₺
- Motor kaputu: Unif [150, 300] ₺
- Torpido ve iç göstergelerin bulunduğu konsül: Unif [200, 400] ₺
- Motor bloğu: Unif [1000, 2500] ₺
- Diferansiyel: Unif [150, 280] ₺
- Tavan sacı: Unif [100, 200] ₺
- Patlamamış hava yastıkları: Unif [150, 250] ₺
- Vites kutusu: Unif [600, 850] ₺
- Ön ve arka tamponlar: Unif [50, 250] ₺

4.3.3. Ömrünü Tamamlamış Araçlar için Tersine Tedarik Zinciri Tasarımı Türkiye Uygulaması Sonuçları

Tez kapsamında çözüm getirilmesi hedeflenen ÖTA-TTZ ağı tasarımı Türkiye uygulaması probleminde örnek problem setlerine göre daha iyi ve daha hızlı sonuçlar verdiği için, PSOA uygulanmıştır. Önceki deneysel çalışmalardan farklı olarak Türkiye uygulamasında, önerilen algoritma çok dönemli olarak genişletilmiştir. Tahmin sistemi ile önümüzdeki beş yıllık planlama dönemi için üretilen ÖTA tahmin değerleri önerilen algoritmada Türkiye uygulaması için girdi olarak kullanılmıştır. Önerilen PSOA, TTZ ağı tasarımı problemi Türkiye uygulamasına 13 dakika 49 saniyelik işlem süresinin ardından 183 744 240 ₺ kar değeri ile sonuç vermiştir.

PSOA ile oluşturulan TTZ ağ yapısı ile ilgili detaylı bilgiler, açılan sökülüm/ara depolama ve işleme tesisleri ile bu tesislere yapılan atamalar Çizelge 4.20, Çizelge 4.21, Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23’de özetlenmiştir. Ayrıca, önerilen TTZ ağ yapısını daha net yorumlayabilmek için açılan tesis yerleri ve yapılan atamalar harita üzerinde Şekil 4.21, 4.22 ve 4.23’de görsel olarak da ifade edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 50 sökülüm/ara depolama tesisi aday lokasyonu arasından 6 lokasyonun sökülüm/ara depolama tesisi açılması için seçildiği, 13 aday işleme tesisi lokasyonu arasından ise 3 lokasyonun işleme tesisi açılması için seçildiği görülmektedir. Ayrıca, zararlı atıkların bertarafı için 7, geri dönüşüm/geri kazanım işlemleri için ise 9 lokasyonun tercih edildiği görülmektedir. Tasarlanan ağın detaylı sonuçları EK 11’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Açılan sökülüm/ara depolama tesisleri ve atanan toplama merkezleri

Sökülüm/Ara depolama tesisi lokasyonları	Atanan toplama merkezi lokasyonları
İstanbul	Bilecik, Bolu, Bursa, Çanakkale, Edirne, Eskişehir, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ, Yalova, Düzce
Kocaeli	Ankara, Zonguldak, Bartın, Karabük
Manisa	Afyonkarahisar, Antalya, Aydın, Balıkesir, Burdur, Denizli, Eskişehir, Isparta, İzmir, Konya, Kütahya, Manisa, Muğla, Uşak
Malatya	Adıyaman, Ağrı, Artvin, Bingöl, Bitlis, Diyarbakır, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Gaziantep, Giresun, Gümüşhane, Hakkari, Kars, Malatya, Mardin, Muş, Ordu, Rize, Samsun, Siirt, Trabzon, Tunceli, Şanlıurfa, Van, Bayburt, Batman, Şırnak, Ardahan, Iğdır, Kilis
Niğde	Adana, Gaziantep, Hatay, Mersin, Kayseri, Konya, Kahramanmaraş, Nevşehir, Niğde, Sivas, Tokat Karaman, Osmaniye
Zonguldak	Amasya, Ankara, Çankırı, Çorum, Kastamonu, Kırşehir, Sinop, Yozgat, Aksaray, Kırıkkale

Çizelge 4.21. Açılan işleme tesisleri ve atanan sökülme ara/depolama tesisleri

İşleme tesisi lokasyonları	Atanan sökülme/ara depolama tesisi lokasyonları
İstanbul	İstanbul, Kocaeli
İzmir	Manisa, Kocaeli, Zonguldak
Gaziantep	Niğde, Malatya

Çizelge 4.22. Sökülme/ara depolama tesisleri ve atanan elden çıkarma merkezleri

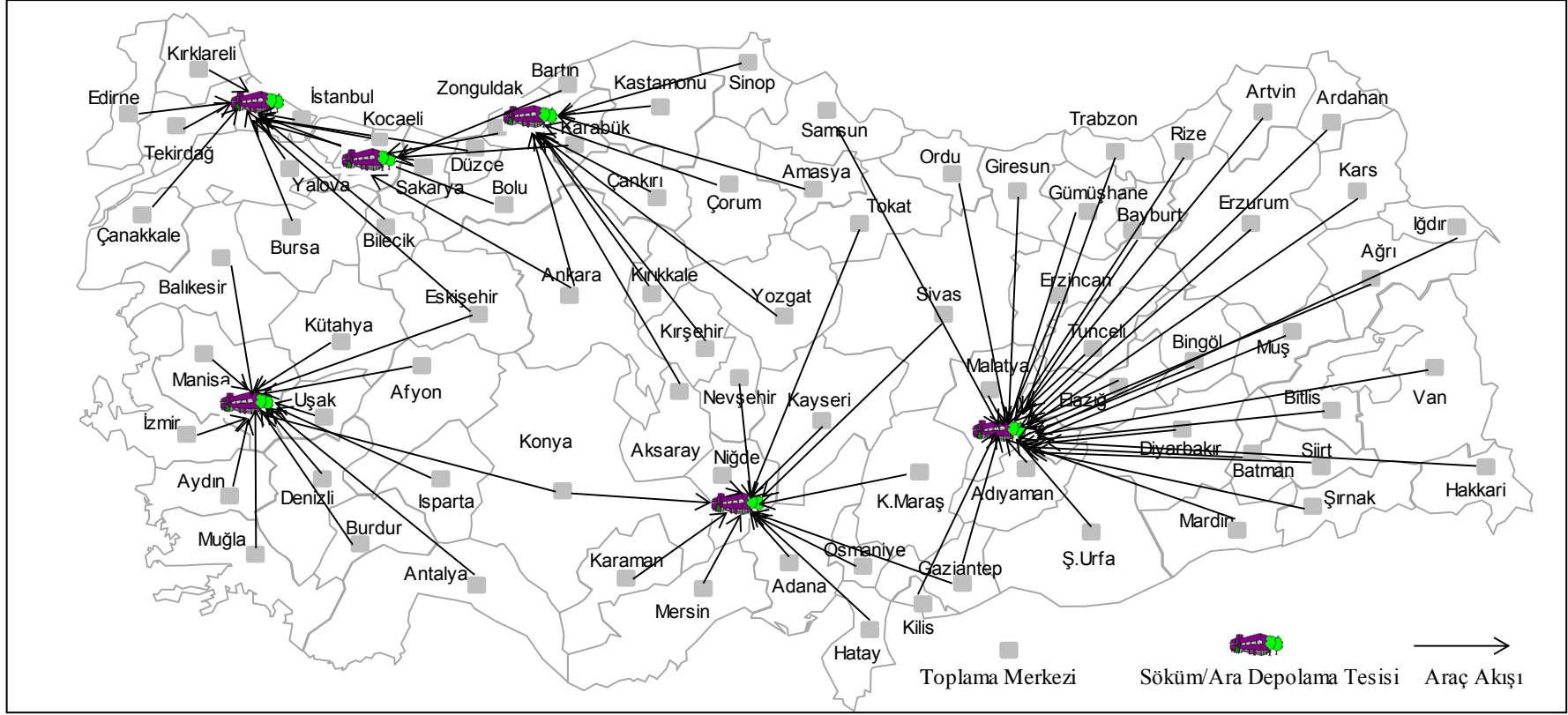
Sökülme/Ara depolama tesisi lokasyonları	Atanan elden çıkarma merkezi lokasyonları
İstanbul	İstanbul
Kocaeli	Kocaeli
Manisa	İzmir
Zonguldak	Düzce
Niğde	Niğde
Malatya	Malatya

Çizelge 4.23. İşleme tesisleri ve atanan geri dönüşüm/geri kazanım ve elden çıkarma merkezleri

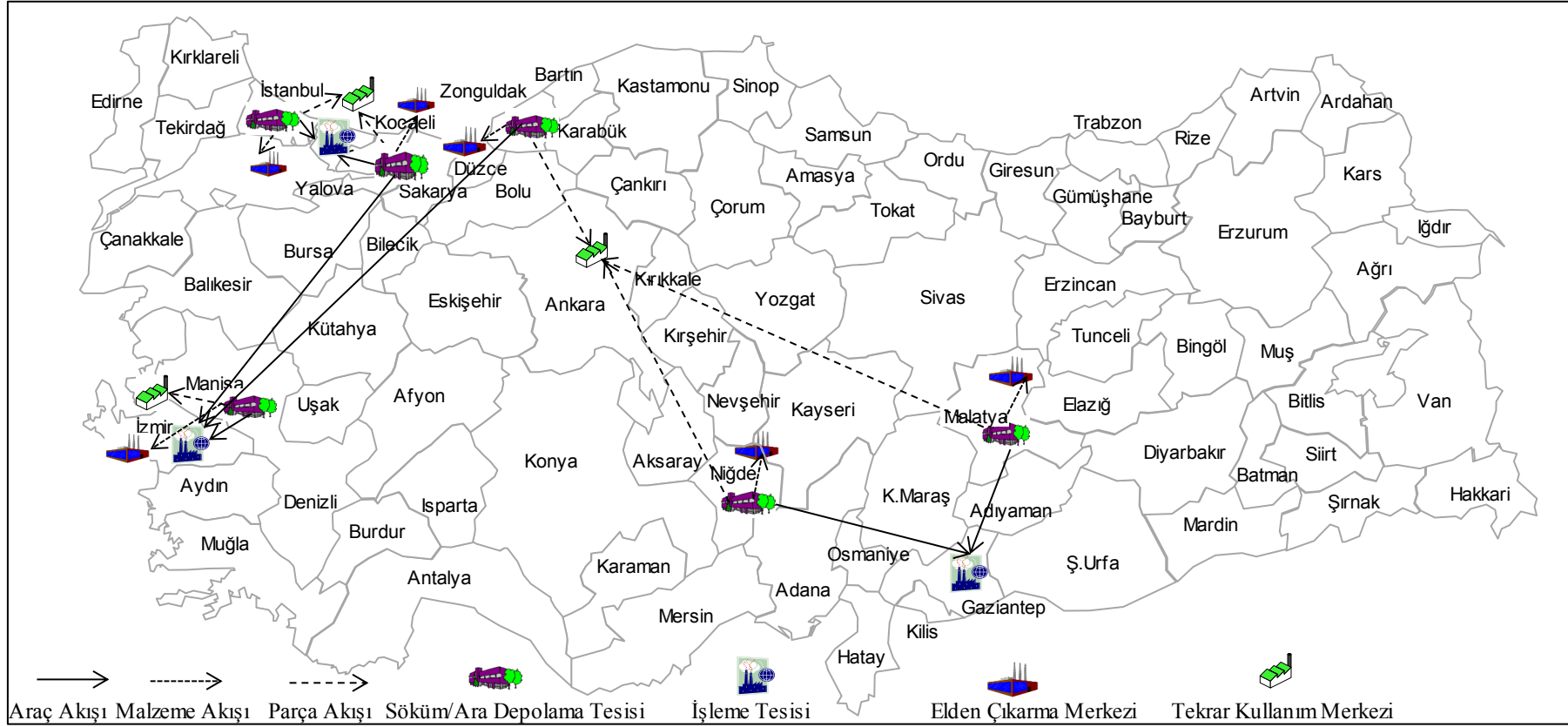
İşleme tesisi lokasyonları	Atanan geri dönüşüm/geri kazanım merkezi lokasyonları	Atanan elden çıkarma merkezi lokasyonları
İstanbul	Eskişehir, Düzce	İstanbul
İzmir	İzmir, Uşak, Kütahya, Aydın	İzmir
Gaziantep	Osmaniye, Hatay, Düzce, Kahramanmaraş	Gaziantep

Şekil 4.21’de, toplama merkezi ile sökülme/ara depolama tesisi aşamaları arası, Şekil 4.22’de, sökülme/ara depolama tesisi ile işleme tesisi, tekrar kullanım merkezi ve elden çıkarma merkezi aşamaları arası, Şekil 4.23’de ise, işleme tesisi ile geri dönüşüm/geri

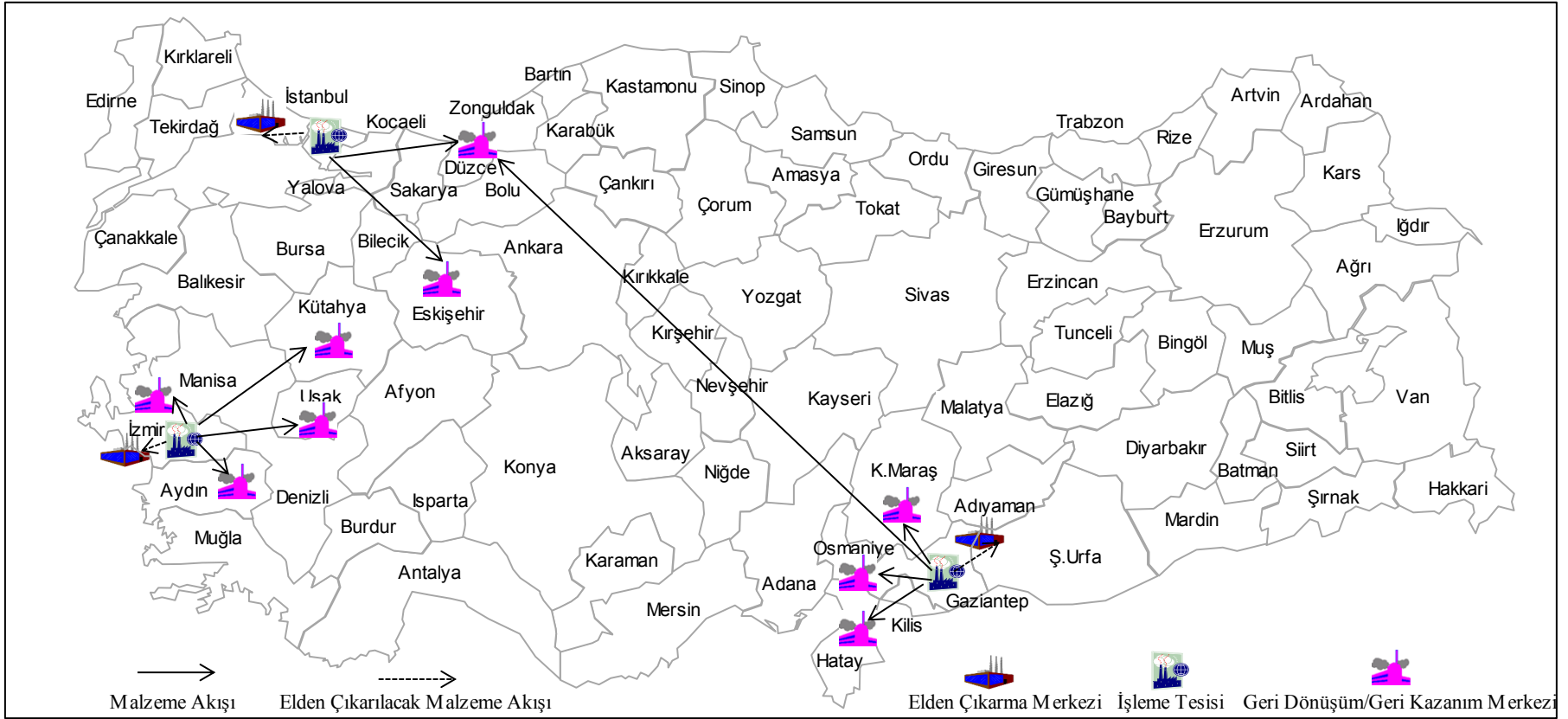
kazanım ve elden çıkarma merkezi aşamaları arası oluşturulan ağ modelleri verilmiştir. Oluşturulan ağ yapıları, tasarımda tesis açma maliyetinin ulaşım maliyetinden daha etkili olduğunu göstermektedir. Genellikle, açılan tesislere en yakın geri dönüşüm/geri kazanım merkezi ve elden çıkarma merkezleri tercih edilmiştir. İşleme tesislerinden, geri dönüşüm/geri kazanım merkezlerine olan akış daha yoğundur. Bu durum kırma/parçalama işleme sonucu beklenen bir durumdur.



Şekil 4.21. Toplama merkezleri ve söküm/ara depolama tesisleri arası araç akışı



Şekil 4.22. Söküm/ara depolama tesislerinden araç, parça ve malzeme akışı



Şekil 4.23. İşleme tesislerinden malzeme akışı

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Gelişen teknoloji ile birlikte yararlı ömrünün sonuna gelmiş, otomobil, beyaz eşya, cep telefonu gibi ürünlerde son yıllarda oluşan artış ve bu tür ürünlerle ilgili yürürlüğe giren yasal düzenlemeler, ürün geri kazanımına duyulan ilgiyi arttırmıştır. İşletmeler, müşteri farkındalığının da artması ile birlikte, ürünlerinin tüm yaşam çevrimi için çevreye duyarlı stratejiler geliştirme ve uygulama ile karşı karşıya kalmıştır. Ürün geri kazanımında amaç, kullanılmış veya yararlı ömrünün sonundaki ürünlerden mümkün olduğunca çok ekonomik ve ekolojik değer elde etmek ve böylece çevreye bırakılacak atık miktarını azaltmaktır. Ürünlerin geri kazanım sürecinde, geri dönen ürünlerin akışıyla birlikte çok kaynaklı bir yapı oluşmaktadır. Bu süreci etkin olarak uygulayabilmek için doğru bir lojistik alt yapının oluşturulması gerekmektedir.

Ürünlerin, tüketim noktasından üreticiye akışını içeren tersine tedarik zincirinde (TTZ) ağ tasarımı kritik bir konudur. Hem yer seçimi hem de atama problemi olan ağ tasarımında, açılacak tesislerin adedine, nereye açılacağına ve tesisler arası gönderilecek ürün miktarlarına karar verilmektedir.

Dünyadaki en büyük endüstrilerden biri olan otomotiv endüstrisinde de, ürün odaklı yönetmelikler geri kazanım uygulamalarına yön vermektedir. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 30 Aralık 2009 tarihinde 27448 sayılı resmi gazete ile Ömrünü Tamamlamış Araçların (ÖTA) kontrolü hakkında yönetmelik yayımlamıştır. 1 Ocak 2011 tarihinde uygulanmaya başlayan yönetmelik ile birlikte, ÖTA'ların geri kazanım ve geri dönüşüm faaliyetlerinin yapılabilmesi için gerekli olan geçici depolama alanı, işleme tesisi gibi tesislerin açılacağı yerler ve bu tesisler arasındaki taşımalar önem kazanmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı, ömrünü tamamlamış araçların geri kazanım faaliyetlerinin yönetimi için tersine tedarik zinciri ağı tasarımını yapmak, gelecek 5 yılı kapsayan tersine tedarik zinciri ağına giriş yapacak ömrünü tamamlamış araç adedini tahmin etmek ve ÖTA kontrol yönetmeliğine göre TTZ uygulamalarının yönetimine katkıda bulunmaktır. Tez çalışması kapsamında, çok aşamalı TTZ ağ tasarımında, uygun yöntemler kullanılarak ÖTA'ların geri kazanım ve geri dönüşüm işlemlerinin yapılacağı

tesislerin, hangilerinin nereye açılacağına ve bu tesisler arasında gerçekleşecek taşıma miktarlarına karar verilmektedir. Ayrıca TTZ ağının yönetiminde, önümüzdeki yıllar için ağına giriş yapacak ÖTA adedini tahmin edebilmek, tasarlanacak ağın başarısını arttırarak daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Tez çalışması kapsamında, uygun yöntemler kullanılarak gelecek 5 yıl için tüketim noktalarına teslim edilebilecek ÖTA adedi tahmin çalışması yapılarak TTZ ağı tasarımı çalışmalarına bütünleştirilmiştir.

TTZ ağı tasarımı problemi için, öncelikle, kesin çözümleri araştırmak amacıyla karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Ardından, büyük boyutlu problemlerde kabul edilebilir sürelerde çözüm elde edebilmek amacıyla sezgisel algoritmalara başvurulmuştur. Optimizasyon problemlerine başarılı sonuçlar verdiği bilinen, evrimsel algoritmalarından genetik algoritma (GA) ve parçacık sürü optimizasyon algoritması (PSOA) probleme özgü olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan algoritmalarda aday çözüm gösterimi için öncelik tabanlı kodlama yaklaşımı kullanılmıştır. Öncelikle, önerilen algoritmaların en uygun parametre değerlerini belirlemek amacıyla deneysel çalışma yapılmış, ardından, algoritmaların performanslarını karşılaştırmak için test problemleri üzerinden deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, önerilen çözüm yaklaşımları ile ağına tasarım problemi için başarılı sonuçlar elde edildiği, PSOA'nın ise, hız ve çözüm kalitesi açısından çoğunlukla GA'dan daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. ÖTA adedi tahmini için gri modelleme tabanlı bir tahmin sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen tahmin sistemi ile Türkiye için gelecek 5 yıla yönelik ÖTA adedi tahmin çalışması yürütülerek, elde edilen sonuçlar, önerilen PSOA'ya bütünleştirilmiştir ve Türkiye'de ömrünü tamamlamış araçların geri kazanım süreci için TTZ ağı tasarımı ve planlanması yapılmıştır.

Yapılan tez çalışması, Türkiye'de ÖTA'ların geri kazanım faaliyetlerinin planlanmasına ve yönetilmesine, ÖTA'lardan elde edilecek ekolojik değerlerin atılmasına ve çevreye salınacak atık miktarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra kazanılan ekonomik değerler ile Türkiye ekonomisine yapılacak katkıyı arttırmak hedeflenmektedir.

TTZ ağ tasarımı ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, otomotiv endüstrisine yönelik sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Ayrıca literatürde, otomotiv endüstrisine yönelik çalışmalarda, TTZ ağ tasarımının genellikle kavramsal olarak incelendiği görülmüştür. Tez alışması kapsamında, ÖTA'ların TTZ ağı tasarımı için geliştirilen çözüm yaklaşımlarının ve yapılan Türkiye uygulamasının literatürdeki bu eksikliği gidereceği düşünölmektedir. Tez çalışmasında önerilen PSOA'nın, öncelik tabanlı aday çözüm gösterimi ile TTZ ağ tasarımı problemine uygulandığı çalışmalara literatürde rastlanmamıştır. Probleme özgü tasarlanan PSOA'da, önerilen aday çözüm gösterimine uygun operatörler geliştirilmiştir. Ayrıca literatürde ÖTA adedi tahmini ile ilgili yapılmış çalışmalara rastlanmamıştır. Tez alışmasında ÖTA adedi tahmini için önerilen gri modelleme tabanlı tahmin sisteminin literatüre katkı sağlayacağı düşünölmektedir.

Tez çalışmasından elde edilen kazanımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- ÖTA-TTZ ağ yapısını oluşturmak
- Türkiye için gelecek 5 yılı kapsayan ÖTA tahmin çalışması yapmak
- Çevreye duyarlı bir strateji ile Türkiye'de ÖTA'ların geri kazanım faaliyetlerinin yönetilmesine katkı sağlamak
- TTZ ağının tasarımını ve planlanmasını yaparak kazanılan ekonomik değerler ile Türkiye ekonomisine yapılacak katkıyı arttırmak
- Önümüzdeki yıllar için oluşacak ÖTA adedindeki değişimler hakkında kullanıcılara yol göstermek
- ÖTA-TTZ sürecinin ÖTA kontrol yönetmeliğine uygun olarak yürütölmesini sağlamak
- Literatürdeki otomotiv endüstrisine yönelik TTZ ağı tasarımı uygulama boşluğunu doldurmak
- Probleme özgü tasarlanan öncelik tabanlı aday çözüm gösterimine sahip PSOA ile ve algoritmada önerilen aday çözüm gösterimine uygun olarak geliştirilen operatörler ile literatüre katkı sağlamak
- ÖTA adedi tahmini için önerilen gri modelleme tabanlı tahmin sistemi ile literatüre katkı sağlamak

- TTZ, ağ tasarımı, ömrünü tamamlamış ürün tahmini veya bu konuları temel alan farklı araştırmalara kaynak teşkil etmek

Sonuç olarak, yapılan tez çalışması, oluşturulan TA-TTZ ağ yapısı ile Türkiye’de TA’ların geri kazanım faaliyetlerinin planlanması, TA’lardan elde edilecek ekolojik değerin atırılması, TA’lardan çevreye salınacak atık miktarının azaltılması ve kazanılan ekonomik değerlerin arttırılması konularında kazanım sağlamanın yanı sıra önerilen çözüm yaklaşımları ve yapılan uygulama ile literatüre de katkı sağlamaktadır.

İleriye yönelik yapılacak çalışmalarda, TA-TTZ ağı tasarımı için nerilen PSOA algoritmasının performansını test etmek amacıyla kullanılan algoritmalar arttırılarak, yapılan karşılaştırmalar genişletilebilir. Önerilen matematiksel modelde, parametrelerde zamana göre değişme durumu dikkate alınarak dinamik bir yapı oluşturulabilir. TA-TTZ ağı için önerilen çözüm yaklaşımları ve TA adedi tahmini için önerilen sistem, farklı ömrünü tamamlamış ürün tiplerine uyarlanarak uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- Achillas, C., Vlachokostas, C., Aidonis, D., Moussiopoulos, N., Iakovou, E., Banias, G. 2010.** Optimising reverse logistics network to support policy-making in the case of electrical and electronic equipment. *Waste Management*, 30: 2592-2600.
- Adaman, F., Erus, B., Mumcu, A. 2011.** Sektörel Etki Analizi: Otomotiv, Boya ve Pil-Akü Sektörleri, Bölgesel Çevre Merkezi, REC Türkiye.
- Alumur, S.A., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., Verter, V. 2012.** Multi-period reverse logistics network design. *European Journal of Operational Research*, 220: 67-78.
- Anonim, 2008.** Atık yönetimi genel esaslarına ilişkin yönetmelik. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Sayı: 26927, Ankara.
- Anonim, 2009.** Ömrünü tamamlamış araçların kontrolü hakkında yönetmelik. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Sayı: 27448, Ankara.
- Anonim, 2014.** Otomotiv sanayii 2013 yılı değerlendirme raporu, Otomotiv Sanayicileri Derneği, Rapor No: 2014/03.
- Arora, J.S. 2004.** Introduction to optimum design. Elsevier Academic Press, California, USA, 728 pp.
- Assavapokee, T., Wongthatsanekorn, W. 2012.** Reverse production system infrastructure design for electronic products in the state of Texas, *Computers & Industrial Engineering*, 62: 129-140.
- Babazadeh, A., Poorzahedy, H., Nikoosokhan, S. 2011.** Application of particle swarm optimization to transportation network design problem. *Journal of King Saud University - Science*, 23: 293-300.
- Barker, T.J., Zabinsky, Z.B. 2008.** Reverse logistics network design: a conceptual framework for decision making. *International Journal of Sustainable Engineering*, 1(4): 250-260.

- Bentley, P. 1999.** Evolutionary design by computers. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Francisco, USA, 451 pp.
- Bolat, B., Erol, K.O., Irmak, C.E. 2004.** Genetic Algorithms in Engineering Applications and the Function of Operators. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 4: 264-271.
- Chan, F.T.S., Chan, H.K., Jain, V. 2012.** A framework of reverse logistics for the automobile industry. *International Journal of Production Research*, 50(5): 1318-1331.
- Che, Z.H. 2012.** A particle swarm optimization algorithm for solving unbalanced supply chain planning problems. *Applied Soft Computing*. 12: 1279-1287.
- Chen, K.C., Huang, S.H., Lian, I.W. 2010.** The development and prospects of the end-of-life vehicle recycling system in Taiwan. *Waste Management*, 30: 1661-1669.
- Coley, D. A. 1999.** An introduction to genetic algorithms for scientists and engineers. World Scientific, Singapore, 227 pp.
- Cruz-Rivera, R., Ertel, J. 2009.** Reverse logistics network design for the collection of end-of-life vehicles in Mexico. *European Journal of Operational Research*, 196: 930-939.
- Das, K., Chowdhury, A. 2012.** Designing a reverse logistics network for optimal collection, recovery and quality-based product-mix planning, *International Journal of Production Economics*, 135: 209-221.
- Dat, L.Q., Linh, D.T.T., Chou, S.Y., Yu, V.F. 2012.** Optimizing reverse logistics costs for recycling end-of-life electrical and electronic products. *Expert Systems with Applications*, 39: 6380-6387.
- De Brito, M.P., Dekker, R. 2002.** Reverse logistics: A framework. Econometric Institute Report EI 2002-38.
- Dehghanian, F., Mansour, S. 2009.** Designing sustainable recovery network of end-of-life products using genetic algorithm. *Resources, Conservation and Recycling*, 53: 559-570.

- Demirel, N.Ö., Gökçen, H. 2008.** A mixed integer programming model for remanufacturing in reverse logistics environment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39: 1197-1206.
- Deng, J. 1989.** Introduction to grey system theory. *The Journal of Grey System*, 1: 1-24.
- Dowlatshahi, S. 2000.** Developing a theory of reverse logistics. *Interfaces*, 30(3): 143-155.
- Dowlatshahi, S. 2005.** A strategic framework for the design and implementation of remanufacturing operations in reverse logistics. *International Journal of Production Research*, 43(16): 3455-3480.
- Eberhart, R. C., Kennedy, J. 1995.** A new optimizer using particle swarm theory. Sixth symposium on micro machine and human science. Nagoya Municipal Industrial Research Institute, October 4-6, 1995, Nagoya, Japan.
- Eskandarpour, M., Masehian, E., Soltani, R., Khosrojerdi, A. 2014.** A reverse logistics network for recovery systems and a robust metaheuristic solution approach *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 74: 1393-1406.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruward, M., Dekker, R., Laan, E., Nunen, A.E.E., 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., Flapper, S.D.P. 2000.** A characterization of logistics networks for product recovery. *Omega*, 28: 653-666.
- Gen, M., Cheng, R.W. 1997.** Genetic algorithms and engineering design. Wiley, New York, 432 pp.
- Gen, M., Cheng, R. 2000.** Genetic algorithms and engineering optimization. John Wiley & Sons Inc., New York, USA, 495 pp.
- Gen, M., Altiparmak, F., Lin, L. 2006.** A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding. *OR Spectrum*, 28: 337–354.

- Goldberg, D. E. 1989.** Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Addison Wesley Longman Inc., Boston, USA, 412 pp.
- Gomes, M.I., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q. 2011.** Modelling a recovery network for WEEE: A case study in Portugal. *Waste Management*, 31: 1645-1660.
- Guide, V. D. R. Jr., Van Wassenhove, L. N. 2002.** The reverse supply chain. *Harvard Business Review*, 80(2): 25-26.
- Guide, V. D. R. Jr., Van Wassenhove, L. N. 2009.** The evolution of closed-loop supply chain research. *Operations Research*, 57(1): 10-18.
- Gupta, S.M. 2013.** Reverse supply chains: issues and analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, 422 pp.
- Hamzacebi, C., Es, H.A. 2014.** Forecasting the annual electricity consumption of Turkey using an optimized grey model. *Energy*, 70: 165-171.
- Hsu, L.C. 2003.** Applying the Grey prediction model to the global integrated circuit industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 70: 563-574.
- Hsu, Y.T., Liu, M.C., Yeh, J., Hung, H.F. 2009.** Forecasting the turning time of stock market based on Markov–Fourier grey model. *Expert Systems with Applications*, 36: 8597-8603.
- Huang, Y.L., Lee, Y.H. 2011.** Accurately forecasting model for the stochastic volatility data in tourism demand. *Modern Economy*, 2: 823-829.
- Hui, S., Yang, F., Li, Z., Liu, Q., Dong, J. 2009.** Application of grey system theory to forecast the growth of larch. *International Journal of Information and Systems Sciences*, 5(3-4): 522-527.
- Ilgın, M.A., Gupta, S.M. 2013.** Reverse logistics: Reverse supply chains: issues and analysis, Ed.: Gupta, S.M., CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, pp: 1-60.

- Jayaraman, V., Patterson, R.A., Rolland, E. 2003.** The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures. *European Journal of Operational Research*, 150: 128-149.
- Jebari, K., Madiafi, M. 2013.** Selection methods for genetic algorithms. *International Journal of Emerging Sciences*, 3(4):333-344.
- Kadadevaramath, R.S., Chen, J.C.H., Latha Shankar, B., Rameshkumar, K. 2012.** Application of particle swarm intelligence algorithms in supply chain network architecture optimization. *Expert Systems with Applications*, 39: 10160-10176.
- Kannan, G., Sasikumar, P., Devika, K. 2010.** A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling. *Applied Mathematical Modelling*, 34: 655-670.
- Kannan, D., Diabat, A., Alrefaei, M., Govindan, K., Yong, G. 2012.** A carbon footprint based reverse logistics network design model. *Resources, Conservation and Recycling*, 67: 75-79.
- Kara, S., Rugrungruang, F., Kaebernick, H. 2007.** Simulation modelling of reverse logistics networks. *International Journal of Production Economics*, 106: 61-69.
- Kayacan, E., Ulutaş, B., Kaynak, O. 2010.** Grey system theory-based models in time series prediction. *Expert Systems with Applications*, 37: 1784-1789.
- Kiranyaz, S., Ince, T., Gabbouj, M. 2014.** Multidimensional particle swarm optimization for machine learning and pattern recognition. Springer-Verlag, New York, USA, 321 pp.
- Ko, H.J., Evans, G.W. 2007.** A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs. *Computers and Operations Research*, 34: 346-366.
- Köse, E., Erol, S., Temiz, İ. 2010.** Grey system approach for EOQ models. *Sigma*, 28: 298-309.

- Kumar, U., Jain, V.K. 2010.** Time series models (Grey-Markov, Grey Model with rolling mechanism and singular spectrum analysis) to forecast energy consumption in India. *Energy*, 35: 1709–1716.
- Lambert, D.M., Cooper, M.C. 2000.** Issues in supply chain management. *Industrial Marketing Management*, 29: 65-83.
- Lambert, S., Riopel, D., Abdul-Kader, W. 2011.** A reverse logistics decisions conceptual framework. *Computers & Industrial Engineering*, 61: 561-581.
- Latha Shankar, B., Basavarajappa, S., Chen, J.C. H., Kadadevaramath, R.S. 2013.** Location and allocation decisions for multi-echelon supply chain network - A multi-objective evolutionary approach. *Expert Systems with Applications*, 40: 551-562.
- Lee, C., Lin, C.T., Chent, L.H. 2004.** Accuracy analysis of the Grey Markov forecasting model. *Journal of Statistics and Management Systems*, 7(3): 567-580.
- Lee, D.H., 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., Dong, M. 2009.** Dynamic network design for reverse logistics operations under uncertainty. *Transportation Research Part E*, 45: 61-71.
- Lee, J.E., Gen, M., Rhee, K.G. 2009.** Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 56: 951-964.
- Lee, Y.C., Wu, C.H., Tsai, S.B. 2014.** Grey system theory and fuzzy time series forecasting for the growth of green electronic materials. *International Journal of Production Research*, 52(10): 2931-2945.
- Lewis, C.D. 1982.** Industrial and business forecasting methods. Butterworths-Heinemann, London, 158 pp.

- Li, J., Wang, J., Hu, Z. 2006.** A Reverse logistics network design method using genetic algorithm. 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, 21 - 23 June, 2006, Dalian, China.
- Li, G.D., Yamaguchi, D., Nagai, M. 2007.** A GM(1,1)–Markov chain combined model with an application to predict the number of Chinese international airlines. *Technological Forecasting and Social Change*, 74: 1465–1481.
- Lin, C.B., Su, S.F., Hsu, Y.T. 2001.** High-precision forecast using grey models, *International Journal of Systems Science*, 32(5): 609-619.
- Lin, Y.H., Lee, P.C. 2007.** Novel high-precision grey forecasting model. *Automation in Construction*, 16: 771–777.
- Lin, Y.H., Lee, P.C., Chang, T.P. 2009.** Adaptive and high-precision grey forecasting model. *Expert Systems with Applications*, 36: 9658–9662.
- Listeş, O., Dekker, R. 2005.** A stochastic approach to a case study for product recovery network design. *European Journal of Operational Research*, 160: 268-287.
- Lotfi, M.M., Tavakkoli-Moghaddam, R. 2013.** A genetic algorithm using priority-based encoding with new operators for fixed charge transportation problems. *Applied Soft Computing*, 13: 2711-2726.
- Michalewicz, Z., Vignaux, G. A., Hobbs, M. 1991.** A non-standard genetic algorithm for the nonlinear transportation problem. *ORSA Journal on Computing*, 3(4): 307–316.
- Michalewicz, Z. 1996.** Genetic algorithm + data structure = evolution programs. Springer-Verlag, New York, USA, 387 pp.
- Mikki, S., Kishk, A. 2008.** Particle swarm optimization: A physics - based approach. Morgan & Claypool Publishers, San Rafael, USA, 104 pp.
- Min, H., Ko, H.J., Ko, C.S. 2006.** A genetic algorithm approach developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns. *Omega*, 34(1): 56–69.

- Mitchell, M. 1996.** An introduction to genetic algorithms. MIT Press, Massachusetts, 158 pp.
- Mutha, A., Pokharel, S. 2009.** Strategic network design for reverse logistics and remanufacturing using new and old product modules. *Computers & Industrial Engineering*, 56: 334-346.
- Nguyen, T.L., Shu, M.H., Huang, Y.F., Hsu, B.M. 2013.** Accurate forecasting models in predicting the inbound tourism demand in Vietnam. *Journal of Statistics and Management Systems*, 16(1): 25-43.
- Olugu, E.U., Wong, K.Y., Shaharoun, A.M. 2011.** Development of key performance measures for the automobile green supply chain. *Resources, Conservation and Recycling*, 55: 567-579.
- Pishvaei, M.S., Kianfar, K., Karimi, B. 2010.** Reverse logistics network design using simulated annealing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47: 269-281.
- Pochampally, K.K., Gupta, S. M. 2008.** Multiphase fuzzy logic approach to strategic planning of a reverse supply chain network. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, 31(1): 72-82.
- Prahinski, C., Kocabasoglu, C. 2006.** Empirical research opportunities in reverse supply chains. *Omega*, 34: 519-532.
- Ramezani, M., Bashiri, M., Tavakkoli-Moghaddam, R. 2013.** A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. *Applied Mathematical Modelling*, 37: 328-344.
- Reeves, C.R., Rowe, C.E. 2003.** Genetic algorithms-principles and perspectives, A guide to GA theory. Kluwer Academic Publishers, Norwell, USA, 332 pp.
- Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., 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., Novais, A.Q. 2009.** A strategic and tactical model for closed-loop supply chains. *OR Spectrum*, 31: 573-599.
- Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., 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.
- Sasikumar, P., Kannan, G., Haq, 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: 1223-1234.
- Sastry, K., Goldberg, D.E., Kendall, G. 2014.** Genetic algorithms: Search methodologies- Introductory tutorials in optimization and decision support techniques, Ed.:Burke, E.K., Kendall, G., Springer Science+Business Media, New York, USA, pp: 93-117.
- Schweiger, K., Sahamie, R. 2013.** A hybrid tabu search approach for the design of a paper recycling network, *Transportation Research Part E*, 50: 98-119.
- Shopova, E.G., Vaklieva-Bancheva, N.G. 2006.** BASIC- A genetic algorithm for engineering problems solution. *Computers & Chemical Engineering*, 30: 1293-1309.
- Srivastava, S.K. 2008.** Network design for reverse logistics. *Omega*, 36: 535-548.
- Srivastava, S.K. 2013.** Issues and challenges in reverse logistics: Reverse supply chains: issues and analysis, Ed.: Gupta, S.M., CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, pp: 61-82.
- Stock, J.R. 1992.** Reverse logistics. Council of Logistics Management, Oak Brook, IL.
- Thierry, M., Salomon, M., Nunen, J., Wassenhove, L.V. 1995.** Strategic issues in product recovery management. *California Management Review*, 37(2): 114-135.
- Tibben-Lembke, R., Rogers, D.S. 2002.** Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. *Supply Chain Management: An International Journal*, 7(5): 271-282.

Tuzkaya, G., Gülsün, B., 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.

Wang, X.P., Meng, M. 2008. Forecasting electricity demand using grey-markov model. Proceedings of The Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 12-15 July, 2008, Kunming.

Wang, X., Qi, L., Chen, C., Jingfan, T., Ming, J. 2013. Grey system theory based prediction for topic trend on Internet. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 29: 191-200.


Yang, X.S. 2014. Nature-inspired optimization algorithms. Elsevier Inc., Waltham, USA, 300 pp.

Yasuda, K., Iwasaki, N., Ueno, G., Aiyoshi, E. 2008. Particle swarm optimization: A numerical stability analysis and parameter adjustment based on swarm activity. *Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 3: 642-659.

EKLER

- EK 1** Araç Kayıttan Düşme ve Bertaraf Formu (Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Yönetmeliği)
- EK 2** İller Arası Mesafe Matrisi (km)
- EK 3** Genetik Algoritma Parametre Analizi Deneyleri
- EK 4** Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Parametre Analizi Deneyleri
- EK 5** Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Parametre Analizi Deneyleri (Atalet Ağırlığı Doğrusal Azalan)
- EK 6** Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Parametre Analizi Deneyleri (Atalet Ağırlığı Doğrusal Olmayan Biçimde Azalan)
- EK 7** Tüm İller İçin Tahmin Sistemi Sonuçları
- EK 8** Tüm İller İçin Gelecek Dönem Tahmin Sonuçları (Adet Araç)
- EK 9** Bölgelerdeki Toplam Araç Sayısına Göre Alternatif İllerin Belirlenmesi (2012 Aralık)
- EK 10** Arsa m² Fiyatları (2010 Yılı Asgari Ölçüde Arsa ve Arazi Metrekare Birim Değerleri) ve Tesis Açma Arsa Maliyetleri
- EK 11** ÖTA-TTZ Ağ Tasarım Sonuçları (2015, 2016, 2017, 2018, 2019)

EK 1 Araç Kayıttan Düşme ve Bertaraf Formu (Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik) (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2009)

A	Araç Teslim Alanın Beyanı		
	Araç Hakkında Bilgiler		
Araç kategorisi:	<input type="checkbox"/> M1	<input type="checkbox"/> N1	<input type="checkbox"/> Üç tekerlekli araç (Üç tekerlekli motosiklet ve motorlu bisikletler hariç)
Plaka No :	Marka :	Model :	
Şasi No	Renk :	
Motor No:	Net Ağırlık (kg):.....	
	Araç Sahibi Hakkında Bilgiler		
Ad(ları)/Unvanı :			
Soyadı:	T.C.Kimlik No/Vergi No:		
Adresi:			
Posta kodu:	İlçe:	Şehir:	
	Araç Teslim Alan Hakkında Bilgiler		
	<input type="checkbox"/> ÖTA Teslim Yeri	<input type="checkbox"/> Geçici Depolama Alanı	<input type="checkbox"/> İşleme Tesisi
Unvanı :	Vergi No:	Lisans / İzin No:	
Adresi:			
Posta kodu:	İlçe :	Şehir :	
Telefon:	Faks:	E-Posta:.....	
	Aracın Gönderileceği Yer Bilgileri		
ÖTA Teslim Yeri	Aracın Gönderileceği		
	Geçici Depolama Alanı		İşleme Tesisi
Unvanı :	Lisans No:	Lisans No:	
Adresi :	Unvanı :	Unvanı :	
Yukarıda bilgileri verilen aracı “Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik” hükümlerine göre yukarıda belirtilen tesis(ler)e teslim etmek üzere kabul ettim. Tarih: İmza: Kaşe:.....			
B	Araç Sahibinin Beyanı		
Yukarıda motor ve şasi numarası belirtilmiş aracımı, “Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik” hükümlerine uygun olarak teslim etmiş bulunmaktayım. Tarih: İmza:			
C	Trafik Kaydından Düşme Onayı		
Formun A kısmında plakası, teknik özellikleri ve araç sahibi bilgileri ile teslim bilgileri bulunan araç hurdaya ayrılmıştır.		Yetkili Kişi: Tarih: İmza:	

EK 2 İller Arası Mesafe Matrisi (km)

İl No	İl Adı\İl No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	ADANA		333	573	965	611	490	558	1034	883	897	768	632	731	677
2	ADIYAMAN	333		906	648	634	755	891	755	1216	1230	1059	349	414	946
3	AFYON	573	906		1311	590	256	292	1237	346	324	212	1102	1295	420
4	AĞRI	965	648	1311		738	1055	1432	397	1645	1571	1360	359	234	1147
5	AMASYA	611	634	590	738		334	826	695	932	833	622	640	833	409
6	ANKARA	490	755	256	1055	334		544	981	598	533	315	899	1092	191
7	ANTALYA	558	891	292	1432	826	544		1469	342	505	476	1190	1289	684
8	ARTVİN	1034	755	1237	397	695	981	1469		1579	1463	1252	406	562	1039
9	AYDIN	883	1216	346	1645	932	598	342	1579		296	520	1412	1605	718
10	BALIKESİR	897	1230	324	1571	833	533	505	1463	296		246	1421	1614	424
11	BİLECİK	768	1059	212	1360	622	315	476	1252	520	246		1203	1396	213
12	BİNGÖL	632	349	1102	359	640	899	1190	406	1412	1421	1203		197	1049
13	BİTLİS	731	414	1295	234	833	1092	1289	562	1605	1614	1396	197		1242
14	BOLU	677	946	420	1147	409	191	684	1039	718	424	213	1049	1242	
15	BURDUR	666	999	170	1428	756	422	122	1403	272	397	354	1195	1388	562
16	BURSA	837	1128	273	1420	682	384	537	1312	445	151	95	1272	1465	273
17	ÇANAKKALE	1097	1399	524	1691	953	655	705	1583	450	200	366	1543	1736	544
18	ÇANKIRI	576	785	387	986	248	131	668	895	729	659	446	888	1081	235
19	ÇORUM	579	698	498	830	92	242	734	739	840	775	557	732	925	352
20	DENİZLİ	760	1093	223	1522	809	475	220	1456	126	285	397	1289	1482	605
21	DİYARBAKIR	522	205	1095	443	700	910	1080	550	1405	1419	1214	144	209	1101
22	EDİRNE	1169	1438	684	1639	901	683	913	1531	658	408	477	1541	1734	492
23	ELAZIĞ	490	283	960	497	547	757	1048	544	1270	1279	1061	142	335	948
24	ERZİNCAN	677	550	940	371	367	684	1061	408	1274	1200	989	273	466	776
25	ERZURUM	808	529	1130	184	557	874	1251	226	1464	1390	1179	180	349	966
26	ESKİŞEHİR	686	977	144	1288	567	233	424	1214	478	300	82	1121	1314	290
27	GAZİANTEP	209	150	782	756	607	671	767	863	1092	1106	975	457	522	862
28	GİRESUN	727	712	866	547	324	610	1102	371	1208	1092	881	546	712	668
29	GÜMÜŞHANE	786	683	1008	384	435	752	1170	334	1350	1255	1044	383	549	831
30	HAKKARİ	906	669	1479	432	1145	1368	1464	771	1789	1803	1672	509	340	1554
31	HATAY	191	320	764	952	703	681	749	1021	1074	1088	959	619	718	868
32	ISPARTA	616	949	169	1378	721	421	130	1368	288	396	353	1145	1338	561
33	MERSİN	69	402	565	1034	639	483	489	1103	831	889	760	701	800	670
34	İSTANBUL	939	1208	454	1409	671	453	718	1301	684	390	247	1311	1504	262
35	İZMİR	900	1233	327	1634	913	579	444	1560	126	176	420	1429	1622	598
36	KARS	1011	732	1330	217	757	1074	1451	210	1664	1590	1379	383	432	1166
37	KASTAMONU	690	886	501	990	252	245	782	865	843	672	461	892	1085	248
38	KAYSERİ	333	437	521	814	348	318	618	851	831	840	622	581	774	509
39	KIRKLARELİ	1150	1419	665	1620	882	664	929	1512	675	425	458	1522	1715	473
40	KİRŞEHİR	375	571	429	944	312	184	572	953	771	706	488	715	908	375

EK 2 İller Arası Mesafe Matrisi (km) (Devam)

İl No	İl Adı\İl No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
41	KOCAELİ	828	1097	343	1298	560	342	607	1190	573	279	136	1200	1393	151
42	KONYA	356	689	223	1118	512	258	322	1155	533	547	418	885	1078	445
43	KÜTAHYA	673	1006	100	1366	645	311	364	1292	408	224	112	1199	1392	320
44	MALATYA	392	185	862	595	467	659	950	642	1172	1181	963	240	433	850
45	MANİSA	884	1217	311	1618	897	563	428	1544	155	141	385	1413	1606	563
46	K. MARAŞ	189	164	762	812	527	591	747	865	1072	1086	895	463	578	782
47	MARDİN	534	296	1107	518	795	996	1092	645	1417	1431	1300	239	284	1187
48	MUĞLA	869	1202	368	1667	954	620	311	1601	99	395	542	1434	1600	750
49	MUŞ	742	463	1212	245	750	1009	1300	479	1522	1531	1313	114	83	1159
50	NEVŞEHİR	287	518	440	895	363	275	537	932	750	764	579	662	855	466
51	NİĞDE	205	538	459	942	441	348	544	979	769	783	648	709	902	535
52	ORDU	718	728	822	591	280	566	1058	415	1164	1048	837	590	756	624
53	RİZE	927	858	1078	548	536	822	1311	159	1420	1304	1093	557	713	880
54	SAKARYA	791	1060	306	1261	523	305	570	1153	604	310	99	1163	1356	114
55	SAMSUN	729	752	670	743	131	414	906	567	1012	896	685	719	908	472
56	SİİRT	705	388	1278	331	887	1097	1263	659	1588	1602	1401	284	97	1288
57	SİNOP	846	892	670	906	258	414	951	730	1012	844	633	872	1065	420
58	SİVAS	429	414	696	619	220	440	813	656	1026	973	755	469	662	629
59	TEKİRDAĞ	1071	1340	586	1541	803	585	850	1433	630	380	379	1443	1636	394
60	TOKAT	499	522	634	677	114	378	870	634	976	911	693	577	770	523
61	TRABZON	852	783	1003	484	461	747	1236	234	1345	1229	1018	483	649	805
62	TUNCELİ	626	419	1071	424	498	815	1184	461	1405	1331	1120	142	335	907
63	ŞANLIURFA	346	110	919	619	718	808	904	726	1229	1243	1112	320	385	999
64	UŞAK	689	1022	116	1423	702	368	294	1349	273	225	251	1218	1411	459
65	VAN	899	582	1435	230	968	1232	1457	569	1745	1754	1536	337	168	1377
66	YOZGAT	473	612	472	843	200	216	684	841	814	749	531	693	886	407
67	ZONGULDAK	754	1023	489	1224	486	268	753	1116	787	493	282	1126	1319	159
68	AKSARAY	265	593	365	970	422	225	462	1007	675	689	525	737	930	412
69	BAYBURT	808	654	1030	306	457	774	1192	343	1372	1290	1079	305	471	866
70	KARAMAN	289	622	336	1117	616	369	374	1154	642	660	531	884	1020	556
71	KIRIKKALE	475	684	331	980	259	75	567	906	673	608	390	828	1021	266
72	BATMAN	618	301	1191	369	800	1010	1176	603	1501	1515	1314	197	135	1201
73	ŞIRNAK	717	480	1290	426	982	1179	1275	754	1600	1614	1483	379	192	1370
74	BARTIN	769	1038	515	1173	435	283	803	1048	857	582	371	1075	1268	174
75	ARDAHAN	1038	759	1346	310	779	1090	1473	117	1686	1572	1361	410	491	1148
76	İĞDIR	1068	751	1421	143	848	1165	1542	344	1755	1681	1470	474	337	1257
77	YALOVA	893	1162	341	1363	625	407	605	1255	510	216	129	1265	1458	216
78	KARABÜK	701	970	447	1104	366	215	735	979	789	558	347	1006	1199	134
79	KİLİS	246	209	819	815	666	730	804	922	1129	1143	1014	516	581	921
80	OSMANIYE	87	246	660	878	629	577	645	947	970	984	855	545	644	764
81	DÜZCE	722	991	375	1192	454	236	639	1084	673	379	168	1094	1287	45

EK 2 İller Arası Mesafe Matrisi (km) (Devam)

İl No	İl Adı/İl No	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	ADANA	666	837	1097	576	579	760	522	1169	490	677	808	686	209	727
2	ADİYAMAN	999	1128	1399	785	698	1093	205	1438	283	550	529	977	150	712
3	AFYON	170	273	524	387	498	223	1095	684	960	940	1130	144	782	866
4	AĞRI	1428	1420	1691	986	830	1522	443	1639	497	371	184	1288	756	547
5	AMASYA	756	682	953	248	92	809	700	901	547	367	557	567	607	324
6	ANKARA	422	384	655	131	242	475	910	683	757	684	874	233	671	610
7	ANTALYA	122	537	705	668	734	220	1080	913	1048	1061	1251	424	767	1102
8	ARTVİN	1403	1312	1583	895	739	1456	550	1531	544	408	226	1214	863	371
9	AYDIN	272	445	450	729	840	126	1405	658	1270	1274	1464	478	1092	1208
10	BALIKESİR	397	151	200	659	775	285	1419	408	1279	1200	1390	300	1106	1092
11	BİLECİK	354	95	366	446	557	397	1214	477	1061	989	1179	82	975	881
12	BİNGÖL	1195	1272	1543	888	732	1289	144	1541	142	273	180	1121	457	546
13	BİTLİS	1388	1465	1736	1081	925	1482	209	1734	335	466	349	1314	522	712
14	BOLU	562	273	544	235	352	605	1101	492	948	776	966	290	862	668
15	BURDUR		415	597	553	664	150	1188	805	1053	1057	1247	302	875	1032
16	BURSA	415		271	508	625	434	1283	419	1130	1049	1239	151	1044	941
17	ÇANAKKALE	597	271		779	896	485	1554	216	1401	1320	1510	422	1306	1212
18	ÇANKIRI	553	508	779		156	606	920	727	767	615	805	364	701	524
19	ÇORUM	664	625	896	156		717	764	844	611	459	649	475	634	368
20	DENİZLİ	150	434	485	606	717		1282	693	1147	1151	1341	355	969	1085
21	DIYARBAKIR	1188	1283	1554	920	764	1282		1593	153	408	324	1132	313	690
22	EDİRNE	805	419	216	727	844	693	1593		1440	1268	1458	554	1354	1160
23	ELAZIĞ	1053	1130	1401	767	611	1147	153	1440		267	318	979	345	563
24	ERZİNCAN	1057	1049	1320	615	459	1151	408	1268	267		190	917	612	296
25	ERZURUM	1247	1239	1510	805	649	1341	324	1458	318	190		1107	637	366
26	ESKİŞEHİR	302	151	422	364	475	355	1132	554	979	917	1107		893	843
27	GAZİANTEP	875	1044	1306	701	634	969	313	1354	345	612	637	893		723
28	GİRESUN	1032	941	1212	524	368	1085	690	1160	563	296	366	843	723	
29	GÜMÜŞHANE	1166	1104	1375	683	527	1227	527	1323	400	133	203	985	745	163
30	HAKKARİ	1572	1741	2003	1391	1235	1666	471	2046	624	778	616	1590	697	979
31	HATAY	857	1028	1288	767	730	951	509	1360	477	744	795	877	196	819
32	ISPARTA	51	414	596	552	629	165	1138	804	1003	1007	1197	301	825	997
33	MERSİN	611	829	1089	569	572	709	591	1162	559	746	877	678	278	796
34	İSTANBUL	596	243	320	497	614	639	1363	230	1210	1038	1228	324	1124	930
35	İZMİR	374	325	326	710	821	224	1422	534	1287	1263	1453	411	1109	1189
36	KARS	1447	1439	1710	1005	849	1541	527	1658	521	390	203	1307	840	566
37	KASTAMONU	667	521	792	114	195	720	952	740	799	619	809	478	815	494
38	KAYSERİ	614	691	962	348	281	708	592	1001	439	443	633	540	353	493
39	KIRKLARELİ	807	436	233	708	825	710	1574	62	1421	1249	1439	535	1335	1141
40	KIRŞEHİR	568	557	828	214	220	648	726	867	573	573	763	406	487	582

EK 2 İller Arası Mesafe Matrisi (km) (Devam)

İl No	İl Adı\İl No	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
41	KOCAELİ	485	132	399	386	503	528	1252	341	1099	927	1117	213	1013	819
42	KONYA	315	487	747	354	420	410	878	890	743	747	937	336	565	788
43	KÜTAHYA	242	173	424	442	553	285	1195	584	1057	995	1185	78	882	921
44	MALATYA	955	1032	1303	687	531	1049	251	1342	98	365	416	881	247	545
45	MANİSA	358	290	331	694	805	208	1406	539	1271	1247	1437	395	1093	1173
46	K. MARAŞ	855	964	1235	621	554	949	369	1274	321	588	639	813	80	643
47	MARDİN	1200	1369	1631	1015	859	1294	95	1679	248	503	419	1218	325	785
48	MUĞLA	241	544	549	751	862	145	1391	757	1292	1296	1486	500	1078	1230
49	MUŞ	1305	1382	1653	998	842	1399	258	1651	252	383	266	1231	571	629
50	NEVŞEHİR	533	648	919	305	296	627	673	958	520	524	714	497	434	574
51	NİĞDE	552	717	983	387	374	646	720	1027	567	571	761	566	414	621
52	ORDU	988	897	1168	480	324	1041	733	1116	592	325	410	799	714	44
53	RİZE	1244	1153	1424	736	580	1297	701	1372	575	308	377	1055	920	212
54	SAKARYA	448	159	430	349	466	491	1215	378	1062	890	1080	176	976	782
55	SAMSUN	836	745	1016	328	172	889	818	964	665	446	562	647	725	196
56	SİİRT	1371	1470	1741	1107	951	1465	187	1780	340	557	446	1319	496	809
57	SİNOP	836	693	964	283	267	889	958	912	805	599	725	647	865	359
58	SİVAS	809	824	1095	440	284	903	480	1121	327	248	438	673	425	298
59	TEKİRDAĞ	728	375	188	629	746	665	1495	140	1342	1170	1360	456	1256	1062
60	TOKAT	800	762	1033	334	178	853	588	1015	435	306	496	611	495	263
61	TRABZON	1169	1078	1349	661	505	1222	627	1297	500	233	303	980	845	137
62	TUNCELİ	1188	1180	1451	746	590	1282	277	1399	136	131	243	1048	481	427
63	ŞANLIURFA	1012	1181	1443	838	771	1106	176	1491	329	584	500	1030	137	796
64	UŞAK	172	311	425	499	610	150	1211	633	1076	1052	1242	217	898	978
65	VAN	1528	1605	1876	1216	1060	1622	377	1869	475	601	414	1454	690	777
66	YOZGAT	638	600	871	246	108	691	704	899	551	472	662	449	528	470
67	ZONGULDAK	631	342	613	312	429	674	1178	561	1025	853	1043	359	939	745
68	AKSARAY	458	594	865	311	330	552	748	904	595	599	789	443	474	649
69	BAYBURT	1188	1139	1410	705	549	1249	449	1358	396	155	125	1007	741	241
70	KARAMAN	420	600	860	465	531	519	811	1003	742	746	936	449	498	796
71	KIRIKKALE	497	459	730	105	167	550	839	758	686	609	799	308	600	535
72	BATMAN	1284	1383	1654	1020	864	1378	100	1693	253	470	377	1232	409	743
73	ŞIRNAK	1383	1552	1814	1202	1046	1477	282	1862	435	652	541	1401	508	904
74	BARTIN	681	431	702	284	378	734	1135	650	982	802	992	448	954	677
75	ARDAHAN	1469	1421	1692	1004	848	1563	554	1640	548	412	230	1323	867	480
76	İĞDIR	1538	1530	1801	1096	940	1632	546	1749	612	481	294	1398	859	657
77	YALOVA	483	69	336	451	568	499	1317	406	1164	992	1182	211	1078	884
78	KARABÜK	613	407	678	195	309	666	1066	626	913	733	923	424	886	608
79	KİLİS	912	1083	1343	760	693	1006	372	1413	404	671	696	932	63	782
80	OSMANIYE	753	924	1184	663	656	847	435	1256	403	670	721	773	122	745
81	DÜZCE	517	228	499	280	397	560	1146	447	993	821	1011	245	907	713

EK 2 İller Arası Mesafe Matrisi (km) (Devam)

İl No	İl Adı\İl No	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
1	ADANA	786	906	191	616	69	939	900	1011	690	333	1150	375	828	356
2	ADİYAMAN	683	669	320	949	402	1208	1233	732	886	437	1419	571	1097	689
3	AFYON	1008	1479	764	169	565	454	327	1330	501	521	665	429	343	223
4	AĞRI	384	432	952	1378	1034	1409	1634	217	990	814	1620	944	1298	1118
5	AMASYA	435	1145	703	721	639	671	913	757	252	348	882	312	560	512
6	ANKARA	752	1368	681	421	483	453	579	1074	245	318	664	184	342	258
7	ANTALYA	1170	1464	749	130	489	718	444	1451	782	618	929	572	607	322
8	ARTVİN	334	771	1021	1368	1103	1301	1560	210	865	851	1512	953	1190	1155
9	AYDIN	1350	1789	1074	288	831	684	126	1664	843	831	675	771	573	533
10	BALIKESİR	1255	1803	1088	396	889	390	176	1590	672	840	425	706	279	547
11	BİLECİK	1044	1672	959	353	760	247	420	1379	461	622	458	488	136	418
12	BİNGÖL	383	509	619	1145	701	1311	1429	383	892	581	1522	715	1200	885
13	BİTLİS	549	340	718	1338	800	1504	1622	432	1085	774	1715	908	1393	1078
14	BOLU	831	1554	868	561	670	262	598	1166	248	509	473	375	151	445
15	BURDUR	1166	1572	857	51	611	596	374	1447	667	614	807	568	485	315
16	BURSA	1104	1741	1028	414	829	243	325	1439	521	691	436	557	132	487
17	ÇANAKKALE	1375	2003	1288	596	1089	320	326	1710	792	962	233	828	399	747
18	ÇANKIRI	683	1391	767	552	569	497	710	1005	114	348	708	214	386	354
19	ÇORUM	527	1235	730	629	572	614	821	849	195	281	825	220	503	420
20	DENİZLİ	1227	1666	951	165	709	639	224	1541	720	708	710	648	528	410
21	DIYARBAKIR	527	471	509	1138	591	1363	1422	527	952	592	1574	726	1252	878
22	EDİRNE	1323	2046	1360	804	1162	230	534	1658	740	1001	62	867	341	890
23	ELAZIĞ	400	624	477	1003	559	1210	1287	521	799	439	1421	573	1099	743
24	ERZİNCAN	133	778	744	1007	746	1038	1263	390	619	443	1249	573	927	747
25	ERZURUM	203	616	795	1197	877	1228	1453	203	809	633	1439	763	1117	937
26	ESKİŞEHİR	985	1590	877	301	678	324	411	1307	478	540	535	406	213	336
27	GAZİANTEP	745	697	196	825	278	1124	1109	840	815	353	1335	487	1013	565
28	GİRESUN	163	979	819	997	796	930	1189	566	494	493	1141	582	819	788
29	GÜMÜŞHANE		816	877	1116	855	1093	1331	403	657	552	1304	682	982	856
30	HAKKARİ	816		893	1522	975	1816	1806	567	1397	1050	2027	1184	1705	1262
31	HATAY	877	893		807	260	1130	1091	998	881	449	1341	566	1019	547
32	ISPARTA	1116	1522	807		587	595	382	1397	666	564	806	518	484	264
33	MERSİN	855	975	260	587		932	892	1080	683	326	1143	368	821	348
34	İSTANBUL	1093	1816	1130	595	932		564	1428	510	771	211	637	111	660
35	İZMİR	1331	1806	1091	382	892	564		1653	824	848	551	752	453	550
36	KARS	403	567	998	1397	1080	1428	1653		1009	833	1639	963	1317	1137
37	KASTAMONU	657	1397	881	666	683	510	824	1009		462	721	328	399	468
38	KAYSERİ	552	1050	449	564	326	771	848	833	462		982	134	660	304
39	KIRKLARELİ	1304	2027	1341	806	1143	211	551	1639	721	982		848	322	871
40	KİRŞEHİR	682	1184	566	518	368	637	752	963	328	134	848		526	258

EK 2 İller Arası Mesafe Matrisi (km) (Devam)

İl No	İl Adı\İl No	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
41	KOCAELİ	982	1705	1019	484	821	111	453	1317	399	660	322	526		549
42	KONYA	856	1262	547	264	348	660	550	1137	468	304	871	258	549	
43	KÜTAHYA	1063	1579	864	241	665	354	333	1385	556	618	565	484	243	323
44	MALATYA	498	722	379	905	461	1112	1189	619	719	341	1323	475	1001	645
45	MANİSA	1315	1790	1075	366	876	529	35	1637	808	832	556	736	418	534
46	K. MARAŞ	702	777	176	805	258	1044	1089	842	735	273	1255	407	933	545
47	MARDİN	622	398	521	1150	603	1449	1434	622	1047	678	1660	812	1338	890
48	MUĞLA	1372	1775	1060	292	800	783	225	1686	865	853	774	793	672	555
49	MUŞ	466	395	729	1255	811	1421	1539	349	1002	691	1632	825	1310	995
50	NEVŞEHİR	633	1131	478	483	280	728	767	914	419	81	939	91	617	223
51	NİĞDE	680	1111	396	502	198	797	786	961	501	128	1008	173	686	242
52	ORDU	207	1023	810	953	787	886	1145	610	450	484	1097	538	775	744
53	RİZE	175	922	1019	1209	996	1142	1401	361	706	693	1353	794	1031	997
54	SAKARYA	945	1668	982	447	784	148	484	1280	362	623	359	489	37	512
55	SAMSUN	359	1175	821	801	744	734	993	762	298	453	945	392	623	592
56	SİİRT	646	284	692	1321	774	1550	1605	529	1139	779	1761	913	1439	1061
57	SİNOP	522	1338	961	835	839	682	993	925	183	548	893	487	571	637
58	SİVAS	357	951	521	759	498	891	1019	638	472	195	1102	325	780	499
59	TEKİRDAĞ	1225	1948	1262	727	1064	132	506	1560	642	903	121	769	243	792
60	TOKAT	374	1059	591	765	568	785	957	696	366	265	996	319	674	556
61	TRABZON	100	916	944	1134	921	1067	1326	436	631	618	1278	719	956	922
62	TUNCELİ	264	647	613	1138	695	1169	1394	443	750	574	1380	704	1058	878
63	ŞANLIURFA	703	560	333	962	415	1261	1246	703	952	490	1472	624	1150	702
64	UŞAK	1120	1595	880	171	681	493	211	1442	613	637	650	541	382	339
65	VAN	614	202	886	1478	968	1639	1762	365	1220	914	1850	1048	1528	1218
66	YOZGAT	581	1175	624	602	466	669	795	862	299	175	880	112	558	370
67	ZONGULDAK	908	1631	945	630	747	331	667	1243	272	586	542	452	220	522
68	AKSARAY	708	1171	456	408	258	674	692	989	425	156	885	110	563	148
69	BAYBURT	78	738	873	1138	877	1128	1353	325	709	574	1339	704	1017	878
70	KARAMAN	855	1195	480	369	235	773	663	1136	579	303	984	320	662	119
71	KIRIKKALE	677	1297	666	462	468	528	654	999	219	247	739	113	417	253
72	BATMAN	580	371	605	1234	687	1463	1518	567	1052	692	1674	826	1352	974
73	ŞIRNAK	741	189	704	1333	786	1632	1617	624	1234	861	1843	995	1521	1073
74	BARTIN	840	1580	960	680	762	420	756	1192	183	601	631	467	309	537
75	ARDAHAN	425	654	1025	1419	1107	1410	1669	93	974	855	1621	985	1299	1159
76	IĞDIR	494	427	1055	1488	1137	1519	1744	140	1100	924	1730	1054	1408	1228
77	YALOVA	1047	1770	1084	482	886	176	390	1382	464	725	387	591	65	547
78	KARABÜK	771	1511	892	612	694	396	732	1123	114	533	607	399	285	469
79	KİLİS	804	756	147	862	315	1183	1146	899	874	412	1394	546	1072	602
80	OSMANIYE	803	819	129	703	156	1026	987	924	777	375	1237	462	915	443
81	DÜZCE	876	1599	913	516	715	217	553	1211	293	554	428	420	106	490

EK 2 İller Arası Mesafe Matrisi (km) (Devam)

İl No	İl Adı\İl No	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
1	ADANA	673	392	884	189	534	869	742	287	205	718	927	791	729	705
2	ADYAMAN	1006	185	1217	164	296	1202	463	518	538	728	858	1060	752	388
3	AFYON	100	862	311	762	1107	368	1212	440	459	822	1078	306	670	1278
4	AĞRI	1366	595	1618	812	518	1667	245	895	942	591	548	1261	743	331
5	AMASYA	645	467	897	527	795	954	750	363	441	280	536	523	131	887
6	ANKARA	311	659	563	591	996	620	1009	275	348	566	822	305	414	1097
7	ANTALYA	364	950	428	747	1092	311	1300	537	544	1058	1311	570	906	1263
8	ARTVİN	1292	642	1544	865	645	1601	479	932	979	415	159	1153	567	659
9	AYDIN	408	1172	155	1072	1417	99	1522	750	769	1164	1420	604	1012	1588
10	BALIKESİR	224	1181	141	1086	1431	395	1531	764	783	1048	1304	310	896	1602
11	BİLECİK	112	963	385	895	1300	542	1313	579	648	837	1093	99	685	1401
12	BİNGÖL	1199	240	1413	463	239	1434	114	662	709	590	557	1163	719	284
13	BİTLİS	1392	433	1606	578	284	1600	83	855	902	756	713	1356	908	97
14	BOLU	320	850	563	782	1187	750	1159	466	535	624	880	114	472	1288
15	BURDUR	242	955	358	855	1200	241	1305	533	552	988	1244	448	836	1371
16	BURSA	173	1032	290	964	1369	544	1382	648	717	897	1153	159	745	1470
17	ÇANAKKALE	424	1303	331	1235	1631	549	1653	919	983	1168	1424	430	1016	1741
18	ÇANKIRI	442	687	694	621	1015	751	998	305	387	480	736	349	328	1107
19	ÇORUM	553	531	805	554	859	862	842	296	374	324	580	466	172	951
20	DENİZLİ	285	1049	208	949	1294	145	1399	627	646	1041	1297	491	889	1465
21	DİYARBAKIR	1195	251	1406	369	95	1391	258	673	720	733	701	1215	818	187
22	EDİRNE	584	1342	539	1274	1679	757	1651	958	1027	1116	1372	378	964	1780
23	ELAZIĞ	1057	98	1271	321	248	1292	252	520	567	592	575	1062	665	340
24	ERZİNCAN	995	365	1247	588	503	1296	383	524	571	325	308	890	446	557
25	ERZURUM	1185	416	1437	639	419	1486	266	714	761	410	377	1080	562	446
26	ESKİŞEHİR	78	881	395	813	1218	500	1231	497	566	799	1055	176	647	1319
27	GAZİANTEP	882	247	1093	80	325	1078	571	434	414	714	920	976	725	496
28	GİRESUN	921	545	1173	643	785	1230	629	574	621	44	212	782	196	809
29	GÜMÜŞHANE	1063	498	1315	702	622	1372	466	633	680	207	175	945	359	646
30	HAKKARİ	1579	722	1790	777	398	1775	395	1131	1111	1023	922	1668	1175	284
31	HATAY	864	379	1075	176	521	1060	729	478	396	810	1019	982	821	692
32	ISPARTA	241	905	366	805	1150	292	1255	483	502	953	1209	447	801	1321
33	MERSİN	665	461	876	258	603	800	811	280	198	787	996	784	744	774
34	İSTANBUL	354	1112	529	1044	1449	783	1421	728	797	886	1142	148	734	1550
35	İZMİR	333	1189	35	1089	1434	225	1539	767	786	1145	1401	484	993	1605
36	KARS	1385	619	1637	842	622	1686	349	914	961	610	361	1280	762	529
37	KASTAMONU	556	719	808	735	1047	865	1002	419	501	450	706	362	298	1139
38	KAYSERİ	618	341	832	273	678	853	691	81	128	484	693	623	453	779
39	KIRKLARELİ	565	1323	556	1255	1660	774	1632	939	1008	1097	1353	359	945	1761
40	KİRŞEHİR	484	475	736	407	812	793	825	91	173	538	794	489	392	913

EK 2 İller Arası Mesafe Matrisi (km) (Devam)

İl No	İl Adı\İl No	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
41	KOCAELİ	243	1001	418	933	1338	672	1310	617	686	775	1031	37	623	1439
42	KONYA	323	645	534	545	890	555	995	223	242	744	997	512	592	1061
43	KÜTAHYA		959	317	862	1207	430	1309	540	559	877	1133	206	725	1378
44	MALATYA	959		1173	223	346	1194	350	422	469	561	673	964	585	438
45	MANİSA	317	1173		1073	1418	254	1523	751	770	1129	1385	449	977	1589
46	K. MARAŞ	862	223	1073		405	1058	573	354	394	634	843	896	645	552
47	MARDİN	1207	346	1418	405		1403	353	759	739	828	796	1301	913	230
48	MUĞLA	430	1194	254	1058	1403		1544	772	791	1186	1442	636	1034	1574
49	MUŞ	1309	350	1523	573	353	1544		772	819	673	630	1273	825	180
50	NEVŞEHİR	540	422	751	354	759	772	772		82	558	774	580	468	860
51	NİĞDE	559	469	770	394	739	791	819	82		612	821	649	546	907
52	ORDU	877	561	1129	634	828	1186	673	558	612		256	738	152	853
53	RİZE	1133	673	1385	843	796	1442	630	774	821	256		994	408	810
54	SAKARYA	206	964	449	896	1301	636	1273	580	649	738	994		586	1402
55	SAMSUN	725	585	977	645	913	1034	825	468	546	152	408	586		1003
56	SİİRT	1378	438	1589	552	230	1574	180	860	907	853	810	1402	1003	
57	SİNOP	725	725	977	785	1053	1034	982	563	641	315	571	534	163	1145
58	SİVAS	751	247	1003	345	575	1048	579	276	323	314	498	743	338	667
59	TEKİRDAĞ	486	1244	511	1176	1581	729	1553	860	929	1018	1274	280	866	1682
60	TOKAT	689	355	941	415	683	998	687	339	393	219	475	637	230	775
61	TRABZON	1058	598	1310	768	722	1367	566	699	746	181	75	919	333	746
62	TUNCELİ	1126	234	1378	457	372	1427	252	655	702	456	439	1021	577	426
63	ŞANLIURFA	1019	269	1230	217	188	1215	434	571	551	812	877	1113	836	359
64	UŞAK	139	978	195	878	1223	295	1328	556	575	934	1190	345	782	1394
65	VAN	1532	573	1746	746	452	1767	223	995	1042	821	720	1491	973	265
66	YOZGAT	527	471	779	448	799	836	803	190	268	426	682	521	280	891
67	ZONGULDAK	389	927	632	859	1264	819	1236	543	612	701	957	183	549	1365
68	AKSARAY	465	497	676	429	799	697	847	75	123	633	849	526	502	935
69	BAYBURT	1085	494	1337	717	544	1394	388	655	702	285	253	980	437	568
70	KARAMAN	436	644	647	478	823	661	994	257	175	787	996	625	703	994
71	KIRIKKALE	386	588	638	520	925	695	938	204	286	491	747	380	339	1026
72	BATMAN	1291	351	1502	465	149	1487	218	773	820	787	754	1315	916	87
73	ŞIRNAK	1390	533	1601	588	209	1586	275	942	922	948	905	1484	1098	95
74	BARTIN	478	902	721	874	1230	879	1185	558	627	633	889	272	481	1322
75	ARDAHAN	1401	646	1653	869	649	1708	408	936	983	524	268	1262	676	588
76	İĞDIR	1476	710	1728	915	621	1777	388	1005	1052	701	495	1371	853	434
77	YALOVA	241	1066	355	998	1403	609	1375	682	751	840	1096	102	688	1504
78	KARABÜK	454	833	697	806	1161	811	1116	490	559	564	820	248	412	1253
79	KİLİS	919	306	1130	139	384	1115	630	493	451	773	979	1035	784	555
80	OSMANIYE	760	305	971	102	447	956	655	374	292	736	945	878	747	618
81	DÜZCE	275	895	518	827	1232	705	1204	511	580	669	925	69	517	1333

EK 2 İller Arası Mesafe Matrisi (km) (Devam)

İl No	İl Adı/İl No	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
1	ADANA	846	429	1071	499	852	626	346	689	899	473	754	265	808	289
2	ADİYAMAN	892	414	1340	522	783	419	110	1022	582	612	1023	593	654	622
3	AFYON	670	696	586	634	1003	1071	919	116	1435	472	489	365	1030	336
4	AĞRI	906	619	1541	677	484	424	619	1423	230	843	1224	970	306	1117
5	AMASYA	258	220	803	114	461	498	718	702	968	200	486	422	457	616
6	ANKARA	414	440	585	378	747	815	808	368	1232	216	268	225	774	369
7	ANTALYA	951	813	850	870	1236	1184	904	294	1457	684	753	462	1192	374
8	ARTVİN	730	656	1433	634	234	461	726	1349	569	841	1116	1007	343	1154
9	AYDIN	1012	1026	630	976	1345	1405	1229	273	1745	814	787	675	1372	642
10	BALIKESİR	844	973	380	911	1229	1331	1243	225	1754	749	493	689	1290	660
11	BİLECİK	633	755	379	693	1018	1120	1112	251	1536	531	282	525	1079	531
12	BİNGÖL	872	469	1443	577	483	142	320	1218	337	693	1126	737	305	884
13	BİTLİS	1065	662	1636	770	649	335	385	1411	168	886	1319	930	471	1020
14	BOLU	420	629	394	523	805	907	999	459	1377	407	159	412	866	556
15	BURDUR	836	809	728	800	1169	1188	1012	172	1528	638	631	458	1188	420
16	BURSA	693	824	375	762	1078	1180	1181	311	1605	600	342	594	1139	600
17	ÇANAKKALE	964	1095	188	1033	1349	1451	1443	425	1876	871	613	865	1410	860
18	ÇANKIRI	283	440	629	334	661	746	838	499	1216	246	312	311	705	465
19	ÇORUM	267	284	746	178	505	590	771	610	1060	108	429	330	549	531
20	DENİZLİ	889	903	665	853	1222	1282	1106	150	1622	691	674	552	1249	519
21	DIYARBAKIR	958	480	1495	588	627	277	176	1211	377	704	1178	748	449	811
22	EDİRNE	912	1121	140	1015	1297	1399	1491	633	1869	899	561	904	1358	1003
23	ELAZIĞ	805	327	1342	435	500	136	329	1076	475	551	1025	595	396	742
24	ERZİNCAN	599	248	1170	306	233	131	584	1052	601	472	853	599	155	746
25	ERZURUM	725	438	1360	496	303	243	500	1242	414	662	1043	789	125	936
26	ESKİŞEHİR	647	673	456	611	980	1048	1030	217	1454	449	359	443	1007	449
27	GAZİANTEP	865	425	1256	495	845	481	137	898	690	528	939	474	741	498
28	GİRESUN	359	298	1062	263	137	427	796	978	777	470	745	649	241	796
29	GÜMÜŞHANE	522	357	1225	374	100	264	703	1120	614	581	908	708	78	855
30	HAKKARİ	1338	951	1948	1059	916	647	560	1595	202	1175	1631	1171	738	1195
31	HATAY	961	521	1262	591	944	613	333	880	886	624	945	456	873	480
32	ISPARTA	835	759	727	765	1134	1138	962	171	1478	602	630	408	1138	369
33	MERSİN	839	498	1064	568	921	695	415	681	968	466	747	258	877	235
34	İSTANBUL	682	891	132	785	1067	1169	1261	493	1639	669	331	674	1128	773
35	İZMİR	993	1019	506	957	1326	1394	1246	211	1762	795	667	692	1353	663
36	KARS	925	638	1560	696	436	443	703	1442	365	862	1243	989	325	1136
37	KASTAMONU	183	472	642	366	631	750	952	613	1220	299	272	425	709	579
38	KAYSERİ	548	195	903	265	618	574	490	637	914	175	586	156	574	303
39	KIRKLARELİ	893	1102	121	996	1278	1380	1472	650	1850	880	542	885	1339	984
40	KİRŞEHİR	487	325	769	319	719	704	624	541	1048	112	452	110	704	320

EK 2 İller Arası Mesafe Matrisi (km) (Devam)

İl No	İl Adı\İl No	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
41	KOCAELİ	571	780	243	674	956	1058	1150	382	1528	558	220	563	1017	662
42	KONYA	637	499	792	556	922	878	702	339	1218	370	522	148	878	119
43	KÜTAHYA	725	751	486	689	1058	1126	1019	139	1532	527	389	465	1085	436
44	MALATYA	725	247	1244	355	598	234	269	978	573	471	927	497	494	644
45	MANİSA	977	1003	511	941	1310	1378	1230	195	1746	779	632	676	1337	647
46	K. MARAŞ	785	345	1176	415	768	457	217	878	746	448	859	429	717	478
47	MARDİN	1053	575	1581	683	722	372	188	1223	452	799	1264	799	544	823
48	MUĞLA	1034	1048	729	998	1367	1427	1215	295	1767	836	819	697	1394	661
49	MUŞ	982	579	1553	687	566	252	434	1328	223	803	1236	847	388	994
50	NEVŞEHİR	563	276	860	339	699	655	571	556	995	190	543	75	655	257
51	NİĞDE	641	323	929	393	746	702	551	575	1042	268	612	123	702	175
52	ORDU	315	314	1018	219	181	456	812	934	821	426	701	633	285	787
53	RİZE	571	498	1274	475	75	439	877	1190	720	682	957	849	253	996
54	SAKARYA	534	743	280	637	919	1021	1113	345	1491	521	183	526	980	625
55	SAMSUN	163	338	866	230	333	577	836	782	973	280	549	502	437	703
56	SİİRT	1145	667	1682	775	746	426	359	1394	265	891	1365	935	568	994
57	SİNOP		478	814	372	496	730	976	782	1136	375	455	594	600	748
58	SİVAS	478		1023	108	423	379	498	808	802	224	706	351	379	498
59	TEKİRDAĞ	814	1023		917	1199	1301	1393	605	1771	801	463	806	1260	905
60	TOKAT	372	108	917		400	437	606	746	907	207	600	414	396	568
61	TRABZON	496	423	1199	400		364	803	1115	714	607	882	774	178	921
62	TUNCELİ	730	379	1301	437	364		453	1183	475	603	984	730	260	877
63	ŞANLIURFA	976	498	1393	606	803	453		1035	553	665	1076	611	625	635
64	UŞAK	782	808	605	746	1115	1183	1035		1551	584	528	481	1142	452
65	VAN	1136	802	1771	907	714	475	553	1551		1026	1454	1070	536	1188
66	YOZGAT	375	224	801	207	607	603	665	584	1026		484	222	603	432
67	ZONGULDAK	455	706	463	600	882	984	1076	528	1454	484		489	943	633
68	AKSARAY	594	351	806	414	774	730	611	481	1070	222	489		730	210
69	BAYBURT	600	379	1260	396	178	260	625	1142	536	603	943	730		877
70	KARAMAN	748	498	905	568	921	877	635	452	1188	432	633	210	877	
71	KIRIKKALE	388	365	660	303	672	740	737	443	1161	141	343	210	699	364
72	BATMAN	1058	580	1595	688	680	339	272	1307	303	804	1278	848	502	907
73	ŞIRNAK	1240	762	1764	870	841	521	371	1406	360	986	1447	982	663	1006
74	BARTIN	366	655	552	549	814	933	1091	617	1403	482	89	504	892	648
75	ARDAHAN	839	660	1542	718	343	465	730	1458	452	884	1225	1011	347	1158
76	İĞDIR	1016	729	1651	787	570	534	722	1533	225	953	1334	1080	416	1227
77	YALOVA	636	845	308	739	1021	1123	1215	379	1593	623	285	628	1082	660
78	KARABÜK	297	586	528	480	745	864	1023	559	1334	413	178	436	823	580
79	KİLİS	924	484	1315	554	904	540	196	935	749	587	998	511	800	535
80	OSMANIYE	887	447	1158	517	870	539	259	776	812	550	841	352	799	376
81	DÜZCE	465	674	349	568	850	952	1044	414	1422	452	114	457	911	601

EK 2 İller Arası Mesafe Matrisi (km) (Devam)

İl No	İl Adı\İl No	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
1	ADANA	475	618	717	769	1038	1068	893	701	246	87	722
2	ADİYAMAN	684	301	480	1038	759	751	1162	970	209	246	991
3	AFYON	331	1191	1290	515	1346	1421	341	447	819	660	375
4	AĞRI	980	369	426	1173	310	143	1363	1104	815	878	1192
5	AMASYA	259	800	982	435	779	848	625	366	666	629	454
6	ANKARA	75	1010	1179	283	1090	1165	407	215	730	577	236
7	ANTALYA	567	1176	1275	803	1473	1542	605	735	804	645	639
8	ARTVİN	906	603	754	1048	117	344	1255	979	922	947	1084
9	AYDIN	673	1501	1600	857	1686	1755	510	789	1129	970	673
10	BALIKESİR	608	1515	1614	582	1572	1681	216	558	1143	984	379
11	BİLECİK	390	1314	1483	371	1361	1470	129	347	1014	855	168
12	BİNGÖL	828	197	379	1075	410	474	1265	1006	516	545	1094
13	BİTLİS	1021	135	192	1268	491	337	1458	1199	581	644	1287
14	BOLU	266	1201	1370	174	1148	1257	216	134	921	764	45
15	BURDUR	497	1284	1383	681	1469	1538	483	613	912	753	517
16	BURSA	459	1383	1552	431	1421	1530	69	407	1083	924	228
17	ÇANAKKALE	730	1654	1814	702	1692	1801	336	678	1343	1184	499
18	ÇANKIRI	105	1020	1202	284	1004	1096	451	195	760	663	280
19	ÇORUM	167	864	1046	378	848	940	568	309	693	656	397
20	DENİZLİ	550	1378	1477	734	1563	1632	499	666	1006	847	560
21	DİYARBAKIR	839	100	282	1135	554	546	1317	1066	372	435	1146
22	EDİRNE	758	1693	1862	650	1640	1749	406	626	1413	1256	447
23	ELAZIĞ	686	253	435	982	548	612	1164	913	404	403	993
24	ERZİNCAN	609	470	652	802	412	481	992	733	671	670	821
25	ERZURUM	799	377	541	992	230	294	1182	923	696	721	1011
26	ESKİŞEHİR	308	1232	1401	448	1323	1398	211	424	932	773	245
27	GAZİANTEP	600	409	508	954	867	859	1078	886	63	122	907
28	GİRESUN	535	743	904	677	480	657	884	608	782	745	713
29	GÜMÜŞHANE	677	580	741	840	425	494	1047	771	804	803	876
30	HAKKARİ	1297	371	189	1580	654	427	1770	1511	756	819	1599
31	HATAY	666	605	704	960	1025	1055	1084	892	147	129	913
32	ISPARTA	462	1234	1333	680	1419	1488	482	612	862	703	516
33	MERSİN	468	687	786	762	1107	1137	886	694	315	156	715
34	İSTANBUL	528	1463	1632	420	1410	1519	176	396	1183	1026	217
35	İZMİR	654	1518	1617	756	1669	1744	390	732	1146	987	553
36	KARS	999	567	624	1192	93	140	1382	1123	899	924	1211
37	KASTAMONU	219	1052	1234	183	974	1100	464	114	874	777	293
38	KAYSERİ	247	692	861	601	855	924	725	533	412	375	554
39	KIRKLARELİ	739	1674	1843	631	1621	1730	387	607	1394	1237	428
40	KİRŞEHİR	113	826	995	467	985	1054	591	399	546	462	420

EK 2 İller Arası Mesafe Matrisi (km) (Devam)

İl No	İl Adı\İl No	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
41	KOCAELİ	417	1352	1521	309	1299	1408	65	285	1072	915	106
42	KONYA	253	974	1073	537	1159	1228	547	469	602	443	490
43	KÜTAHYA	386	1291	1390	478	1401	1476	241	454	919	760	275
44	MALATYA	588	351	533	902	646	710	1066	833	306	305	895
45	MANİSA	638	1502	1601	721	1653	1728	355	697	1130	971	518
46	K. MARAŞ	520	465	588	874	869	915	998	806	139	102	827
47	MARDİN	925	149	209	1230	649	621	1403	1161	384	447	1232
48	MUĞLA	695	1487	1586	879	1708	1777	609	811	1115	956	705
49	MUŞ	938	218	275	1185	408	388	1375	1116	630	655	1204
50	NEVŞEHİR	204	773	942	558	936	1005	682	490	493	374	511
51	NİĞDE	286	820	922	627	983	1052	751	559	451	292	580
52	ORDU	491	787	948	633	524	701	840	564	773	736	669
53	RİZE	747	754	905	889	268	495	1096	820	979	945	925
54	SAKARYA	380	1315	1484	272	1262	1371	102	248	1035	878	69
55	SAMSUN	339	916	1098	481	676	853	688	412	784	747	517
56	SİİRT	1026	87	95	1322	588	434	1504	1253	555	618	1333
57	SİNOP	388	1058	1240	366	839	1016	636	297	924	887	465
58	SİVAS	365	580	762	655	660	729	845	586	484	447	674
59	TEKİRDAĞ	660	1595	1764	552	1542	1651	308	528	1315	1158	349
60	TOKAT	303	688	870	549	718	787	739	480	554	517	568
61	TRABZON	672	680	841	814	343	570	1021	745	904	870	850
62	TUNCELİ	740	339	521	933	465	534	1123	864	540	539	952
63	ŞANLIURFA	737	272	371	1091	730	722	1215	1023	196	259	1044
64	UŞAK	443	1307	1406	617	1458	1533	379	559	935	776	414
65	VAN	1161	303	360	1403	452	225	1593	1334	749	812	1422
66	YOZGAT	141	804	986	482	884	953	623	413	587	550	452
67	ZONGULDAK	343	1278	1447	89	1225	1334	285	178	998	841	114
68	AKSARAY	210	848	982	504	1011	1080	628	436	511	352	457
69	BAYBURT	699	502	663	892	347	416	1082	823	800	799	911
70	KARAMAN	364	907	1006	648	1158	1227	660	580	535	376	601
71	KIRIKKALE		939	1108	358	1015	1090	482	290	659	562	311
72	BATMAN	939		182	1235	607	472	1417	1166	468	531	1246
73	ŞIRNAK	1108	182		1417	683	529	1586	1348	567	630	1415
74	BARTIN	358	1235	1417		1157	1283	374	89	1013	856	203
75	ARDAHAN	1015	607	683	1157		227	1364	1088	926	951	1193
76	İĞDIR	1090	472	529	1283	227		1473	1214	918	981	1302
77	YALOVA	482	1417	1586	374	1364	1473		350	1137	980	171
78	KARABÜK	290	1166	1348	89	1088	1214	350		945	788	179
79	KİLİS	659	468	567	1013	926	918	1137	945		159	966
80	OSMANİYE	562	531	630	856	951	981	980	788	159		809
81	DÜZCE	311	1246	1415	203	1193	1302	171	179	966	809	

EK 3 Genetik Algoritma Parametre Analizi Deneyleri

Deney No	Çaprazlama Oranı (<i>cr</i>)	Mutasyon Oranı (<i>mr</i>)	Elitizm Oranı (<i>er</i>)	Uygunluk Fonksiyonu Değeri (<i>pb</i>)
Deney 1	0,3	0,05	0,15	559 244
Deney 2	0,4	0,05	0,15	560 450
Deney 3	0,5	0,05	0,15	554 623
Deney 4	0,6	0,05	0,15	561 144
Deney 5	0,7	0,05	0,15	561 019
Deney 6	0,8	0,05	0,15	561 434
Deney 7	0,9	0,05	0,15	559 129
Deney 8	0,3	0,1	0,15	558 976
Deney 9	0,4	0,1	0,15	559 841
Deney 10	0,5	0,1	0,15	556 545
Deney 11	0,6	0,1	0,15	559 056
Deney 12	0,7	0,1	0,15	557 734
Deney 13	0,8	0,1	0,15	561 521
Deney 14	0,9	0,1	0,15	559 122
Deney 15	0,3	0,15	0,15	559 199
Deney 16	0,4	0,15	0,15	555 652
Deney 17	0,5	0,15	0,15	560 710
Deney 18	0,6	0,15	0,15	556 728
Deney 19	0,7	0,15	0,15	557 699
Deney 20	0,8	0,15	0,15	557 823
Deney 21	0,9	0,15	0,15	559 094
Deney 22	0,3	0,2	0,15	561 019
Deney 23	0,4	0,2	0,15	561 144
Deney 24	0,5	0,2	0,15	558 929
Deney 25	0,6	0,2	0,15	561 075
Deney 26	0,7	0,2	0,15	562 346
Deney 27	0,8	0,2	0,15	559 450
Deney 28	0,9	0,2	0,15	560 718
Deney 29	0,3	0,3	0,15	555 984
Deney 30	0,4	0,3	0,15	559 031
Deney 31	0,5	0,3	0,15	557 584
Deney 32	0,6	0,3	0,15	559 569
Deney 33	0,7	0,3	0,15	558 019
Deney 34	0,8	0,3	0,15	558 896
Deney 35	0,9	0,3	0,15	560 169
Deney 36	0,3	0,05	0,1	559 647

EK 3 Genetik Algoritma Parametre Analizi Deneyleri (Devam)

Deney No	Çaprazlama Oranı (<i>cr</i>)	Mutasyon Oranı (<i>mr</i>)	Elitizm Oranı (<i>er</i>)	Uygunluk Fonksiyonu Değeri (<i>pb</i>)
Deney 37	0,4	0,05	0,1	560 909
Deney 38	0,5	0,05	0,1	560 575
Deney 39	0,6	0,05	0,1	560 718
Deney 40	0,7	0,05	0,1	560 235
Deney 41	0,8	0,05	0,1	561 356
Deney 42	0,9	0,05	0,1	560 705
Deney 43	0,3	0,1	0,1	560 100
Deney 44	0,4	0,1	0,1	560 625
Deney 45	0,5	0,1	0,1	561 273
Deney 46	0,6	0,1	0,1	560 953
Deney 47	0,7	0,1	0,1	559 287
Deney 48	0,8	0,1	0,1	558 561
Deney 49	0,9	0,1	0,1	560 494
Deney 50	0,3	0,15	0,1	561 316
Deney 51	0,4	0,15	0,1	558 369
Deney 52	0,5	0,15	0,1	559 396
Deney 53	0,6	0,15	0,1	560 319
Deney 54	0,7	0,15	0,1	559 279
Deney 55	0,8	0,15	0,1	560 071
Deney 56	0,9	0,15	0,1	559 432
Deney 57	0,3	0,2	0,1	561 410
Deney 58	0,4	0,2	0,1	558 896
Deney 59	0,5	0,2	0,1	560 904
Deney 60	0,6	0,2	0,1	560 740
Deney 61	0,7	0,2	0,1	560 697
Deney 62	0,8	0,2	0,1	561 571
Deney 63	0,9	0,2	0,1	561 149
Deney 64	0,3	0,3	0,1	560 169
Deney 65	0,4	0,3	0,1	560 773
Deney 66	0,5	0,3	0,1	562 414
Deney 67	0,6	0,3	0,1	559 224
Deney 68	0,7	0,3	0,1	562 589
Deney 69	0,8	0,3	0,1	560 895
Deney 70	0,9	0,3	0,1	560 351
Deney 71	0,3	0,05	0,05	559 512
Deney 72	0,4	0,05	0,05	560 494

EK 3 Genetik Algoritma Parametre Analizi Deneyleri (Devam)

Deney No	Çaprazlama Oranı (<i>cr</i>)	Mutasyon Oranı (<i>mr</i>)	Elitizm Oranı (<i>er</i>)	Uygunluk Fonksiyonu Değeri (<i>pb</i>)
Deney 73	0,5	0,05	0,05	561 707
Deney 74	0,6	0,05	0,05	561 564
Deney 75	0,7	0,05	0,05	562 346
Deney 76	0,8	0,05	0,05	560 253
Deney 77	0,9	0,05	0,05	560 994
Deney 78	0,3	0,1	0,05	561 051
Deney 79	0,4	0,1	0,05	562 491
Deney 80	0,5	0,1	0,05	560 896
Deney 81	0,6	0,1	0,05	559 716
Deney 82	0,7	0,1	0,05	562 441
Deney 83	0,8	0,1	0,05	560 994
Deney 84	0,9	0,1	0,05	561 471
Deney 85	0,3	0,15	0,05	561 680
Deney 86	0,4	0,15	0,05	560 341
Deney 87	0,5	0,15	0,05	560 300
Deney 88	0,6	0,15	0,05	561 949
Deney 89	0,7	0,15	0,05	560 021
Deney 90	0,8	0,15	0,05	560 656
Deney 91	0,9	0,15	0,05	560 896
Deney 92	0,3	0,2	0,05	561 041
Deney 93	0,4	0,2	0,05	561 680
Deney 94	0,5	0,2	0,05	562 589
Deney 95	0,6	0,2	0,05	560 235
Deney 96	0,7	0,2	0,05	561 151
Deney 97	0,8	0,2	0,05	560 254
Deney 98	0,9	0,2	0,05	559 860
Deney 99	0,3	0,3	0,05	560 901
Deney 100	0,4	0,3	0,05	561 645
Deney 101	0,5	0,3	0,05	561 714
Deney 102	0,6	0,3	0,05	561 569
Deney 103	0,7	0,3	0,05	560 904
Deney 104	0,8	0,3	0,05	561 920
Deney 105	0,9	0,3	0,05	561 685
Deney 106	0,5	0,4	0,05	560 181
Deney 107	0,6	0,4	0,05	561 391
Deney 108	0,7	0,4	0,05	558 936

EK 3 Genetik Algoritma Parametre Analizi Deneyleri (Devam)

Deney No	Çaprazlama Oranı (<i>cr</i>)	Mutasyon Oranı (<i>mr</i>)	Elitizm Oranı (<i>er</i>)	Uygunluk Fonksiyonu Değeri (<i>pb</i>)
Deney 109	0,8	0,4	0,05	562 314
Deney 110	0,5	0,4	0,1	560 240
Deney 111	0,6	0,4	0,1	561 526
Deney 112	0,7	0,4	0,1	560 705
Deney 113	0,8	0,4	0,1	558 771
Deney 114	0,5	0,4	0,15	562 314
Deney 115	0,6	0,4	0,15	556 634
Deney 116	0,7	0,4	0,15	559 871
Deney 117	0,8	0,4	0,15	559 301

EK 4 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Parametre Analizi Deneyleri

Deney No	Bilişsel ve Sosyal Faktörler (c_1, c_2)	Atalet Ağırlığı (w)	Uygunluk Fonksiyonu Değeri (pb)
Deney 1	0,1	0,9	560 240
Deney 2	0,2	0,9	551 442
Deney 3	0,3	0,9	546 566
Deney 4	0,4	0,9	548 043
Deney 5	0,5	0,9	547 021
Deney 6	0,6	0,9	542 784
Deney 7	0,7	0,9	551 919
Deney 8	0,8	0,9	545 894
Deney 9	0,9	0,9	553 659
Deney 10	1	0,9	551 046
Deney 11	2	0,9	543 307
Deney 12	3	0,9	536 477
Deney 13	4	0,9	539 132
Deney 14	0,1	0,8	558 994
Deney 15	0,2	0,8	558 961
Deney 16	0,3	0,8	558 146
Deney 17	0,4	0,8	557 771
Deney 18	0,5	0,8	544 742
Deney 19	0,6	0,8	553 545
Deney 20	0,7	0,8	548 840
Deney 21	0,8	0,8	548 342
Deney 22	0,9	0,8	557 995
Deney 23	1	0,8	544 864
Deney 24	2	0,8	544 554
Deney 25	3	0,8	540 897
Deney 26	4	0,8	542302
Deney 27	0,1	0,7	560 334
Deney 28	0,2	0,7	561 685
Deney 29	0,3	0,7	561 526
Deney 30	0,4	0,7	561 356
Deney 31	0,5	0,7	558 452
Deney 32	0,6	0,7	556 925
Deney 33	0,7	0,7	553 292
Deney 34	0,8	0,7	557 397
Deney 35	0,9	0,7	548 165
Deney 36	1	0,7	558 684

EK 4 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Parametre Analizi Deneyleri
(Devam)

Deney No	Bilişsel ve Sosyal Faktörler (c_1, c_2)	Atalet Ağırlığı (w)	Uygunluk Fonksiyonu Değeri (pb)
Deney 37	2	0,7	547 423
Deney 38	3	0,7	556 150
Deney 39	4	0,7	541 974
Deney 40	0,1	0,6	556 905
Deney 41	0,2	0,6	562 591
Deney 42	0,3	0,6	562 594
Deney 43	0,4	0,6	562 594
Deney 44	0,5	0,6	562 594
Deney 45	0,6	0,6	560 904
Deney 46	0,7	0,6	556 324
Deney 47	0,8	0,6	558 017
Deney 48	0,9	0,6	559 039
Deney 49	1	0,6	554 972
Deney 50	2	0,6	554 975
Deney 51	3	0,6	550 521
Deney 52	4	0,6	546 108
Deney 53	0,1	0,5	532 571
Deney 54	0,2	0,5	552 533
Deney 55	0,3	0,5	548 414
Deney 56	0,4	0,5	550 520
Deney 57	0,5	0,5	562 589
Deney 58	0,6	0,5	562 694
Deney 59	0,7	0,5	562 589
Deney 60	0,8	0,5	559 833
Deney 61	0,9	0,5	558 846
Deney 62	1	0,5	556 005
Deney 63	2	0,5	554 376
Deney 64	3	0,5	547 842
Deney 65	4	0,5	548 669
Deney 66	0,1	0,4	539 734
Deney 67	0,2	0,4	546 787
Deney 68	0,3	0,4	556 700
Deney 69	0,4	0,4	555 431
Deney 70	0,5	0,4	561 144
Deney 71	0,6	0,4	562 594

**EK 4 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Parametre Analizi Deneyleri
(Devam)**

Deney No	Bilişsel ve Sosyal Faktörler (c_1, c_2)	Atalet Ağırlığı (w)	Uygunluk Fonksiyonu Değeri (pb)
Deney 72	0,7	0,4	556 052
Deney 73	0,8	0,4	562 589
Deney 74	0,9	0,4	562 594
Deney 75	1	0,4	561 414
Deney 76	2	0,4	555 753
Deney 77	3	0,4	554 001
Deney 78	4	0,4	541 294
Deney 79	0,1	0,3	529 730
Deney 80	0,2	0,3	541 022
Deney 81	0,3	0,3	554 261
Deney 82	0,4	0,3	555 375
Deney 83	0,5	0,3	547 733
Deney 84	0,6	0,3	562 594
Deney 85	0,7	0,3	562 694
Deney 86	0,8	0,3	562 694
Deney 87	0,9	0,3	562 589
Deney 88	1	0,3	560 049
Deney 89	2	0,3	553 050
Deney 90	3	0,3	550 170
Deney 91	4	0,3	550 172
Deney 92	0,1	0,2	537 579
Deney 93	0,2	0,2	539 813
Deney 94	0,3	0,2	539 798
Deney 95	0,4	0,2	552 970
Deney 96	0,5	0,2	554 403
Deney 97	0,6	0,2	562 694
Deney 98	0,7	0,2	562 694
Deney 99	0,8	0,2	562 694
Deney 100	0,9	0,2	562 596
Deney 101	1	0,2	562 594
Deney 102	2	0,2	553 921
Deney 103	3	0,2	549 938
Deney 104	4	0,2	548 369
Deney 105	0,1	0,1	529 144
Deney 106	0,2	0,1	534 205

EK 4 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Parametre Analizi Deneyleri
(Devam)

Deney No	Bilişsel ve Sosyal Faktörler (c_1, c_2)	Atalet Ağırlığı (w)	Uygunluk Fonksiyonu Değeri (pb)
Deney 107	0,3	0,1	545 117
Deney 108	0,4	0,1	543 176
Deney 109	0,5	0,1	547 191
Deney 110	0,6	0,1	562 589
Deney 111	0,7	0,1	562 594
Deney 112	0,8	0,1	556 860
Deney 113	0,9	0,1	562 594
Deney 114	1	0,1	562 694
Deney 115	2	0,1	553 070
Deney 116	3	0,1	555 402
Deney 117	4	0,1	543 331

EK 5 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Parametre Analizi Deneyleri
(Atalet Ağırlığı Doğrusal Azalan)

Deney No	Bilişsel ve Sosyal Faktörler (c_1, c_2)	Atalet Ağırlığı (w)	Uygunluk Fonksiyonu Değeri (pb)
Deney 1	0,2	0,1-0,9	562 589
Deney 2	0,4	0,1-0,9	562 594
Deney 3	0,6	0,1-0,9	562 594
Deney 4	0,8	0,1-0,9	562 694
Deney 5	1	0,1-0,9	561 224
Deney 6	2	0,1-0,9	545 802
Deney 7	3	0,1-0,9	556 999
Deney 8	4	0,1-0,9	537 137
Deney 9	0,2	0,2-0,9	562 168
Deney 10	0,2	0,3-0,9	562 594
Deney 11	0,2	0,4-0,9	562 694
Deney 12	0,2	0,5-0,9	561 376
Deney 13	0,2	0,6-0,9	562 694
Deney 14	0,4	0,2-0,9	562 594
Deney 15	0,4	0,3-0,9	562 594
Deney 16	0,4	0,4-0,9	562 594
Deney 17	0,4	0,5-0,9	562 594
Deney 18	0,4	0,6-0,9	561 144
Deney 19	0,6	0,2-0,9	562 694
Deney 20	0,6	0,3-0,9	562 594
Deney 21	0,6	0,4-0,9	562 594
Deney 22	0,6	0,5-0,9	561 284
Deney 23	0,6	0,6-0,9	558 594
Deney 24	0,8	0,2-0,9	562 594
Deney 25	0,8	0,3-0,9	562 594
Deney 26	0,8	0,4-0,9	557 911
Deney 27	0,8	0,5-0,9	560 904
Deney 28	0,8	0,6-0,9	556 561
Deney 29	1	0,2-0,9	558 679
Deney 30	1	0,3-0,9	551 657
Deney 31	1	0,4-0,9	554 809
Deney 32	1	0,5-0,9	548 631
Deney 33	1	0,6-0,9	548 509

EK 6 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Parametre Analizi Deneyleri
(Atalet Ağırlığı Doğrusal Olmayan Biçimde Azalan)

Deney No	Bilişsel ve Sosyal Faktörler (c_1, c_2)	Atalet Ağırlığı (w)	Uygunluk Fonksiyonu Değeri (pb)
Deney 1	0,2	0,1-0,9	562 589
Deney 2	0,4	0,1-0,9	562 594
Deney 3	0,6	0,1-0,9	562 594
Deney 4	0,8	0,1-0,9	562 694
Deney 5	1	0,1-0,9	561 224
Deney 6	2	0,1-0,9	545 802
Deney 7	3	0,1-0,9	556 999
Deney 8	4	0,1-0,9	537 137
Deney 9	0,2	0,2-0,9	562 168
Deney 10	0,2	0,3-0,9	562 594
Deney 11	0,2	0,4-0,9	562 694
Deney 12	0,2	0,5-0,9	561 376
Deney 13	0,2	0,6-0,9	562 694
Deney 14	0,4	0,2-0,9	562 594
Deney 15	0,4	0,3-0,9	562 594
Deney 16	0,4	0,4-0,9	562 594
Deney 17	0,4	0,5-0,9	562 594
Deney 18	0,4	0,6-0,9	561 144
Deney 19	0,6	0,2-0,9	562 694
Deney 20	0,6	0,3-0,9	562 594
Deney 21	0,6	0,4-0,9	562 594
Deney 22	0,6	0,5-0,9	561 284
Deney 23	0,6	0,6-0,9	558 594
Deney 24	0,8	0,2-0,9	562 594
Deney 25	0,8	0,3-0,9	562 594
Deney 26	0,8	0,4-0,9	557 911
Deney 27	0,8	0,5-0,9	560 904
Deney 28	0,8	0,6-0,9	556 561
Deney 29	1	0,2-0,9	558 679
Deney 30	1	0,3-0,9	551 657
Deney 31	1	0,4-0,9	554 809
Deney 32	1	0,5-0,9	548 631
Deney 33	1	0,6-0,9	548 509

EK 7 Tüm İller İçin Tahmin Sistemi Sonuçları

		GM (1,1)	OGM(1,1)	FOGM(1,1)	MFOGM (1,1)
	İller	% OMYH	% OMYH	% OMYH	% OMYH
1	Adana	39,878	36,280	8,330	
2	Adıyaman	24,591	23,985	16,459	
3	Afyonkarahisar	16,061	14,762	2,950	
4	Ağrı	12,025	10,984	3,851	
5	Amasya	15,203	13,483	13,490	
6	Ankara	6,068	5,991	6,352	
7	Antalya	6,467	6,467	5,864	
8	Artvin	28,671	32,737	19,252	
9	Aydın	14,066	13,825	10,705	
10	Balıkesir	13,818	13,788	8,168	
11	Bilecik	6,774	6,657	2,564	
12	Bingöl	34,134	29,821	20,961	
13	Bitlis	78,821	71,560	55,375	
14	Bolu	41,032	38,538	9,318	
15	Burdur	12,502	11,127	9,362	
16	Bursa	7,401	7,336	5,703	
17	Çanakkale	24,452	21,919	20,833	17,354
18	Çankırı	23,049	22,674	19,673	
19	Çorum	8,936	6,777	8,099	
20	Denizli	13,657	12,880	2,374	
21	Diyarbakır	18,055	17,079	4,913	
22	Edirne	32,331	29,042	8,177	
23	Elazığ	16,730	14,943	16,906	
24	Erzincan	15,368	14,307	5,139	
25	Erzurum	10,000	9,947	9,528	
26	Eskişehir	12,220	12,500	9,180	
27	Gaziantep	11,825	11,566	6,311	
28	Giresun	11,189	10,420	2,392	
29	Gümüşhane	28,385	26,870	20,910	15,158
30	Hakkari	29,537	26,204	18,727	
31	Hatay	26,166	23,732	9,114	
32	Isparta	23,121	23,331	18,609	
33	Mersin	21,508	19,575	6,534	
34	İstanbul	4,120	3,838	2,754	
35	İzmir	15,135	14,197	5,829	

EK 7 Tüm İller İçin Tahmin Sistemi Sonuçları (Devamı)

		GM (1,1)	OGM(1,1)	FOGM(1,1)	MFOGM (1,1)
	İller	% OMYH	% OMYH	% OMYH	% OMYH
36	Kars	46,913	33,092	46,065	22,883
37	Kastamonu	27,744	26,588	14,162	
38	Kayseri	10,033	9,926	9,209	
39	Kırklareli	26,962	25,649	12,580	
40	Kırşehir	21,408	20,065	12,807	
41	Kocaeli	7,970	7,760	2,969	
42	Konya	14,160	14,275	10,116	
43	Kütahya	15,129	14,353	6,145	
44	Malatya	16,963	15,821	12,500	
45	Manisa	19,736	16,057	15,663	
46	Kahramanmaraş	19,233	17,831	15,927	
47	Mardin	14,871	13,020	13,013	
48	Muğla	16,293	15,494	8,450	
49	Muş	69,505	60,662	30,322	21,282
50	Nevşehir	4,383	4,190	4,527	
51	Niğde	16,468	15,828	7,176	
52	Ordu	14,766	12,680	12,264	
53	Rize	16,371	14,599	14,661	
54	Sakarya	11,556	11,204	5,575	
55	Samsun	13,429	12,046	16,083	
56	Siirt	24,285	22,855	7,556	
57	Sinop	34,195	30,065	15,675	
58	Sivas	16,136	15,713	10,276	
59	Tekirdağ	13,130	12,379	2,575	
60	Tokat	20,768	20,523	10,523	
61	Trabzon	9,209	8,357	7,360	
62	Tunceli	33,889	25,556	21,111	
63	Şanlıurfa	13,456	11,308	13,492	
64	Uşak	26,955	24,438	11,967	
65	Van	22,913	21,086	8,420	
66	Yozgat	11,158	11,065	7,686	
67	Zonguldak	24,598	23,834	10,186	
68	Aksaray	10,073	9,495	8,236	
69	Bayburt	72,698	63,968	32,738	
70	Karaman	16,536	14,095	13,699	
71	Kırıkkale	10,239	9,756	6,138	
72	Batman	22,035	21,394	16,469	

EK 7 Tüm İller İçin Tahmin Sistemi Sonuçları (Devamı)

		GM (1,1)	OGM(1,1)	FOGM(1,1)	MFOGM (1,1)
	İller	% OMYH	% OMYH	% OMYH	% OMYH
73	Şırnak	23,617	22,506	6,867	
74	Bartın	19,052	17,022	5,418	
75	Ardahan	32,738	28,690	30,640	19,940
76	Iğdır	15,806	15,528	15,269	
77	Yalova	4,617	3,854	3,237	
78	Karabük	30,790	23,936	31,353	15,697
79	Kilis	10,093	9,660	6,326	
80	Osmaniye	29,195	28,519	5,835	
81	Düzce	28,515	20,410	17,901	

EK 8 Tüm İller İçin Gelecek Dönem Tahmin Sonuçları (Adet Araç)

	İller	Yıllar				
		2015	2016	2017	2018	2019
1	Adana	438	180	113	345	386
2	Adıyaman	28	8	14	19	18
3	Afyonkarahisar	77	20	27	69	50
4	Ağrı	39	28	29	39	37
5	Amasya	37	31	25	21	17
6	Ankara	1877	1862	1848	1833	1819
7	Antalya	266	174	143	158	126
8	Artvin	22	15	12	29	14
9	Aydın	102	66	57	104	56
10	Balıkesir	134	85	68	136	76
11	Bilecik	31	22	19	23	21
12	Bingöl	10	6	6	10	8
13	Bitlis	47	54	62	86	97
14	Bolu	125	70	59	112	124
15	Burdur	33	21	17	36	20
16	Bursa	252	144	164	227	167
17	Çanakkale	43	37	12	88	24
18	Çankırı	27	13	21	34	24
19	Çorum	51	43	35	30	25
20	Denizli	109	23	48	108	62
21	Diyarbakır	102	57	57	97	90
22	Edirne	104	30	50	80	80
23	Elazığ	119	132	145	161	178
24	Erzincan	45	32	29	42	46
25	Erzurum	187	186	190	196	200
26	Eskişehir	70	68	77	47	15
27	Gaziantep	311	274	274	330	351
28	Giresun	20	13	15	25	9
29	Gümüşhane	5	4	1	11	3
30	Hakkari	9	4	5	10	7
31	Hatay	205	125	115	163	166
32	Isparta	103	67	59	75	75
33	Mersin	242	103	138	192	189
34	İstanbul	976	952	838	651	550
35	İzmir	961	652	558	787	807
36	Kars	6	5	2	4	2
37	Kastamonu	47	22	18	57	30

EK 8 Tüm İller İçin Gelecek Dönem Tahmin Sonuçları (Adet Araç) (Devamı)

	İller	Yıllar				
		2015	2016	2017	2018	2019
38	Kayseri	633	635	620	648	693
39	Kırklareli	78	30	43	58	61
40	Kırşehir	110	101	104	122	145
41	Kocaeli	190	152	103	147	131
42	Konya	248	164	137	238	148
43	Kütahya	193	118	120	187	178
44	Malatya	280	306	349	402	488
45	Manisa	111	70	60	135	61
46	Kahramanmaraş	55	35	29	58	33
47	Mardin	28	15	20	28	19
48	Muğla	88	50	41	109	47
49	Muş	13	4	3	16	10
50	Nevşehir	52	46	41	37	33
51	Niğde	29	12	10	23	20
52	Ordu	34	25	29	44	15
53	Rize	28	23	20	17	14
54	Sakarya	185	150	135	167	175
55	Samsun	111	95	81	69	59
56	Siirt	16	5	7	15	13
57	Sinop	46	22	19	35	35
58	Sivas	70	18	46	66	45
59	Tekirdağ	156	101	119	145	135
60	Tokat	56	38	33	52	34
61	Trabzon	89	44	57	83	56
62	Tunceli	6	6	5	5	7
63	Şanlıurfa	333	380	434	496	568
64	Uşak	92	32	60	91	72
65	Van	66	30	33	62	52
66	Yozgat	58	34	41	49	40
67	Zonguldak	98	24	46	79	74
68	Aksaray	64	43	49	52	52
69	Bayburt	9	2	2	8	7
70	Karaman	12	8	14	20	4
71	Kırıkkale	91	82	81	101	111
72	Batman	18	7	9	19	14
73	Şırnak	7	4	3	7	4
74	Bartın	23	6	11	20	16

EK 8 Tüm İller İçin Gelecek Dönem Tahmin Sonuçları (Adet Araç) (Devamı)

	Yıllar					
	İller	2015	2016	2017	2018	2019
75	Ardahan	9	16	9	27	8
76	İğdır	28	30	29	30	35
77	Yalova	16	11	10	10	9
78	Karabük	14	26	11	48	10
79	Kilis	3	4	4	2	1
80	Osmaniye	108	71	69	109	113
81	Düzce	214	255	299	389	525

EK 9 Bölgelerdeki Toplam Araç Sayısına Göre Alternatif İllerin Belirlenmesi
(2012 Aralık)

Batı Marmara				
İl Kodu	İl Adı	Araç Adedi	Bölge Toplamına Oranı	Kümülatif Oran
59	Balıkesir	361 079	0,39	% 39
22	Tekirdağ	187 665	0,20	% 59
39	Çanakkale	167 198	0,18	% 77
17	Edirne	122 491	0,13	% 90
10	Kırklareli	94 993	0,10	% 100
Toplam araç adedi		933 426		

İstanbul				
İl Kodu	İl Adı	Araç Adedi	Bölge Toplamına Oranı	Kümülatif Oran
34	İstanbul	3 065 465	1	% 100
Toplam araç adedi		3 065 465		

Doğu Marmara				
İl Kodu	İl Adı	Araç Adedi	Bölge Toplamına Oranı	Kümülatif Oran
16	Bursa	607 585	0,39	% 39
41	Kocaeli	276 210	0,18	% 57
54	Eskişehir	209 910	0,14	% 71
77	Sakarya	198 851	0,13	% 84
14	Bolu	86 284	0,06	% 89
81	Düzce	76 994	0,05	% 94
26	Bilecik	49 450	0,03	% 97
11	Yalova	40 954	0,03	% 100
Toplam araç adedi		1 546 238		

Ege				
İl Kodu	İl Adı	Araç Adedi	Bölge Toplamına Oranı	Kümülatif Oran
35	İzmir	1 062 946	0,36	% 36
9	Manisa	458 273	0,15	% 51
20	Muğla	363 762	0,12	% 64
48	Aydın	329 011	0,11	% 75
45	Denizli	303 011	0,10	% 85
3	Afyonkarahisar	170 684	0,06	% 91
43	Kütahya	167 741	0,06	% 97
64	Uşak	102 937	0,03	% 100
Toplam araç adedi		2 958 365		

**EK 9 Bölgelerdeki Toplam Araç Sayısına Göre Alternatif İllerin Belirlenmesi
(2012 Aralık) (Devam)**

Orta Anadolu				
İl Kodu	İl Adı	Araç Adedi	Bölge Toplamına Oranı	Kümülatif Oran
68	Kayseri	278 029	0,33	% 33
50	Sivas	116 696	0,14	% 48
51	Nevşehir	87 385	0,11	% 58
40	Aksaray	86 424	0,10	% 68
38	Yozgat	82 793	0,10	% 78
58	Niğde	76 886	0,09	% 88
66	Kırıkkale	53 894	0,06	% 94
71	Kırşehir	48 717	0,06	% 100
Toplam araç adedi		830 824		

Batı Anadolu				
İl Kodu	İl Adı	Araç Adedi	Bölge Toplamına Oranı	Kümülatif Oran
6	Ankara	1 436 349	0,70	% 70
42	Konya	556 391	0,27	% 96
70	Karaman	73 676	0,04	% 100
Toplam araç adedi		2 066 416		

Akdeniz				
İl Kodu	İl Adı	Araç Adedi	Bölge Toplamına Oranı	Kümülatif Oran
7	Antalya	792 595	0,30	% 30
1	Adana	508 751	0,19	% 49
33	Mersin	460 568	0,17	% 66
31	Hatay	373 274	0,14	% 80
46	Kahramanmaraş	165 166	0,06	% 86
32	Isparta	137 719	0,05	% 91
80	Osmaniye	120 295	0,05	% 96
15	Burdur	107 084	0,04	% 100
Toplam araç adedi		2 665 452		

**EK 9 Bölgelerdeki Toplam Araç Sayısına Göre Alternatif İllerin Belirlenmesi
(2012 Aralık) (Devam)**

Doğu Karadeniz				
İl Kodu	İl Adı	Araç Adedi	Bölge Toplamına Oranı	Kümülatif Oran
61	Trabzon	127 663	0,33	% 33
52	Ordu	96 193	0,25	% 58
28	Giresun	62 008	0,16	% 74
53	Rize	54 942	0,14	% 88
8	Artvin	27 359	0,07	% 96
29	Gümüşhane	17 137	0,04	% 100
Toplam araç adedi		385 302		

Batı Karadeniz				
İl Kodu	İl Adı	Araç Adedi	Bölge Toplamına Oranı	Kümülatif Oran
67	Samsun	257 765	0,26	% 26
55	Çorum	137 183	0,14	% 39
78	Tokat	134 763	0,13	% 53
74	Zonguldak	120 911	0,12	% 65
18	Kastamonu	99 626	0,10	% 74
57	Amasya	85 351	0,08	% 83
37	Karabük	50 765	0,05	% 88
19	Sinop	45 098	0,04	% 92
60	Bartın	38 471	0,04	% 96
5	Çankırı	37 413	0,04	% 100
Toplam araç adedi		1 007 346		

Kuzey Doğu Anadolu				
İl Kodu	İl Adı	Araç Adedi	Bölge Toplamına Oranı	Kümülatif Oran
25	Erzurum	93 109	0,37	% 37
24	Erzincan	45 128	0,18	% 56
36	Kars	35 634	0,14	% 70
4	Ağrı	29 514	0,12	% 82
76	Iğdır	21 729	0,09	% 90
75	Ardahan	13 116	0,05	% 96
69	Bayburt	10 649	0,04	% 100
Toplam araç adedi		248 879		

**EK 9 Bölgelerdeki Toplam Araç Sayısına Göre Alternatif İllerin Belirlenmesi
(2012 Aralık) (Devam)**

Orta Doğu Anadolu				
İl Kodu	İl Adı	Araç Adedi	Bölge Toplamına Oranı	Kümülatif Oran
23	Malatya	121 542	0,35	% 25
44	Elazığ	86 800	0,25	% 59
65	Van	71 081	0,20	% 80
49	Muş	25 360	0,07	% 87
13	Bitlis	17 674	0,05	% 92
12	Bingöl	12 778	0,04	% 95
30	Hakkari	9 560	0,03	% 98
62	Tunceli	6 357	0,02	% 100
Toplam araç adedi		351 152		

Güney Doğu Anadolu				
İl Kodu	İl Adı	Araç Adedi	Bölge Toplamına Oranı	Kümülatif Oran
21	Gaziantep	378 144	0,39	% 23
63	Şanlıurfa	228 449	0,23	% 35
27	Diyarbakır	111 074	0,11	% 74
2	Adıyaman	75 849	0,08	% 81
47	Mardin	62 043	0,06	% 88
72	Batman	40 661	0,04	% 92
79	Kilis	33 782	0,03	% 95
73	Şırnak	28 772	0,03	% 98
56	Siirt	15 774	0,02	% 100
Toplam araç adedi		974 548		

EK 10 Arsa m² Fiyatları (2010 Yılı Asgari Ölçüde Arsa ve Arazi Metrekare Birim Değerleri) ve Tesis Açma Arsa Maliyetleri

İl Kodu	İl Adı	m ² fiyat (₺)	Söküm/Ara Depolama Tesisi İçin Arsa Maliyeti (₺)	İşleme Tesisi İçin Arsa Maliyeti (₺)
1	Adana	50	50 000	650 000
2	Adıyaman	25	25 000	325 000
3	Afyon	50	50 000	650 000
4	Ağrı	3	3 000	39 000
5	Amasya	15	15 000	195 000
6	Ankara	110-325	110 000-325 000	1 430 000-4 225 000
7	Antalya	40-120	40 000-120 000	520 000-1 560 000
8	Artvin	100	100 000	1 300 000
9	Aydın	15-35	15 000-35 000	195 000-455 000
10	Balıkesir	46	46 000	598 000
11	Bilecik	7-20	7 000-20 000	91 000-260 000
12	Bingöl	35	35 000	455 000
13	Bitlis	40	40 000	520 000
14	Bolu	25-75,5	25 000-75 500	325 000-981 500
15	Burdur	60	60 000	780 000
16	Bursa	150-515	150 000-515 000	1 950 000-6 695 000
17	Çanakkale	200	200 000	2 600 000
18	Çankırı	10	10 000	130 000
19	Çorum	7-9,8	7 000-9 800	91 000-127 400
20	Denizli	15	15 000	195 000
21	Diyarbakır	6,5-15	6 500-15 000	84 500-195 000
22	Edirne	35-40	35 000-40 000	455 000-520 000
23	Elazığ	10-13	10 000-13 000	130 000-169 000
24	Erzincan	42	42 000	546 000
25	Erzurum	4-26	4 000-26 000	52 000-338 000
26	Eskişehir	50	50 000	650 000
27	Gaziantep	4-10	4 000-10 000	52 000-130 000
28	Giresun	70-80	70 000-80 000	910 000-1 040 000
29	Gümüşhane	4,6	4 600	59 800
30	Hakkari	7-8	7 000-8 000	91 000-104 000
31	Hatay	200	200 000	2 600 000
32	Isparta	14	14 000	182 000
33	Mersin	10	10 000	130 000
34	İstanbul	300-1 000	300 000-1 000 000	3 900 000-13 000 000

EK 10 Arsa m² Fiyatları (2010 Yılı Asgari Ölçüde Arsa ve Arazi Metrekare Birim Değerleri) ve Tesis Açma Arsa Maliyetleri (Devam)

İl Kodu	İl Adı	m ² fiyat (₺)	Söküm/Ara Depolama Tesisi İçin Arsa Maliyeti (₺)	İşleme Tesisi İçin Arsa Maliyeti (₺)
35	İzmir	150	150 000	1 950 000
36	Kars	8-17	8 000-17 000	104 000-221 000
37	Kastamonu	8-16,85	8 000-16 850	104 000-219 050
38	Kayseri	20	20 000	260 000
39	Kırklareli	13-55	13 000-55 000	169 000-715 000
40	Kırşehir	25	25 000	325 000
41	Kocaeli	115-150	115 000-150 000	1 495 000-1 950 000
42	Konya	4-15	4 000-15 000	52 000-195 000
43	Kütahya	6-12	6 000-12 000	78 000-156 000
44	Malatya	20-60	20 000-60 000	260 000-780 000
45	Manisa	50-125	50 000-125 000	650 000-1 625 000
46	Maraş	50	50 000	650 000
47	Mardin	12-15	12 000-15 000	156 000-195 000
48	Muğla	11-12	11 000-12 000	143 000-156 000
49	Muş	18	18 000	234 000
50	Nevşehir	15-35	15 000-35 000	195 000-455 000
51	Niğde	30-46	30 000-46 000	390 000-598 000
52	Ordu	17-50	17 000-50 000	221 000-650000
53	Rize	1000	1 000 000	13 000 000
54	Sakarya	25-60	25 000-60 000	325 000-780 000
55	Samsun	125-150	125 000-150 000	1 625 000-1 950 000
56	Siirt	7	7 000	91 000
57	Sinop	17-150	17 000-150 000	221 000-1 950 000
58	Sivas	20	20 000	260 000
59	Tekirdağ	15-80	15 000-80 000	195000-1 040 000
60	Tokat	7-10	7 000-10 000	91 000-130 000
61	Trabzon	3-70	3 000-70 000	39 000-910 000
62	Tunceli	47	47 000	611 000
63	Şanlıurfa	4	4 000	52 000
64	Uşak	4-40	4 000-40 000	52 000-520 000
65	Van	80	80 000	1 040 000
66	Yozgat	5-12	5 000-12 000	65 000-156 000
67	Zonguldak	10-200	10 000-200 000	130 000-2 600 000

**EK 10 Arsa m² Fiyatları (2010 Yılı Asgari Ölçüde Arsa ve Arazi Metrekare
Birim Değerleri) ve Tesis Açma Arsa Maliyetleri (Devam)**

İl Kodu	İl Adı	m ² fiyat (₺)	Söküm/Ara Depolama Tesisi İçin Arsa Maliyeti (₺)	İşleme Tesisi İçin Arsa Maliyeti (₺)
68	Aksaray	25-45	25 000-45 000	325 000-585 000
69	Bayburt	21,04	21 040	273 520
70	Karaman	6,5	6 500	84 500
71	Kırıkkale	8-20	8 000-20 000	104 000-260 000
72	Batman	50	50 000	650 000
73	Şırnak	15	15 000	195 000
74	Bartın	12	12 000	156 000
75	Ardahan	6,84	6 840	88 920
76	Iğdır	10	10 000	130 000
77	Yalova	250	250 000	3 250 000
78	Karabük	20-43,15	20 000-43 150	260 000-56 0950
79	Kilis	25	25 000	325 000
80	Osmaniye	6	6 000	78 000
81	Düzce	13-50	13 000-50 000	169 000-650 000

EK 11 ÖTA-TTZ Ağ Tasarım Sonuçları (2015, 2016, 2017, 2018, 2019)

Toplama Merkezi Lokasyonu	Söküm/Ara Depolama Tesisi Lokasyonu	Gönderilen Miktar (Adet/Yıl)
Adana	Niğde	438 \ 180 \ 113 \ 345 \ 386
Adıyaman	Malatya	28 \ 8 \ 14 \ 19 \ 18
Afyonkarahisar	Manisa	77 \ 20 \ 27 \ 69 \ 50
Ağrı	Malatya	39 \ 28 \ 29 \ 39 \ 37
Amasya	Zonguldak	37 \ 31 \ 25 \ 21 \ 17
Ankara	Kocaeli,Zonguldak	1 877 \ 1 862 \ 1 848 \ 1 833 \ 1 074-745
Antalya	Manisa	266 \ 174 \ 143 \ 158 \ 126
Artvin	Malatya	22 \ 15 \ 12 \ 29 \ 14
Aydın	Manisa	102 \ 66 \ 57 \ 104 \ 56
Balıkesir	Manisa	134 \ 85 \ 68 \ 136 \ 76
Bilecik	İstanbul	31 \ 22 \ 19 \ 23 \ 21
Bingöl	Malatya	10 \ 6 \ 6 \ 10 \ 8
Bitlis	Malatya	47 \ 54 \ 62 \ 86 \ 97
Bolu	İstanbul	125 \ 70 \ 59 \ 112 \ 124
Burdur	Manisa	33 \ 21 \ 17 \ 36 \ 20
Bursa	İstanbul	252 \ 144 \ 164 \ 227 \ 167
Çanakkale	İstanbul	43 \ 37 \ 12 \ 88 \ 24
Çankırı	Zonguldak	27 \ 13 \ 21 \ 34 \ 24
Çorum	Zonguldak	51 \ 43 \ 35 \ 30 \ 25
Denizli	Manisa	109 \ 23 \ 48 \ 108 \ 62
Diyarbakır	Malatya	102 \ 57 \ 57 \ 97 \ 90
Edirne	İstanbul	104 \ 30 \ 50 \ 80 \ 80
Elazığ	Malatya	119 \ 132 \ 145 \ 161 \ 178
Erzincan	Malatya	45 \ 32 \ 29 \ 42 \ 46
Erzurum	Malatya	187 \ 186 \ 190 \ 196 \ 200
Eskişehir	İstanbul, Manisa	13-57 \ 68 \ 77 \ 47 \ 15
Gaziantep	Niğde,Malatya	311 \ 274 \ 268-6 \ 330 \ 351
Giresun	Malatya	20 \ 13 \ 15 \ 25 \ 9
Gümüşhane	Malatya	5 \ 4 \ 1 \ 11 \ 3
Hakkari	Malatya	9 \ 4 \ 5 \ 10 \ 7
Hatay	Niğde	205 \ 125 \ 115 \ 163 \ 166
Isparta	Manisa	103 \ 67 \ 59 \ 75 \ 75
Mersin	Niğde	242 \ 103 \ 138 \ 192 \ 189
İstanbul	İstanbul	976 \ 952 \ 838 \ 651 \ 550
İzmir	Manisa	961 \ 652 \ 558 \ 787 \ 807
Kars	Malatya	6 \ 5 \ 2 \ 4 \ 2

**EK 11 ÖTA-TTZ Ağ Tasarım Sonuçları (2015, 2016, 2017, 2018, 2019)
(Devam)**

Toplama Merkezi Lokasyonu	Söküm/Ara Depolama Tesisi Lokasyonu	Gönderilen Miktar (Adet/Yıl)
Kastamonu	Zonguldak	47 \ 22 \ 18 \ 57 \ 30
Kayseri	Niğde	633 \ 635 \ 620 \ 648 \ 693
Kırklareli	İstanbul	78 \ 30 \ 43 \ 58 \ 61
Kırşehir	Zonguldak	110 \ 101 \ 104 \ 122 \ 145
Kocaeli	İstanbul	190 \ 152 \ 103 \ 147 \ 131
Konya	Manisa, Niğde	248 \ 164 \ 137 \ 107-131 \ 148
Kütahya	Manisa	193 \ 118 \ 120 \ 187 \ 178
Malatya	Malatya	280 \ 306 \ 349 \ 402 \ 488
Manisa	Manisa	111 \ 70 \ 60 \ 135 \ 61
K.Maraş	Niğde	55 \ 35 \ 29 \ 58 \ 33
Mardin	Malatya	28 \ 15 \ 20 \ 28 \ 19
Muğla	Manisa	88 \ 50 \ 41 \ 109 \ 47
Muş	Malatya	13 \ 4 \ 3 \ 16 \ 10
Nevşehir	Nevşehir	52 \ 46 \ 41 \ 37 \ 33
Niğde	Nevşehir	29 \ 12 \ 10 \ 23 \ 20
Ordu	Malatya	34 \ 25 \ 29 \ 44 \ 15
Rize	Malatya	28 \ 23 \ 20 \ 17 \ 14
Sakarya	İstanbul	185 \ 150 \ 135 \ 167 \ 175
Samsun	Malatya	111 \ 95 \ 81 \ 69 \ 59
Siirt	Malatya	16 \ 5 \ 7 \ 15 \ 13
Sinop	Zonguldak	46 \ 22 \ 19 \ 35 \ 35
Sivas	Niğde	70 \ 18 \ 46 \ 66 \ 45
Tekirdağ	İstanbul	156 \ 101 \ 119 \ 145 \ 135
Tokat	Niğde	56 \ 38 \ 33 \ 52 \ 34
Trabzon	Malatya	89 \ 44 \ 57 \ 83 \ 56
Tunceli	Malatya	6 \ 6 \ 5 \ 5 \ 7
Ş.Urfa	Malatya	333 \ 380 \ 434 \ 496 \ 568
Uşak	Manisa	92 \ 32 \ 60 \ 91 \ 72
Van	Malatya	66 \ 30 \ 33 \ 62 \ 52
Yozgat	Zonguldak	58 \ 34 \ 41 \ 49 \ 40
Zonguldak	Kocaeli	98 \ 24 \ 46 \ 79 \ 74
Aksaray	Zonguldak	40 \ 64 \ 43 \ 49 \ 52
Bayburt	Malatya	64 \ 43 \ 49 \ 52 \ 12-40
Karaman	Niğde	9 \ 2 \ 2 \ 8 \ 7
Kırıkkale	Zonguldak	12 \ 8 \ 14 \ 20 \ 4

**EK 11 ÖTA-TTZ Ağ Tasarım Sonuçları (2015, 2016, 2017, 2018, 2019)
(Devam)**

Toplama Merkezi Lokasyonu	Söküm/Ara Depolama Tesisi Lokasyonu	Gönderilen Miktar (Adet/Yıl)
Batman	Malatya	91 \ 82 \ 81 \ 101 \ 111
Şırnak	Malatya	18 \ 7 \ 9 \ 19 \ 14
Bartın	Kocaeli	7 \ 4 \ 3 \ 7 \ 4
Ardahan	Malatya	23 \ 6 \ 11 \ 20 \ 16
Iğdır	Malatya	9 \ 16 \ 9 \ 27 \ 8
Yalova	İstanbul	28 \ 30 \ 29 \ 30 \ 35
Karabük	Kocaeli	16 \ 11 \ 10 \ 10 \ 9
Kilis	Malatya	14 \ 26 \ 11 \ 48 \ 10
Osmaniye	Niğde	3 \ 4 \ 4 \ 2 \ 1
Düzce	İstanbul	108 \ 71 \ 69 \ 109 \ 113
Söküm/Ara Depolama Tesisi Lokasyonu	İşleme Tesisi Lokasyonu	Gönderilen Miktar (Adet/Yıl)
İstanbul	İstanbul	2 383 \ 1 954 \ 1 851 \ 2 097 \ 2 002
Kocaeli	İstanbul, İzmir	20 12 \ 1 201- 717 \ 1 916 \ 1 980 \ 1 174
Manisa	İzmir	2 574 \ 1 610 \ 1 472 \ 2 149 \ 1 645
Zonguldak	İzmir	531 \ 391 \ 393 \ 501 \ 1 184
Niğde	Gaziantep	432-1 779 \ 1 545 \ 1 496 \ 1 844 \ 1 904
Malatya	Gaziantep	1 717 \ 1 540 \ 1 667 \ 2 389 \ 2 430
Söküm/Ara Depolama Tesisi Lokasyonu	Elden Çıkarma Merkezi Lokasyonu	Gönderilen Miktar (Ton malzeme /Yıl)
İstanbul	İstanbul	357,45 \ 293,10 \ 277,65 \ 314,55 \ 300,30
Kocaeli	Kocaeli	301,80 \ 287,7 \ 287,40 \ 297,00 \ 176,1
Manisa	İzmir	386,10 \ 241,50 \ 220,80 \ 322,35 \ 246,75
Zonguldak	Düzce	79,65 \ 58,65 \ 58,95 \ 75,15 \ 177,60
Niğde	Niğde	331,65 \ 231,75 \ 224,40 \ 276,60 \ 285,60

**EK 11 ÖTA-TTZ Ağ Tasarım Sonuçları (2015, 2016, 2017, 2018, 2019)
(Devam)**

Söküm/Ara Depolama Tesisi Lokasyonu	Elden Çıkarma Merkezi Lokasyonu	Gönderilen Miktar (Ton malzeme /Yıl)
Malatya	Malatya	257,55 \ 231,00 \ 250,05 \ 358,35 \ 364,50
İşleme Tesisi Lokasyonu	Geri Dönüşüm Merkezi Lokasyonu	Gönderilen Miktar (Ton malzeme/Yıl)
İstanbul	Eskişehir, Düzce	3 955,5 \ 2 584,5- 255,0 \ 1 665,9 \ 1 887,3 \ 1 801,8
İzmir	İzmir, Uşak, Kütahya, Aydın	3 183,3 \ 10 70,7-1 375,5 \ 3 402,9 \ 1 491,6-2 675,4 \ 2 705,1-897,6
Gaziantep	Osmaniye, Hatay, Düzce, Kahramanmaraş	3 146,4 \ 1 953,6-822,9 \ 2 846,7 \ 3 809,7 \ 3 195,9- 540,0-164,7
İşleme Tesisi Lokasyonu	Elden Çıkarma Merkezi Lokasyonu	Gönderilen Miktar (Ton malzeme/Yıl)
İstanbul	İstanbul	439,5 \ 315,5 \ 185,1 \ 209,7 \ 200,2
İzmir	İzmir	353,7 \ 271,8 \ 378,1 \ 463,0 \ 400,3
Gaziantep	Gaziantep	349,6 \ 308,5 \ 316,3 \ 423,3 \ 433,4
Söküm/Ara Depolama Tesisi Lokasyonu	Tekrar Kullanım Merkezi Lokasyonu	Gönderilen Miktar (Adet parça/Yıl)
İstanbul	İstanbul	14 298 / 11 724 / 11 106 / 12 582 / 12 012
Manisa	İzmir	15 444 / 9 660 / 8 832 / 12 894 / 9 870
Kocaeli	İstanbul	12 072 / 11 508 / 11 496 / 11 880 / 7 044
Niğde	İstanbul	13 266 / 9 270 / 8 976 / 11 064 / 11 424

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Seval ENE
Doğum Yeri ve Tarihi : Lüleburgaz, 05/01/1985
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Lüleburgaz Anadolu Lisesi, 2003
Lisans : Uludağ Üniversitesi, 2007
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, 2010

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Uludağ Üniversitesi (2008-Halen)
İletişim (e-posta) : sevalene@uludag.edu.tr
Yayımları :

(SCI, SCI-E ve diğer uluslararası indekslerce taranan dergilerde yayımlanan makaleler yazılmıştır.)

Ene, S., Öztürk, N. 2015. Network modeling for reverse flows of end-of-life vehicles. *Waste Management*, 38: 284-296.

Küçüköğlü, İ., Ene, S., Aksoy, A., Öztürk, N. 2015. A memory structure adapted simulated annealing algorithm for a green vehicle routing problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 22: 3279-3297.

Ene, S., Öztürk, N. 2012. Storage location assignment and order picking optimization in the automotive industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60: 787-797.

Ene, S., Öztürk, N. 2014. Open loop reverse supply chain network design. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 109: 1110-1115.

Aksoy, A., Küçüköğlü, İ., Ene, S., Öztürk, N. 2014. Integrated emission and fuel consumption calculation model for green supply chain management. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 109: 1106-1109.

Küçüköğlü, İ., Ene, S., Aksoy, A., Öztürk, N. 2013. A green capacitated vehicle routing problem with fuel consumption optimization model. *International Journal of Computational Engineering Research*, 03(7): 16-23.

Küçüköğlü, İ., Aksoy, A., Ene, S., Öztürk, N. 2013. A mathematical model for two dimensional loading problem in cross-docking network design. *Mathematical & Computational Applications*, 18(3): 273-282.