

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERSİNE LOJİSTİK AĞLARININ STRATEJİK
PLANLAMASINA YÖNELİK META-SEZGİSEL BİR
YAKLAŞIM**

Endüstri Yük. Müh. Gülfem TUZKAYA

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 22 Ekim 2008
Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Bahadır GÜLSÜN (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL (YTÜ)
: Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN (İTÜ)
: Y. Doç. Dr. Şule ÖNSEL (Doğuş Üniversitesi)
: Y. Doç. Dr. Semih ÖNÜT (YTÜ)

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
2. TERSİNE LOJİSTİK: GENEL TANIMLAR VE KAPSAM.....	4
2.1 Tersine Lojistikte Temel Kavramlar.....	4
2.1.1 İleri ve tersine lojistik arasındaki farklar	4
2.1.2 Tersine lojistik terminolojisi	5
2.1.3 Kuruluşların tersine lojistik faaliyetlerini uygulama sebepleri	5
2.1.4 Tersine lojistikte hareket kaynakları.....	6
2.1.5 Tersine lojistiğin bileşenleri	9
2.2 Tersine Lojistik Ağları	10
2.2.1 Tersine lojistik ağlarında işlem adımları.....	11
2.2.2 Tersine lojistik ağlarının diğer lojistik ağları ile karşılaştırılması.....	12
2.2.3 Tersine lojistik ağlarının sınıflandırılması	13
2.2.4 Ağ kavramının boyutları	14
2.3 Merkezi Toplama Merkezi Kavramı.....	15
2.4 Elektikli-Elektronik Atıkların Geri Dönüşümü.....	18
2.4.1 EEEA ürünlerinin karakteristikleri	19
2.4.2 Elektrik-elektronik ekipman atıkları yönergesi.....	20
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	21
3.1 Tersine Lojistik Literatürü	21
3.2 Tesis Yer Seçimi Problemleri Literatürü	22
3.3 Tersine Lojistikte Ağ Tasarımı Problemi Literatürü	24
4. TEZ KAPSAMINDA YARARLANILAN ÇÖZÜM TEKNİKLERİ	27
4.1 Analitik Ağ Süreci (AAS)	27
4.2 İdeal Çözüme Benzerliklerine Göre Tercihleri Sıralama Tekniği (TOPSIS- Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solution).....	28

4.3	Bulanık Kümeler.....	30
4.4	Evrimsel Algoritmalar	32
4.4.1	Genetik algoritmalar	33
4.4.1.1	Genetik algoritmalar da temel kavramlar.....	33
4.4.1.2	Bireylerin gösterimi	34
4.4.1.3	Mutasyon.....	36
4.4.1.4	Çaprazlama.....	38
4.4.1.5	Ebeveyn seçimi.....	44
4.4.1.6	Sağ kalanların seçimi	46
4.4.1.7	Genetik algoritmaların uygulandığı problem alanları.....	47
4.5	Yerel Arama Algoritmaları	48
4.5.1	Tavlama benzetimi.....	49
4.5.1.1	Tavlama algoritması	51
4.5.1.2	Tavlama benzetiminin uygulandığı alanlar.....	52
4.6	Evrimsel Algoritmalar da Melezleştirme	53
4.6.1	Melez algoritmaların yapıları	54
4.6.1.1	Sezgisel ya da akıllı başlangıç çözümleri	54
4.6.1.2	Çeşitliliği artırma operatörlerinde melezleştirme: Akıllı çaprazlama ve mutasyon	55
4.6.1.3	Çeşitliliği artırma operatörlerinin çıktıları üzerinde yerel aramanın yapılması ...	56
4.6.1.4	Genotipten fenotipe geçişte melezleştirme	56
4.6.2	Melez algoritmalar da tasarım konuları	56
4.6.2.1	Çeşitliliğin korunması.....	56
4.6.2.2	Operatörlerin seçimi	57
4.6.2.3	Bilginin kullanımı.....	57
4.6.3	Melez genetik algoritmalar - tavlama benzetimi	57
5.	TERSİNE LOJİSTİK AĞI TASARIMI MODELLEME METODOLOJİSİ.....	59
5.1	Modelin Genel Yapısı	61
5.2	Modelin Varsayım ve Kabulleri	62
5.3	Modelleme Güçlükleri	63
5.4	Model Formülasyonu	64
5.5	Çok Amaçlı Modelin Tek Amaçlı Hale Getirilmesi	69
5.6	MTM Bölgelerinin Ağırlıklandırılması: AAS- Bulanık TOPSIS Yaklaşımı.....	70
5.6.1	MTM bölgelerinin ağırlıklandırılması için belirlenen kriter kümeleri	75
5.6.1.1	Ulaştırma kriterleri kümesi.....	75
5.6.1.2	Ekonomik kriterler kümesi.....	76
5.6.1.3	Çevresel kriterler kümesi	77
5.6.1.4	Sosyal-politik kriterler kümesi	77
5.6.1.5	Teknik kriterler kümesi.....	77
5.6.1.6	MTM bölgelerinin ağırlıklandırılması için kullanılan kriterler arasındaki etkileşimler	78
6.	UYGULAMA.....	79
6.1	Uygulamanın Kapsamı ve Kullanılan Veriler	79
6.2	Merkezi Toplama Merkezlerinin Ağırlıklandırılması.....	83
6.3	Elde Edilen Verilerin Kullanıldığı Modelin Genel Çözüm Süreci.....	94
6.4	Uygulamanın Genetik Algoritmayla Çözümü İçin Algoritmanın Belirlenmesi ...	94
6.4.1	Çözümün kodlanması.....	94

6.4.2	Yeni birey ve ilk neslin oluşturulması	95
6.4.3	Klonlama	95
6.4.4	Ebeveyn seçimi.....	95
6.4.5	Çaprazlama.....	98
6.4.6	Mutasyon.....	98
6.5	Uygulamanın Tavlama Benzetimi ile Çözümü İçin Algoritmanın Belirlenmesi.....	98
6.6	Uygulamanın Melez Genetik Algoritmalar-Tavlama Benzetimi Yaklaşımı (MGATB) ile Çözümü İçin Algoritmanın Belirlenmesi.....	100
7.	PARAMETRE ANALİZİ, UYGULAMA SONUÇLARI, SONUÇLARIN ANALİZİ VE MODELİN GEÇERLİLİĞİNİN ANALİZİ.....	103
7.1	Parametre Analizi	103
7.2	Uygulama Sonuçları	107
7.3	Uygulama Kapsamında Yararlanılan Algoritmaların Geçerliliğinin Analizi	111
7.4	Sonuçların Analizi	113
7.4.1	TB, GA ve MGATB'nin sonuçlar açısından karşılaştırılması	113
7.4.2	Duyarlılık analizleri	115
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	128
	EKLER.....	132
	Ek 1 Müşterilerden geri dönen ürün adetlerinin hesaplanması	133
	Ek 2 Müşteri-İTM arası mesafeler (km)	139
	Ek 3 100 çözüm için TB, GA ve MGATB sonuçları.....	144
	KAYNAKLAR.....	147
	ÖZGEÇMİŞ.....	154

SİMGE LİSTESİ

A	MTM ağırlığı
Arz	Müşterinin arz ettiği ürün miktarı
$\tilde{A}$	İfade uzayı X 'teki bir bulanık küme
BM	Birim miktardaki ürünün bertaraf edilme maliyeti
CC_i	Yakınlık katsayısı
d	Mesafe
EB	Elde bulundurma maliyeti
GH	Birim miktardaki ürünün hurda olarak satılmasından elde edilen gelir
GUT	Birim miktardaki ürünün UT'de kullanılmasından elde edilen kazanç
K	Kapasite
KM	MTM kuruluş maliyeti
R	İTM kiralama maliyeti
$\tilde{R}$	Normalize edilmiş bulanık karar matrisi
p_m	Mutasyon oranı
p_c	Çaprazlama oranı
SM	MTM'deki sınıflandırma ve işleme maliyeti
T	İTM'nin ürün sevketme periyodu
TD	Çalışma dönemi içindeki gün sayısı
TM	Bir birim ürünün birim mesafe taşıma maliyetidir. Mesafelere ve taşıma aracının tam dolu ya da kısmi dolu olmasına göre farklı değerler almaktadır.
w	Yerel öncelik vektörü
x	Ürün miktarı
Y	İTM'nin kiralanıp kiralanmama durumu
Y_{mi}	Müşterinin İTM'ye atanıp atamanmama durumu
Z	MTM'nin kurulup kurulmama durumu
Z_{ij}	İTM'nin MTM'ye atanıp atanmama durumu
β	MTM'lerdeki ürünlerin sınıflandırılması için kullanılan simge
$\mu_{\tilde{A}}(x)$	x 'in A uzayındaki üyelik derecesi
$\lambda_{\max}$	İkili karşılaştırmalar matrisi A 'nın en büyük özvektör değeri

KISALTMA LİSTESİ

AAS	Analitik Ağ Süreci
AAF1	Karar vericilerle görüşmeler sonucu elde edilen 1. amaç fonksiyonunun ağırlığı
AAF2	Karar vericilerle görüşmeler sonucu elde edilen 2. amaç fonksiyonunun ağırlığı
AF1	1. Amaç Fonksiyonu
AF2	2. Amaç Fonksiyonu
AHS	Analitik Hiyerarşi Süreci
BAF	Birleştirilmiş Amaç Fonksiyonu
BNİDÇ	Bulanık Negatif İdeal Çözüm
BPİDÇ	Bulanık Pozitif İdeal Çözüm
B2B	Business to Business
Çİ	Çok İyi
ÇZ	Çok Zayıf
EA	Evrimsel Algoritmalar
EEE	Elektrikli-Elektronik Ekipman
EEEA	Elektrikli-Elektronik Ekipman Atığı
EİÇAF1	AF1 için elde edilebilecek en iyi çözüm değeri
EİÇAF2	AF2 için elde edilebilecek en iyi çözüm değeri
GA	Genetik Algoritmalar
GDÜA	Geri Dönen Ürün Adedi
GDÜAK	Geri Dönen Ürün Adedi Katsayısı
GSMH	Gayri Safi Milli Hasıla
İ	İyi
İE	İdare Eder
İGDÜA	İlçe Bazında Geri Dönen Ürün Adedi
İGGÜA	İlçe Bazında Günlük Geri Dönen Ürün Adedi
İHS	İlçe Hane Sayısı
İL	İleri Lojistik
İLHOBS	İl Hane Ortalama Birey Sayısı
İLHS	İl Hane Sayısı
İLN	İl Nüfusu
İN	İlçe Nüfusu
İTM	İlk Toplama Merkezi
KPÇ	Kısmen Planlanmış Çaprazlama
MGATB	Melez Genetik Algoritmalar Tavlama Benzetimi
MTM	Merkezi Toplama Merkezi
NİDÇ	Negatif İdeal Çözümünden Uzaklık
OEM	Orginal Equipment Manufacturer
Oİ	Orta İyi
OZ	Orta zayıf
PİDÇ	Pozitif İdeal Çözümünden Uzaklık
Pop	GA sürecinde belirli bir andaki popülasyondaki birey sayısı
TB	Tavlama Benzetimi
THS	Türkiye Hane Sayısı
TL	Tersine Lojistik
TLA	Tersine Lojistik Ağı
TLAT	Tersine Lojistikte Ağ Tasarımı
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

ÜT	Üretim Tesisi
Z	Zayıf

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Tersine lojistikte aktörler	10
Şekil 2.2	İleri ve tersine lojistik zincirinde akış	11
Şekil 4.1	Bir üçgen bulanık sayı $\tilde{A}$ 'nın üyelik fonksiyonu	31
Şekil 4.2	Evrimsel algoritmaların akış diyagramı	32
Şekil 4.3	İkili gösterim için bit bazında mutasyon	36
Şekil 4.4	Takas mutasyonu.....	37
Şekil 4.5	Araya yerleştirme mutasyonu	37
Şekil 4.6	Karıştırma mutasyonu	38
Şekil 4.7	Ters çevirme mutasyonu.....	38
Şekil 4.8	Tek noktalı çaprazlama.....	39
Şekil 4.9	n - noktalı çaprazlama: $n = 2$	39
Şekil 4.10	Uniform çaprazlama.....	39
Şekil 4.11	Basit aritmetik çaprazlama: $k = 8, \alpha = 1/2$	40
Şekil 4.12	Tek aritmetik çaprazlama: $k = 8, \alpha = 1/2$	40
Şekil 4.13	Tam aritmetik çaprazlama: $\alpha = 1/2$	41
Şekil 4.14	KPGT, adım 1: birinci ebeveynden rasgele kesilmiş bir parçayı çocuğa kopyala	41
Şekil 4.15	KPGT, adım 2: sırasıyla ikinci ebeveynin seçili kısmındaki bileşenlerini değerlendir.	42
Şekil 4.16	KPGT, adım 3: ikinci ebeveynde geriye kalan bileşenleri çocukta aynı pozisyona kopyala.	42
Şekil 4.17	Sıra çaprazlama, adım 1: rasgele belirlenmiş kısmı, birinci ebeveynden çocuğa kopyala.....	43
Şekil 4.18	Sıra çaprazlama, adım 2: bileşenlerin geriye kalanını, ikinci ebeveynde var olma sırasına göre kopyala.	43
Şekil 4.19	Çevrimsel çaprazlama, adım 1: çevrimlerin tanımlanması	43
Şekil 4.20	Çevrimsel çaprazlama, adım 2: çocukların oluşturulması.....	43
Şekil 4.21	Evrin çevrimi içine, çeşitli bilgi ve diğer operatörleri yerleştirmenin olası seçenekleri	54
Şekil 5.1	Önerilen çözüm modeli metodolojisi	60
Şekil 5.2	Tersine lojistik ağı genel yapısı	61
Şekil 5.3	MTM ve üretime gelen ürünlerin tipleri.....	62
Şekil 5.4	İki amaçlı modelin tek amaçlı hale getirilmesi	70
Şekil 5.5	Birleştirilmiş AAS/TOPSIS yaklaşımlarıyla alternatif MTM bölgelerinin değerlendirilmesi	72
Şekil 5.6	MTM alternatif lokasyonları değerlendirme kriterleri, ilgili nitelikler ve kriterler arasındaki etkileşimler.....	75
Şekil 6.1	GA algoritması akış diyagramı	96
Şekil 6.2	Örnek bir kromozom	94
Şekil 6.3	Yeni birey oluşturma algoritması akış diyagramı	97
Şekil 6.4	TB algoritması akış diyagramı.....	99
Şekil 6.5	MGATB algoritması akış diyagramı.....	101
Şekil 7.1	Birey sayısındaki değişikliğe göre uygunluk fonksiyonundaki değişim	104
Şekil 7.2	Elitizm oranındaki değişikliğe göre uygunluk fonksiyonundaki değişim	104
Şekil 7.3	Çaprazlama oranındaki değişime göre uygunluk fonksiyonundaki değişim	104

Şekil 7.4	Mutasyon oranındaki değişikliğe göre uygunluk fonksiyonundaki değişim	105
Şekil 7.5	Başlangıç sıcaklığındaki değişime göre uygunluk fonksiyonundaki değişim	106
Şekil 7.6	K düzeltme katsayısındaki değişime göre uygunluk fonksiyonundaki değişim	106
Şekil 7.7	Soğutma faktöründeki değişime göre uygunluk fonksiyonundaki değişim	107
Şekil 7.8	GA ile elde edilen bir çözümde uygunluk fonksiyonunun en iyiye yakınsama süreci	109
Şekil 7.9	MGATB ile elde edilen bir çözümde uygunluk fonksiyonunun en iyiye yakınsama süreci	110
Şekil 7.10	TB ile elde edilen bir çözümde uygunluk fonksiyonunun en iyiye yakınsama süreci	110
Şekil 7.11	Tasarlanan ağ ve atama miktarları (adet)	112
Şekil 7.12	100 koşum için GA, MGATB ve TB uygunluk fonksiyonları	114
Şekil 7.13	100 koşum için GA, MGATB ve TB zaman gereksinimleri	115
Şekil 7.14	1.Amaç fonksiyonunun ağırlığının artması durumunda uygunluk fonksiyonundaki değişim.....	116
Şekil 7.15	1. Amaç fonksiyonunun ağırlığının artması durumunda 1. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim	116
Şekil 7.16	1. Amaç fonksiyonunun ağırlığının artması durumunda 2. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim	117
Şekil 7.17	Hizmet kapsama alanı genişletildiğinde uygunluk fonksiyonundaki değişim	117
Şekil 7.18	Hizmet kapsama alanı genişletildiğinde 1. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim	118
Şekil 7.19	Hizmet kapsama alanı genişletildiğinde 2. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim	118
Şekil 7.20	MTM kapasiteleri arttığında uygunluk fonksiyonundaki değişim.....	119
Şekil 7.21	MTM kapasiteleri arttığında 1. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim	119
Şekil 7.22	MTM kapasiteleri arttığında 2. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim	119
Şekil 7.23	1.MTM'nin kapasitesindeki değişim karşısında uygunluk fonksiyonundaki değişim.....	120
Şekil 7.24	1.MTM'nin kapasitesindeki değişim karşısında 1. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim	120
Şekil 7.25	1.MTM'nin kapasitesindeki değişim karşısında 2. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim	121
Şekil 7.26	Araç kapasitesindeki artışın uygunluk fonksiyonu üzerindeki etkisi.....	121
Şekil 7.27	Araç kapasitesindeki artışın 1. amaç fonksiyonunun değeri üzerindeki etkisi	122
Şekil 7.28	Araç kapasitesindeki artışın 2. amaç fonksiyonunun değeri üzerindeki etkisi	122
Şekil 7.29	Kısmi dolu ve dolu taşıma yapma maliyetleri arasındaki farkın İTM'de ürün bekletme günü sayısı üzerine etkisi.....	122
Şekil 7.30	4. MTM'nin ağırlığının 4. MTM'ye yapılan atamalar üzerindeki etkisi.....	123
Şekil 7.31	4. MTM'nin ağırlığının 1. amaç fonksiyonunun değerindeki etkisi.....	123

Şekil 7.32	4. MTM'nin ağırlığının 2. amaç fonksiyonunun değerindeki etkisi.....	124
Şekil 7.33	4. MTM'nin ağırlığının uygunluk fonksiyonu üzerindeki etkisi	124
Şekil 7.34	4. MTM'nin ağırlığının 4. MTM'ye yapılan atmalar üzerindeki etkisi	125
Şekil 7.35	4. MTM'nin ağırlığının 1. amaç fonksiyonunun değerindeki etkisi.....	126
Şekil 7.36	4. MTM'nin ağırlığının 2. amaç fonksiyonunun değerindeki etkisi.....	126
Şekil 7.37	4. MTM'nin ağırlığının uygunluk fonksiyonu üzerindeki etkisi	127

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	İleri lojistikle tersine lojistik arasındaki farklar	4
Çizelge 2.2	Tersine lojistik faaliyetleri	9
Çizelge 2.3	Hurda demir çelik kullanımı sayesinde elde edilen kazançlar	18
Çizelge 2.4	Geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı ile elde edilebilecek enerji kazançları	18
Çizelge 2.5	Farklı coğrafi alanlara göre EEE için çevresel yasal düzenlemeler	19
Çizelge 2.6	EEE’de bulunan temel malzemeler	20
Çizelge 4.1	GA terminolojisi	34
Çizelge 4.2	Uygunluk oranı (UO) seçimine karşı, lineer sıralama (LS) seçimi	45
Çizelge 4.3	Turnuva seçimi algoritmasının sahte kodu	46
Çizelge 4.4	GA’nın uygulandığı problem alanları	47
Çizelge 4.5	Yerel optimizasyon süreci	49
Çizelge 4.6	Metropolis algoritması terimlerinin kombinasyonel optimizasyon problemlerinde karşılığı	51
Çizelge 4.7	TB süreci için sahte kod.	52
Çizelge 4.8	TB’nin uygulandığı alanlar	53
Çizelge 4.9	Basit bir melez algoritma için sahte kod	56
Çizelge 5.1	Model parametre ve değişkenleri	64
Çizelge 5.2	Puanlandırma için sözel ifadeler	73
Çizelge 6.1	Alternatif İTM lokasyonları, İTM kapasiteleri ve yıllık kira bedelleri	80
Çizelge 6.2	Alternatif MTM lokasyonları, MTM kurma maliyetleri, MTM kapasiteleri ve MTM’lerde sınıflandırma ve işleme maliyetleri	81
Çizelge 6.3	Taşıma aracı ve çamaşır makinesi boyutları	81
Çizelge 6.4	Bir çamaşır makinesi için bölgeler arası birim taşıma maliyetleri (YTL/km)	82
Çizelge 6.5	İTM-MTM mesafeleri (km)	82
Çizelge 6.6	İTM-Diğer tesis mesafeleri (km)	82
Çizelge 6.7	MTM ağırlıklandırma sürecinde görüşmeler yapılan karar vericiler (KV)	83
Çizelge 6.8	MTM değerlendirme kriterleri ve kriter numaraları	83
Çizelge 6.9	Karar vericilerin kriterleri ikili karşılaştırmaları	84
Çizelge 6.10	Normalize ikili karşılaştırmalar matrisi ve özvektörler	85
Çizelge 6.11	Kriterlerin göreceli önemlerinin KV’lerce karşılaştırılması	86
Çizelge 6.12	Kriter göreceli önem matrislerinin normalizasyonu ve özvektörler	87
Çizelge 6.13	Kriterlerin göreceli etki dereceleri	88
Çizelge 6.14	Göreceli kriter etki matrisinin KV kriter ağırlıkları ile ağırlıklandırılması	88
Çizelge 6.15	Alternatif MTM bölgelerinin KV’ler tarafından kriterlere göre karşılaştırılması	89
Çizelge 6.16	Bulanık karar matrisi	90
Çizelge 6.17	Normalize bulanık karar matrisi	91
Çizelge 6.18	Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi	92
Çizelge 6.19	Birleştirilmiş ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi	92
Çizelge 6.20	MTM değerlendirmelerinin kriterlere göre maksimum ve minimum değerleri	92
Çizelge 6.21	Bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözüm	93
Çizelge 6.22	MTM’lerin kriterlere göre değerlendirmelerinin ideal çözümlerden pozitif ve negatif uzaklıkları	93

Çizelge 6.23	Alternatif bölgelerin yakınlık katsayılarının hesaplanması	93
Çizelge 6.24	GA ve MGATB sahte kodları karşılaştırması.....	100
Çizelge 7.1	GA, MGATB ve TB için parametre değerleri	107
Çizelge 7.2	GA, MGATB ve TB sonuçlarının ortalama, standart sapma ve %95 güven aralığı değerleri.....	115

ÖNSÖZ

Uzun zamandan beri uygulanan bilinçsiz üretim ve tüketim politikaları sonucunda, çevre problemleri yeryüzünü tehdit eder seviyeye ulaşmıştır. Son on yıldan itibaren bu tehlikeler tüketici düzeyinde daha bilinçli bir şekilde fark edilmeye başlanmıştır ve bilinçlenen tüketicinin baskısını da en çok üzerinde hisseden taraf üreticiler olmuştur. Tüketici bilinçlendikçe, sosyal sorumluluk projeleri gerçekleştiren, çevre konusunda duyarlı davranan üreticilerin ürünleri tercih edilmeye başlanmıştır. Bu da akademisyenler ve uygulamacıları tersine lojistik faaliyetleri üzerinde çalışmaya sevk etmiştir. Tersine Lojistik (TL) maliyetleri, toplam şirket maliyetleri içinde önemli bir paya sahiptir. Bir şirket, çeşitli nedenlerle geri dönen ürünlerle ilgili, taşıma ve depolama faaliyetlerinde maliyet düşürerek rekabet avantajı kazanabilir. Tersine lojistik ağlarında, uygun taşıma miktarının ve ilgili tesisler için uygun yerlerin belirlenmesi önemli kararlardır. Bu çalışma kapsamında, yukarıda sözü edilen kararları içeren bir Tersine Lojistik Ağı'nın tasarımı, maliyet minimizasyonu ve merkezi toplama merkezlerine gönderilen ürün miktarlarının ağırlıklarının maksimizasyonu gibi birden çok amacın optimizasyonu dikkate alınarak gerçekleştirmiştir. Modelin lineer olmayan yapısı ve çözüm süresinin uzunluğundan dolayı meta-sezgisel tekniklerden Genetik Algoritmalar ve Tavlama Benzetimi'nden faydalanılmıştır.

Bu tez çalışması sürecinin baştan sona her noktasında, bilgi ve deneyimleriyle yanımda olan tez hocam Y. Doç. Dr. Bahadır Gülsün'e, yorum, eleştiri ve önerileriyle tezimin hazırlanmasında önemli katkıları olan Y. Doç. Dr. Şule Önsel ve Y. Doç. Dr. Semih Önüt'e teşekkürü bir borç bilirim. Meta-sezgisel teknikleri öğrenme çabalarımnda derslerine katılmama izin veren Y. Doç. Dr. Şima Etaner-Uyar, Doç. Dr. Necati Aras ve Doç. Dr. Haluk Topçuoğlu'na teşekkür ederim. Ayrıca, M.S. Visual Studio C# program geliştirme dilini öğrenmemdeki ve programlama konusundaki yardımlarından dolayı sevgili Ender Bildik'e, hocam Oğuz Yağmur'a ve tezimin uygulama aşamasında görüştüğüm, Arçelik A.Ş., Ekol Lojistik, Türkiye Beyaz Eşya Üreticileri Derneği, Siemens A.Ş., Migros Türk A.Ş., Lojitek Lojistik Danışmanlık, Fasdak Gıda Sanayi ve Dağıtım A.Ş. ve LODER yetkililerine, özellikle de Prof. Dr. Mehmet Tanyaş'a sağladıkları bakış açısı ve verdikleri bilgiler için teşekkür ederim. Ek olarak, tez kapsamında yaptığım araştırma ve harcamalarda TÜBİTAK'ın maddi desteğinin çok olumlu bir etkisi oldu. Son olarak her zaman yanımda olan sevgili aileme destekleri için ve sevgili eşim Umut Rıfat Tuzkaya'ya tezime deneyim ve önerileriyle katkıda bulunduğu ve manevi desteği için teşekkür ederim.

Ağustos 2008

Endüstri Yük. Müh. Gülfem Tuzkaya

ÖZET

Tersine Lojistik'te İlk Toplama Merkezleri'nin, Merkezi Toplama Merkezleri'nin doğru yerlere yerleştirilmesi, bu tesislerle, müşteriler, üretim tesisleri, bertaraf alanları, hurda pazarı arasındaki taşıma kanalı alternatiflerinden doğru seçimlerin yapılması stratejik önem arz eden bir konudur. Tüm bu faktörleri içeren Tersine Lojistik'te Ağ Tasarımı konusu iyi bir planlama ile şirketlere önemli maliyet avantajları kazandırabilir. Maliyet avantajının yanı sıra, müşteri baskısı ve yasal zorunluluklar da Tersine Lojistik konusunun önem kazanmasını sağlamıştır.

Bu çalışmada, Tersine Lojistik Ağı tasarımı için bir metodoloji önerisi sunulmuştur. Metodolojinin ilk adımında Merkezi Toplama Merkezleri'nin değerlendirilmesi için bir Analitik Ağ Süreci-bulanık TOPSIS yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşım sonucu elde edilen Merkezi Toplama Merkezi ağırlıkları, tez kapsamında geliştirilen modelin bir amaç fonksiyonunun hesaplanmasında kullanılmıştır. Diğer bir amacı da maliyet minimizasyonu olan model çok amaçlı olarak tasarlanmıştır. Geliştirilen model, çok sayıda kısıt, değişken, parametre içerdiğinden ve lineer olmayan yapıda olduğundan çözüm aşamasında meta-sezgisel tekniklerden faydalanılması uygun görülmüştür. Bu amaçla, Genetik Algoritmalar, Tavlama Benzetimi ve bu iki tekniğin melez olarak kullanımı yoluna gidilmiştir. Bu tekniklerle elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, Genetik Algoritmalar ve Tavlama Benzetimi metodolojileri çok sayıda parametre içerdiklerinden ve başarıları bu parametrelere önemli ölçüde bağlı olduğundan, bu parametrelerin belirlenmesi için çeşitli analizler yapılmıştır. Son olarak, uygulama kapsamında elde edilen verilerden bir kısmı kesin veriler değildir ve bu nedenle, söz konusu verilerle ilgili duyarlılık analizleri yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Tersine Lojistik, Ağ Tasarımı, Karma Tamsayılı Programlama, Çok Amaçlı Karar Verme, Genetik Algoritmalar, Tavlama Benzetimi, Meta-Sezgiseller, Melez Meta-Sezgiseller.

ABSTRACT

In the Reverse Logistics, determining the proper locations of Initial Collection Points, Central Return Centers and the proper transportation channels between Central Return Centers, Initial Collection Points, customers, disposal sites and manufacturing facilities has a strategic importance. Reverse Logistics Network Design problem, which contains all abovementioned decision areas, with an exacting planning process, provides the opportunity of significant cost savings to the managers. In addition to cost savings, increasing customer pressure and legal obligations cause the increase of the importance of Reverse Logistics.

In this study, a network design methodology for reverse logistics is proposed. At the first step of the methodology, central return centers are weighted using an integrated Analytic Network Process-fuzzy TOPSIS approach. In the one of the objective functions of the model, these weights are utilized. The other objective function of the model is the net cost minimization. Because the constructed model contains a large number of constraints, variables, parameters and non-linear equations, the meta-heuristics are determined to be utilized for the solution process. Genetic Algorithms, Simulated Annealing and a hybrid version of these two techniques are selected as proper meta-heuristics. The results obtained using these techniques are compared via statistical analysis. Additionally, Genetic Algorithms' and Simulated Annealing's parameters are analyzed since these techniques' successes are depending on these parameters. Finally, due to the uncertainties of some of the data in the application stage, sensitivity analyses are applied.

Keywords: Reverse Logistics, Network Design, Mixed Integer Programming, Multi-Objective Decision Making, Genetic Algorithms, Simulated Annealing, Meta-heuristics, Hybrid Meta-Heuristics.

1. GİRİŞ

Sanayi devrimi sonrasında uygulanan bilinçsiz üretim ve tüketim politikaları sonucunda, çevre problemleri yeryüzünü tehdit eder seviyelere ulaşmıştır. Doğaya salınan zararlı gaz oranlarındaki artış ve teknolojinin hızlı gelişimi nedeniyle tüketim mamullerinde özellikle de elektronik eşyalarda ürün değiştirme sıklığının artması sonucu atık miktarlarının başa çıkılamayacak boyutlara ulaşması gibi nedenler çevre problemlerinin yaşanmasının temel nedenlerinden sayılabilir. Bu nedenlerin sonuçları olarak ozon tabakasının zarar görmesi, toprak ve su kaynaklarının kirlenmesi, küresel ısınma, bazı canlı türlerinin nesillerinin tükenmesi tehlikesinin ortaya çıkması vb. sayılabilir.

2000’li yılların başından itibaren söz konusu tehlikeler tüketici düzeyinde de daha bilinçli bir şekilde fark edilmeye başlanmıştır. Genel olarak dünya üzerindeki insanların ve özelde de tüketicilerin bilinç düzeyinin artmasında, çevre örgütlerinin, tarafsız basın organlarının ve bilim adamlarının büyük payı mevcuttur. Çevre problemlerinin etkileri her yerde eşit hissedilmediği gibi, söz konusu bilinçlenme de dünya üzerinde her bölgede aynı seviyede olmamıştır. Çevre problemlerinin ortaya çıkmasında ve dünya üzerindeki toplam tüketim miktarında en büyük paya sahip olan gelişmiş ülkelerde, bilinçlenme düzeyinin de daha yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir.

Birçok bedel ödeyerek edinilen bu bilinç düzeyi sonucunda genel ve yerel yönetimler çeşitli tedbirler alma konusunda baskı hissetmişlerdir. 1997 yılında imzalanan, 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü, kükürt emisyonlarının azaltılmasına yönelik ilki 1985’te, ikinci ve genişletilmiş versiyonu 1994’de imzalanan Kükürt Emisyonu Azaltma Protokolü, Avrupa Komisyonu tarafından 2002’de atık elektrik ve elektronik araç gerecin kontrolüne yönelik tasarlanan Atık Elektrikli-Elektronik Ekipman Protokolü vb. antlaşma ve protokoller, büyük oranda yerel ve genel yönetimlerini çevre problemleri konusunda, üzerlerinde hissettikleri baskıların sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kuşkusuz bilinçlenen tüketicinin baskısını en çok üzerinde hisseden taraf üreticilerdir. Çünkü tüketici bilinçlendikçe, sosyal sorumluluk projeleri gerçekleştiren, çevre konusunda duyarlı davranan üreticilerin ürünleri tercih edilmeye başlanmıştır. Tüketici baskısını üzerinde hisseden üreticiler ise çeşitli projelerle bu yönlerini geliştirmeye çalışmaktadırlar. Ürün bileşenlerinin yeniden kullanılabilir malzemelerle üretilmesi, ürünün yarı mamullerinin demontaj sonrası yeniden imalata katılabilirliğinin araştırılması, zararlı gaz ve elementlerin

kullanımının azaltılması, yaşam çevrimi analizi süreçleri, uygun demontaj hatlarının tasarımı gibi pek çok proje temelde benzer güdülerle ortaya çıkmaktadır. Bu tarz projelerin başlangıcında, tüketici baskısının yanı sıra, yasal düzenlemeler ve ekonomik güdüler de önemli rol oynamaktadır.

Tüketici baskısı, yasal düzenlemeler ve ekonomik güdüler gibi nedenlerin sonucu olarak ortaya çıkmış ve yine aynı nedenlerle önemi gün geçtikçe artan konulardan biri de Tersine Lojistik (TL) konusudur. İade edilen, kullanım ömrü bitmiş olan ya da tüketicinin yeni ürün aldığı için elden çıkardığı ürünlerin geri toplanması süreci, üretici açısından önemli maliyet kalemleri oluşturabilecek bir süreçtir ve stratejik öneme sahiptir. Ürünlerin müşterilerden ilk toplamalarının nasıl yapılacağı, sonrasında toplanan ürünlerin sınıflandırma, ayrıştırma, bakım ya da en az zararla bertaraflarının nasıl gerçekleştirileceği, sınıflandırma ve ayrıştırma sonucunda oluşan yarı mamul, hammadde kaynakları ya da atıkların hangi kanallarla hedef noktalarına iletileceği soruları üzerinde durulması gereken önemli konulardır. Tüm bu problemler dikkate alındığında, TL problemi, içeriğinde İlk Toplama Merkezleri (İTM), Merkezi Toplama Merkezleri (MTM), Üretim Tesisleri (ÜT) gibi çeşitli tipte tesislerin ve değerlendirilmesi gereken çok sayıda taşıma alternatifinin bulunduğu bir ağ tasarımı problemini de barındırır.

Tersine Lojistikte Ağ Tasarımı (TLAT) problemi taşıdığı stratejik öneme paralel olarak son yıllarda uygulamacı ve akademisyenlerce sıkça araştırılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, Türkiye’de göreceli olarak daha az araştırma yapılmış olduğu, uygulamada ise çok az örneğine rastlandığı görülmektedir. Mevcut uygulamalarda ise sistematik çalışmalara pek rastlanmamaktadır. Kağıt, cam, alüminyum gibi malzemelerin geri dönüşüm oranlarının yüksek ve mevcut ağlarının göreceli olarak daha oturmuş olduğu görülmekte iken, elektronik sektörü gibi daha karmaşık bileşenli ürünlere sahip sektörlerde TLAT çalışmaları çok başlangıç seviyelerindedir. Bu konuda yapılacak çalışmalara sektör henüz hazır değildir ve yasal düzenlemeler de sektörün görüşleri ile paralel olarak ertelenmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye’deki mevcut durum da dikkate alınarak, TLAT problemine yönelik bir model önerilmiştir. Söz konusu model geliştirilirken, ilgili literatürden faydalanılmasının yanı sıra, lojistik, beyaz eşya, elektronik sektörlerinden yetkililerle de görüşülmüştür. TLAT probleminin birbirleriyle çelişen amaçlara sahip olmasından dolayı model çok amaçlı olarak tasarlanmıştır. Kurulan modelin lineer olmayan yapıda olması ve çözümünün çok uzun zaman

alması nedeniyle, çözüm metodu olarak meta-sezgisellerden faydalanma yoluna gidilmiştir. Meta-sezgisellerden faydalanma kararı verilirken ilgili literatürden ve konuyla ilgili çeşitli uzmanların görüşlerinden faydalanılmıştır ve Genetik Algoritmalar (GA), Tavlama Benzetimi (TB) yaklaşımlarının mevcut problem için kullanım olanakları araştırılmıştır. Çözüm metodolojisi oluşturulduktan sonra, yararlanılan tekniklerin, çözüm kalitelerinin kullanılan parametrelerden yüksek seviyede etkilenmesinden dolayı, parametrelerin çeşitli kombinasyonları üzerinden analizler yapılmış ve en uygun parametreler belirlenmiştir. Sonrasında GA ve TB tek başına, ayrıca iki tekniğin melez olarak kullanımı yoluna gidilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Uygulama kapsamında ilgili bazı veriler kesin olarak elde edilememiştir. Bu nedenle, bu verilerle ilgili değişikliklerin sonuçlara yansımaları duyarlılık analizleri ile araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında bu bölümden sonra, 2. bölümde, tersine lojistik kavramı ve problemin kapsamı incelenmiştir. 3. bölümde ilgili literatür üzerine bir araştırma yapılmıştır. 4. bölümde, tez kapsamında yararlanılan çözüm teknikleri açıklanmış, 5. bölümde, geliştirilen model ve metodoloji tanıtılmıştır. 6. bölüm uygulama bölümüdür ve 7. bölümde çeşitli sayısal analizlerle sonuçlar incelenmiştir. Son bölüm ise sonuç ve öneriler bölümüdür.

2. TERSİNE LOJİSTİK: GENEL TANIMLAR VE KAPSAM

Tersine lojistik (TL), ham maddenin, süreç içi envanterin, bitmiş ürünlerin ve ilgili bilgilerin, değerinin tekrar kazanımı veya uygun bir şekilde yok edilmesi amacıyla, tüketim noktasından orijinine akış sürecinin, verimli ve maliyet etkin bir şekilde planlanması, uygulanması ve kontrolüdür. Tersine lojistik faaliyetlerinin tüm lojistik faaliyetleri içinde önemli bir payı vardır. Tersine lojistik faaliyetlerinin hacmi ve önemi aşağıdaki gibi özetlenebilir (Rogers ve Tibben-Lembke, 1998):

- Lojistik maliyetlerinin önemli bir kısmı tersine lojistik faaliyetlerinden kaynaklanır,
- Tersine lojistik faaliyetlerinin hacminin belirlenmesi zordur, çünkü çoğu firma konunun bilincinde değildir,
- TL'nin önem ve etkisi endüstri türü ve kanal pozisyonuna göre farklılık gösterir,
- 1999'da ABD'de geri dönen ticari malın değeri 62 milyon \$ ve bunun perakendecilere zararı 10-15 milyon \$ civarındadır.

2.1 Tersine Lojistikte Temel Kavramlar

2.1.1 İleri ve tersine lojistik arasındaki farklar

Yukarıda sözü edildiği gibi TL faaliyetlerinin doğru planlanması kuruluşlara önemli maliyet avantajı sağlayabilir, ancak önemi yeterince iyi anlaşılabilmiş değildir. Temel farklılıklar olmasına karşın TL, genellikle İleri Lojistiğin (İL) tam tersi olarak anlaşılır. İL ile TL faaliyetleri arasındaki farklar Çizelge 2.1'deki gibi özetlenebilir.

Çizelge 2.1 İleri lojistikle tersine lojistik arasındaki farklar (Min vd., 2006)

Karşılaştırma Kriteri	Tersine Lojistik	İleri Lojistik
Miktar	Küçük miktarlar	Standardize ürünlerden büyük miktarlar
Bilgi İzleme	Otomatik ve manuel sistemlerin kombinasyonu	Parçaları izlemek için otomatik bilgi sistemleri
Sipariş Çevrim Zamanı	Orta-uzun sipariş çevrim zamanı	Kısa sipariş çevrim zamanı
Ürün Değeri	Orta-düşük ürün değeri	Yüksek ürün değeri
Envanter Kontrolü	Odaklanmış değil	Odaklanmış
Öncelik	Düşük	Yüksek
Maliyet Kalemleri	Çoğu gizli	Çoğu şeffaf
Ürün akışı	İki şekilde (itme ve çekme)	Tek şekilde (çekme)
Kanal	Daha karmaşık ve çeşitli (çok kademeli)	Daha az karmaşık (Tek ya da çok kademeli)

2.1.2 Tersine lojistik terminolojisi

İL ve TL, bir önceki bölümde de açıklandığı gibi, farklılıklar içerir ve TL'nin de, ayrı bir araştırma alanı olarak, kendine özgü bir terminolojisi vardır. TL kapsamında sıkça kullanılan bazı kavramların açıklamaları şöyledir (Krumwiede *vd.*, 2002):

- **Ürün Geri Çağrılmaları (Product Recalls):** Üreticinin geri çağırmış olduğu ve geri dönüşü için toplamak yükümlülüğü bulunan ürünlerdir. Örneğin, bir üretici belirli bir serideki ürünlerde bir hata olduğunu fark ettiğinde, bu durumda gelebilecek zararları önlemek için, gazete ilanları, posta, vb. yoluyla ürünlerini tüketicilerden toplayabilir.
- **Envanter Geri Dönüşleri:** Mağazalardaki envanteri azaltmak için üreticiye değil de bir satış yerine, örneğin seri sonu satış yapılan indirim merkezlerine, geri dönen ürünlerdir.
- **Garanti Kapsamında Geri Dönüşler:** Garanti kapsamında geri dönüşlerin gerektirdiği ve bir mağaza, dağıtıcı ya da toptancı tarafından sisteme bilgisi girilmiş olan ürünlerdir.
- **Çekirdek (core) Geri Dönüşler:** Bu ürünler yeniden imal edilebilir ürünlerdir.
- **Yeniden Kullanılabilir Yardımcı Taşıma Araçları:** Ürünün içinde taşındığı fakat üreticiye geri gönderilmesi zorunlu olan konteynır, palet vb. yardımcı taşıma araçlarıdır.
- **Zarar Görmüş Ürünler:** Taşımada ya da bulunduğu yerde zarar görmüş ürünlerdir.
- **Sezonsal Ürünler:** Gelecek sezon ya da sezonlarda herhangi bir perakende değeri olmayacak olması nedeniyle, sezon sonunda geri döndürülen ürünlerdir.
- **Riskli Malzemeler:** Riskli olarak değerlendirilen parçalardır. Bunlar HAZMAT (Hazardous material - Zararlı malzemeler) olarak da bilinir.
- **Stok Ayarlamaları:** Bir bölgede bir parçadan çok bulunurken diğer bir bölgede çok az olması durumunun düzeltilmesi için taşınan mallardır.

2.1.3 Kuruluşların tersine lojistik faaliyetlerini uygulama sebepleri

Kuruluşlar çeşitli nedenlerle TL faaliyetlerini uygulamak isterler. Giriş bölümünde de kısaca açıklanan bu nedenler temelde dört ana başlık altında incelenebilir. Bunlar şöyledir (Ravi *vd.*, 2005):

- **Ekonomik faktörler:** Şirketlerin doğrudan ya da dolaylı olarak ekonomik kazanç elde ettiği tüm geri dönüşüm faaliyetleri ile ilgili ekonomik faktörler TL'de itici güçtür. Şirketler sürekli olarak, üretim süreçlerinde maliyet düşürme yollarını ararlar. Eğer bir firma tersine lojistik faaliyetlerini iyi yaparsa ve yürütürse, bu o firmaya kazanç sağlar. Yeniden imalat, tamir, modifiye etme ve geri dönüşüm faaliyetleri kârlı iş olanakları

doğurabilir. Tersine lojistik organizasyonlar tarafından atık yönetimi maliyetlerini azaltmak yerine “yatırım geri dönüşümü” olarak algılanmalıdır. Bir tersine lojistik programı, firmalara, kaynak azaltma, ürün geri dönüşümü yoluyla değer ekleme ya da bertaraf maliyetlerini azaltma gibi yollarla maliyet düşürücü avantajlar sağlayabilir.

- **Yasal düzenlemeler:** Tersine lojistik için bir diğer itici güç yasal düzenlemelerdir. Yasal düzenlemeler, şirketleri ürünlerini geri dönüştürmeye ya da ürün yaşam çevrimi sonunda ürünü geri almaya zorlayan tüm hükümet yetkileridir. Bu yasal düzenlemeler, ürünlerin yaşam çevrimleri sonunda toplanması ve yeniden kullanımı, atık yönetimi maliyetlerinin üreticiye yüklenmesi, oluşan atık miktarının azaltılması, geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımının arttırılması gibi maddeleri içerebilir. Örneğin, Waste Electrical&Electronics Equipment (Atık Elektrikli&Elektronik Araç Gereç) direktifi, atık elektrikli ve elektronik araç gerecin toplanması, işlem görmesi ve geri dönüştürülmesiyle ilgili bir takım kriterler içerir ve üreticileri bu faaliyetleri finanse etmekle yükümlü kılar. Aynı zamanda üretim süreçlerinde, atık elektroniğin parçalara ayrılması ve geri dönüştürülmesinde yararlanılan zararlı girdilerin kullanımına kısıtlama getirir.
- **Şirket değerleri:** TL'nin diğer bir uygulama güdüsü ise, bir şirket veya organizasyonun tersine lojistik faaliyetleri konusunda sorumlu olmasını gerektiren değerler ve prensipler seti ile ilgili olan şirket vatandaşlığıdır. TL şirket imajının iyileşmesine fayda sağlar. Bu konuda Nike'da yapılan çalışma dikkat çekicidir. Nike kullanılmış ayakkabıların, müşteriler tarafından satın alındıkları yere geri götürülmesini özendirmeye çalışmaktadır. Bu ayakkabılar Nike tesisine geri yollanmakta ve basketbol kortları ve koşu yollarının yapımında kullanılan malzemeye dönüştürülmektedir. Bu da marka değerini artırıcı etki yapmaktadır.
- **Çevreye duyarlılık:** Çevre ile ilgili konularda duyarlılık da TL ile ilgili uygulama güdülerinden biridir. TL, uygulamalarına ve stratejik planlarına çevresel hedefleri de dâhil eden firmalara rekabet avantajı sağlar. Yöneticiler çevresel konulara gittikçe artan bir önem vermektedirler. Tedarik zinciri yönetiminde çevre yönetimine olan ilgi gittikçe artmaktadır. Çevre dostu ürünler üretmek birçok firmayı ürünlerini geri alma ve geri dönüştürme ile ilgili araştırmalar yapmaya yönelten önemli bir pazarlama bileşeni haline gelmektedir.

2.1.4 Tersine lojistikte hareket kaynakları

Genel olarak ürünler, fonksiyonlarını tam olarak yerine getiremediklerinden ya da

fonksiyonlarına artık ihtiyaç kalmadığından ıskartaya çıkarılırlar. Üretimden başlayarak ürünlerin müşterilere ulaştırılınca kadar geçen tedarik zinciri hiyerarşisindeki çeşitli nedenler aşağıda açıklanmıştır (Dekker *vd.*, 2004):

- **Üretim geri dönüşleri:** Üretim geri dönüşleri, üretim aşamasında geri dönüştürülmek durumunda kalınan tüm bileşen ve ürünlerdir. Bu durum çeşitli nedenlerden kaynaklanabilir. Hammaddeler artabilir, bitmiş ürünlerde kalite hatalarından kaynaklanan yeniden işleme gereklilikleri oluşabilir, üretim esnasında ürünler atık konuma gelebilir ya da yan ürünler elde edilebilir. Hammadde fazlalıkları ve üretim artıkları, “ihtiyaç duyulmayan ürün” kategorisine girerken, kalite-kontrol dönüşleri ise “kusurlu” kategorisine girer. Özetle, üretim geri dönüşleri aşağıdaki gibidir:

- Hammadde fazlalıkları,
- Kalite kontrol dönüşleri,
- Üretim artıkları ve türev ürünler.

- **Dağıtım geri dönüşleri:** Dağıtım sırasında oluşan tüm geri dönüşlerdir. Ürün geri çağırımları, ticari dönüşler, stok ayarlamaları ve fonksiyonel dönüşler bu gruba girer. Ürün geri çağırımları, ürünlerde meydana gelme riski olan güvenlik ya da sağlık riskleri nedeniyle ürünlerin geri çağırılmasıdır ve üretici ya da tedarikçi tarafından başlatılır. B2B (business to business-işten işe) ticari dönüşleri, perakendecinin tedarikçiye geri verme seçeneğinin kontrattan kaynaklandığı bu tarzda geri dönüşlerdir. Hatalı veya hasar görmüş teslimatlar, çok kısa raf ömrü kalmış ürünler, toptancı ya da üreticiye, dağıtımçı ya da perakendeciden dönen satılmamış ürünler örnek olarak verilebilir. Son verilen örnek, raf ömrü çok uzun olan fakat satılmama olasılığı bulunan yiyecek ya da ecza ürünleri gibi ürünlerdir. Stok ayarlamaları, zincirdeki bir bileşenin stoklarını yeniden dağıttığı zamanlar görülür, bu dağıtımlar sezonsal ürünlerde de gözlenebildiği gibi depolara ya da mağazalara olabilir. Son olarak, esas fonksiyonları, zincirde ileri ya da geri gönderilmelerine neden olan ürünlerle ilgili geri dönüşlerdir. Örnek olarak, dağıtımda kullanılan bir paletin geri gönderilmesi verilebilir: bu paletlerin fonksiyonu diğer ürünlerin taşınmasıdır ve bu fonksiyonlarını defalarca yerine getirebilirler. Diğer örnekler, sandıklar, yardımcı taşıma araçları ve paketlerdir. Özetle, dağıtım geri dönüşleri aşağıdaki bileşenleri içerir:

- Ürün geri çağırımları,
- B2B ticari dönüşler,
- Stok ayarlamaları,

- Fonksiyonel dönüşler (dağıtım elemanları, taşıyıcılar, paketler).
- **Müşteriden geri dönüşler:** Üçüncü grup, müşteriden geri dönüşlerdir, yani, bu dönüşler ürün son müşteriye ulaştıktan sonraki bir zamanda meydana gelir. Bu dönüşlerin de aşağıdaki gibi çeşitli nedenleri vardır:
 - B2B ticari dönüşler (ödeme garantileri),
 - Garanti dönüşleri,
 - Hizmet dönüşleri (tamir, yedek parça),
 - Kullanım sonu geri dönüşleri,
 - Yaşam sonu geri dönüşleri.

Yukarıda bahsedilen geri dönüş nedenleri ürünün yaşam çevrimi ile ilişkilidir. Ödeme garantileri müşteriye ihtiyaçları ve beklentileri karşılanmadığı durumlarda satın alma kararlarını değiştirme olanağı tanır. Geri dönüşlerin altında yatan nedenler arttırılabilir. Örneğin kıyafetler dikkate alındığında tatmin olmama nedeni boyut, renk, kumaş özellikleri, vb. olabilir. Müşterinin para alma ya da benzer bir garantiyle yeni ürünü geri göndermesi durumu B2B ticari dönüşler sınıfına girer. Diğer iki neden olan garanti ve hizmet dönüşleri, genellikle ürün fonksiyonunun yanlış kullanımı gibi nedenlerden dolayı oluşur.

Temel olarak müşteriler, söz verilmiş olan kalite standartlarının karşılanmaması durumunda garantiden kaynaklanan haklarından yararlanırlar. Garanti kapsamında geri dönen ürünler iyileştirme ihtiyaçlarına göre, bazı durumlarda tamir edilir, bazı durumlarda ise müşteriye yeni bir ürün verilir ya da para iadesi yoluna gidilir. Garanti süresi geçtiğinde, müşteriler tamir ve bakım hizmetlerinden yararlanmaya devam ederler fakat ürünün karşılığında yeni bir ürün alma hakkını kaybederler. Ürün, müşterinin üründen yararlandığı noktada tamir edilebilir ya da tamir için geri alınabilir. Ürünün tamir için geri alındığı durumda, hangi parçanın ya da ürünün tamir için geri döneceği kesin olarak bilinmediğinden, hizmet tedarik zincirinde dönüşler için alanlar ayrılmalıdır.

Kullanım sonu dönüşleri, ürünün belirli bir yaşam evresinde kullanıcının geri verme olanağının olduğu durumlar için geçerlidir. Kiralama durumlarında ve şişeler gibi geri gönderilebilen taşıyıcılarda geçerli bir durumdur, fakat aynı zamanda, amazon.com'un ikinci el kitap pazarında olduğu gibi ikinci el pazarlar için geri dönüşlerde de geçerlidir.

Son olarak, yaşam sonu ürün geri dönüşleri, ürünün ekonomik ya da fiziksel yaşamının sonunda geçerli olan bir durumdur. Bu durumdaki ürünler yasal geri alma zorunlulukları

bulunan OEM'lere (Original Equipment Manufacturer – Orijinal araç gereç imalatçısı) ya da malzemesinden ya da geri dönüştürülmüş halinden yararlanmak isteyen şirketlere gönderilirler (Dekker *vd.*, 2004).

Tersine lojistik faaliyetleri ürünler ve ambalaj-paketler açısından Çizelge 2.2'deki gibi özetlenebilir (Rogers ve Tibben-Lembke, 1998):

Çizelge 2.2 Tersine lojistik faaliyetleri (Rogers ve Tibben-Lembke, 1998)

Malzeme	Tersine Lojistik Faaliyeti
Ürünler	Tedarikçilere dönüş Tekrar satış Satış yerinde (outlet) satış Kurtarma Tamir Yenileme Yeniden üretim Malzemenin iadesi Geri kazanmak Bertaraf etmek
Ambalaj-Paket	Tekrar kullanım Yenileme Malzemelerin iadesi Geri kazanma Kurtarma

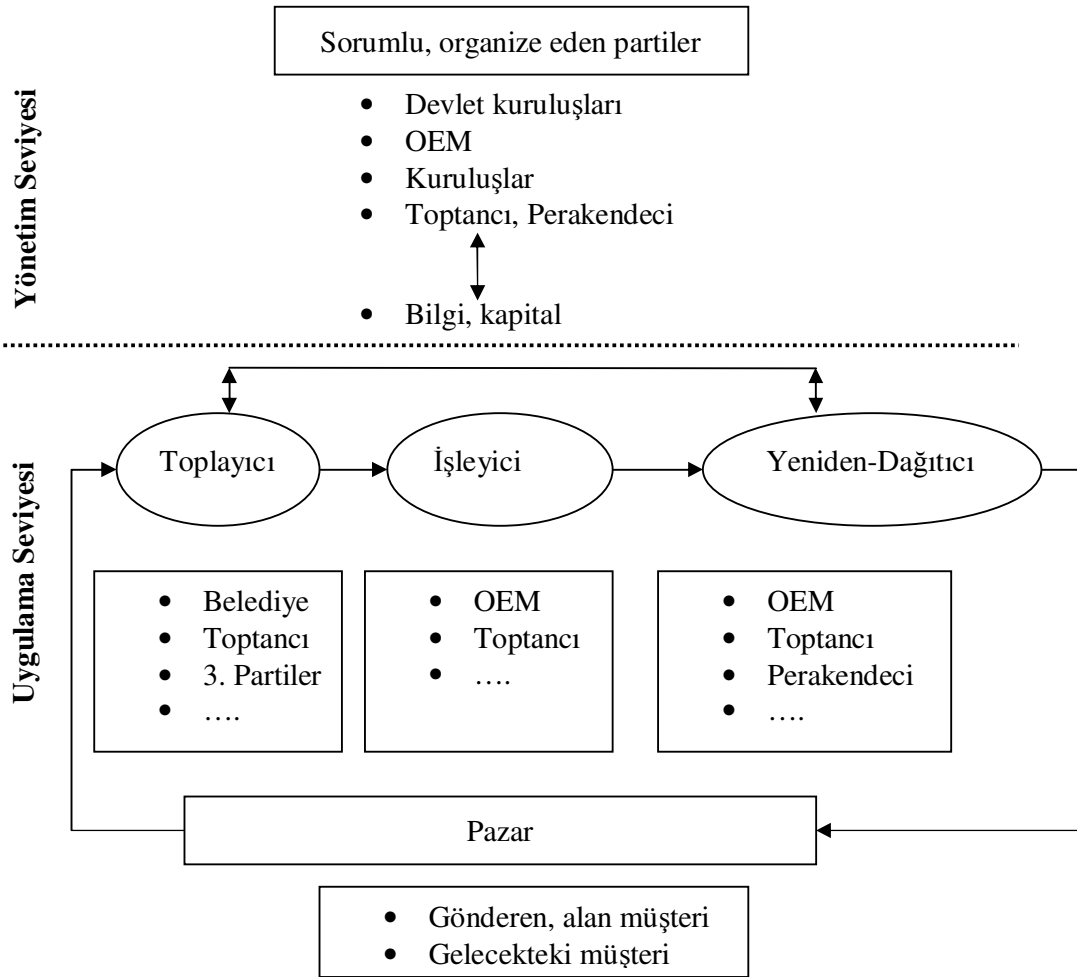
2.1.5 Tersine lojistiğin bileşenleri

TL'de birden çok bakış açısı vardır. Bunlar aşağıdaki gibidir (Dekker *vd.*, 2004):

- İleri tedarik zinciri bileşenleri (tedarikçiler, üreticiler, toptancılar, perakendeciler, vb.),
- Uzmanlaşmış tersine lojistik sağlayıcıları (toptancılar, geri kazanım uzmanları, vb.),
- Fırsatları değerlendiren bileşenler (yardım kuruluşları, vakıflar vb.).

Bazı bileşenler tersine zincirden ya da organizasyonundan sorumludur, bazıları ise zincirdeki görevlerin uygulanmasından sorumludur. Bu temel görevlere eklenebilecek son madde ise gönderici, alıcı ve gelecekteki müşteri tarafından gerçekleştirilecek olan yardımcı görevlerdir. Müşteriler dâhil herhangi bir parti gönderici, alıcı olabilir. Toplama ve işleme gibi tersine lojistik aktivitelerindeki bileşen grupları, bağımsız ara elemanlar, geri kazanım şirketleri, tersine lojistik hizmet sağlayıcıları, atık toplama işiyle ilgilenen belediyeler ve geri dönüşüm işi ile ilgilenen kamu veya özel kuruluşlardır. Her aktörün farklı amacı vardır, örneğin, üreticiler, toptancıların ürünlerinin yeniden satışını gerçekleştirirken düşük fiyatlar koymasını

engellemek için geri dönüşüm işine girebilirler. Farklı partiler birbirleriyle rekabet içinde olabilir. Bu bakış açısı Şekil 2.1’de görülebilir. Şeklin en üstündeki partiler sorumlulardır ya da yasal olarak sorumlu tutulmaktadırlar. OEM gibi ileri zincirin elemanıdır. Sonrasında tersine lojistiği organize eden partiler mevcuttur. Bu partiler, aynı partiler, kuruluşlar (şirketlerin birlikte çalışması durumunda), ya da devletin kendisi olabilir. Bu partilerin altında, farklı partiler tarafından yapılabilecek olan iki ana lojistik faaliyeti vardır: toplama ve işleme. En sonunda da ürünler pazara yeniden dağıtılır (Dekker *vd.*, 2004).



Şekil 2.1 Tersine lojistikte aktörler (Dekker *vd.*, 2004)

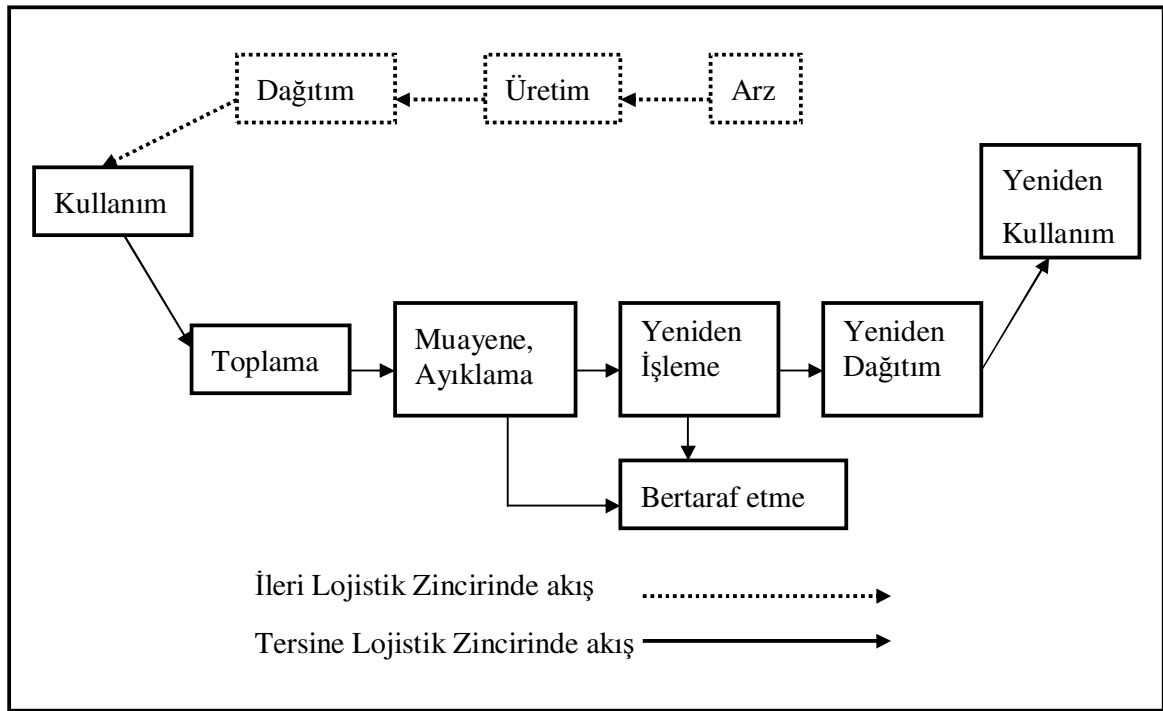
2.2 Tersine Lojistik Ağları

Bir TL sistemi, ürünlerin ilk eldesinin gerçekleştirileceği ilk toplama merkezleri (İTM), sınıflandırma, bakım, ayrıştırma gibi işlemlerin yapılacağı merkezi toplama merkezleri

(MTM), üretim tesisleri (ÜT) ve müşterilerle, bu tesislerin bağlantı yollarının çeşitli alternatiflerinden oluşan ağ yapılarıdır. Durumdan duruma farklılıklar gösterebilen bu yapılar da ortak işlem adımları mevcuttur.

2.2.1 Tersine lojistik ağlarında işlem adımları

Tersine lojistik ağları (TLA) durumdan duruma farklılık göstermekle birlikte genel olarak Şekil 2.2'deki adımları içerir (Fleischmann *vd.*, 2000).



Şekil 2.2 İleri ve tersine lojistik zincirinde akış (Fleischmann *vd.*, 2000)

TL'nin Şekil 2.2'de gösterilmiş olan adımları aşağıdaki gibi açıklanabilir (Fleischmann *vd.*, 2000):

- **Toplama:** Kullanılmış ürünleri bulmaktan, iyileştirme ve işlemden geçirileceği noktaya kadar olan fiziksel hareketi ile ilgili tüm aktiviteleri kapsar. Örneğin, kullanılmış halıların halı satıcısından geri toplanması ve kullanılmış fotokopi makinelerinin kullanıcıdan geri toplanması bu adıma örnek olarak gösterilebilir. Genelde, toplama adımı, satın alma, taşıma ve depolama aktivitelerini içerir. Bazı durumlarda toplama, yasal bir zorunluluk olabilir (Almanya'da paketlenme malzemesinin geri toplanması ve Hollanda'da beyaz ve kahverengi eşyaların geri toplanmasının yasal zorunluluk olması gibi).

- **Muayene, Ayıklama:** Belirli bir ürünün yeniden kullanılabilir olup olmadığının ve kullanılabilirse hangi yollarla kullanılabileceğinin kararının verildiği tüm işlemleri içerir. Muayene ve ayıklama işlemi, kullanılmış ürünlerin farklı yeniden-kullanım seçenekleriyle (ya da bertarafıyla) sonuçlandığı bir kullanılmış ürün akışıdır. Örnek olarak, fotokopi makinelerinin yeniden kazanılabilir veya tamir edilebilir olarak ayrılması gösterilebilir. Muayene ve ayıklama, demontaj, küçük parçalara ayırma, test etme, sınıflandırma ve depolama adımlarını içerebilir.
- **Yeniden işleme:** Kullanılmış bir ürünün yeniden kullanılabilir bir ürüne dönüştürülmesi aşamasıdır. Bu dönüştürme, geri dönüşüm, tamir ve yeniden imalat gibi farklı yapılarda olabilir. Ek olarak, temizleme, yenileme ve yeniden monte etme gibi adımlar da içerebilir. Kullanılmış halılardan naylon geri dönüşümü, kullanılmış fotokopi makinelerinden parça yeniden imalatı ve kirlenmiş inşaat atığının temizlenmesi gibi örnekleri vardır.
- **Bertaraf etme:** Teknik veya ekonomik nedenlerle yeniden kullanılamayacak olan ürünler için gerekli olan bir adımdır. Ayıklama aşamasında çok fazla tamir gerektirdiği için reddedilen ürünler veya tarihi geçtiği için kullanılamayacak olan ürünler bertaraf edilebilir. Taşıma, toprağa gömme ve yakma gibi adımlar içerebilir.
- **Yeniden dağıtım:** Yeniden kullanılabilir ürünlerin potansiyel pazarlara yönlendirilmesi ve buradan gelecekteki kullanıcılarına fiziksel hareketi işlemidir. Satış, taşıma ve depolama gibi aktiviteleri içerebilir. Geri dönüştürülmüş ürünleri satışı, yeniden imal edilmiş fotokopi makinelerinin kiralanması bu adımın tipik örnekleridir.

2.2.2 Tersine lojistik ağlarının diğer lojistik ağları ile karşılaştırılması

Tersine lojistik ağları tedarik zincirinin birkaç adımını içerir. Bu dikkate alındığında tersine lojistiğin tek başına bağımsız bir sistem olarak düşünülmesinden tedarik zinciri ile koordinasyonlu bir şekilde çalışması önemlidir. Tersine lojistik ağları, tedarik, üretim ve dağıtım aşamalarını içeren dağıtım ağlarıyla ilişkilidir. İki kavram arasındaki temel farklar tedarik kısmında ortaya çıkmaktadır. Geleneksel üretim-dağıtım sistemlerinde tedarik tarafından kontrol edilebilen birçok değişken mevcuttur. Bu duruma zıt olarak, tersine lojistik sistemlerinde tedarik konusu, karar vermesi ve tahmin edilmesi zor bir konudur. Sonuç olarak tedarik belirsizliği tersine lojistik sistemleri ve geleneksel üretim-dağıtım sistemleri arasındaki temel farklılıktır.

Geleneksel üretim-dağıtım sistemleri, tersine lojistik ağlarına benzer bir “kontrol” aşaması içermezler. Akışların varış yerleri, ürünün yeniden eldesindeki kalite bağımlı işlem hatlarıyla

karşılaştırıldığında önceden daha kesin bir şekilde bilinebilir. Türev ürün ve yeniden işleme durumlarında olduğu gibi istisnalar olmakla birlikte, bu geleneksel üretim ağlarının temel odağı değildir. Sonuç olarak, tersine lojistik ağ yapıları daha karmaşıktır. Tersine lojistik ağlarını geleneksel üretim-dağıtım ağlarından daha karmaşık yapan bir diğer faktör ise toplama ve dağıtım aşamalarındaki potansiyel etkileşimlerdir. Örneğin, kapalı döngü ağlarda kombine transportasyon söz konusu olabilir. Burada, ağ karmaşıklığının belirli geri dönüşüm süreçlerine bağlı olduğu ve örnekten örneğe değişebileceğinin belirtilmesinde fayda vardır. Son olarak, kullanılmış ürünlerin kaynaklarının sayısı, geleneksel durumdaki tedarik kaynaklarına göre oldukça fazladır. Çok sayıda az miktarda akış tersine lojistik ağlarının önemli bir karakteristiğidir.

Dağıtım kısmında üretim-dağıtım ağları ile tersine lojistik ağları arasındaki farklar daha azdır. Tersine lojistik ağı sistemleri daha çok profesyonelleştikçe ve tedarik zincirinin standart bir bileşeni haline geldikçe mevcut fark da azalma yönünde eğilim gösterecektir.

Tersine lojistik ağları ile karşılaştırılabilecek diğer bir sistem atık bertaraf ağlarıdır. Bertaraf ağları, toplama, işleme ve bertaraf gibi aktiviteler içerir. “Tedarik” kısmında iki ağ yapısı arasında benzerlikler mevcuttur. Kullanılmış ürünlerin bir çok olası kaynaktan toplanması ve işlenme ve taşınma için konsolide edilmesi gerekmektedir. İki ağ yapısı arasındaki en büyük farklılıklar “talep” kısmında ortaya çıkmaktadır. Geri dönüştürülmüş bir ürünün yeniden kullanım pazarına ulaştırılması sırasında atıklar genellikle bertaraf ya da yakma alanlarına yönlendirilirler. Bertaraf alanlarının sayısı genellikle yeniden kullanım pazarındaki talep noktalarının sayısından çok azdır. Ek olarak, bertaraf alanları için kalitatif farklılıklar çok önemli değildir. İki sistem arasında farklar olmakla birlikte, aralarındaki çizgi her zaman çok kesin olmayabilir (Fleischmann *vd.*, 2000).

2.2.3 Tersine lojistik ağlarının sınıflandırılması

Tersine lojistik ağ yapılarındaki temel farklar şu şekilde sınıflandırılabilir (Fleischmann, *vd.*, 1997):

- Merkezileşme derecesi,
- Seviye sayısı,
- Diğer ağlarla bağlantılar,
- Kapalı döngüye karşılık açık uçluluk,
- TLA’daki bileşenler arasındaki iş birliği derecesi.

Merkezileşme, benzer aktiviteleri yapan bölgelerin sayısı ile ilgilidir. Merkezileştirilmiş bir ağda her bir faaliyet için çok az sayıda bölge bulunur. Merkezileştirilmemiş bir ağda ise aynı işlem birden çok bölgede paralel olarak yapılır. Seviyelerin sayısı, bir ürünün sırasıyla uğradığı tesis sayısıdır ve dikey entegrasyon seviyesine işaret eder. Tek seviyeli bir ağda, tüm faaliyetler tek tip bir tesiste yapılır, çok seviyeli bir ağda ise farklı bölgelerde gerçekleştirilir. Diğer ağlarla bağlantılar ise geçmişte var olan ağlarla entegrasyon derecesine işaret eder. Bir lojistik ağı tamamen bağımsız bir yapıyla kurulabileceği gibi, mevcut bir ağı, örneğin ileri lojistik ağının genişletilmiş bir hali de olabilir. Kapalı döngüye karşı açık uçluluk karakteristiği ise içeri doğru akışlarla dışarı doğru akışlar arasındaki ilişkiye işaret eder. Kapalı döngü bir ağda, kaynak ve varış noktaları bir “döngü” oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Diğer taraftan, açık uçlu ağlarda tek-yollu bir yapı vardır, akışlar bir noktadan başlar ve farklı bir noktada biter. Son olarak, dallardaki iş birliği derecesi, ağı kurmaktan sorumlu partilerle ilişkilidir. Girişim tek bir şirket tarafından gerçekleştirilebileceği gibi, taşeronlar sürece dâhil edilebilir ya da bir endüstri dalından ortak katılımlı bir yatırım gerçekleştirilebilir (Fleischmann *vd.*, 2000).

2.2.4 Ağ kavramının boyutları

Tersine lojistik ağı, ürün, pazar ve kaynaklar olmak üzere üç boyutta incelenebilir (Fleischmann *vd.*, 1997):

- Ürün karakteristikleri, kullanılmış ürünlerin, ağırlık, hacim, kırılabilirlik, zehirlilik, dayanıklılık, ekonomik değer ve eskime oranı gibi ekonomik ve fiziksel özellikleriyle ilgilidir. Tüm bu faktörler, uygun bir lojistik ağının tasarlanması üzerinde etkilidir. Aynı zamanda, uygun dönüşüm seçeneğinin, yeniden kullanım, yeniden imalat veya malzeme geri dönüşümü olup olmadığını belirlemekte de etkilidir. Uygulanacak dönüşüm seçeneği tesis tipini ve ilk yatırım maliyetlerini de etkiler.
- Pazar karakteristikleri, dâhil olan bileşenler ve onların ilişkileri ile ilgilidir. Genelde, tedarikçiler, OEM’ler, hizmet sağlayıcılar, bağımsız geri dönüştürücüler, müşteriler ve kamu otoriteleri, bir dönüşüm sürecinin oluşturulmasında önemli rol oynarlar. Farklı partiler arasındaki etkileşimler, nihai tedarik zinciri yapısı ve lojistik aktiviteleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Her bir parti, göreceli gücüne ve ekonomik teşebbüslerine bağlı olarak kendi sorumluluklarını seçer.
- İlgili kaynaklar, tersine lojistik ağ tasarımını da etkileyen dönüşüm tesisleri, insan kaynakları ve ulaştırma kaynaklarıdır. Gerek duyulan kaynakların lojistik ağ yapısı

üzerinde doğrudan bir etkisi vardır. Yatırım maliyetleri, işletme maliyetleri ölçek ekonomisi üzerinde etkilidir ve merkezileşme derecesinden etkilenirler. Kapasite kısıtları ve çok yönlülük de kaynaklarla ilgilidir.

2.3 Merkezi Toplama Merkezi Kavramı

Merkezi Toplama Merkezleri (MTM) geri dönen ürünleri çabuk ve etkin bir şekilde alındığı işleme merkezleridir. Geçmişte de kullanıldığına rastlanan bu merkezlerin sayısı, daha çok perakendeci ve üreticinin, dönen ürünleri yönetmeye ve işlemeye daha çok kaynak ayırmaya başlamasıyla artmıştır.

Bir merkezi sistemde, TL hattındaki tüm ürünler alınır, sınıflandırılır, işlenir ve sonraki hedeflerine gönderilir. Bu sistem, TL akışıyla ilgili müşterilere mümkün olan en çok hacimde işlem yapmak suretiyle bir fayda oluşturur. Aynı zamanda, belirli alanlarda uzmanlığı olan ve kullanılmış ürünler için en iyi gönderilme noktalarını belirleyen uzmanlar sayesinde, ürünlerden elde edilen dönüş miktarlarının maksimize edilmesini sağlarlar.

Genellikle bir MTM şu şekilde çalışır: Perakendeci gönderilmiş ürünleri bir ya da daha fazla MTM'ye gönderir. Eğer perakendeci, büyük ulusal veya uluslar arası bir firmaysa, birden fazla MTM'ye gönderme olasılığı daha yüksektir. MTM'ye gelen ürünler işlemden geçirilmek üzere toplanır. Genellikle, MTM, üretici ve perakendecinin de bilgilerinden faydalanarak, ürün için en uygun seçeneği belirler.

TTL sürecinin en önemli adımlarından biri sınıflandırma sürecidir. Bu süreç esnasında, çalışanlar, bir ürünün yeniden satılıp satılamayacağını ya da hurda olup olmayacağını kararını verir. Ürünün gönderileceği en iyi lokasyonun seçimi, tersine lojistik hattındaki ürünler için kritik önem taşır.

MTM, Tersine Lojistik stratejisinin önemli bir kısmıdır. Bu merkezler tersine akışa sipariş gönderirler. Genellikle, bilişim sistemlerinin gelişimiyle ilgilidirler. Bir MTM'nin işletilebilmesi için, firmanın bir TL sistemine sahip olması gerekmektedir.

MTM'ler aynı zamanda, ürünün satıldığı alandaki süreçleri de kolaylaştırırlar. Genellikle, bir mağazalar zincirinde geri dönecek ürünün yollanacağı seçenekle ilgili tek ve belirlenmiş bir karar vermek zordur. Bu konuda müşteriye hizmet veren çalışanlar, doğru bir şekilde eğitilmemiş, yeni veya dönüşlerle yeterince ilgilenmiyor olabilirler (Rogers ve Tibben-Lembke, 1998):

MTM’lerin Tersine Lojistik ağına katabileceği değerler aşağıdaki gibidir (Rogers ve Tibben-Lembke, 1998):

- **Tutarlılık:** Ürünleri MTM’lere göndermek, geri dönen ürünlerle ilgili seçeneklerde daha tutarlı kararlar verilmesine yardımcı olur. Çünkü süreçler standartlaştırılmıştır, hatalar daha kolay tanımlanır ve engellenir. Genellikle, bir firma, MTM işleme modeline geçerse, dönüşlerin işlenme kalitesinde artış görülür.
- **Alandan faydalanma:** Perakende mağazalarının dönüşlere ayırmak için çok kısıtlı alanları vardır. Genellikle, bir perakendeci, satmak için getirdiği ürünlere daha fazla yer ayırmak ister ve satışı yapılmayacak olan ürünlere fazla bir alan ayırmak istemez.
- **İşgücü kazançları:** Dönüş işleme sürecinin merkezileştirilmesiyle, dönüşlerin işlenmesini tamamlamak için ayrılan iş gücünde azalma görülür. Genellikle, MTM’deki uygun olarak eğitilmiş bir çalışan, müşteri destek masasında kombine işlerle uğraşan birkaç çalışandan daha kısa zamanda işlerini halledebilir.
- **Taşıma maliyetleri:** Birleştirmeye tersine lojistikle ilgili taşıma maliyetlerinde düşüş olacağı düşünülmektedir. Bir MTM modeliyle, bir perakendeci, palet ve daha az kutu kullanarak, birleştirmeden faydalanabilir ve böylece maliyetlerini düşürebilir. Tamamen merkezi olmuş bir sistemde ise, ürünlerin perakendecilerden merkezi tesislere taşınması zorunluluğu ortaya çıktığından elde etme ve taşıma maliyetlerinde bir artış beklenebilir. Eğer bir ürün sadece atılacaksa, bu ürünü merkezi tesise göndermek, atılma maliyetlerini arttırırken, kazançta herhangi bir artış sağlamaz. Bununla birlikte, maliyet avantajları, elden çıkarma zamanındaki düşüşler ve MTM sisteminin uygulanması ile sağlanan gelir artışları, hurda olacak bir ürünün taşınmasıyla oluşan maliyetlerden çok daha fazladır.
- **Artan müşteri memnuniyeti:** Üreticilerin bakış açısıyla, merkezi bir sistem müşteri memnuniyetini arttırabilir. Merkezi sistem sayesinde uzlaşma hızı artabilir. Dönüşlerin birleştirilmesiyle, üretici dönüş eğilimlerinden daha çabuk haberdar olabilir. Aynı zamanda, iyi bir tersine lojistik yönetimi, müşteri sadakatini sağlamak için iyi bir pazarlama stratejisi olabilir. İşlerin hızlı bir şekilde görülmesi, müşteri sadakatinin arttırılmasına yardımcı olur.
- **Elden çıkarma zamanını azaltma:** MTM’ler tersine lojistik hattında hızlandırıcı bir etki yapabilirler. MTM uygulanmamış bir sistemde, perakendeciler mağazalardan dönüşleri biriktirip, üreticilere düzenli olmayan aralıklarla, organize olmayan bir şekilde ve büyük yığınlar halinde gönderirler. Dönüşler, bir mağaza veya dağıtım merkezinin birinci önceliği

olmadığından, büyük miktarlarda biriktirilirler. Bu etkin olmayan strateji, geri dönen ürünlerin çok fazla beklemesinden dolayı değerini kaybetmesine ve zarar görmesine neden olabilir.

- **Kalite problemlerinin izlenebilirliği:** MTM sisteminin uygulanmasının avantajlarından biri de, birden fazla mağazadan dönüşler olacağından, kalite problemlerini izlemenin kolaylaşmasıdır. Eğer, dönüşler iyi izlenirse, kayıtları tutulursa ve tedarikçi bilgileriyle ilişkilendirilirse, ürün ve tedarikçi problemlerinin fark edilmesi hızlanacaktır. Böylece firma, ürün kalitesini arttırıp maliyetleri düşürebilir.
- **İleri ve tersine yönde lojistik:** Dağıtım merkezlerinin ileri ve tersine yönde lojistik faaliyetlerini bir arada çok iyi yürütemeyeceklerine dair genel bir kanı vardır. Bu problem, asıl iş alanına daha fazla odaklanmakla ilgili olabilir. Eğer dağıtım merkezi yöneticisi, İL ile TL'nin etkin bir şekilde uygulanması arasında bir seçim yapmak durumunda kalırsa, daha çok İL işlerine odaklanacaktır. Her durumda, yeni ürünlerin ileri yönlü akışı, dağıtım merkezlerinin sorumluluklarından biri olduğundan, dağıtım merkezi yöneticilerinin en önemli önceliği olur.
- **Muhasebe:** İyi bir MTM'de bilgi sistemleri muhasebe ve diğer sistemlerle etkileşim halinde olur. Teoride, satış yerleri bunu iyi yapmalıdır, ama çoğu bunu başaramazlar. Çoğu zaman, perakendeciler, normal perakendecilik süreçlerine odaklanırlar. MTM'ler perakendecileri destekler ve geri dönmüş ürünlerle ilgili elden çıkarma kararları daha hızlı verilebilir.

Özetle, MTM'ler sayesinde elde edilebilecek faydalar şöyledir (Rogers ve Tibben-Lembke, 1998):

- Mağaza süreçlerinin kolaylaşması,
- Tedarikçilerle ilişkilerin gelişmesi,
- Dönüş envanter kontrollerinin daha iyi yapılması,
- Envanter çevrimlerinin gelişmesi,
- Yönetim maliyetlerinde düşüş sağlanması,
- Mağaza seviyesindeki maliyetlerde düşüş sağlanması,
- Fire miktarında azalma,
- Perakendecinin çekirdek yetenek alanlarına (core competences) odaklanabilmesi,
- Bertaraf miktarlarında azalma,
- Yönetim bilgisinde gelişme sağlanması.

2.4 Elektikli-Elektronik Atıkların Geri Dönüşümü

Dünya genelinde elektrikli-elektronik ekipman (EEE) üretiminde bir artış görülmektedir. Teknolojik yenilikler ve pazarın genişlemesi araç gereç değiştirme hızına ivme kazandırmıştır ve bunun sonucu olarak da atık miktarları artmaktadır. 1998’de batı Avrupa’da 6 milyon ton elektrik-elektronik ekipman atığı (EEEA) oluşmuş ve bu miktarın yılda % 3–5 oranında artması beklenmektedir (Cui ve Forssberg, 2003).

EEEA, evsel atıklardan iki şekilde ayrılmaktadır: (1) evsel atıklardan farklı olarak elektronik atıklar zararlı malzemeleri de içeren birden fazla malzemenin bileşiminden oluşmaktadırlar ve (2) yeniden kullanılabilir ve/veya değerli bileşenler içerebilirler (bilgisayar parçaları gibi) (Nagurney ve Toyasaki, 2005).

İçeriklerinde bulunan zararlı malzeme bileşenlerinden dolayı EEEA, uygun bir şekilde işlenmezlerse atık yönetim süreçlerinde önemli çevresel problemlere neden olabilirler. Bu atıkların bertaraf miktarlarının azaltmak için çoğu ülke EEEA’nın yeniden kullanım, yeniden imalat ve diğer yenileme faaliyetlerini yasa yoluyla belirlemektedir. EEEA’nın geri dönüşümü çevresel problemlerle ilgili önemli olduğu gibi yaratabileceği ekonomik faydalar açısından da önemlidir. Amerikan Koruma Bakanlığı, hurda demir ve çeliğin kullanımının, hiç kullanılmamış olanlarının kullanımına göre sağlayabileceği faydaları yedi grup altında incelemiştir (Çizelge 2.3). Ayrıca dönüştürülmüş malzeme sayesinde sağlanan enerji kazançları da Çizelge 2.4’da verilmiştir (Cui ve Forssberg, 2003).

Çizelge 2.3 Hurda demir çelik kullanımı sayesinde elde edilen kazançlar (Cui ve Forssberg, 2003)

Kazanç tipi	Yenisi yerine hurda kullanımı sayesinde elde edilen kazanç oranı (%)
Enerji kazançları	74
Kullanılmamış malzeme kullanımı kazançları	90
Hava kirlilik oranlarında azalmalar	86
Su kullanımında azalmalar	40
Su kirliliğinde azalmalar	76
Madeni atıklarda azalmalar	97
Müşteri atıklarında azalmalar	105

Bazı ülkelerde EEEA’nın toplanması, işlenmesi, yeniden kazanımı ve bertarafı gibi adımlar yasal düzenlemelerle bir düzene sokulmuştur. Bu düzenlemeleri yapan ülkeler ve düzenlemelerin detayları Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Çizelge 2.4 Geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı ile elde edilebilecek enerji kazançları (Cui ve Forssberg, 2003)

Malzeme	Enerji kazancı (%)
Alüminyum	95
Bakır	85
Demir-çelik	74
Kurşun	65
Çinko	60
Kâğıt	64
Plastik	>80

Çizelge 2.5 Farklı coğrafi alanlara göre EEE için çevresel yasal düzenlemeler (Sharma vd., 2007)

Coğrafi bölge	Mevcut ya da önerilen yasanın yapısı	Detaylar
Avrupa Birliği	Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu	Geri alma zorunluluğu ve üreticilere yüklenen finansal sorumluluklar, EEEA toplama ve geri dönüşüm hedefleri
Tayvan	Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu	Üretici ve ithalatçıların ürünlerini geri almaları zorunluluğu
Japonya	Sorumluluk üretici ve tüketiciler arasında paylaştırılmaktadır.	Üreticiler elde etme ve geri dönüşüm tesislerini sağlarlar, tüketiciler geri dönüşüm noktasında belli bir ücret ödenmesi
Avustralya	Elektronik endüstrisinin gönüllü ürün asistanlığı	Henüz bir yasa yoktur, yol haritası hazırlanma aşamasındadır.
Kanada	Belediye, endüstri ve müşterilerin yük paylaşımı.	Perakendeci tarafından satılan bilişim ve Telekom ekipmanlarına uygulanan önce-sonra ücretlendirme programı
ABD	Ayrılmış faaliyetler, büyük yük üreticiye yüklenmiştir.	İleri geri dönüşüm ücretleri, elektronik ekipman bertaraf yasakları, GÜS, faaliyet planları için görev güçlerinin kurulması gibi, çeşitli aşamalarda uygulanan ölçütler

2.4.1 EEEA ürünlerinin karakteristikleri

EEEA malzeme ve bileşen açısından homojen değildir ve karmaşık yapıdadır. Maliyet etkin ve çevre dostu bir sistem geliştirmek için, değerli malzeme, zararlı atık ve atık bileşenlerinin fiziksel karakteristiklerini anlamak önemlidir. Bu özellikler şu şekilde sınıflandırılabilir (Cui ve Forssberg, 2003):

- **Zararlı bileşenler:** EEEA değişik şekil ve boyutta birçok bileşene sahiptirler ve bazı bileşenleri ayrı işlem görmek üzere ayrılması gereken zararlı bileşenler içerebilir.

EEEE'nin zararlı madde içerebileceğinden ayrı işlem görmesi gerekebilecek bazı parçaları: batı, katot ışın tüpleri, elektrik düğmeleri gibi cıva içeren bileşenler, asbest atığı, toner kartuşları, likit, macun ve renkli toner, likit kristal görüntüleyiciler ve gaz deşarj lambaları, vb.'dır.

- **Malzeme kompozisyonu:** EEEA çeşitli kısımlar içeren karmaşık bir malzemedir. Genel olarak PCB hurdası, %40 metal, %30 plastik, %30 seramik içeri. Elektronik hurda yeniden kazanımının temel ekonomik güdüsü içeriğinde bulunan değerli metallerdir. Bununla birlikte, EEEA içindeki değerli metallerin oranı gittikçe azalma yönünde bir eğilim göstermektedir. Avrupa Plastik İmalatçıları Birliği'nin 1995 yılında Doğu Avrupa için hazırlamış olduğu bir çalışmada EEE'nin içeriğinde bulunan temel malzemelerin oranları Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6 EEE'de bulunan temel malzemeler

Malzeme	Oran (%)
Demir	38
Demir-olmayan	28
Plastik	19
Cam	4
Ağaç ürünleri	1
Diğer	10

- **EEEE'nin fiziksel karakteristikleri:** Değerli metallerin bir karışımı olarak EEEA, bakır, alüminyum, altın gibi metallere ve plastik kaynağı olarak görülebilir. Mekanik bir geri dönüşüm sistemi geliştirilmesinde anahtar faktör, fiziksel karakteristiklerdeki farklılıklara dayanan etkin bir malzeme ayırımı sürecidir. Bu nedenle belirli malzeme bileşenlerinin karakteristiklerinin derinlemesine analizi önemlidir.
- **Parça büyüklüğü, şekli ve ayrıştırılabilirlik özellikleri:** Parça büyüklüğü, şekli, mekanik geri dönüşürülebilirlik özellikleri, mekanik geri dönüşüm süreçlerinde önemli bir rol oynarlar. Neredeyse bütün mekanik geri dönüşüm süreçleri belirli bir etkin büyüklük aralığına sahiptirler.

2.4.2 Elektrik-elektronik ekipman atıkları yönergesi

EEEE yönergesinin amacı, öncelikli olarak, EEEA'nın önlenmesi, ek olarak, bu tür atıkların bertaraf miktarını yeniden kullanım, yeniden imalat ve diğer dönüşüm türleri ile azaltmaktır. Aynı zamanda bu direktif, üreticiler, dağıtıcılar, müşteriler ve özellikle de EEEA'nı işleme sürecine katılanlar gibi EEE yaşam çevriminde etkisi olan tüm birimlerin çevre performanslarını artırma yolları aramaktadır [1].

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1 Tersine Lojistik Literatürü

Tersine Lojistik (TL) konusu ile ilgili literatürü inceleyen çeşitli literatür araştırması çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmaların en önemlilerinden biri Brito *vd.* (2003) tarafından hazırlanmıştır. Söz konusu çalışmada TL konusu ile ilgili altmışın üzerinde vaka çalışması incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre TL konusu, ağ yapıları, ilişkiler, envanter yönetimi, geri dönüşüm faaliyetlerinin planlama ve kontrol aktiviteleri ve bilişim sistemleri ile ilgili vaka çalışmaları başlıkları altında incelenmiştir. Bir diğer çalışma Fleischmann *vd.* (1997) tarafından hazırlanmıştır. Bu çalışmada TL literatüründeki sayısal modeller incelenmiş ve ilgili literatür, tersine dağıtım, envanter kontrol ve üretim planlama ve kontrol alt başlıkları altında incelenmiştir. TL konusunda hazırlanmış olan bir diğer literatür araştırmasını ise Ferguson ve Browne (2001) tarafından hazırlanmıştır. Bu çalışmada TL araştırma alanı ile ilgili dağıtım kanalları ve bilişim sistemleri konusu ayrıntılı olarak incelenmiştir. Gungor ve Gupta (1999) çalışmalarında genel olarak çevre bilinçli imalat ve ürün geri dönüşümü literatürünü incelemiştir.

Bu çalışmada TL konusunda yapılan çalışmalar üç ana başlık altında incelenecektir:

- Tersine lojistik ağları,
- Tersine lojistikte envanter yönetimi,
- Tersine lojistikte üretim planlama ve kontrol.

Tersine lojistik ağları ile ilgili literatür Bölüm 3.3.'de ayrıntılı olarak incelenecektir. Ayrıca bu bölümde TL'de envanter yönetimi ve üretim planlama ve kontrol konusunu kapsayan geniş literatürün bir bölümü incelenmiştir.

Kleber *vd.* (2002) ürünlerin yeniden kazanımı sistemleri için sürekli zamanlı bir envanter modeli önermiştir. Bu çalışmada üretim, yeniden üretim ve bertaraf politikaları için en iyi kararın alınmasında bir lineer maliyet modeli önerilmiştir. Bu konuda bir diğer çalışma Kiesmüller (2003) tarafından hazırlanmıştır. Bu çalışmada, iki stok noktalı ve üretim ve yeniden üretim için farklı teslimat zamanları olan stokastik bir geri dönüşüm sistemi için bir kontrol problemi üzerinde çalışılmıştır. Kiesmüller üretim ve yeniden üretim kararları için tek bir envanter kararı önermek yerine, farklı teslimat zamanları ilişkilerini hesaba katarak iki toplu değişken üzerinden bir karar yapısı önermiştir. Kiesmüller, Scherer'le birlikte

hazırladığı bir diğer çalışmada (Kiesmüller ve Scherer, 2003), stokastik ve dinamik talep ve geri dönüşleri olan bir ürün geri dönüşüm sistemi için bir optimal periyot kontrol politikası önermiştir. Bu çalışmada geri dönen ürünler için, öncelikle stok tutmayan ve sonrasında da stok tutan bir tesis incelenmiştir. Mahadevan *vd.* (2003), Poisson sürecine göre ürünlerin geri döndüğü bir yeniden imalat tesisini incelemişlerdir. Bu çalışmada talep belirsizdir ve Poisson dağılımına uygundur. Bu çalışmada, geri dönen ürünlerin yeniden imalat hattına ne zaman verileceği ve ne kadar yeni ürün imal edileceği kararlarını birlikte dikkate alan bir “itme” politikası uygulanmıştır ve geleneksel envanter modellerini temel alan birkaç sezgisel metottan yararlanılmıştır. Korugan ve Gupta (1998) çalışmalarında, talep ve dönüş oranlarının bağımsız olduğu geri dönüş akışlarının da dikkate alındığı iki aşamalı bir envanter sistemini modellemişlerdir. Fleischmann ve Kuik (2003), tek envanter noktalı bağımsız stokastik talep ve ürün geri dönüşlerini incelemişlerdir. Bu durum talebin pozitif ve negatif olabildiği stokastik tek ürün envanter modelinin bir varyantıdır. Dobos (2003) da tersine lojistik sistemlerinde optimum envanter politikasını bulmaya çalışmıştır. Bu çalışmada talebin belirli bir dönem için bilinen sürekli bir fonksiyon olduğu kabul edilmiştir ve kullanılmış ürünlerin geri dönüş oranlarının da bilindiği kabul edilmiştir. İki tesis incelenmiştir: talep, üretilmiş ve yeniden üretilmiş ürünlerin depolandığı birinci tesisten karşılanmaktadır; geri dönen ürünler ise ikinci tesiste toplanıp, yeniden üretilmekte ya da bertaraf edilmektedir.

3.2 Tesis Yer Seçimi Problemleri Literatürü

Tesis yer seçimi modelleri kabaca şu şekilde sınıflandırılabilir (Klose *vd.*, 2005):

- Potansiyel tesis setinin şekli ya da topografyası düzlemde olduğu kabul edilen modeller için, ağ yerleşim modelleri ve kesikli yerleşim ya da karma-tam sayılı programlama modelleri kullanılabilir. Alt sınıfların her biri için uzaklıklar bazı metrikler kullanılarak hesaplanır.
- Amaçlar mintop (toplamların en küçüğü) ya da minmaks (en büyüklerin en küçüğü) şeklinde olabilir. Mintop modelleri, ortalama uzaklıkları minimize edecek şekilde tasarlanır, minmaks modelleri maksimum uzaklıkları minimize edecek şekilde tasarlanır. Genellikle, mintop modelleri özel şirketlerin yer seçimi problemlerinin çözümünde kullanılırken, minmaks modelleri kamu sektörünün yer seçimi problemlerine odaklanır.
- Kapasite kısıtları olmayan modeller talep tahsisini kısıtlamazlar. Eğer potansiyel alanlar için kapasite kısıtları mevcutsa talepler dikkatli bir şekilde tahsis edilmelidir. İkinci

durumda, tekli-kaynaklandırma ya da çoklu-kaynaklandırma durumları değerlendirilmelidir.

- Tek-aşamalı modeller, tek bir aşamayı değerlendiren sistemlere odaklanırlar. Çok-aşamalı modellerde, mamul akışlarının hiyerarşik olarak birden çok aşamayı kapsadığı durumlar değerlendirilmelidir.
- Tek-ürünlü modellerde, birkaç ürün için olan talep, maliyet ve kapasite tek bir homojen ürün için toplanabilir olduğu kabul edilir. Eğer ürünler homojen değilse, farklılıkların sistem üzerindeki etkileri analiz edilmelidir ve çok-ürünlü modeller kullanılmalıdır.
- Yer seçimi modellerinde sıkça talebin elastik olmadığı kabulü yapılır, yani, talep çeşitli kararlardan bağımsızdır. Eğer talep elastik olursa, çeşitli faktörler arasındaki ilişkiler, örneğin, uzaklık ve talep, hesaba katılmalıdır.
- Statik modeller, sistem performansını tek bir temsili periyot için optimize etmeye çalışırlar. Zıt olarak dinamik modeller ise belirli bir planlama ufkunda değişen veriye (maliyet, talep, kapasite gibi) hassastırlar.
- Pratikte, modelin girdileri kesin olarak bilinmeyebilir. Veriler tahminlerle elde edilir ve belirsizlik içerir. Sonuç olarak, verilerin kesin olarak bilindiği (kabul edilen) durumlarda deterministik modeller ya da verilerin belirsizlik içerdiği durumlarda olasılıklı modeller kullanılabilir.
- Klasik modellerde talep atamasının niteliği her bir arz ve talep çifti ayrı ayrı düşünülerek ölçülür. Kombine yer seçimi ve rotalama modelleri bu ilişkileri ayrıntılı olarak işler.
- Ek olarak, tesis yer seçimi modelleri, tek amaçlı-çok amaçlı, istenmeyen tesis-istenilen tesis gibi ayrımlar göz önüne alınarak da sınıflandırılabilir.

Yukarıda söz edilen problemleri çözmek için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler arasında, 0-1 karma tamsayılı programlama, dinamik programlama, kâra geçme noktası (breakeven point) analizleri, karesel programlama, bulanık mantık gibi teknikler vardır. Ayrıca çeşitli sezgiseller de kullanılmaktadır. Kullanılan teknikten bağımsız olarak, tesis yerleşim kararlarının karlılık ve verimlilik üzerinde doğrudan bir etkisi olduğu bilinmektedir (Arostegui *vd.*, 2006).

Tesis yeri seçimi konusunda oldukça geniş bir literatür mevcuttur. Bu çalışmalardan bazılarında, bu tez kapsamında tasarlanan modelin amaçlarından biri de uygun tesis yerlerinin seçimi olduğundan, burada değinilecektir. 1999 yılında Badri (1999) tesis yer seçimi ve tahsis problemi için Analitik Hiyerarşi Süreci ve Hedef Programlama'nın bir kombinasyonunu

kullanmıştır. Bu çalışmada gerçek yaşam uygulamalarından bir örnek de verilmiştir. 2003 yılında Hale ve Moberg (2003) yer seçimi konusunda bir literatür araştırması yapmışlardır. Bu çalışmada tesis yeri seçimi ve yer seçimi bilimi araştırması hakkında geniş bir literatür incelenmiştir. Kahraman *vd.* (2003) tesis yeri seçimi problemi için bulanık grup karar verme tekniğini kullanmışlardır. Arostegui Jr. *vd.* (2006) tesis yeri seçimi problemleri için Tabu Araması, Tavlama Benzetimi ve Genetik Programlama'nın göreceli performanslarının bir karşılaştırmasını yapmışlardır. Sonuçlar Tabu aramasının çoğu durum için iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Tavlama Benzetimi ve Genetik Programlama ise daha çok problem tipine ve kritere bağlı olarak performans göstermektedir. Klose ve Drexl (2005) ise dağıtım sistemleri tasarımında tesis yer seçimi modelleri konusunu incelemişlerdir. Bu konuda yapılmış çalışmaları inceleyen yazarlar, özellikle, sürekli yer seçimi modelleri, ağ yer seçimi modelleri, karma-tam sayılı programlama modelleri ve uygulamaları özetlemişlerdir. Sun (2006) kapasite kısıtı olmayan tesis yeri seçimi problemi için Tabu Araması tekniğini kullanmıştır. Partovi (2006), karar verme sürecinde dış ve iç kriterlerin bir arada kullanıldığı tesis yer seçimi problemini incelemiştir. Modelin dış faktörleri müşteriler ve onların istekleridir, modelin iç faktörleri ise üretim tesisinin kritik süreçleridir. Kalite fonksiyon yayılımı ve analitik ağ süreci tekniklerinden yararlanılmıştır. Jaramillo *vd.* (2002), tesis yeri seçimi problemlerinde genetik algoritmaların kullanımı üzerine bir makale hazırlamışlardır. Bu çalışmada, tesis yeri seçiminde optimal ya da optimala yakın çözüm üretmek için genetik algoritmaların kullanımının performansını değerlendirmişlerdir. Değerlendirilen problemler, kapasite kısıtlı ve kapasite kısıtsız sabit yükleme problemleri, maksimum kapsama alanı problemi, rekabetçi yer seçimi modelleridir. Genetik algoritma tabanlı sezgiseller, literatürde bulunan sezgisellerle karşılaştırılmıştır.

3.3 Tersine Lojistikte Ağ Tasarımı Problemi Literatürü

Tersine Lojistik Ağları (TLA) konusunda yapılan çalışmalar çeşitli şekillerde sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmalardan birini Brito *vd.* (2003) yapmıştır. Brito *vd.* (2003)'e göre TLA'lar 2 boyutta sınıflandırılır:

- Geri dönüşümün tipine göre,
- Girişimin kimin tarafından yapıldığına göre.

Serrato *vd.* (2003) TLA'yı iki faktör üzerinden sınıflandırmıştır:

- Ürün yaşam çevriminin uzunluğu,

- Herhangi bir periyottaki dönüşlerin çeşitliliği.

Fleischmann *vd.* (2000) ise TLA'yı üç grupta incelemiştir:

- Hacim (kütle) geri dönüşüm ağları,
- Monte ürün yeniden imalat ağları,
- Yeniden kullanılabilir parça ağları.

Hacim (kütle) geri dönüşüm ağları ile ilgili sınıfa maddi olarak daha düşük değerli ürünlerden malzeme geri dönüşümü ile ilgili uygulamalar girer. Hacim (kütle) geri dönüşüm ağları sınıfı da kendi içerisinde alt sınıflara ayrılabilir:

- Hafriyat geri dönüşümü,
- Türev ürünlerden çelik geri dönüşümü,
- Halı geri dönüşümü,
- Cam, kağıt, plastik ve organik malzeme geri dönüşümü,
- Araba ve kamyon tekerleği geri dönüşümü,

Hacim (kütle) geri dönüşüm ağları ile ilgili literatürden bazı çalışmalar şöyledir: Barros *vd.* (1998) tarafından hazırlanan çalışmada iki aşamalı bir kum geri dönüşüm ağı incelenmiştir. Hollanda'da hafriyatın bertaraf edilmeden önce minimum düzeye indirilmesi zorunlu olduğundan, bu konuda geri dönüşüm konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Barros *vd.*'de çalışmalarında, kum problemi için iki-aşamalı bir yerleştirme modeli önermişler ve bu modeli sezgisel bir teknikle çözmüşlerdir. Listeş ve Dekker (2005) çalışmalarında ürün geri dönüşüm ağları ile ilgili bazı verilerin belirsiz olduğunu vurgulamışlardır. Bu çalışmada bir stokastik programlama modeli önermişler ve Hollanda'da da atık kum geri dönüşümü ile ilgili bir vaka çalışması yapmışlardır.

Spengler *vd.* (1997) çalışmalarında çelik endüstrisinde ürün geri dönüşümünü konusunu incelemişlerdir.

Biehl *vd.* (2007) çalışmalarında halı sektörünü geri dönüşüm açısından incelemişlerdir. Bu çalışmada, bir halı TL tedarik zinciri simule edilmiştir ve sistem tasarım faktörleri ve çevresel faktörlerin TL sistemini operasyonel performansı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

Pati (2006) kağıt endüstrisi üzerine yaptıkları çalışmada hammadde olarak kullanılmış kağıt ve ağacın sistem maliyeti üzerine etkilerini karşılaştırmıştır.

Lebreton ve Tuma (2006) çalışmalarında otomobil ve kamyon tekerleğinin yeniden

imalatında karlılık durumunun belirlenmesi için sayısal bir teknik önermişlerdir. Bu çalışmada öncelikle yeniden imalat çalışmalarının nereye kadar genişletilebileceği konusu tartışılmıştır. Sonra ise yeniden imalat hesaplamalarının iyileştirilmesi amaçlı bir OEM-merkezli karar modeli önerilmiştir.

Montaj ürün yeniden imalat ağları sınıfında maddi olarak daha yüksek değer taşıyan ürünlerin, parça ya da ürün seviyesinden yeniden kullanımı ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda alt sınıflara ayrılarak incelenebilir:

- Fotokopi makinesi yeniden imalatı,
- Cep telefonu yeniden imalatı,
- Elektronik ekipman yeniden imalatı,
- Toner kartuşu yeniden imalatı,

Montaj ürün yeniden imalat ağları ile ilgili literatürden bazı çalışmalar şöyledir: Krikke *vd.* (1999) çalışmalarında arttırılmış üretici sorumluluğuna bağlı olarak Avrupa’da OEM (Original Equipment Manufacturers) –Orijinal Ekipman Üreticileri’nin tersine lojistik sistemleri kurmaya itildiklerine işaret etmişlerdir. Ayrıca bilgisayar monitörlerinin yeniden imalatı ile ilgili bir vaka çalışması sunmuşlardır.

Franke *vd.* (2006) cep telefonları için bir yeniden imalat planı geliştirmişlerdir. Bu çalışmada yeniden imalat kapasitesi ve üretim planları için lineer bir optimizasyon modeli önerilmiştir.

Nagurney *vd.* (2005) elektronik atıkların tersine tedarik zincirlerinin yönetiminde entegre bir yapı geliştirmişlerdir. Bu yapıyı geliştirirken farklı gruplardan karar vericilerin davranışları tanımlanmıştır. Shih (2001) çalışmasında Tayvan’da çıkan Hurda Ev Gereçleri ve Bilgisayar Geri Dönüşümü Düzenlemesine dikkat çekerek bir tersine lojistik ağı tasarlamada toplam maliyeti minimize etmeye çalışan karma tam sayılı programlama modeli önermiştir.

Yeniden kullanılabilir parça ağları ise yeniden kullanılabilir paketlerle ilgilidir. Bu sınıfla ilgili hazırlanan çalışmaların alt sınıfları aşağıdaki gibidir:

- Şişe, sandık, paket,
- Plastik kutular,
- Konteynır geri dönüşümü.

4. TEZ KAPSAMINDA YARARLANILAN ÇÖZÜM TEKNİKLERİ

4.1 Analitik Ağ Süreci (AAS)

Bu tez kapsamında AAS, MTM'ler için alternatif bölgelerin değerlendirmesinde, kriter ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu amaçla AAS'tan yararlanma nedeni, değerlendirme sürecinde dikkate alınan kriter kümeleri arasında bazı etkileşimler olmasıdır. Söz konusu kriterler, etkileşimler ve değerlendirme süreci 5. Bölüm'de ayrıntılı olarak açıklanacaktır. AAS'la ilgili genel bilgi ise bu bölümde verilmiştir.

AAS, belirli bir değer taşıyan tüm ilgili kriterleri karar verme sürecine dâhil edebilen kapsamlı bir karar verme tekniğidir. Analitik Hiyerarşi Süreci, AAS'ın başlangıç noktasıdır (Jharkharia ve Shankar, 2007). AAS, bir seviyedeki kriterler arasındaki bağlantılarla ilgili kabullerle uğraşmayı zorunlu kılmayacak bir yapıya sahiptir. AAS, seviyeleri bir hiyerarşide göstermeyi zorunlu kılmayan bir ağıdır. AAS, iki kısımdan oluşur: birinci kısım kontrol hiyerarşisi ya da bağlantıları kontrol eden, kriter ve alt kriterlerden oluşan ağıdır, ikinci kısım ise bileşenler ve kümeler arasındaki etkileşimleri gösteren ağıdır (Saaty, 1999).

AAS'nin detaylı adımları aşağıdaki gibidir (Saaty, 1999; Tuzkaya vd., 2008; Tuzkaya ve Gülsün, 2008):

Adım 1. Kontrol hiyerarşisini sistem kümelerini karşılaştırmak üzere kullanılan kriterleri ve sistem bileşenlerini karşılaştırmak üzere kullanılan alt kriterleri içerecek şekilde tasarla. Genellikle karşılaştırmalar, fayda, fırsat, maliyet ve risk terimleriyle ve kontrol kriter ve alt kriterleri karşılaştırılmadan yapılır.

Adım 2. Kümelerin hiyerarşisini ya da ağını ve bunların bileşenlerini belirle. Modelin geliştirilmesini daha iyi organize etmek için, kümeleri ve bileşenleri uygun bir şekilde numaralandır ve düzenle. Tüm kontrol kriterleri için, aynı kümeyi ve aynı bileşenleri temsil edecek bir etiket belirle.

Adım 3. Her kontrol kriteri ve alt kriter için, elemanlarıyla genel geri besleme sisteminin kümelerini belirle ve onları iç ve dış bağımlılık etkilerine göre birleştir. Bir kümeden diğer bir kümeye bir etki varsa bu bir okla belirtilir.

Adım 4. Diğer kümeleri ve bileşenleri etkileyen ya da diğer küme ve bileşenlerden etkilenen her bir küme veya bileşeni analiz etmek için yaklaşımını belirle. Etkileme ya da etkilenme ile

ilgili yapılan analiz tüm karar için, dört kontrol kriteri bazında tüm kriterlere uygulanmalı.

Adım 5. Her kontrol kriteri için, kümeleri numaralarına göre ve bileşenleri dikey düzlemde en üste ve yatay düzlemde en solda olacak şekilde süper matrisi oluştur. İkili karşılaştırmalardan elde edilen öncelikleri, süper matriste ilgili sütunun alt sütunu olacak şekilde uygun pozisyona yerleştir.

Adım 6. Kümeler içindeki bileşenlerin bağlantılı olduğu başka kümelerdeki bileşenlerle (dış bağlantılar) ve kendi kümesindeki bileşenlerle (iç bağlantı) ikili karşılaştırmalarını yap. Karşılaştırmalar bir kontrol kriteri veya alt kriteri dikkate alınarak yapılmalı.

Adım 7. Verilen bir kontrol kriteri için, başka kümeler üzerinde etkisi olma olasılığı olduğundan, her bir kümeyi diğer kümelerle ikili şekilde karşılaştır. Sonrasında elde edilen ağırlıkları, süper matriste ilgili kontrol kriterinin ilgili küme için olan sütununa yerleştir. Bir etki olmadığında sıfır ata. Böylece, ağırlıklandırılmış sütunlu süper matris elde edilmiş olur.

Adım 8. Süper matrisin limitli önceliklerini, indirgenebilir ya da indirgenemez olmasına göre ya da tek veya çoklu köklü olmasına göre ya da döngüsel olup olmamasına göre karşılaştır. İki tip çıktı mümkündür: Birincisinde, matrisin tüm sütunları eşit ve her biri her bir kümedeki bileşenlerin normalize edilmiş göreceli önceliklerini verir. İkincisinde, bloklardaki limit döngüleri toplanır, ortalaması alınır ve her küme için tekrar normalize edilir. Öncelik vektörleri süper matrise normalize edilmiş olarak girilse de, limit öncelikleri idealize edilmiş hale getirilir, çünkü kontrol kriterleri alternatiflere bağlı değildir.

Adım 9. Her bir idealize edilmiş limit vektörünü kendi kontrol kriteriyle çarparak ve dört kontrol kriteri (Fayda (F), Fırsat (FI), Maliyet (M), Risk(R)) için sonuç vektörlerini toplayarak limitlendirilmiş öncelikleri birleştir. Bu haliyle, her bir kontrol kriteri için bir vektör oluşur. Her alternatifin dört vektörü birleştirecek şekilde marjinal değerlerini elde etmek için $((F*FI)/(M*R))$ değerleri hesaplanır. En büyük orana sahip olan alternatif seçilir.

Adım 10. Nihai çıktılar için duyarlılık analizi yap ve sonuçları yorumla.

4.2 İdeal Çözüme Benzerliklerine Göre Tercihleri Sıralama Tekniği (TOPSIS-Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solution)

Bu tez kapsamında TOPSIS'ten faydalanılmasının temel nedeni, AAS ile yapılan MTM değerlendirme sürecinde, ikili karşılaştırmaların ve işlem adımlarının çokluğudur. AAS'la

kriter ağırlıkları ve etkileşimleri hesaplandıktan sonra, TOPSIS’le ilgili değerlendirmeler yapılarak, değerlendirme süreci daha kolay ve daha pratik bir şekilde gerçekleştirilmiştir. TOPSIS’in uygulama kapsamında ne amaçla kullanıldığı daha ayrıntılı bir şekilde 5. Bölüm’de verilecektir. Bu bölümde TOPSIS genel hatlarıyla açıklanmıştır.

TOPSIS (Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solution-İdeal Çözüme Benzerliklerine Göre Tercihleri Sıralama Tekniği) ilk olarak Hwang ve Yoon tarafından 1981’de önerilmiştir. TOPSIS’in temel fikri, birçok kriterli karar verme probleminin çözümünde seçilen alternatifin, pozitif ideal çözümünden (PİDÇ) en yakın uzaklığa ve negatif ideal çözümünden (NİDÇ) en fazla uzaklığa sahip olmasıdır. Kısaca, PİDÇ, tüm en iyi kriterlerin bir birleşimidir, NİDÇ ise tüm en kötü kriterlerin bir birleşimidir (Chu vd., 2007). TOPSIS süreci aşağıda açıklanan adımlardan oluşmaktadır (Tzeng vd., 2005, Tuzkaya ve Gülsün, 2008):

1. Normalize karar matrisini oluştur. r_{ij} ’nin normalize değeri Denklem 4.1’deki gibi hesaplanır.

$$r_{ij} = f_{ij} / \sqrt{\sum_{j=1}^J f_{ij}^2} \quad j = 1, \dots, J; i = 1, \dots, n. \quad (4.1)$$

2. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisini hesapla. Ağırlıklandırılmış normalize değer v_{ij} , Denklem 4.2’deki gibi hesaplanır.

$$v_{ij} = w_i r_{ij}, \quad j = 1, \dots, J; \quad i = 1, \dots, n, \quad (4.2)$$

burada w_i i . kriterin ağırlığıdır ve $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

3. PİDÇ ve NİDÇ değerlerini hesapla (Denklem 4.3-4.4).

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} \quad (4.3)$$

$$= \{(j \max v_{ij} | i \in I'), (j \min v_{ij} | i \in I'')\}$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} \quad (4.4)$$

$$= \{(j \min v_{ij} | i \in I'), (j \max v_{ij} | i \in I'')\}$$

burada I' fayda kriterleriyle ve I'' maliyet kriterleriyle ilgilidir.

4. n -boyutlu Euclidean uzaklıkları hesaplayarak, ayırma ölçütlerini bul. Her alternatifin PİDÇ'tan uzaklığı Denklem 4.5'teki gibi hesaplanır.

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^+)^2}, \quad j = 1, \dots, J. \quad (4.5)$$

Benzer şekilde her alternatifin NİDÇ'tan uzaklığı Denklem 4.6'daki gibi hesaplanır.

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2}, \quad j = 1, \dots, J. \quad (4.6)$$

5. İdeal çözüme olan göreceli uzaklıkları hesapla. a_j alternatifinin göreceli yakınlığı Denklem 4.7'deki gibi tanımlanır.

$$C_j^* = D_j^- / (D_j^+ + D_j^-), \quad j = 1, \dots, J. \quad (4.7)$$

6. Tercihleri sırala.

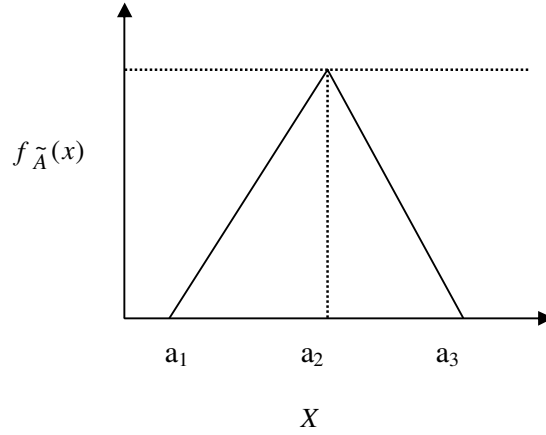
4.3 Bulanık Kümeler

Tez kapsamında alternatif MTM bölgeleri, çeşitli karar vericilere (KV) danışılarak değerlendirilmiştir. Bu süreçte KV'lerden kesin sayısal değerlendirme verileri elde etmek çok zordur. Ek olarak da bir çok kriter için kesin veriler elde edilmesi de mümkün değildir. Bu amaçla KV'lerin değerlendirmelerini çeşitli sözel ifadelerle yapmaları istenmiştir. KV'ler, değerlendirmede faydalanan sözel ifadeler ve bulanık kümelerlerden faydalanılma biçimi 5. Bölüm'de ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Bu bölümde, bulanık kümelerin bu çalışma kapsamında yararlanılan kısmı ile ilgili bazı tanımlar verilmiştir.

Tanım 1. İfade uzayı X 'deki bir bulanık küme $\tilde{A}$, bir üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(X)$ ile gösterilir ve burada x, X içinde $[0, 1]$ aralığında olan bir gerçek sayıdır. $\mu_{\tilde{A}}(X)$ fonksiyonu x 'in $\tilde{A}$ 'daki üyelik derecesidir (Chen, 2001).

Tanım 2. Üçgen bir bulanık sayı bir (a_1, a_2, a_3) üçlüsü olarak tanımlanabilir; bulanık sayı $\tilde{A}$ 'nın üyelik fonksiyonu Denklem 4.8'deki gibidir (Şekil 4.1) (Wang ve Chang, 2007):

$$f_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & ; & x < a_1 \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1) & ; & a_1 \leq x \leq a_2 \\ (a_3 - x)/(a_3 - a_2) & ; & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & ; & x > a_3 \end{cases} \quad (4.8)$$



Şekil 4.1 Bir üçgen bulanık sayı $\tilde{A}$ 'nın üyelik fonksiyonu

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$, sırasıyla (a_1, a_2, a_3) ve (b_1, b_2, b_3) üçlü sayılarıyla ifade edilen iki üçgen bulanık sayı olsun. Bu iki üçgen bulanık sayı ile ilgili yapılabilecek olan işlemler Denklem 4.9-4.10-4.11-4.12-4.13-4.14'deki gibidir (Wang ve Chang, 2007):

$$\tilde{A}(+) \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(+)(b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (4.9)$$

$$\tilde{A}(-) \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(-)(b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3) \quad (4.10)$$

$$\tilde{A}(x) \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(x)(b_1, b_2, b_3) = (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3) \quad (4.11)$$

$$\tilde{A}(\div) \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(\div)(b_1, b_2, b_3) = \left(\frac{a_1}{b_1}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_3}\right) \quad (4.12)$$

$$k \tilde{A} (ka_1, ka_2, ka_3) \quad (4.13)$$

$$(\tilde{A})^{-1} = \left(\frac{1}{a_3}, \frac{1}{a_2}, \frac{1}{a_1}\right) \quad (4.14)$$

Tanım 3. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$, bulanık üçgen sayıları arasındaki uzaklık tepe metoduyla Denklem 4.15'deki gibi hesaplanır (Chen, 2000):

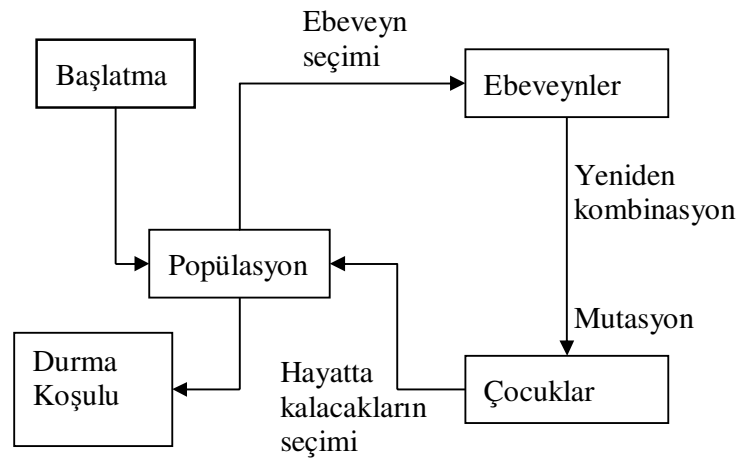
$$d(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (4.15)$$

Tanım 4. Bir sözel değişken, değerleri sözel terimlerle ifade edilen bir değişkendir (Chen, 2001).

Sözel değişken kavramı, çok karmaşık ve çok zor tanımlanabilen kalitatif ifadelerin tanımlanmasında kullanılan çok kullanışlı bir kavramdır. Söz konusu sözel ifadeler bulanık sayılarla da ifade edilebilir (Chen, 2001).

4.4 Evrimsel Algoritmalar

Evrimsel Algoritmalar (EA), isminden de anlaşılacağı gibi, doğal evrim sürecinden esinlenerek geliştirilmiş hesaplama teknikleridir. Evrimsel algoritmaların çeşitli türleri vardır, fakat, hepsinin de altında yatan temel fikir aynıdır: bireylerden oluşmuş bir popülasyon, popülasyonda iyileştirme sağlayan ve doğal seleksiyona neden olan çevre baskısı (en uygun olanın hayatta kalması). Bir uygunluk fonksiyonu temel alınarak, rasgele oluşturulmuş adaylar içinden gelecek nesile, yeniden kombinasyon ve mutasyon uygulanarak geçecek bireyler belirlenebilir. Bir EA'nın akış diyagramı Şekil 4.2'deki gibidir (Eiben ve Smith, 2003).



Şekil 4.2 Evrimsel algoritmaların akış diyagramı (Eiben ve Smith, 2003)

Belli başlı evrimsel algoritmalar aşağıdaki gibidir:

- Genetik algoritmalar,

- Evrim stratejileri,
- Evrimsel Programlama,
- Genetik Programlama

Bu tez çalışmasında evrimsel algoritmalarından Genetik Algoritmalar (GA) tekniği kullanılacağından bir sonraki bölümde GA açıklanmış diğer EA'lara değinilmemiştir. EA'ların operatörleri de GA içerisinde açıklanmıştır.

4.4.1 Genetik algoritmalar

Tez kapsamında Genetik Algoritmalar (GA), Tersine Lojistik Ağı'nın tasarlanması için önerilen modelin çözümünde kullanılacaktır. GA'nın kullanımı ile ilgili ayrıntılı bilgiler 5. ve 6. Bölüm'lerde verilmiştir. Bu bölümde genel hatlatıyla GA açıklanacaktır.

GA doğal seleksiyon ve doğal genetik kurallarına dayanan arama algoritmalarıdır. GA, bir arama algoritması oluşturmak için, rasgele bilgi değiş dokuşuyla yapılandırılmış dizi yapıları arasından en uygun olanları kombine ederler. Her nesilde, bitler ve eski nesillerdeki en iyilerden faydalanarak yeni diziler oluşturulur. GA sadece basit rasgele arama algoritmaları değildir, yeni arama noktalarını bulurken geçmiş bilgilerden de faydalanır (Goldberg, 1989).

GA ilk olarak John Holland tarafından 1960'larda öne sürülmüş, sonrasında Holland ve Michigan Üniversitesi'ndeki öğrencileri ve iş arkadaşları tarafından 1960'lar ve 1970'lerde geliştirilmiştir (Mitchell, 2002). Çalışmalarının iki amacı vardır: (1) doğal sistemlerin uyum süreçlerini özetlemek ve titiz bir şekilde açıklamak ve (2) doğal sistemlerin önemli mekanizmalarını içeren bir yapay sistem yazılımı tasarlamak. Bu yaklaşım, doğal ve yapay sistem bilimlerinde önemli keşifleri başlatmıştır (Goldberg, 1989).

4.4.1.1 Genetik algoritmalarda temel kavramlar

Genetik Algoritmalar ismi, karmaşık yapıların vektör bileşenleri olarak gösterimi ve biyoloji bilimindeki kromozomların genetik yapısındaki benzerlikten ileri gelmektedir. Bitki ve hayvanların seçimli türemesinde, belirli seviyede istenen özellikleri -anne babanın kromozomlarının kombinasyonundan gelen özellikler- olan çocukların yaşam şansı daha yüksektir. Benzer şekilde karmaşık problemler için daha iyi sonuçlar aranırken genellikle mevcut sonuçların parçalarının kombinasyonu üzerinden gideriz (Reeves, 1993).

- Genelde GA beş temel bileşenden oluşur (Gen ve Cheng, 1997):
- Problemin çözümlerinin genetik gösterimi,

- Çözümler için bir ilk nesil oluşturma yolu,
- Çözümleri uygunluklarına göre derecelendirecek bir değerlendirme fonksiyonu,
- Çocukların oluşturulmasında genetik bileşimi belirleyecek genetik operatörler,
- GA'nın parametreleri için değerler.

Çizelge 4.1'de GA'da kullanılan bazı terimler ve anlamları görülmektedir (Uyar, 2006).

Çizelge 4.1 GA terminolojisi

Terim	Anlamı
Birey	Tüm çözümlerden oluşan arama uzayındaki bir noktadır.
Popülasyon	İncelenen çözüm noktalarının tamamıdır.
Gen	Çözümün bir parçasının ya da parametrenin bir şifresidir.
Kromozom	Tüm parametrelerin ve mevcut çözüm adayının bir şifresidir.
Çaprazlama	Üreme aşamasında kullanılan bir kombinasyon operatörüdür.
Genotip	Genlerin gerçek sayısal değerleridir.
Fenotip	Genlerin gerçek değerlerinin şifrelenmiş gösterimleridir.
Uygunluk	Mevcut çözümün amaç fonksiyonunun gerekliliklerini ne derece karşıladığının göstergesidir.
Doğal Seleksiyon	Yeni bireylerin oluşturulmasında kullanılacak bireylerin bazı yapay metotlarla seçimidir.
Nesil	Genetik Algoritmaların bir döngüsüdür.

4.4.1.2 Bireylerin gösterimi

GA'nın ilk aşamasıdır. Genotipin tanımlanması ve genotipin fenotipe dönüştürülmesini içerir. Bir gösterim seçilirken, çözülmekte olan problem için doğru gösterimi bulmak önemlidir. Gösterimi doğru belirlemek ise bir GA'nın en zor kısmıdır. Bu da çokça uygulama ve problem alanının iyi bilinmesi ile mümkün olabilir. Aşağıda çeşitli gösterim tipleri açıklanmıştır (Eiben ve Smith, 2003):

- **İkili Gösterim:** En basit gösterim tipidir. Genotip ikili dijitalerin bir dizisinden-bir bit-dizisinden- oluşur. Belirli bir uygulama için, dizinin ne uzunlukta olması gerektiği ve genotipi fenotip olarak nasıl yorumlamamız gerektiği iyi belirlenmelidir. Genotip-fenotip dönüşümünün kurallarını belirlerken, tüm olası bit dizilerinin verilen bir problem için geçerli bir çözümü gösterdiğinden ve tam tersinden, yani tüm olası çözümlerin

gösterildiğinden emin olunmalıdır.

- **Tam Sayılı Gösterim:** Eğer problem, farklı genlerin farklı değer setleri alabildiği bir yapıya sahipse, ikili gösterim her zaman en iyi yol olmayabilir. Bu duruma örnek olarak, tam sayı değerleri alan değişken setleri için optimal değerlerinin bulunması problemi verilebilir. Bu değerler kısıtlanmamış olabilir (yani herhangi bir tam sayı değerini alabilir), ya da sonlu bir setle sınırlandırılmış olabilir: örneğin, eğer kare bir şebekenin yolunu bulmaya çalışıyorsak, değerleri {Kuzey, Güney, Doğu, Batı} yönlerini temsil eden {0, 1, 2, 3} değerleriyle gösterebiliriz. İki durumda da tam sayılı gösterim ikili gösterimden daha uygun bir gösterim biçimidir.
- **Gerçek değerli ya da değişken-noktalı gösterim:** Çoğu zaman, bir problemin çözümü için en duyarlı gösterim gerçek değerlerin bir dizisinden oluşan gösterimdir. Bu genellikle, genlerle göstermek istediğimiz değerler kesikli bir dağılımdan değil de sürekli bir dağılımdan geldiği zamanlar uygun olabilir. Gerçek değerlerin kullanımı uygulamayla kısıtlı olabileceğinden değişken noktalı sayılar da kullanılabilir. Bu durumda genotip k genden oluşan bir vektördür $((x_1, \dots, x_k))$ ve $x_i \in \mathbb{R}$.
- **Permütasyon Gösterimi:** Birçok problemde, olayların olma sırasını gösteren sıralamalı bir gösterime ihtiyaç duyulur. Bu tür problemlerde genellikle tam sayıların bir setinden oluşan permütasyonlu gösterimin kullanımı uygundur. Bir GA dizisinde herhangi bir değer varlığına birden fazla kez izin verildiğinde, bu permütasyon gösterimi için geçerli bir durum olmaz. Her mümkün alel değerinin çözümde yalnızca bir kere olmasını sağlayan yeni çeşitlendirme operatörlerine ihtiyaç vardır.

Uygun çeşitlendirme operatörleri seçilirken, iki çeşit permütasyon gösterimi olduğu dikkate alınmalıdır. Birincisinde, olayların olma sırası önemlidir. Bu durum kısıtlı zaman ve kaynak kullanıldığı zaman önemlidir ve atölye bazında çizelgeleme örnek olarak gösterilebilir. Sıra tabanlı problemlerin diğer bir tipi komşuluğa dayanır ve gezgin satıcı problemi bu duruma örnek olarak gösterilebilir.

Permütasyon gösteriminin iki tip uygulaması vardır. Birincisi ve en çok kullanılanında, gösterimin i . elemanı, sırada söz konusu yerde (ya da ziyaret edilen i . varış yerinde) meydana gelen olayı gösterir. İkinci durumda, i . elemanın değeri, sırada i . olayın meydana geldiği pozisyonu gösterir. Sonuçta, [A, B, C, D] adlı dört şehir dikkate alındığında, [3, 1, 2, 4] şifrelemesi, birinci tip için [C, A, B, D] turunu, ikinci tip içinse [B, C, A, D] turunu gösterir (Eiben ve Smith, 2003).

4.4.1.3 Mutasyon

Mutasyon, tek kromozom üzerinde yapılan bir GA operatörüdür (Şen, 2004). Mutasyon, çözüm adaylarında çeşitliliğin korunması için önemli bir operatördür (Weise, 2008). GA'da mutasyon, gen dizisinin belirli bir olasılığa bağlı olarak rasgele deformasyonu olarak gerçekleştirilir (Bodenhofer, 2004). Mutasyonun şekli, kullanılan şifreleme yöntemine bağlı olarak değişir. Aşağıda şifreleme yöntemlerine göre mutasyon şekilleri açıklanmıştır (Eiben ve Smith, 2003):

- **İkili gösterim için mutasyon operatörü:** Bu mutasyon tipinde her gen bağımsız olarak ele alınır ve küçük bir mutasyon olasılığı p_m 'le bit değişimi yapılır (yani 0'lar 1, 1'ler 0 olarak değiştirilir). Değiştirilen değerlerin sayısı sabit değildir, fakat ortalama olarak mutasyon olasılığı ve kromozom uzunluğunun çarpımına eşittir. Şekil 4.3'de üç, dört ve yedinci bitler için türetilen rasgele sayıların mutasyon oranı p_m 'den küçük olduğu durumda uygulanan mutasyon görülmektedir.



Şekil 4.3 İkili gösterim için bit bazında mutasyon

- **Tamsayılı gösterim için mutasyon operatörleri:** Tamsayılı şifreleme için, her genin p_m mutasyon olasılığına göre bağımsız olarak değerlendirildiği iki tip mutasyon operatörü vardır.
 - **Rasgele yeniden kurma:** İkili gösterim için uygulanan bit bazında yer değiştirmenin genişletilmiş halidir. Her pozisyon için, p_m mutasyon olasılığına göre, izin verilen değerlerden biri ile rasgele bir yer değiştirme uygulanır. Tüm genlerin eşit seçilme olasılığı olduğundan, genlerin temel özellikleri şifrelediği durumlar için en uygun yapıdır.
 - **Emekleme mutasyonu:** Derece gösteren özellikler için tasarlanmıştır ve her gene p_m olasılığıyla küçük bir değer (pozitif ya da negatif) eklemek yoluyla gerçekleştirilir. Genellikle bu değerler, her pozisyon için, küçük değişikliklerin olasılığı büyük değişikliklere göre daha fazla olan sifra simetrik olan bir dağılımdan rasgele seçilir.
- **Değişken-nokta gösterimleri için mutasyon operatörleri:** Değişken nokta gösterimleri için, gen değerleri kesikli bir dağılımdan çok sürekli bir dağılımdan gelebilir. Her gende değeri rassal olarak değiştirmek yerine, L_i alt sınırı ve U_i üst sınırı içinde Denklem

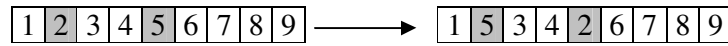
4.16'daki dönüşüm yapılabilir:

$$(x_1, \dots, x_n) \rightarrow (x'_1, \dots, x'_n) \quad (4.16)$$

Bu formülde, $x_i, x'_i \in [L_i, U_i]$ 'dir.

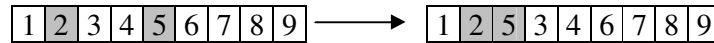
Olasılık dağılımına göre iki tip mutasyondan söz edilebilir: uniform mutasyon, uniform olmayan mutasyon.

- **Uniform mutasyon:** Bu operatör için x_i 'nin değeri, $[L_i, U_i]$ aralığından rassal olarak seçilir. İkili gösterimdeki bit değiştirme ve tam sayılı gösterimdeki rasgele yeniden kurma taslağıyla benzerlikler gösterir.
- **Sabit bir dağılımla uniform olmayan mutasyon:** Uniform olmayan mutasyonun en çok rastlanan şekli, tam sayılar için olan emekleme mutasyonuna benzer bir yapı gösterir. Genellikle değişim miktarı küçüktür. Ortalaması sıfır, standart sapması kullanıcı tarafından belirlenen ve eğer gerekliyse $[L_i, U_i]$ aralığında, Gaussian dağılım içinden rasgele seçilmiş değerler mevcut gene eklenir. Gaussian dağılıma bir alternatif olarak, Cauchy dağılımı da kullanılabilir. Bu dağılımda, daha büyük değerler elde etme olasılığı Gaussian dağılıma göre biraz daha fazladır.
- **Permütasyon gösterimi için mutasyon operatörleri:** Permütasyon gösterimi için, her geni bağımsız olarak görmek mümkün değildir, bu nedenle, kendine özgü mutasyon operatörlerine sahiptir. Mutasyon operatöründe, tek bir genin mutasyona uğratılması değil, tüm dizinin mutasyona uğratılması söz konusudur.
- **Takas mutasyonu:** Bu operatörde, dizideki rasgele iki pozisyon (gen) seçilir ve değerleri değiştirilir. Şekil 4.4'de iki ve beşinci pozisyonların değerleri değiştirilmiştir.



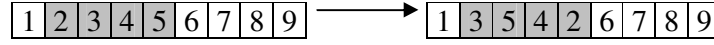
Şekil 4.4 Takas mutasyonu

- **Araya ekleme mutasyonu:** Bu operatör, rasgele iki genin seçilmesi, birinin bulunduğu yerden alınıp, diğerinin yanına eklenmesi ve geriye kalan genlerin de uygun pozisyonlara kaydırılması mantığı ile çalışır. Şekil 4.5'de iki ve beşinci genler seçilmiştir.



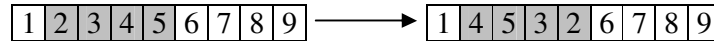
Şekil 4.5 Araya yerleştirme mutasyonu

- **Karıştırma mutasyonu:** Bu operatörde, tüm dizinin ya da içinden rasgele seçilmiş bir alt dizinin elemanları rasgele karıştırılır. Şekil 4.6'de ikinci ve beşinci pozisyonlar arası değerler seçilmiş ve rasgele karıştırılmıştır.



Şekil 4.6 Karıştırma mutasyonu

- **Ters çevirme mutasyonu:** Bu operatör, diziden rasgele iki pozisyon seçip, arada kalan bölümü ters çevirmek şeklinde çalışır. Şekil 4.7'de ikinci ve beşinci pozisyonlar arası ters çevrilmiştir.

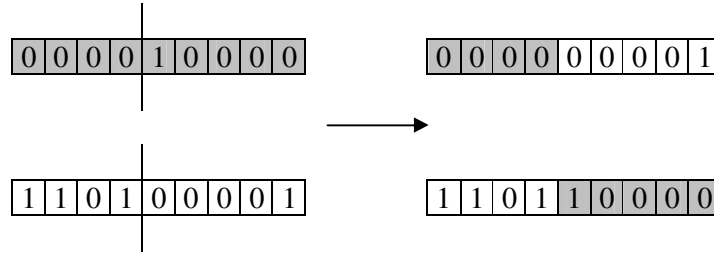


Şekil 4.7 Ters çevirme mutasyonu

4.4.1.4 Çaprazlama

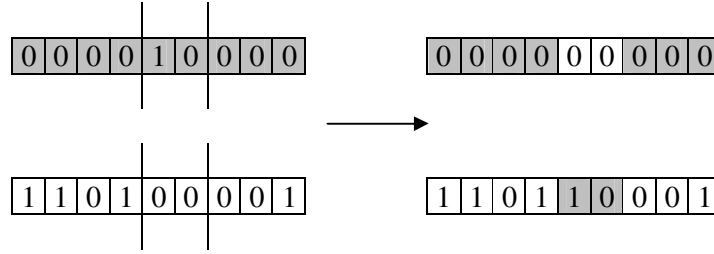
İki ya da daha fazla ebeveynden alınan bilgilerle yeni bir çözüm elde etme sürecidir (Şen, 2004). Eğer ebeveyn seçimi uygun bir şekilde yapılırsa, iki iyi ebeveynden iki iyi çocuk elde edilir (Bodenhofer, 2004). GA'nın çeşitliliği artırıcı en temel mekanizmalarından biri olarak görülür. Çaprazlama operatörleri genellikle bir çaprazlama olasılığına (p_c) göre uygulanırlar. Bu değer genellikle [0.5, 1.0] aralığındadır. Genellikle iki birey seçilir, [0,1] aralığında rasgele bir sayı atanır ve p_c değeriyle karşılaştırılır. Eğer değer daha küçükse, iki ebeveyn arasında çaprazlama yapılarak yeni birey oluşturulur, aksi takdirde, yeni bireyler ebeveynleri kopyalayarak oluşturulur. Sonuç olarak, yeni popülasyonun bazı bireyleri ebeveynlerin kopyası olurken, bazı bireyler daha önceden görülmemiş çözümleri gösterirler (Eiben ve Smith, 2003).

- **İkili gösterim için çaprazlama operatörleri:** İkili gösterim için üç çeşit çaprazlama operatörü vardır (Eiben ve Smith, 2003).
 - **Tek noktalı çaprazlama:** Bu operatör, $[0, l-1]$ (l , şifrelemenin boyutudur) aralığında rasgele bir sayı seçilmesi ve iki ebeveyni bu noktadan bölerek başlangıç ve son bölümlerin yer değiştirilmesiyle iki yeni çocuğun oluşturulması şeklinde çalışır (Şekil 4.8).

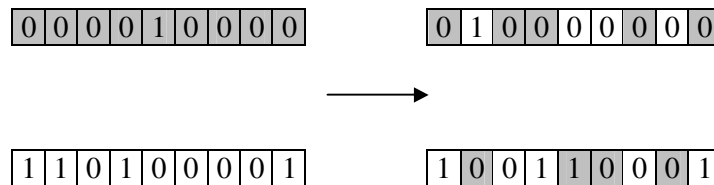


Şekil 4.8 Tek noktalı çaprazlama

- **n -noktalı çaprazlama:** Tek noktalı çaprazlamanın genişletilmiş bir şeklidir. İki ebeveynin gösterimleri birden fazla noktadan kesilerek, ikisinden de alternatif kısımların alınmasıyla yeni bireyler oluşturulur. Pratikte, $[0, l-1]$ aralığından n rasgele noktanın seçilmesi şeklinde uygulanır. Şekil 4.9’da $n = 2$ ’dir.

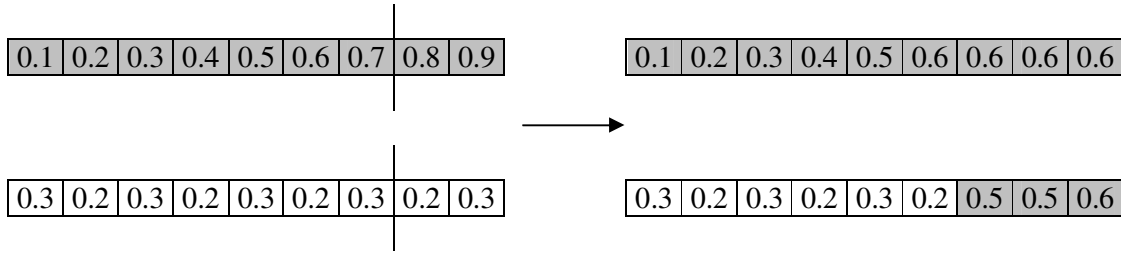
Şekil 4.9 n - noktalı çaprazlama: $n = 2$

- **Uniform çaprazlama:** İlk iki yöntemden farklı olarak uniform çaprazlamada her gen bağımsız olarak işlem görür ve genin hangi ebeveynden geçeceği rassal olarak belirlenir. Bu, $[0,1]$ aralığındaki uniform dağılımdan alınarak oluşturulmuş L uzunluğundaki bir diziden yararlanılarak gerçekleştirilir. Her pozisyonda eğer değer p (genellikle 0,5’ten küçük olur) parametresinden küçükse ilk ebeveynden, diğer durumda ikinci ebeveynden gen geçişi olur. İkinci ebeveyn, tam tersi bir yol izlenerek oluşturulur. Şekil 4.10’da uniform çaprazlamaya bir örnek verilmiştir. Bu örnekte, kalıtımın belirlenmesi için $[0,1]$ aralıklı uniform dağılımdan rasgele olarak oluşturulmuş $[0.35, 0.62, 0.18, 0.42, 0.83, 0.76, 0.39, 0.51, 0.36]$ dizisinden faydalanılmıştır.

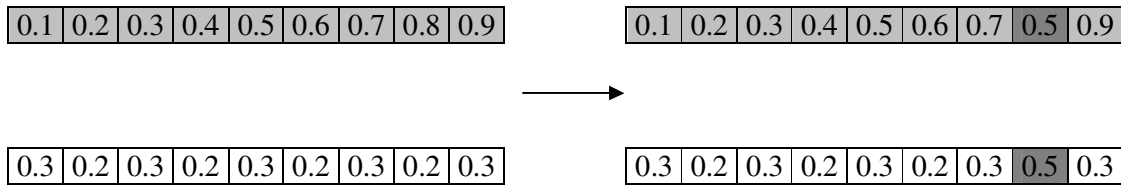


Şekil 4.10 Uniform çaprazlama

- **Tam sayılı gösterim için çaprazlama operatörleri:** Tam sayılı gösterimde, her genin alabileceği değer ikili gösterime göre daha fazla sayıdadır. Bu fark, çaprazlamada bir değişiklik yapmayı gerektirmez: tam sayılı gösterimde kullanılan çaprazlama operatörleri ikili gösterim de kullanılanlarla aynı operatörlerdir (Eiben ve Smith, 2003).
- **Değişken-noktalı gösterim için çaprazlama operatörleri:** Değişken-noktalı gösterim için dört tip çaprazlama operatörü mevcuttur (Eiben ve Smith, 2003):
 - **Aritmetik çaprazlama:** $[0,1]$ arasında değer alan rasgele bir α değişkeninin seçilmesi yoluyla gerçekleştirilir. α değeri genellikle 0.5 alınır.
 - **Basit aritmetik çaprazlama:** İlk olarak bir çaprazlama noktası k seçilir. Sonra, birinci çocuk için birinci ebeveynin ilk k kısmı alınır. Birinci çocuğun geriye kalan genleri ebeveynlerin geriye kalan genlerinin ortalaması alınarak hesaplanır. İkinci çocuk için aynı işlemlerin tersi uygulanır (Şekil 4.11).

Şekil 4.11 Basit aritmetik çaprazlama: $k = 8$, $\alpha = 1/2$

- **Tek aritmetik çaprazlama:** Rasgele bir k geni seçilir. Bu pozisyon için iki ebeveynin ortalaması alınır. Diğer noktalar ebeveynlerdeki değerlerini korur. İkinci çocuk da aynı yöntemin tersi işletilerek bulunabilir (Şekil 4.12).

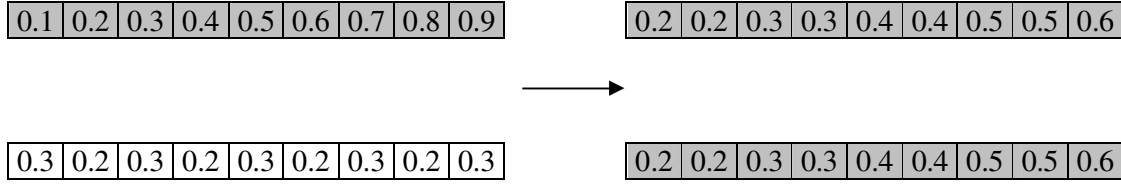
Şekil 4.12 Tek aritmetik çaprazlama: $k = 8$, $\alpha = 1/2$

- **Tam aritmetik çaprazlama:** En çok uygulanan operatördür ve iki ebeveyn genin ağırlıklı toplamı alınarak uygulanır. Formülasyonu Denklem 4.17-4.18'deki gibidir:

$$\text{Çocuk 1} = \alpha \cdot \bar{x} + (1 - \alpha) \cdot \bar{y} \quad (4.17)$$

$$\text{Çocuk 2} = \alpha \cdot \bar{y} + (1 - \alpha) \cdot \bar{x} \quad (4.18)$$

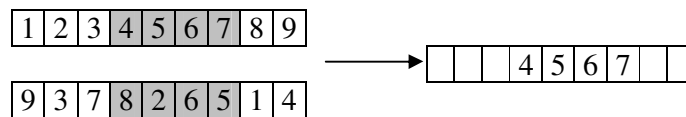
Tam aritmetik çaprazlama Şekil 4.13’de bir örnek verilmiştir. Örnekten de görüleceği gibi, eğer $\alpha = \frac{1}{2}$ alınırsa, iki çocuk eş olur.



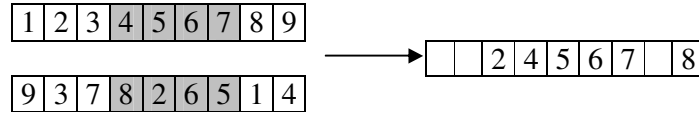
Şekil 4.13 Tam aritmetik çaprazlama: $\alpha = \frac{1}{2}$

- **Permütasyon gösterimi için çaprazlama operatörleri:** Aşağıda permütasyon gösterimi için geliştirilmiş, en iyi bilinen iki operatör açıklanmıştır (Eiben ve Smith, 2003).
- **Kısmen planlanmış çaprazlama:** Goldberg ve Lingle tarafından gezgin satıcı problemi için önerilmiş olan kısmen planlanmış çaprazlama (KPC), komşuluk tipi problemler için en çok kullanılan operatörlerden biridir. Yıllar içinde küçük değişikliklerle yeni tipleri ortaya çıkmıştır. Whitley tarafından geliştirilen tipinin adımları şöyledir:
 - Rasgele iki çaprazlama noktası seçilir ve birinci çocuk için, birinci ebeveynden (P1) aralarında kalan kısmı kopyalanır.
 - İlk çaprazlama noktasından başlamak suretiyle, ikinci ebeveynin (P2) kopyalanmamış bileşenleri aranır.
 - Bunların her biri (i) için, çocukta, P1’den hangi bireyin (j), i ’nin yerine kopyalandığına bakılır.
 - Birinci çocukta, P2’de j ’nin olduğu pozisyona i ’yi yerleştirilir.
 - Eğer birinci çocukta P2’de j ’nin olduğu noktada başka bir k elementi mevcutsa, i P2’deki k ’nin pozisyonuna yerleştirilir.
 - Çaprazlama kısmındaki bileşenler bittiğinde, çocuğun geri kalan kısmı P2 ile doldurulabilir. İkinci çocuk da ebeveyn rollerinin değiştiği benzer bir süreçle oluşturulabilir.

Şekil 4.14-4.15-4.16’da KPC için bir örnek gösterilmiştir.

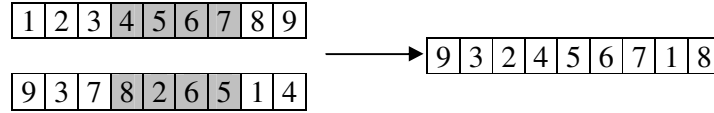


Şekil 4.14 KPGT, adım 1: birinci ebeveynden rasgele kesilmiş bir parçayı çocuğa kopyala



Şekil 4.15 KPGT, adım 2: sırasıyla ikinci ebeveynin seçili kısmındaki bileşenlerini değeriendir.

P2'de 8 bileşeninin pozisyonunu, çocukta 4 bileşeni almıştır, P2'de 4'ün bulunduğu pozisyona çocukta 8 yerleştirilebilir. P2'de 2'nin bulunduğu pozisyona, çocukta 5 yerleştirilmiştir. P2'de 5'in bulunduğu pozisyon çocukta 7 tarafından işgal edilmiştir. P2'de 7'nin bulunduğu pozisyonda P1'de 3 bulunmaktadır. Bu durumda, 3'ün bulunduğu noktaya 2 yerleştirilebilir. Son olarak, 6 ve 5 değerleri zaten, orta kısımda yer aldığından bu değerler için herhangi bir işlem yapılmaz.



Şekil 4.16 KPGT, adım 3: ikinci ebeveynde geriye kalan bileşenleri çocukta aynı pozisyona kopyala.

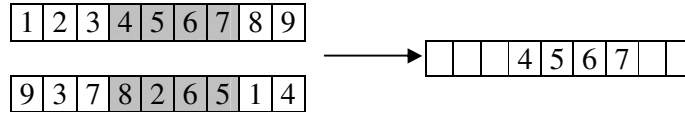
- **Sıra çaprazlaması:** Sıra çaprazlama, Davis tarafından, sıra tabanlı permütasyon problemlerinin çözümü için geliştirilmiştir. KPÇ ile benzer şekilde, ilk ebeveynin rasgele bir kısmının çocuğa kopyalanması ile başlar. Sonrası farklı devam eder, çünkü bu operatördeki amaç, ikinci ebeveynden göreceli sıra bilgisinin aktarımıdır. Adımları şöyledir:

Adım 1. Rasgele iki çaprazlama noktası seçin, aralarından bulunan kısmı birinci ebeveynden çocuğa kopyalayın,

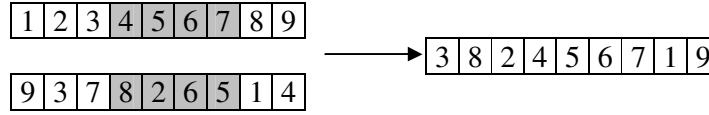
Adım 2. İkinci ebeveynin ikinci çaprazlama noktasından başlayarak, birinci çocukta kullanılmamış bileşenleri, ikinci ebeveyndeki sırasıyla, ikinci çaprazlama noktasından itibaren çocuğa kopyalayın.

Adım 3. İkinci çocuk oluşturulurken, ebeveynlerin rollerini değiştirerek, aynı işlemleri tekrarlayın.

Şekil 4.17-4.18'da sıra çaprazlamasına bir örnek verilmiştir.



Şekil 4.17 Sıra çaprazlama, adım 1: rasgele belirlenmiş kısmı, birinci ebeveynden çocuğa kopyala.

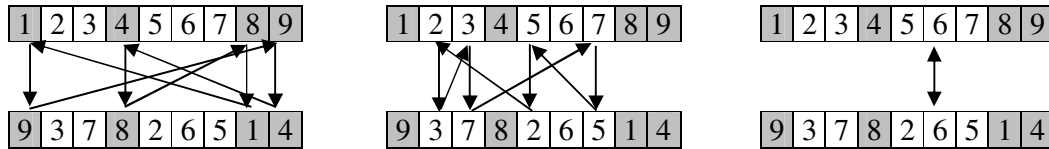


Şekil 4.18 Sıra çaprazlama, adım 2: bileşenlerin geriye kalanını, ikinci ebeveynde var olma sırasına göre kopyala.

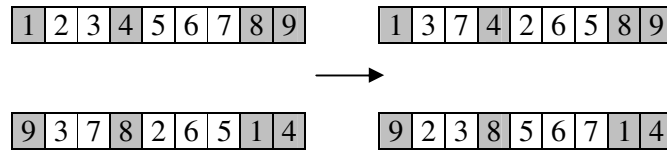
- **Çevrimsel çaprazlama:** Bu operatörle, bileşenlerin bulunduğu pozisyonlarla ilgili bilgiyi mümkün olduğunca saklamak amaçlanır. Temel çalışma mantığı, bileşenleri çevrimlere bölmektir. Bir çevrim, iki ebeveyn hizalandığında her bileşenin bir başka bileşenle eşleştiği, bileşenlerin bir alt kümesidir. Çocuklar, permütasyonu çevrimlere bölerek, her bir ebeveynden alternatif çevrimler bularak oluşturulur. Çevrimlerin oluşturulması süreci şöyledir:

- P1'deki ilk kullanılmamış pozisyonla ve genle başla,
- P2'de aynı pozisyonadaki gene bak,
- P1'de aynı genin pozisyonuna bak,
- Bu geni çevrime ekle,
- 2'den 4'e kadar olan adımları, P1'deki ilk gene ulaşıncaya kadar tekrarla.

Şekil 4.19-4.20'de, çevrim çaprazlama için bir örnek verilmiştir.



Şekil 4.19 Çevrimsel çaprazlama, adım 1: çevrimlerin tanımlanması



Şekil 4.20 Çevrimsel çaprazlama, adım 2: çocukların oluşturulması

- **Çok ebeveynli çaprazlama:** Üç, dört ya da daha fazla ebeveynle gerçekleştirilen

çaprazlama operatörlerinin tanımlanması ve uygulanması kolaydır. Çok ebeveynli çaprazlama, biyolojide olmayan evrim süreçlerinin tanımlanmasına olanak sağlar. Teknik bakış açısıyla, çaprazlamanın etkilerini güçlendirici bir araç sunar. Evrimsel algoritmalarda çok kullanılan operatörler olmasa da, alanın gelişiminin başlangıç evrelerinden bu yana önerilmişlerdir. Ebeveynlerin bilgilerinin birleştirilmesinde kullanılan mekanizmalara göre sınıflandırılabilirler (Eiben ve Smith, 2003):

- Gen değeri sıklığına göre,
- Ebeveynlerin bölünmesine ve yeniden birleştirilmesine göre,
- Gerçek değerli alellere uygulanan sayısal işlemlere göre.

4.4.1.5 Ebeveyn seçimi

Seçme işleminin amacı, mevcut popülasyon içinden daha sonraki popülasyonlarda GA işlemleri uygulanması için değerlendirilecek olan kromozomların seçilmesidir (Şen, 2004). Seçim mekanizmaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- **Uygunluk oranına göre seçim:** Bir f_i bireyinin seçilme olasılığı, $f_i / \sum_{j=1}^{\mu} f_j$ 'dir, yani, seçilme olasılığı bir bireyin, popülasyonun geriye kalanının uygunluklarıyla karşılaştırıldığında mutlak uygunluk değerine bağlıdır (Eiben ve Smith, 2003).

Uygunluk oranına göre seçim mekanizmasıyla ilgili bazı durumlarda problemler yaşanabilir (Eiben ve Smith, 2003):

- Çok üstün bireyler, yani, popülasyonun geriye kalanıyla karşılaştırıldığında çok üstün olan bireyler, tüm popülasyona çok hızlı bir şekilde hâkim olabilir. Bu durum, **erken doğum yakınsaması** olarak bilinir,
- Uygunluk değerleri birbirine çok yakın olduğunda, neredeyse hiç seçim baskısı olmayabilir. Bu durumun nedeni, bireylere atanan rulet tekerleğinin boyutu çok az farkla aynı olur ve bu durumda seçim uniform rasgele seçime döner ve biraz daha iyi uygunluk değerleri, bireylerin işine yaramaz. Sonuç olarak performans çok yavaş bir iyileşme gösterir.
- Mekanizma, aynı uygunluk değerinin sırası değiştirilmiş versiyonları için farklı davranışlar sergileyebilir.
- **Sıralama seçimi:** Uygunluk oranına göre seçimin eksik yönlerinden esinlenerek geliştirilmiş bir yöntemdir. Popülasyondaki bireyleri uygunluk değerlerine göre sıralayarak ve sonrasında, bireylere seçilme olasılıklarını, gerçek uygunluk değerlerine göre değil de,

bu sıraya göre atayarak, sabit bir seçilme baskısından kaçınır. Sıra numarasından, seçilme olasılığına geçiş keyfî yapılır ve birçok yoldan yapılabilir: lineer ya da üssel olarak artan gibi. Burada tek şart, olasılıkların toplamının 1 olmasıdır.

Lineer sıralamada kullanılan formülün parametresi s 'dir ($1.0 < s \leq 2.0$). $\mu = \lambda$ olan nesil GA modelinde, s , en iyi uygunluk değerine sahip bireye ayrılmış beklenen çocuk sayısıdır. Eğer bu birey, μ sırasına sahipse ve en kötü birey 1 sırasına sahipse, i sırasındaki bir bireyin seçilme olasılığı Denklem 4.19'deki gibidir:

$$P_{lin-rank(i)} = \frac{(2-s)}{\mu} + \frac{2i(s-1)}{\mu(\mu-1)} \quad (4.19)$$

Çizelge 4.2'de, üç bireyden oluşan bir popülasyondaki seçilme olasılıklarının, uygunluk oranı ve farklı s değerlerine sahip sıra tabanlı seçim yöntemlerine göre nasıl değişiklik gösterdiğine dair bir örnek mevcuttur.

Çizelge 4.2 Uygunluk oranı (UO) seçimine karşı, lineer sıralama (LS) seçimi

Birey	Uygunluk	Sıra	$P_{seçUO}$	$P_{seçLS(s=2)}$	$P_{seçLS(s=1.5)}$
A	1	1	0.1	0	1.167
B	5	3	0.5	0.67	0.5
C	4	2	0.4	0.33	0.33
Toplam	10		1.0	1.0	1.0

Sıradan seçilme olasılığına geçişte lineer haritalama uygulandığında, uygulanabilir seçim baskısının miktarı sınırlıdır. Eğer daha yüksek bir seçilme baskısına ihtiyaç varsa, yani, ortalamanın üstünde uygunluk değerine sahip bireylerin seçilmesi daha çok isteniyorsa, üssel yapı uygulanabilir (Denklem 4.20):

$$P_{exp-rank(i)} = \frac{1-e^{-i}}{c} \quad (4.20)$$

Normalizasyon faktörü c , seçilme olasılıklarının toplamı 1 olacak şekilde seçilen bir sayıdır ve popülasyon büyüklüğünün bir fonksiyonudur (Eiben ve Smith, 2003)..

- **Turnuva seçimi:** Turnuva seçimi popülasyonla ilgili global bir bilgiye ihtiyaç duymayan, kullanışlı bir operatördür. Bunun yerine, iki bireyi sıralayabileceği sıra ilişkilerine dayanır. Bu nedenle, kavram olarak basit ve uygulama olarak hızlıdır. Turnuva seçiminin uygulanması Çizelge 4.3'deki adımlardan oluşur (Eiben ve Smith, 2003):

Çizelge 4.3 Turnuva seçimi algoritmasının sahte kodu

BAŞLA

Mevcut bireyi 1'e eşitle;

(mevcut birey $\leq \mu$) şartı sağlandığı sürece aşağıdaki işlemleri yap

k bireyi rassal olarak, yer değiştirmeli ya da yer değiştirmesiz, seç;

Uygunluk değerlerini karşılaştırarak k bireyin en iyisini seç;

Seçilen bireyi i olarak adlandır;

Eşleşme havuzu(mevcut birey)= i ;

Mevcut birey = mevcut birey + 1;

BİTİR

Turnuva seçiminde bir bireyin seçilme olasılığı dört faktöre dayanır (Eiben ve Smith, 2003).:

- Bireyin popülasyondaki sırasına. Genellikle tüm popülasyonu sıralamadan tahmin edilebilir.
- Turnuva büyüklüğü k 'ya. Turnuva daha büyük olduğunda, ortalamanın üstünde uygunluk değerlerine sahip bireylerin bulunma olasılığı artar ve düşük uygunluk değerlerine sahip bireylerin bulunma olasılığı azalır.
- Turnuvanın en uygun bireyinin seçilme olasılığı p 'dir. Genellikle bu değer 1.0'dir (deterministik turnuva), fakat stokastik versiyonlar da $p < 1.0$ için kullanılır. Bu durumda daha az seçme baskısı olur.
- Bireylerin yer değiştirmeli ya da yer değiştirmesiz seçileceğine. İkinci durumda, deterministik turnuvada, popülasyonun $k-1$ daha az uygun bireyleri hiç seçilemeyebilir. Eğer adaylar yer değişmeyle seçilirse, en az uygunluk değerine sahip bireyin bile seçilme olasılığı olabilir.
- **Rasgele Seçim:** Yukarıda bahsedilen yöntemlere ek olarak bir de rasgele seçim mekanizmasından bahsedilebilir. Rasgele seçimde ebeveynler, hiçbir kurala bakılmaksızın popülasyon içinden rasgele olarak belirlenirler.

4.4.1.6 Sağ kalanların seçimi

Sağ kalanların seçimi mekanizması, μ ebeveyn ve λ çocuğun, gelecek nesil için μ ebeveyne indirgenmesi süreciyle ilgilidir. Evrimsel döngü içinde bu süreç, yer değiştirme olarak da adlandırılır. GA literatüründe önerilmiş olan yer değiştirme teknikleri, uygunluğa ya da bireylerin yaşına göre seçim yapmalarına göre ikiye ayrılır (Eiben ve Smith, 2003).

- **Yaş-tabanlı yenileme:** Bu yöntemde bireylerin uygunluk değerleri dikkate alınmaz, her birey GA sürecinde aynı iterasyon sayısı boyunca yer alır. Bu durum, popülasyondaki yüksek uygunluk değerine sahip bireylerin kalıcılığını engellemez, fakat seçim aşamasında en azından bir kere seçilmelerine ve yeniden kombinasyon ve mutasyon aşamalarında sağ kalmalarına bağlı kılar.

Bu strateji, basit GA algoritmasında kullanılan bir stratejidir. Çünkü üretilen çocukların sayısı anne babaların sayısına eşittir ($\lambda < \mu$), her birey döngüde sadece bir kere bulunur ve ebeveynler atılır ve yerlerine çocuklardan oluşan set geçirilir. Bu strateji, üst üste gelen popülasyonlara ($\lambda < \mu$) ve her döngüde tek bir bireyin oluşturulup popülasyona katıldığı uç durumlara uygulanabilir. Bu durumda strateji ilk-giren-ilk-çıkar kuralını uygular.

- **Uygunluk tabanlı yenileme:** $\lambda + \mu$ çocuk ve ebeveyn μ ebeveyni seçmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan bir kısmı da hangi bireylerin gelecek nesillere aktarılacağı kararını vermek için uygunluk değerlerini kullanır.
- **En kötüsüyle değiştir:** Bu teknikte, popülasyonun λ üyelerinin en kötülerini, yer değiştirmek üzere seçilir. Bu durum popülasyon uygunluğunun ortalamasında önemli iyileştirmeler sağlasa da, popülasyon mevcut çözümler arasında en iyilere hızlı bir şekilde odaklandığı için, erken yakınsamalara neden olabilir. Bu nedenle daha çok büyük popülasyonlarda ve/veya “tekrarlar yasak” politikalarıyla birlikte kullanılır.
- **Elitizm:** Daha çok yaş tabanlı ve stokastik uygunluk tabanlı tekniklerle birlikte, popülasyonun mevcut en iyi uygunluk değerine sahip bireylerini korumak amacıyla kullanılır. En iyi uygunluk değerine sahip bireylerin bir kısmı korunur ve popülasyon içinde tutulur.

4.4.1.7 Genetik algoritmaların uygulandığı problem alanları

Literatürde, GA'nın çok sayıda uygulama alanı olduğu görülmektedir. Bu uygulama alanlarının bir kısmı aşağıdaki Çizelge 4.4'de açıklanmıştır.

Çizelge 4.4 GA'nın uygulandığı problem alanları

Gezgin satıcı problemi	Carter & Ragsdale (2006) Moon vd. (2002) Louis, S.J. & Li, G., (2000) Chatterjee, S. vd. (1996) Whitley, D. vd. (1991) Goldberg, D.E. & Lingle, R. (1985)
-------------------------------	--

Çizelge 4.4 GA'nın uygulandığı problem alanları (devamı)

Sıralama ve çizelgeleme	Chen, K.J. & Ji, P. (2007) Shadram, S. & Kianfar, F. (2007) Vals, V. <i>vd.</i> (2008) Martin, C.H. (2009) Ruiz, R. <i>vd.</i> (2006)
Çizge renklendirme (Graph colouring)	Yanez, J. & Ramirez, J. (2003) Davis, L. (1991)
Steiner Ağacı	Haouari, M., Chaouachi, J.S. (2006)
Sırt çantası problemi	Lin, F.T. (2008) Chan, F.T.S. <i>vd.</i> (2007) Lewis, J.E. <i>vd.</i> (2005) Kröger, B. (1995)
Küme örtüleme problemi	Solar, M. <i>vd.</i> (2002) Beasley, J.E. & Chu, P.C. (1996)
Diğer problem alanları	Lojistik yönetimi: Ko, H.J.&Evans, G.W. (2007) Bölge belirleme-atama problemleri: Doong, S-H. <i>vd.</i> (2007) ...

4.5 Yerel Arama Algoritmaları

Fizibil çözümlerin bir seti olan S , $s \in S$ için hesaplanabilecek olan maliyet fonksiyonu, $f: S \rightarrow \mathcal{R}$ parametreleri olan bir minimizasyon problemi olduğunu kabul edelim. Teoride, optimal çözüm, her $s \in S$ için $f(s)$ 'in hesaplanmasıyla yapılan geniş bir arama ve minimum seçimi ile elde edilebilir. Bununla birlikte, çoğu gerçek yaşam probleminde S böyle geniş bir arama için çok büyük olabilir. Yerel optimizasyon, çözüm uzayının küçük bir alt setinde arama yaparak, bu zorluğun üstesinden gelebilir. Bu, çözüm uzayı üzerinde komşuluk tanımının yapılması ve mevcut çözüm üzerindeki iyileştirmelerin, söz konusu komşuluk üzerinde aramalarla yapılması üzerine dayanır. Maliyet fonksiyonunda herhangi bir iyileştirme sağlayan bir çözüm kalmadığında, mevcut çözüm, optimum çözümün bir yakınsaması olarak kabul edilir. Eğer bir iyileşme olursa, mevcut çözüm, iyileşme sağlayan çözümle yer değiştirilir ve süreç tekrar edilir. Hızlı iniş aramalarında, tüm komşuluklar araştırılır ve maliyet fonksiyonunda en büyük iyileştirmeyi sağlayan çözüm seçilir. Rasgele inişte, komşu çözümlere rasgele bakılır ve maliyet fonksiyonunu iyileştiren ilk çözüm kabul edilir.

Yerel optimizasyon doğal bir komşuluk yapısına sahip olduğundan çoğu kombinasyonel optimizasyon problemi için kabul görür. Eğer optimum çözümdeki bileşenlerin sayısı sabitse ve biliniyorsa, komşuluk, çözüm olmayan bileşenlerin aynı sayısı için mevcut çözümde sabit sayıdaki bileşenlerin değişik dokuşuyla tanımlanabilir. Bu yolla çözülen bazı problemler:

gezgin satıcı problemi ve p -medyan problemidir (Dowsland, 1993). Yerel optimizasyon süreci Çizelge 4.5’deki gibidir.

Çizelge 4.5 Yerel optimizasyon süreci (Dowsland, 1993).

Çözüm uzayı S, maliyet fonksiyonu f ve komşuluk yapısı N olan bir problem için yerel optimizasyon
• Bir başlangıç çözümü $s_0 \in S$ ‘yi seç; • Tekrar et - Uygun bir metotla, $f(s) < f(s_0)$ şartını sağlayan s’i seç s_0’ı s’le değiştir - Tüm $s \in N(s_0)$ değerleri için, $f(s) > f(s_0)$ olana kadar. • s_0, optimum çözümün bir yakınsamasıdır. (s’in seçiminde genellikle hızlı iniş ve rasgele iniş yöntemleri kullanılır.)

Çözümdeki bileşenlerin sayısı önceden belirlenmemişse, doğal bir komşuluk yapısı, çözüm değişkenleri seti içinden, bazı bileşenlerin çıkarılması veya eklenmesiyle elde edilebilir. Örneğin, eğer problem, 0-1 değişken seti ile gösteriliyorsa, komşuluk, bir ya da daha fazla değişkenin değiştirilmesi ile elde edilebilir (Dowsland, 1993).

Belli başlı yerel arama teknikleri aşağıdaki gibidir:

- Tavlama Benzetimi,
- Tabu Araması,
- Karınca Kolonisi Optimizasyonu,
- Sürü Zekası,
- Parçacık Sürü Optimizasyonu

Bu tez çalışmasında yerel arama tekniklerinden, Tavlama Benzetimi (TB) kullanılacağından, yalnızca bu teknik açıklanacak, diğerlerine değinilmeyecektir.

4.5.1 Tavlama benzetimi

Tez kapsamında Tavlama Benzetimi (TB), Tersine Lojistik Ağı’nın tasarlanması için önerilen modelin çözümünde kullanılacaktır. TB’nın kullanımı ile ilgili ayrıntılı bilgiler 5. ve 6. Bölüm’lerde verilmiştir. Bu bölümde genel hatlatıyla TB açıklanacaktır.

TB algoritmasının temelini oluşturan fikirler, ilk olarak Metropolis *vd.* tarafından 1953 yılında önerilmiştir (Metropolis *vd.*, 1953). TB algoritması, malzemelerin sıcak banyolarda soğutulmasından-tavlama olarak bilinir- esinlenilerek hazırlanmıştır. Eğer, katı malzeme erime noktasına kadar ısıtılır ve katı hale geçinceye kadar tekrar soğutulursa, bu soğutulmuş malzemenin yapısal özellikleri soğutma oranına bağlı olur. Örneğin, büyük kristaller, çok yavaş bir soğutma ile oluşturulabilirler, fakat hızlı bir soğutma, kristal yapısında kusurların oluşmasına neden olabilir. Tavlama sürecinin, malzemeyle ilgili bir partiküller sistemi olarak benzetimi yapılabilir. Temel olarak, Metropolis algoritması, soğutma sürecinden geçirilen bir sistemin kararlı bir duruma gelinceye kadarki, enerjisindeki değişikliklerin benzetimini yapar (Dowsland, 1993). Kirkpatrick *vd.* (1983), maden erimesi sonrasında yavaş yavaş (tavlama) soğuması esnasındaki enerji değişikliğine benzer olarak Tavlama Benzetimi algoritması ile optimizasyon yapılabileceğini önermiştir (Şen, 2004).

TB yaklaşımı, en uygun çözümlerin bir alt seti içerisinde, mevcut çözümden komşu çözümlere tekrarlı bir arama tekniği olan, yerel (komşu) arama tekniğinin bir varyasyonu olarak algılanabilir. Bir minimizasyon problemi için yerel arama tekniği, aramanın daima gelişme yönünde olduğu bir iniş stratejisini çalıştırır. Bununla birlikte, böyle bir strateji, global bir çözümden çok yerel bir çözüme yakınsar. Algoritmanın birkaç değişik başlangıç çözümüyle uygulanması veya komşulukların karmaşıklığını amaçların kapsamını genişleterek arttırarak da bir çözüm bulma yoluna gidilebilir. Fakat bu varyasyonların hiç biri tam bir tatmin sağlayamamıştır.

İniş stratejilerinden elde edilen çözümler, kullanılan başlangıç çözümlerine bağlıdır. Bir iniş daima, başlangıç çözümün de içinde bulunduğu vadinin en alt noktasına doğru arama yapar. Güvenilir bir sezgisel, başlangıç çözüme mümkün olduğunca az bağlı olmalıdır. Bazı yokuş yukarı hareketleri olmalıdır, fakat nihai amaç bir minimum noktaya yakınsayacağından, bu, tedbirli ve kontrollü yapılmalıdır. TA sezgiselinde yokuş yukarı hareketlere izin verilir, fakat sıklığı, algoritma ilerledikçe değişiklik gösteren bir olasılık fonksiyonuna bağlıdır.

Yukarıda söz edilen kontrol şekli, Metropolis'in istatistiksel termodinamik ile ilgili bir çalışmasından esinlenilerek bulunmuştur. Termodinamik kanunları, t sıcaklığında, enerjinin (e) büyüklüğünün artış olasılığının Denklem 4.21'deki gibi olduğunu söyler:

$$P = e^{-k \frac{\Delta}{T}} \quad (4.21)$$

Burada k , Boltzmann sabiti olarak adlandırılan fiziksel bir sabittir ve Δ iki durum arasındaki farktır.

Metropolis'in benzetimi bir düzen bozukluğu oluşturarak, sonuçlanan enerji değişimini hesaplar. Eğer enerji düşüyorsa, sistem yeni duruma doğru hareket eder. Eğer enerji artıyorsa, yukarıdaki olasılık formülasyonu ile hesaplanan olasılığa bakılarak yeni duruma hareket ettirilir. Süreç her sıcaklık için, belirlenen belli bir iterasyon sayısına kadar sürdürülür, sistem kararlı bir seviyeye gelinceye kadar sıcaklık düşürülür (Dowsland, 1993). Metropolis algoritması terimleri, kombinasyonel optimizasyon problemlerinde Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi karşılık bulur.

Çizelge 4.6 Metropolis algoritması terimlerinin kombinasyonel optimizasyon problemlerinde karşılığı (Dowsland, 1993).

Termodinamik benzetimi	Kombinasyonel optimizasyon
Sistem kararlı bir hal alır	Fizibil çözüm bulunur
Enerji	Maliyet
Durum değişikliği	Komşu çözüm
Sıcaklık	Kontrol parametresi
Donmuş hal	Sezgisel çözüm

4.5.1.1 Tavlama algoritması

Yerel aramanın en büyük dezavantajı, global optimumdan çok yerel optimum bulmaya olan yatkınlığıdır. Kontrollü bir şekilde yokuş yukarı hareketlere izin vererek TA, bu problemi hafifletir. Komşulukların rasgele yapılması yönünden tavlama algoritması, rasgele iniş algoritmasıyla benzerlik gösterir. Maliyet fonksiyonunda kötüleşmeye neden olan bir komşunun kabul edilebilir olması ve bu kabul edilmiş bir kontrol parametresine (sıcaklığa) ve artışın büyüklüğüne bağlı olması yönünden TB, rasgele inişten farklıdır (Dowsland, 1993).

Çizelge 4.7'de, t 'nin bir kontrol parametresi olduğuna, artık fiziksel bir özellik taşımadığına dikkat ediniz. Bununla birlikte, t 'ye halen "sıcaklık" ve t 'nin durumu ve düşürülme sürecine "soğutma çizelgesi" denir.

Belirli bir problemin çözümü için yukarıdaki algoritmanın uygulanmasında, belli sayıda kararın verilmesi gerekmektedir. Bu kararlar iki kategoride incelenebilir. Birinci tip kararlar, tavlama algoritmasında kullanılan parametrelerle ilgili olan genel kararlardır. Genel kararlar, başlangıç sıcaklığı, soğutma çizelgesi (bitiş iterasyon sayısına ve sıcaklık soğutma fonksiyonu α ile belirlenen) ve bitiş şartıdır. İkinci tip kararlar spesifikler ve fizibil çözümlerin uzayının

seçimi, maliyet fonksiyonunu şeklinin belirlenmesi ve kullanılacak komşuluk yapısına karar verilmesi gibi kararları içerir. Söz konusu iki karar grubu da algoritmanın hızını ve elde edilen çözümün kalitesini etkilediğinden dikkatlikle belirlenmelidir (Dowsland, 1993).

Çizelge 4.7 TB süreci için sahte kod (Dowsland, 1993).

Çözüm uzayı S, amaç fonksiyonu f ve komşuluk yapısı N'e sahip olan bir minimizasyon problemi için tavlama benzetimi
Bir başlangıç çözümü s_0 seç; Bir başlangıç sıcaklığı $t_0 > 0$ seç; Bir sıcaklık düşürme fonksiyonu α seç; Tekrar et Tekrar et Rasgele bir $s \in N(s_0)$ seç; $\Delta = f(s) - f(s_0)$; Eğer $\Delta < 0$ Öyleyse $s_o = s$ Değilse $(0,1)$ aralığında uniform olarak dağılmış bölgeden rasgele bir x seç; Eğer $x < e^{-\frac{\Delta}{T}}$ Öyleyse $s_o = s$; İterasyon sayısı belirli bir seviyeye ulaşınca kadar $t = \alpha(t)$; Durma koşulu sağlanıncaya kadar s_0, optimum çözümün bir yakınsamasıdır.

4.5.1.2 Tavlama benzetiminin uygulandığı alanlar

TB algoritması literatürde çok çeşitli alanlarda sıklıkla kullanılmıştır. Bu kullanım alanlarından bazıları ve bu konuda yapılmış çalışmalardan bazıları Çizelge 4.8'de görülmektedir.

Çizelge 4.8 TB'nin uygulandığı alanlar

Klasik Problemler (Çizge renklendirme, Gezgin satıcı problemi, Steiner ağacı problemi gibi klasik kombinasyonel optimizasyon problemleri)	Kun <i>vd.</i> (2005) Candia-Vejar <i>vd.</i> (2004) Peng <i>vd.</i> (1996) Chams, M. <i>vd.</i> (1987)
Sıralama ve Çizelgeleme	Cho <i>vd.</i> (2005) Ishibuchi <i>vd.</i> (1995)
Diğer Problemler	Hücrel imalat sistemleri: Safaei <i>vd.</i> (2008) Lojistik Yönetimi: Lee <i>vd.</i> (2007) Tesis yer seçimi problemi: Arostegui <i>vd.</i> (2006) Pazarlama: Meiri ve Zahavi (2006) Araç rotalama: Tavakkoli-Moghaddam <i>vd.</i> (2006) ...

4.6 Evrimsel Algoritmalarda Melezleştirme

Tez kapsamında, Tersine Lojistik Ağı'nın tasarlanması için önerilen modelin çözümünde kullanılan algoritmalarından biri de Melez Genetik Algoritmalar Tavlama Benzetimi (MGATB) yaklaşımıdır. Bu nedenle, bu bölümde kısaca, evrimsel algoritmalarla melezleştirme kavramı açıklanacaktır. MGATB'nin ayrıntılı açıklaması 5. Bölüm'de verilmiştir.

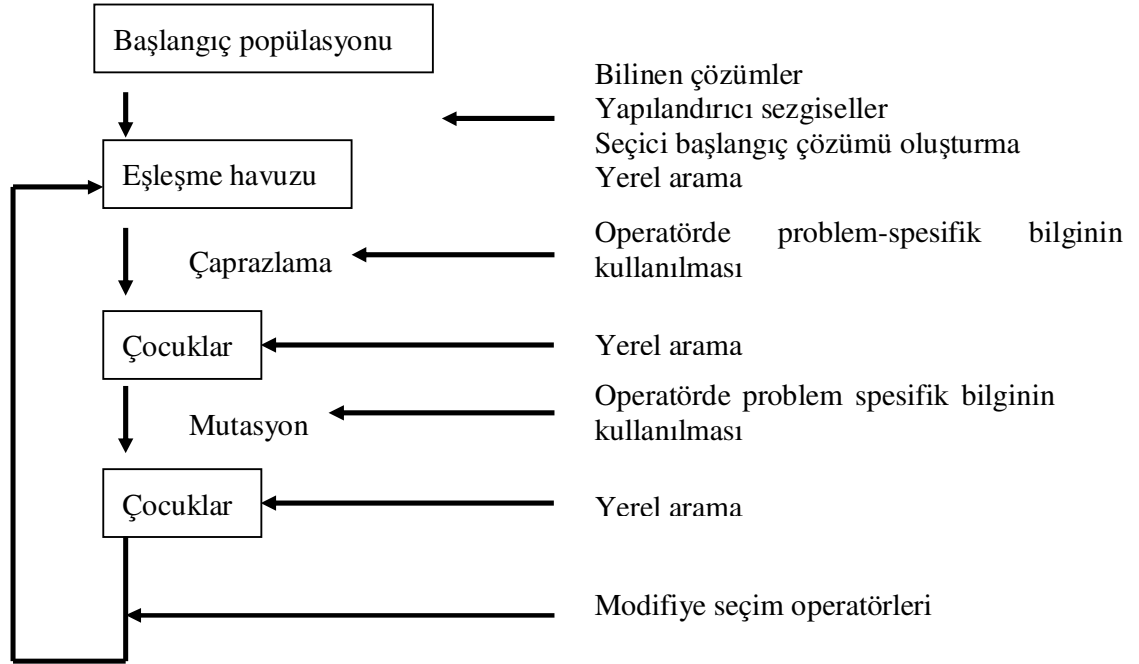
Bir evrimsel algoritmanın diğer tekniklerle melezleştirilmesinin çeşitli nedenleri vardır. Bu nedenlerden bazıları şöyledir (Eiben ve Smith, 2003):

- Birçok karmaşık problem çözülürken belirli sayıda alt parçalara ayrılır. Bu parçaların bazılarının çözümü için çeşitli sezgiseller, bazıları içinse deterministik yöntemler kullanılabilir. Bu tarz problemlerde, problemin alt parçaları için uygun yöntemlerin seçilmesi ve nihai çözümde bu yöntemlerin bir kombinasyonunun kullanılmasında fayda vardır.
- Her konuda başarılı ve etkili genel bir problem çözüm algoritması mevcut değildir.

- EA'lar, çözüm uzayı üzerinde iyi alanların tanımlanmasında hızlıdır fakat çeşitlendirme operatörlerinin stokastik yapısından dolayı optimum sonuca ulaşmada iyi olamayabilirler.
- Pratikte EA, önemli miktarda kullanıcı bilgi ve deneyiminin mevcut olduğu problemlere sıkça uygulanır. Böyle durumlarda, genel çözümlerde çok fazla uzağa gidilmesine bir eğilim oluşmaması için, bu bilgi birikiminden, özelleştirilmiş bir operatör ve/veya iyi bir çözüm olarak faydalanılır.

4.6.1 Melez algoritmaların yapıları

Evrimsel algoritmaları diğer yöntemlerle melezleştirmenin çeşitli yolları vardır. Şekil 4.21'de evrim çevrimi içine, çeşitli bilgi ve diğer operatörleri yerleştirmenin olası seçenekleri görülmektedir (Eiben ve Smith, 2003):



Şekil 4.21 Evrim çevrimi içine, çeşitli bilgi ve diğer operatörleri yerleştirmenin olası seçenekleri (Eiben ve Smith, 2003).

4.6.1.1 Sezgisel ya da akıllı başlangıç çözümleri

Bir problemin yapısıyla ilgili mevcut bilginin ya da potansiyel çözümlerinin Evrimsel Algoritmaların yapısına adapte etmenin en açık yolu, başlangıç çözümü oluşturma aşamasında yapılan adaptasyondur. Bir evrimsel algoritmaya, mevcut çözümleri kullanarak başlamanın

belirli avantajları mevcuttur (Eiben ve Smith, 2003):

- Mevcut çözümleri kullanarak, gereksiz tekrarlardan kaçınılabilir. Hesapsal maliyetten kaçınmak etkinliği (hızı) arttırabilir.
- Rassal olmayan bir ilk popülasyon, aramayı arama uzayının daha iyi çözümler veren belirli bir bölgesine yönlendirebilir. Sonucun yönlendirilmesi etkinliği (nihai çözümün kalitesini) arttırabilir.
- Toplam hesaplama yükünü, bir sezgisel başlangıç çözümü bulma yöntemi ve bir evrimsel algoritmaya bölmek, tek başına evrimsel algoritmalarından yararlanmaya göre daha iyi sonuç verebilir.

Başlangıç çözüm üretme fonksiyonunu basit bir rasgele başlangıç çözüm üretme fonksiyonundan farklılaştırmanın çeşitli yolları vardır (Eiben ve Smith, 2003):

- Popülasyon, diğer tekniklerle elde edilmiş, bir ya da daha fazla iyi bilinen çözümden faydalanılarak oluşturulabilir. Örneğin, gezgin satıcı vb. problemler için “en yakın komşuluk sezgiseli”, çizelgeleme ve planlama problemleri için, “en zor olanı ilk çizelgele” yöntemi, yöneylem araştırması literatüründe bulunabilecek farklı yöntemler örnek olarak verilebilir,
- Çok sayıda rasgele çözümler oluşturulur ve başlangıç çözümü bunlardan biri olarak seçilir,
- Başlangıç popülasyonun her bireyine bir yerel arama tekniği uygulanır ve böylece başlangıç popülasyonu her biri bir yerel optimum olan bireylerden oluşur.
- Yukarıdaki tekniklerden bir ya da bir kaç iyi çözüm ya da çözümler elde etmek için kullanılır ve sonrasında, bu bireyler klonlanarak ve yüksek oranda mutasyon uygulanarak, başlangıç çözüme yakın bireyler oluşturulur.

Yukarıda sözü edilen tekniklerle oluşturulan başlangıç çözümlerin başlangıç popülasyondaki oranı arttıkça, ortalama performans artar, ancak performanstaki çeşitlilik azalır (Eiben ve Smith, 2003).

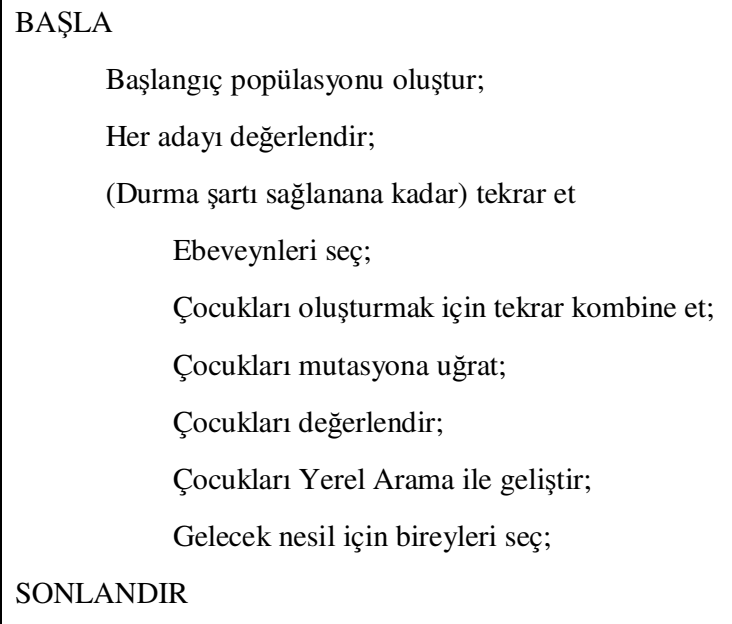
4.6.1.2 Çeşitliliği arttırma operatörlerinde melezleştirme: Akıllı çaprazlama ve mutasyon

Çeşitliliği arttırma operatörlerinde kullanılacak melezleştirme tekniklerinin en basiti, operatörlere çeşitli eğilimler tanıtmaktır. Bu sayede operatörler istenilen yönde çözümlere yatkın olabilirler (Eiben ve Smith, 2003).

4.6.1.3 Çeşitliliği artırma operatörlerinin çıktıları üzerinde yerel aramanın yapılması

Bu kapsamda en yaygın kullanılan yöntemlerden biri, EA çevriminin uygulanması sırasında popülasyon bireylerinin bir ya da daha fazla iyileştirme sürecine sokulmalarıdır, yani mutasyon ya da çaprazlamadan çıkan bireylerin her birine bir yerel arama tekniğinin uygulanmasıdır. Şekil 5.21'den görülebileceği gibi, bu iyileştirme çevrimin çeşitli yerlerinde olabilir: çaprazlamadan sonra ya da mutasyondan sonra gibi (Eiben ve Smith, 2003). Çevrimin hangi aşamasında yapılırsa yapılsın, tipik olarak adımları Çizelge 4.9'daki gibidir.

Çizelge 4.9 Basit bir melez algoritma için sahte kod (Eiben ve Smith, 2003):



4.6.1.4 Genotipten fenotipe geçişte melezleştirme

Melezleştirmede en çok kullanılan alanlardan biri, değerlendirmeden önce, genotip fenotip geçişi yapılırken kullanılanıdır. Buna iyi bir örnek olarak, şifreleme veya tamir fonksiyonlarında problem spesifik bilginin kullanılmasıdır (Eiben ve Smith, 2003).

4.6.2 Melez algoritmalarda tasarım konuları

4.6.2.1 Çeşitliliğin korunması

EA'da önemli bir problem olan, optimal olmayan çözümlere yakınsanılması durumu, yani erken doğum, melez algoritmalarda yerel aramanın etkisiyle daha da kötüleşebilir. Eğer yerel arama, her nokta bir yerel optimumu bulana kadar sürüyorsa, bu durum popülasyondaki çeşitliliği azaltıcı bir etki yaratabilir. Bu problemle mücadele etmek için geliştirilen

tekniklerden bazıları şöyledir (Eiben ve Smith, 2003):

- Bilinen iyi bireylerle başlangıç çözümü oluşturuluyorsa, bunların sadece küçük bir oranının kullanılması,
- Çeşitliliği koruyacak yeniden kombinasyon operatörlerinin kullanılması,
- Tekrarları engelleyecek seçim operatörlerinin kullanılması,
- Seçim operatörünü ya da yerel arama kabul kriterinin çeşitliliği arttıracak yönde modifiye edilmesi.

Son sözü edilen metot, yerel optimumdan kaçışa yardımcı olabilmek için kötüleşmeye neden olan hareketlerin sıfır olmayan bir olasılıkla kabul edilebildiği TB ile benzerlikler taşımaktadır. (Eiben ve Smith, 2003).

4.6.2.2 Operatörlerin seçimi

Bir yerel arama ve sezgisel tekniği birleştiren bir melez algoritmanın tasarımında en önemli faktörlerden biri, sezgisel ya da yerel arama hareket operatörünü geliştirme şeklidir, yani, gelişmiş bir çözüm aranırken incelenecek komşu noktaların setinin oluşturulma şeklidir. Yerel aramada hareket operatörünün seçiminin etkinlik üzerinde önemli sonuçları vardır, dolayısıyla da melez algoritmanın etkinliği üzerinde de etkileri vardır. Bu nedenle melez algoritma tasarlanırken hareket operatörü çok dikkatli seçilmelidir (Eiben ve Smith, 2003).

4.6.2.3 Bilginin kullanımı

Bir melez algoritma kurulurken dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise optimizasyon sürecinde elde edilen ve yeniden elde edilen bilginin kullanılmasıdır. Bu kullanım, yeniden kombinasyonla otomatik olarak yapılabilir, fakat genel açık bir mekanizma mevcut değildir.

Daha önceden araştırılmış noktalarla ilgili bilginin açık olarak kullanıldığı bir metot olan tabu aramasıyla melezleştirmenin yapılması, bilginin kullanımıyla ilgili iyi bir yol olabilir. Bu algorithmada, ziyaret edilmiş noktalardan gitmenin yasak olduğu bir “tabu listesi” hazırlanır. Benzer olarak, Boltzmann kabul kuralının bir versiyonu da mevcut ya da geçmiş popülasyonlardan gelen yeni bir çözümün kabul edilip edilmeyeceğine dair kullanılabilir (Eiben ve Smith, 2003).

4.6.3 Melez genetik algoritmalar - tavlama benzetimi

Literatürde çeşitli alanlarda GA ve TB melez olarak kullanılmıştır. Bu çalışmalardan

bazılarına bu bölümde değinilecektir. Yao *vd.* 2003 yılında yayınlanmış olan çalışmalarında, GA ve TB'yi melez olarak kullanmışlardır. Bu çalışmada bireylere mutasyondan sonra TB uygulanmıştır ve bu süreçten çıkan bireyler seçim aşamasına yollanmıştır. Bu sayede, algoritmanın normal GA'ya göre yerel optimumlardan daha iyi kaçınabildiği ve daha iyi yakınsadığı gözlenmiştir. Yoo ve Gen (2007) çizelgeleme literatüründe yer alan çalışmalarında, GA'nın yakınsamasını SA'nın kabul kriterini kullanarak iyileştirmeye çalışmıştır. Çizelgeleme literatüründe yer alan bir diğer çalışma, M'Hallah (2007) tarafından hazırlanmıştır. Bu çalışmada Tepe Tırmanma, TB ve GA kombine olarak kullanılmıştır. TB, her neslin en iyi bireyinin iyileştirilmesinde kullanılmıştır. He ve Hwang (2006) inşaat alanında yapmış oldukları çalışmalarında, TB'yi GA sürecinden sonra kullanarak iyileştirme yapmışlardır. Yu *vd.* (2000) enerji alanında hazırlamış oldukları çalışmada, GA'nın erken yakınsamasından kaçınmak için, TA ile melez kullanılmıştır ve kombine kullanımdan sağlanan iyileşmeler sayısal olarak kanıtlanmıştır. Jwo *vd.*(1999) enerji alanında hazırlamış oldukları çalışmada, TB üzerine GA uygulamış ve TB'nin performansında iyileşme sağlamışlardır.

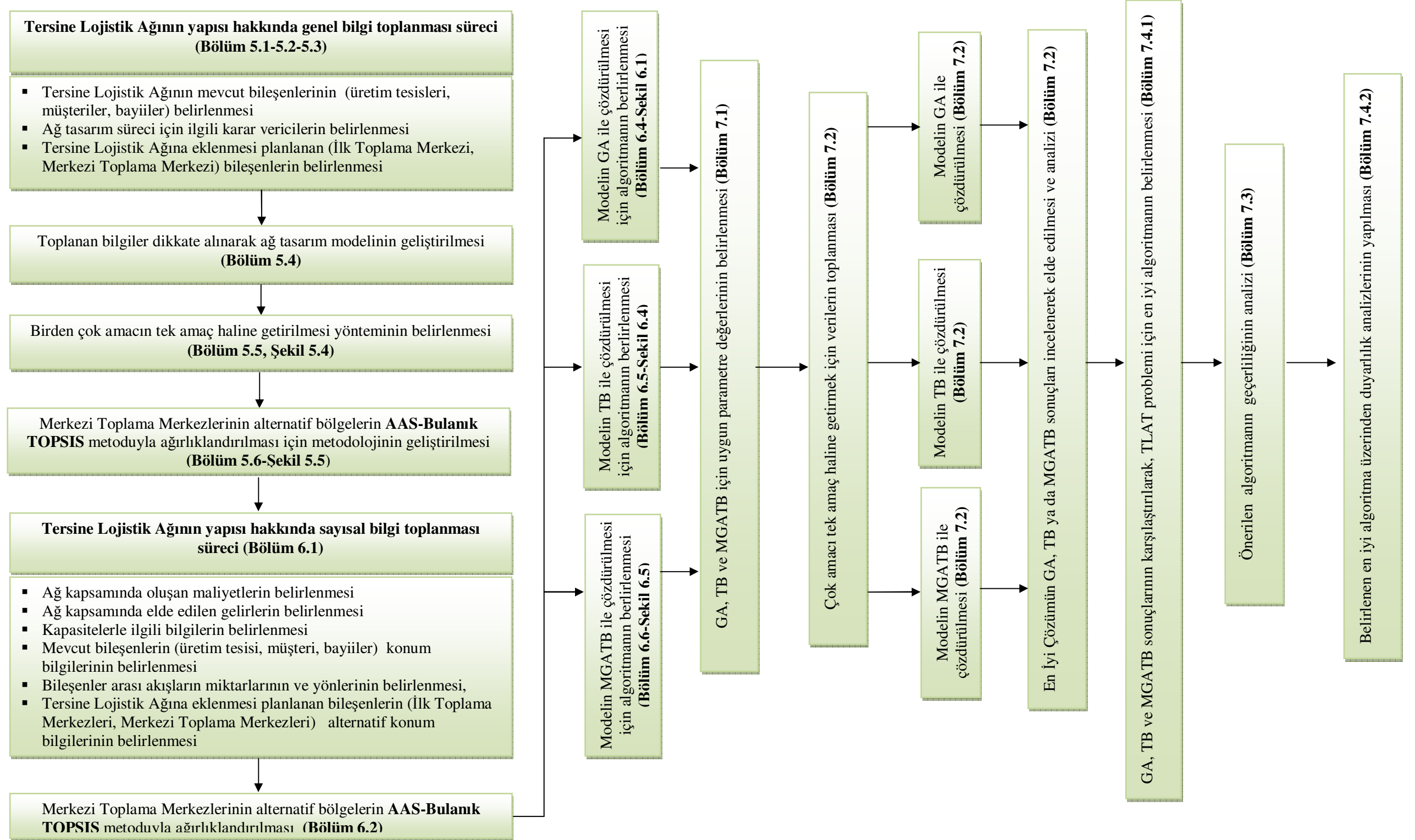
5. TERSİNE LOJİSTİK AĞI TASARIMI MODELLEME METODOLOJİSİ

İşletmeler için tedarik zincirlerinin tasarımı kararları yüksek derecede önem taşıyan kararlardır. Uygun tedarikçilerin seçilmesi, depoların doğru yerlere yerleştirilmesi, doğru taşıma modlarının seçilmesi, doğru taşıma kapasitesine sahip araçların seçilmesi vb. gibi kararlar ayrı ayrı üzerinde düşünülmesi gereken problem alanlarıdır. Artan çevre problemleri ve tekrar kullanılan ürün ve malzemelerden elde edilme potansiyeli olan ekonomik faydalar işletmeleri tersine lojistik konularında çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir.

Tersine lojistikte ağ tasarımı (TLAT) konusu ise verilmesi gereken kararlar açısından değerlendirildiğinde stratejik açıdan bir önem arz eder. Müşterilerden iade, kullanım ömrü bitmiş, garanti kapsamındaki vb. ürünlerin hangi yollarla geri toplanacağı, bu süreçte hangi tip tesislere ihtiyaç duyulacağı, bu ara tesisler için uygun yerlerin nereler olduğu, hangi müşterilerin hangi tesislere atanacağı, hangi ara tesisler arasında taşımalar olacağı gibi konular uygulama aşaması öncesinde çok iyi düşünülmesi ve planlanması gereken konulardır.

Bu çalışmada TLAT problemi için bir metodoloji öne sürülmüştür. Bu metodolojinin genel hatları Şekil 5.1’de verilmiştir. Bu bölümde metodolojinin ayrıntılı anlatımı yapılacaktır. Altıncı bölümde ise verilen metodoloji ana hatlarına göre bir uygulama verilecektir.

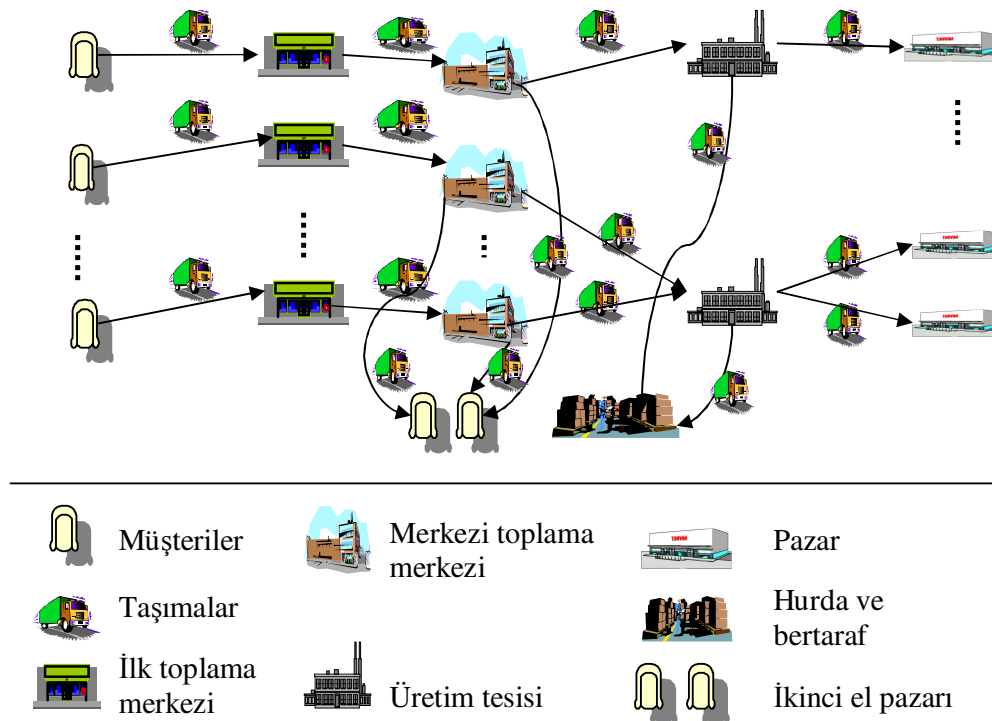
Şekil 5.1’de parantez içinde sırasıyla metodolojinin anlatımı ve uygulaması için ilgili bölümler verilecektir. Şekil 5.1 incelendiğinde metodolojinin TLAT konusunda genel bilgi toplanması ile başladığı görülmektedir. Sonrasında bu bilgiler dikkate alınarak ağ tasarım modeli geliştirilir. Tek amaçlı modelin çok amaçlı hale getirilmesi için bir metodoloji geliştirildikten sonra, MTM ağırlıklandırma metodolojisinin belirlenmesi süreci başlar. Bu süreci uygulama için sayısal bilgilerin toplanması ve MTM’lerin ağırlıklandırılması süreci izler. Sonrasında GA, TB ve MGATB ile modelin çözdürülebilmesi için uygun algoritmaların geliştirilmesi süreci gerçekleştirilir. Bir sonraki aşama ise GA, TB ve MGATB için uygun parametlerin belirlenmesi sürecidir. Çok amaçlı model belirlenen yöntemle tek amaçlı hale getirildikten sonraki aşama ise modelin çözdürülmesi aşamasıdır. Model, her üç yöntemle de çözdürüldükten sonra, en iyi çözümün belirlenmesi, analizi, en iyi algoritmanın belirlenmesi, önerilen algoritmanın geçerliliğinin analizi aşamaları gerçekleştirilir. Son aşama ise çeşitli parametlerin değişimi sonucu sonuçlarının ne yönde etkilendiğinin analizinin yapıldığı duyarlılık analizi aşamasıdır.



Şekil 5.1 Önerilen çözüm modeli metodolojisi

5.1 Modelin Genel Yapısı

İncelenen Tersine Lojistik Ağı (TLA), müşteriler, ilk toplama merkezleri (İTM), merkezi toplama merkezleri (MTM), üretim tesisleri (ÜT) bileşenlerinden oluşmaktadır. İlk aşamada, müşterilerden çeşitli nedenlerle dönen ürünler (iade, garanti kapsamındaki dönüşler, eskisini getir yenisini al kampanyaları) İTM'lerde toplanır (Şekil 5.2). İTM'ler içlerinde ürüne dair herhangi bir işleme yapılmayan ve sadece toplama amaçlı kiralanılan merkezlerdir. Bu merkezler müşterinin kolay erişebileceği, belirli depolama alanına sahip ve bu alanı kiralamak konusunda gönüllü herhangi bir işletme olabilir. Örneğin bir çamaşır makinesi imalatçısının tersine lojistik ağı tasarlanıyorsa, İTM'ler bu imalatçının bayileri arasından seçilebilir.

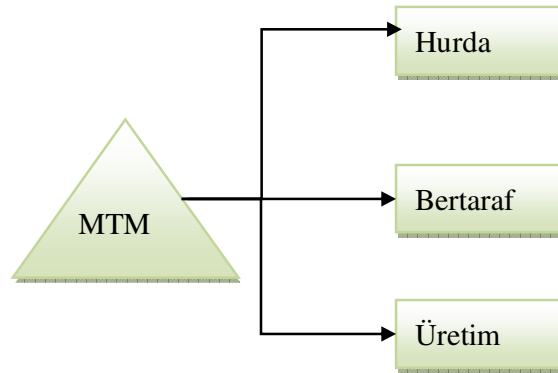


Şekil 5.2 Tersine lojistik ağı genel yapısı

Seçilen İTM'lere belirli bir miktar kira ödemesi yapılır ve bu tesislerde biriken ürünler için elde tutma maliyetleri oluşur. İTM'lere müşterilerden gelen ürünler ve MTM'lere gönderilen ürünler hariç başka herhangi bir girdi, çıktı akışı söz konusu değildir. İTM'lerde ürünler belirli bir süre biriktirilirler. İTM'lerin kira giderleri hariç, bekletilen her bir ürün için günlük

bir elde tutma maliyeti oluşur. Bu sürenin uzunluğu, elde tutma maliyetleriyle, toplu taşımadan elde edilecek kazanç dengelenerek bulunmaya çalışılır.

İTM’lerde belirli bir gün biriktirilen ürünler toplu bir şekilde MTM’lere sevk edilirler. MTM’lerde ilk olarak, bu ürünler sınıflandırılır (Şekil 5.3). Bu sınıflandırmayla ürünler üç tipe ayrılır: hurdaya satılacak kısım, bertaraf edilecek kısım, tekrar üretime katılacak kısım. Bu sınıflandırma, belirli bir maliyet ve zaman harcanmasını gerektirir. Sınıflandırma sonrasında, bazı ürünler ya da bileşenlerin çok yıpranmış olduğuna karar verilebilir ve bu ürünler hurdaya ya da bertarafa gönderilir. Bu aşamada bertaraf maliyeti oluşması söz konusudur. Hurda olarak satılacak kısımdan ise bir gelir oluşması söz konusudur. Üçüncü tip ürünler parçalarına ayrılır, bu parçalara bakım uygulanır ve ÜT’lere gönderilirler. Bu aşamada da parçalara ayırma ve bakımdan kaynaklanan bir maliyet oluşması söz konusudur. Ürünlerin İTM’lerden hangi MTM’lere gönderileceğinin belirlenmesi aşamasında alternatif MTM alanları bir AAS-bulanık TOPSIS yaklaşımı ile ağırlıklandırılır ve atamalar yapılırken bu ağırlıklar da dikkate alınır. Son olarak, MTM’de parçalara ayrılan ürünlerin bakımı yapılmış ve üretime hazır parçaları ÜT’lere gönderilir. ÜT’lerde tekrar üretim sürecine giren bu parçalardan “yenisi gibi iyi” ürünler üretilir ve birinci el pazarına sunulurlar (Şekil 5.2). Birinci el pazarına sunum esnasında gönderilen yollar ve ilgili atamalar bu çalışma kapsamında incelenmemiştir.



Şekil 5.3 MTM ve üretime gelen ürünlerin tipleri

5.2 Modelin Varsayım ve Kabulleri

Model oluşturulurken aşağıdaki kabuller ve varsayımlar benimsenmiştir:

- Ürünlerin, atıkların ve bileşenlerin MTM’lerden ÜT’lere, bertaraf alanına ve hurdaya

günlük olarak gönderildiği ve bu nedenle bir elde tutma maliyeti oluşmadığı varsayılmıştır.

- MTM’de tek bir ürün tipinin işlendiği varsayılmıştır.
- MTM’lerden hurdaya satılan parçaların taşıma maliyetlerinin satın alan tarafından karşılandığı varsayılmıştır.
- ÜT’lerin talepleriyle ilgili bir kısıt olmadığı kabul edilmiştir.
- MTM’lerde ürünler sınıflandırılıp hurdaya, bertarafa ve ÜT’ye gönderilirken ürünler parçalarına ayrılmaktadır. Fakat bu aşamadan sonraki hesaplamalar oransal olarak düşünülmüştür.

5.3 Modelleme Güçlükleri

Bu tez kapsamında incelenen TL ağı tasarımı probleminin modellenmesi sürecinde çeşitli nedenlerle bazı güçlüklerle karşılaşmıştır. Bunlar:

- Modellemede yaşanan en önemli güçlük Türkiye’de TL uygulamalarının çok ileri seviyelerde olmamasıdır. Yapılan araştırma ve görüşmelerde Türkiye’de oturmuş bir TL sistemi olan kuruluşa rastlanmamıştır. Kağıt, cam gibi sektörlerin yıllar içinde oluşmuş bir sistemleri mevcutsa da elektronik sektörü açısından konu çok yenidir ve firmaların bu konuda çok fazla çalışma yaptığı söylenemez. Uygulama eksikliği de, bu çalışma kapsamında model geliştirilirken sıkıntılara yol açmıştır. Bu nedenle gerçek hayattan çok literatürdeki kaynaklardan yararlanılmış, bilgi eksikliği bulunan alanlarda kabuller ve varsayımlarda bulunulmuştur.
- Türkiye’de gelişmiş TL uygulamaları yapılmaması, uygulama safhasında bilgi toplama aşamasında da problemlere yol açmıştır ve bazı verilerle ilgili belirsizlikler olmuştur. Belirsizlik olan kısımlar, duyarlılık analizleri ile desteklenmeye çalışılmıştır.
- MTM yeri seçimi kalitatif faktörlerden de etkilendiğinden, bu faktörleri modele yansıtabilmek için çok kriterli karar verme tekniklerinden de faydalanılmıştır.
- İTM, MTM, ÜT, bertaraf alanı ve müşteri sayısının çokluğu model içindeki değişken ve kısıtların sayısını arttırmaktadır ve bu da model çözümü için karmaşıklığı arttıran bir etkidir.
- Doğası gereği TLAT problemi çok amaçlı bir yapıdadır ve bu aşamada doğru amaçları ve amaçlar için doğru ağırlıkları belirlemek sonuçların doğruluğunu önemli ölçüde etkiler.

5.4 Model Formülasyonu

Model formülasyonunda kullanılan, parametre ve değişkenlerin indisleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Model parametre ve değişkenleri

Parametreler	
İndis	Açıklama
TD	Çalışma dönemi içindeki gün sayısı
KM_j	j. MTM’nin kuruluş maliyeti
EB_i	Bir birim ürününün İTM’de bir günlük bekleme maliyeti
TM	Bir birim ürünün birim mesafe taşıma maliyetidir. Mesafelere ve taşıma aracının tam dolu ya da kısmi dolu olmasına göre farklı değerler almaktadır.
Arz_m	m. müşterinin arz ettiği ürün miktarı
BM	Birim miktarda ürünün bertaraf edilme maliyeti
d_{mi}	m. müşteri ile i. İTM arasındaki mesafe
d_{ij}	i. İTM ile j. MTM arasındaki mesafe
d_{jk}	j. MTM ile k. ÜT arasındaki mesafe
d_{jB}	j. MTM ile bertaraf alanı arasındaki mesafe
K_i	i. İTM’nin bir çalışma dönemi için toplam kapasitesi
K_j	j. MTM’nin bir çalışma dönemi için toplam kapasitesi
GH	Birim miktardaki ürünün hurda olarak satılmasından elde edilen gelir
GUT	Birim miktardaki ürünün UT’de kullanılmasından elde edilen kazanç
R_i	i. İTM’nin tüm dönem için kiralama maliyeti
A_j	j. MTM’nin AAS-bulanık TOPSIS’le elde edilen ağırlığı
Değişkenler	
İndis	Açıklama
Y_i	İTM’ nin kiralanıp kiralanmama durumu $Y_i \in \{0,1\}$
Z_j	MTM’ nin kurulup kurulmama durumu $Z_j \in \{0,1\}$
SM_j	j. MTM’deki sınıflandırma ve işleme maliyeti
β_H	MTM’lerideki ürünlerin hurdaya satılan oranı
β_B	MTM’lerdeki ürünlerin bertarafa gönderilen oranı
β_k	MTM’lerdeki ürünlerin UT’lere gönderilen oranı
Y_{mi}	m. müşterinin i. İTM’ye atanıp atanmadığını gösteren değişken $Y_{mi} \in \{0,1\}$
Z_{ij}	i. İTM’nin j. MTM’ye atanıp atanmadığını gösteren değişken $Z_{ij} \in \{0,1\}$
T_i	i. İTM’nin ürün sevk etme periyodu
X_{jH}	j. MTM’den hurda olarak günlük satılan ürün miktarı
X_{mi}	m. müşteriden i. İTM’ye taşınan günlük ürün miktarı

Çizelge 5.1 Model parametre ve değişkenleri (devamı)

Değişkenler	
İndis	Açıklama
X_{ij}	i. İTM'den j. MTM'ye bir seferde taşınan ürün miktarı
X_{jk}	j. MTM'den k. ÜT'ye taşınan günlük ürün miktarı
X_{jB}	j. MTM'den bertaraf alanına taşınan günlük ürün miktarı

TLAT'de 2 amaç dikkate alınmıştır. Birinci amaç, net maliyet minimizasyonudur, ikinci amaç ise MTM'lere yapılan atamalarının ağırlıklı toplamalarının maksimizasyonudur.

1. Amaç: Net maliyet minimizasyonu

İlk amaç fonksiyonu net maliyet minimizasyonudur. Bu fonksiyon, taşıma maliyetleri, İTM kiralama maliyetleri, MTM kurma maliyetleri, elde tutma maliyetleri ve işleme-sınıflandırma ve bertaraf etme maliyetlerini içerir. Ayrıca, bu maliyetlerden hurdaya satıştan ve ÜT'de kullanımdan elde edilen gelirler çıkarılır. Net maliyet minimizasyonu amacı, Denklem 5.1'deki gibi ifade edilebilir.

Min AF1=

$$\begin{aligned}
& \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I TMD_{mi} X_{mi} TD + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J TMD_{ij} X_{ij} (TD / T_i) + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K TMD_{jk} X_{jk} TD + \sum_{j=1}^J TMD_{jB} X_{jB} TD + \\
& \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I EB_i X_{mi} \left(\frac{(T_i + 1)}{2} \right) TD + \sum_{i=1}^I Y_i R_i + \sum_{j=1}^J Z_j KM_j + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} SM_j + \sum_{j=1}^J TDX_{jB} BM - \\
& \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \beta_H X_{jk} .G_H - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \beta_k X_{jk} .G_{UT}
\end{aligned} \tag{5.1}$$

Birinci amaç fonksiyonunu oluşturan bileşenler aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Taşıma Maliyetleri

Müşteriden İTM'ye toplam taşıma maliyeti Denklem 5.2'deki gibidir.

$$\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I TMD_{mi} X_{mi} TD \tag{5.2}$$

İTM'den MTM'ye parti halinde toplam taşıma maliyeti Denklem 5.3'deki gibidir.

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J TMd_{ij} X_{ij} (TD/T_i) \quad (5.3)$$

MTM'den ÜT'ye taşınan miktarın toplam taşıma maliyeti Denklem 5.4'deki gibidir.

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K TMd_{jk} X_{jk} TD \quad (5.4)$$

MTM'den bertarafa toplam taşıma maliyeti Denklem 5.5'deki gibidir.

$$\sum_{j=1}^J TMd_{jB} X_{jB} TD \quad (5.5)$$

Elde Tutma Maliyeti

İTM'lerdeki toplam elde tutma maliyeti Denklem 5.6'deki gibidir.

$$\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I EB_i X_{mi} \left(\frac{(T_i + 1)}{2} \right) TD \quad (5.6)$$

İTM Kiralama Maliyetleri

Kiralanmasına karar verilen İTM'lerin toplam kiralama maliyeti Denklem 5.7'deki gibidir.

$$\sum_{i=1}^I Y_i R_i \quad (5.7)$$

MTM Kurma Maliyetleri

Kurulmasına karar verilen MTM'lerin ilk yatırım maliyetleri toplamı Denklem 5.8'deki gibidir.

$$\sum_{j=1}^J Z_j KM_j \quad (5.8)$$

Sınıflandırma ve işleme maliyeti

MTM'lerdeki toplam sınıflandırma ve işleme maliyetleri Denklem 5.9'deki gibidir.

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} SM_j \quad (5.9)$$

Bertaraf etme maliyeti

MTM'lerden bertaraf alanına giden ürünlerin toplam bertaraf etme maliyeti Denklem 5.10'daki gibidir.

$$\sum_{j=1}^J TDX_{jB} BM \quad (5.10)$$

Gelirler

Hurdaya satıştan elde edilen toplam gelir Denklem 5.11'deki gibidir.

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \beta_H X_{jk} . G_H \quad (5.11)$$

ÜT'lerde kullanılan kısımdan elde edilen kazanç Denklem 5.12'deki gibidir.

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \beta_k X_{jk} . G_{UT} \quad (5.12)$$

2. Amaç: MTM'lere yapılan atamalarının ağırlıklı toplamalarının maksimizasyonu

İkinci amaç fonksiyonu, kalitatif faktörler olumlu özelliklerinin varlığı açısından ağırlıklandırılmış atamaların toplam ağırlıklarının maksimizasyonudur (Denklem 5.13). Burada kalitatif faktörler açısından ağırlıklandırma, MTM'lerin konuya uygun kriterlerle AAS-bulanık TOPSIS'le gerçekleştirilmiştir.

Maks AF2=

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} A_j (TD / T_i) \quad (5.13)$$

Kısıtlar

İlk kısıt (5.14) her müşterinin arzının karşılanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i=1}^I Y_i Y_{mi} X_{mi} TD = Arz_m \quad \forall m \in M \quad (5.14)$$

İkinci kısıt (5.15), bir ilk toplama merkezine gelen ürünlerin toplamı ile çıkan ürünlerin toplamının eşit olmasını sağlamaya çalışır.

$$\sum_{m=1}^M Y_i Y_{mi} X_{mi} TD = \sum_{j=1}^J Z_j Z_{ij} X_{ij} (TD / T_i) \quad \forall i \in I \quad (5.15)$$

Üçüncü kısıt (5.16), MTM'lere gelen ürünlerin, merkezi toplama merkezinden üretim tesisine, bertaraf ve hurdaya çıkan ürünler toplamına eşit olmasını sağlamaya çalışır.

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} (TD / T_i) = \sum_{k=1}^K (X_{jk} TD) + X_{jB} TD + X_{jH} TD \quad \forall j \in J \quad (5.16)$$

Denklem (5.17–5.18–5.19) her bir MTM'ye gelen toplam ürün miktarının, sınıflandırma sonrası β_k oranındaki miktarın ÜT'lere, β_H oranındaki miktarın hurdaya ve β_B oranındaki miktarın bertaraf alanına gönderilmesini sağlayan kısıt setidir.

$$\sum_{i=1}^I \beta_k X_{ij} (TD / T_i) = \sum_{k=1}^K X_{jk} TD \quad \forall j \in J \quad (5.17)$$

$$\sum_{i=1}^I \beta_H X_{ij} (TD / T_i) = X_{jH} TD \quad \forall j \in J \quad (5.18)$$

$$\sum_{i=1}^I \beta_B X_{ij} (TD / T_i) = X_{jB} TD \quad \forall j \in J \quad (5.19)$$

Denklem 5.20 ve 5.21 sırasıyla bir müşterinin yalnızca bir ilk toplama merkezine ve bir ilk toplama merkezinin yalnızca bir merkezi toplama merkezine atanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i=1}^I Y_{mi} = 1 \quad \forall m \in M \quad (5.20)$$

$$\sum_{j=1}^J Z_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (5.21)$$

Denklem 5.22, i . ilk toplama merkezine gönderilen ürünlerin toplamının, ilk toplama merkezinin kapasitesini geçmemesini sağlamaktadır.

$$\sum_{m=1}^M X_{mi} TD \leq K_i \quad \forall i \in I \quad (5.22)$$

Denklem 5.23, j . Merkezi toplama merkezine gönderilen ürünlerin, merkezi toplama merkezinin kapasitesini geçmemesini sağlamaktadır.

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} \left(\frac{TD}{T_i} \right) \leq K_j \quad \forall j \in J \quad (5.23)$$

Denklem 5.24-5.25-5.26-5.27-5.28 değişkenlerin sıfırdan büyük olma şartları ile ilgilidir.

$$X_{mi} \geq 0 \quad \forall m \in M \text{ ve } \forall i \in I \quad (5.24)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I \text{ ve } \forall j \in J \quad (5.25)$$

$$X_{jk} \geq 0 \quad \forall j \in J \text{ ve } \forall k \in K \quad (5.26)$$

$$X_{jB} \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (5.27)$$

$$X_{jH} \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (5.28)$$

Denklem 5.29-5.30-5.31-5.32 değişkenlerin yalnızca 0 ve 1 değerlerini alabileceğini belirtir.

$$Y_{mi} \in \{0,1\} \quad \forall m \in M \text{ ve } \forall i \in I \quad (5.29)$$

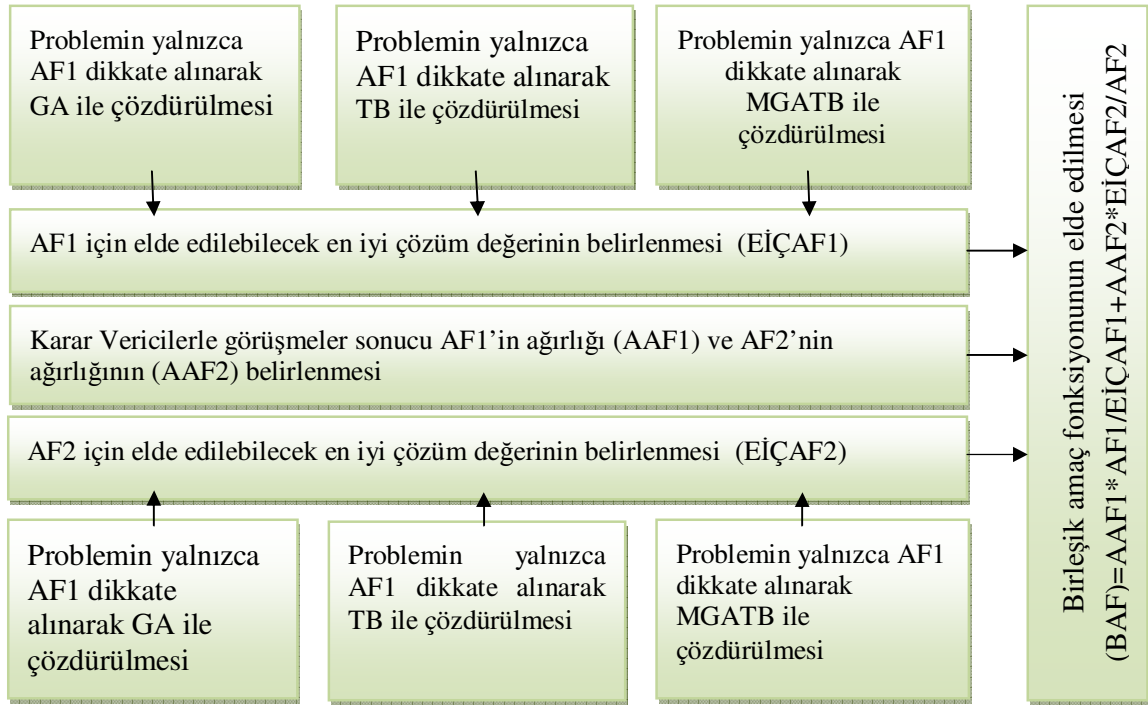
$$Z_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \text{ ve } \forall j \in J \quad (5.30)$$

$$Y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (5.31)$$

$$Z_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (5.32)$$

5.5 Çok Amaçlı Modelin Tek Amaçlı Hale Getirilmesi

Geliştirilmiş olan birden çok amaç içermektedir. Modelin çözülmesi aşamasında tek amaçlı hale getirilmesi yoluna gidilmiştir. Bu amaçla sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir ve amaç fonksiyonlarının ağırlıklı toplamaları elde edilmiştir. Bu aşamada, Hedef Programlama, Lineer Fiziksel Programlama gibi diğer bazı çok amaçlı karar verme tekniklerinden faydalanılması yoluna da gidilebilirdi. Ancak amaç fonksiyonlarının ağırlıklı toplamalarının alınması yöntemi, uygulama aşamasındaki basitliği nedeniyle çekici bir teknik olarak görülmüştür. Bu çalışmada amaç fonksiyonu sayısının iki olması da ağırlıklı toplamalar metodunun uygulanmasının diğer bir nedenidir. Eğer amaç fonksiyonu sayısı daha çok olsaydı, ağırlıkların belirlenmesi ve amaç fonksiyonlarının birleştirilmesi için böyle basit bir yöntemin uygulanması daha zor olabilirdi. Ancak mevcut şartlar altında, daha karışık algoritmalar içeren bir yöntemden kaçınılmıştır. Sözü edilen bu yöntem Şekil 5.4'deki gibidir.



Şekil 5.4 İki amaçlı modelin tek amaçlı hale getirilmesi

5.6 MTM Bölgelerinin Ağırlıklandırılması: AAS- Bulanık TOPSIS Yaklaşımı

Bu çalışmada, AAS ve bulanık-TOPSIS yaklaşımlarının birlikte kullanıldığı bir yaklaşımdan faydalanılmıştır. AAS ve TOPSIS tekniklerinin birlikte kullanımını ilk öneren Shyur ve Shih (2006) ve Shyur (2006)'dur. Shyur ve Shih (2006) bu birleşik yaklaşımı, stratejik tedarikçi seçimini probleminde kullanmıştır. Bu çalışmada, öncelikle, kriterlerin AAS yöntemiyle ağırlıkları bulunmuştur. Fakat tüm değerlendirme süreci AAS ile gerçekleştirilmemiştir, TOPSIS tekniğinden faydalanılmıştır. Burada amaç, AAS değerlendirmelerindeki çok sayıda ikili-karşılaştırmanın sayısını düşürmektir. Dolayısıyla, adayların tüm kriterler dikkate alınarak değerlendirilmesinde TOPSIS tekniği kullanılmıştır. Shyur (2006) aynı yaklaşımı farklı bir probleme uygulamıştır. Bu çalışmada, Shyur ve Shih (2006) ve Shyur (2006)'dan esinlenilerek MTM'nin alternatif lokasyonları AAS ve TOPSIS metotlarıyla değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, MTM lokasyonlarının değerlendirme kriterlerinin bulanıklık içermesinden dolayı karar matrisleri karar vericilerden (Çevre organizasyonları, belediye yönetimi, müşteriler, üreticiler, MTM yöneticileri, vb.) alınan sözel ifadelerle doldurulmuştur. Burada bulanık TOPSIS kullanılmasının nedeni KV'lerin alternatifleri kriterlere göre değerlendirmesi sırasında net yanıtlar verememeleri ve ilgili bilgilerin kesin bir

şekilde elde edilememesidir. Ancak kriter ağırlıklandırması safhasında AAS'tan faydalanılmıştır ve bu aşamada bulanık kümelerden faydalanılmamıştır. Bunun nedeni, kriter karşılaştırma aşamasında KV'lerden daha çok kesinlik içeren cevaplar alınabilmesidir. Bu durumda farklı KV'lerle görüşülmesi ile farklılıklar oluşabilir. Böyle bir durum söz konusu olduğunda, bu aşamada da bulanık kümelerden faydalanılma yoluna gidilebilir. Metodolojisinin genel adımları Şekil 5.5'de gösterildiği gibidir.

Metodolojinin AAS aşamasında ilk adım, kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi aşamasıdır. Bu aşamada, her karar vericiden kriterlerin arasında herhangi bir etkileşim yokmuş gibi değerlendirme yapması istenir (Shyur ve Shih, 2006). İkili karşılaştırmalar Saaty'nin 1-9 skalasına uygun olarak yapılır (Saaty, 1989). Bu skalaya göre, 1 kriterlerin eşit önemde olduğunu, 9 ise bir kriterin ötekine tam olarak tercih edildiğini gösterir. İkili karşılaştırmaları tamamlandıktan sonra, yerel öncelik vektörü w_1 , Denklem 5.33'den faydalanılarak hesaplanır:

$$A w_1 = \lambda_{\max} w_1 \quad (5.33)$$

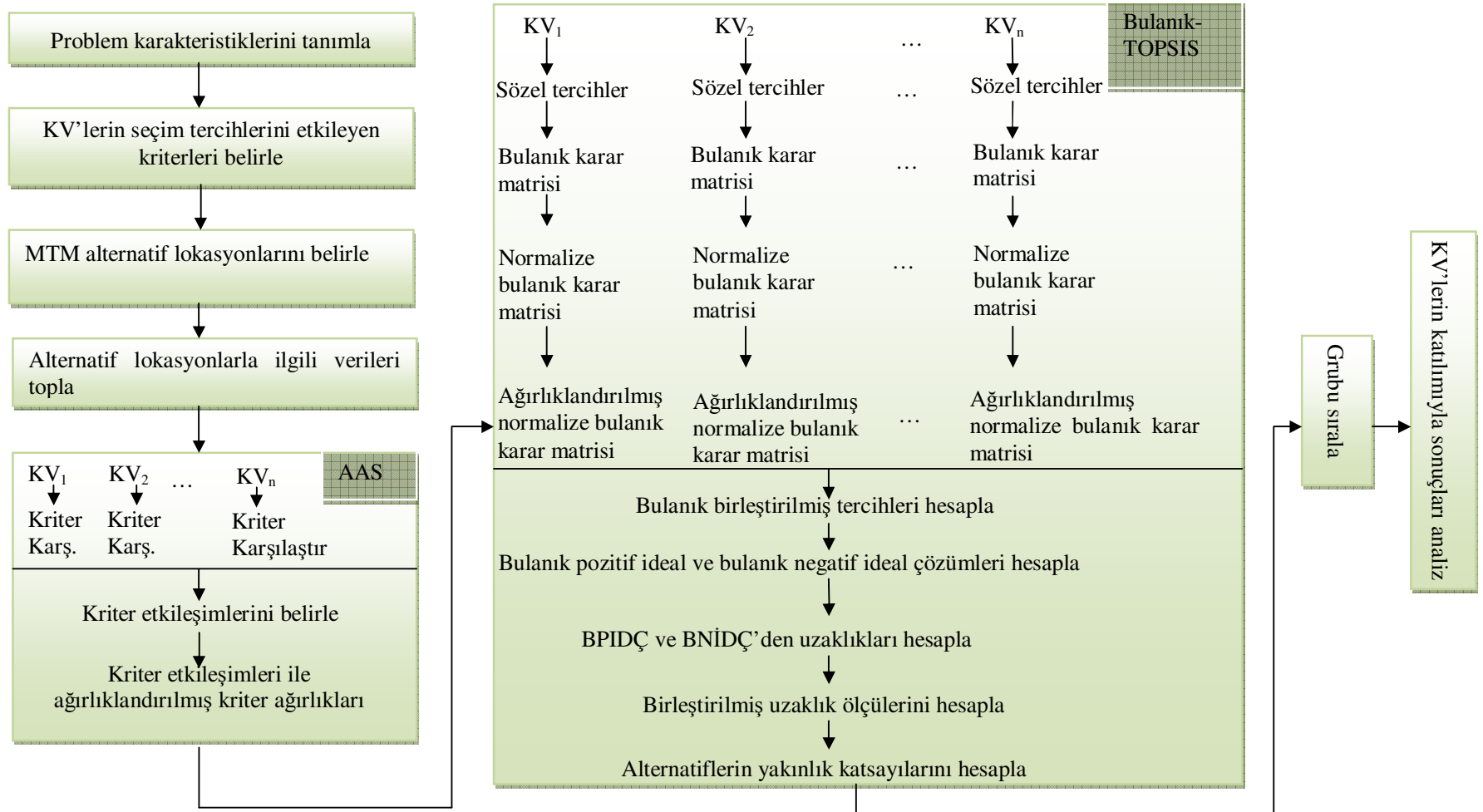
burada $\lambda_{\max}$ ikili karşılaştırmalar matrisi A 'nın en büyük özvektör değeridir. Sonrasında elde edilen tüm vektörler sütun normalizasyonuna tabii tutulur ve yerel öncelik vektörü w_2 elde edilir (Shyur ve Shih, 2006).

AAS'nin sonraki adımında, değerlendirme kriterleri arasındaki olası etkileşimler araştırılır. Karar vericiler ikili karşılaştırmalar yaparak tüm etkileşimleri analiz ederler. Her kriter için ikili karşılaştırmalar yapılır. Bu ikili karşılaştırmalar matrisleri sayesinde kriterler arasındaki etkileşimler araştırılır. Bu matrislerin, normalize özvektörleri hesaplanır ve bu kriterini etkileşimleri ağırlık matrisinde bir sütun elamanı olarak gösterilir (Shyur, 2006).

AAS'nin son adımı, kriterlerin öncelik vektörleri ile etkileşim önceliklerinin birleştirilmesidir. Bu birleştirme işlemi Denklem 5.34'deki gibi yapılır (Shyur, 2006):

$$w_c = B w_2^T \quad (5.34)$$

AAS uygulamasından sonra, karar vericilerin sözel tercihleri alınır (Çizelge 5.2). Sonrasında, karar vericilerin karar matrisleri hesaplanır.



Şekil 5.5 Birleştirilmiş AAS/TOPSIS yaklaşımlarıyla alternatif MTM bölgelerinin değerlendirilmesi (Shyur ve Shih (2006)'dan faydalanılmıştır)

Çizelge 5.2 Puanlandırma için sözel ifadeler (Chen, 2001)

Sözel ifade	Üçlü sayı karşılığı
Çok Zayıf (ÇZ)	(0, 0, 1)
Zayıf (Z)	(0, 1, 3)
Orta Zayıf (OZ)	(1, 3, 5)
İdare Eder (İE)	(3, 5, 7)
Orta İyi (OI)	(5, 7, 9)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)

$A_1, A_2, \dots, A_m$ olası alternatifler, ve $C_1, C_2, \dots, C_n$ alternatif performansların ölçüldüğü kriterler olsun. Bir bulanık çok-kriterli karar verme metodu matris şeklinde Denklem 5.35'deki gibi ifade edilebilir.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.35)$$

burada $\tilde{x}_{ij}, \forall i, j$ alternatif A_i ($i = 1, 2, \dots, m$)'nin kriter C_j 'ye göre bulanık değeridir. Bu bulanık değerler, üçgen bulanık sayılarla, $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$, gösterilebilen sözel ifadelerdir (Chen, 2001).

Sonrasında bu karar matrisi, farklı ölçü birimleri arasındaki uyumsuzlukları gidermek için normalize edilir (Denklem 5.36). $\tilde{R}$, normalize edilmiş bulanık karar matrisini gösterebilir (Wang and Chang, 2007):

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.36)$$

burada

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right)$$

$$C_j^+ = \max c_{ij}$$

Normalizasyon metodu normalize edilmiş üçgen bulanık üyelerin değerini $[0, 1]$ aralığında

tutmayı sağlar (Chen, 2000).

Sonraki adımda, AAS ile hesaplanan kriter ağırlıklarından faydalanılır ve ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisleri Denklem 5.37'deki gibi hesaplanır:

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.37)$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times w_j$$

burada w_j , kriter C_j 'nin önem ağırlığını gösterir.

Sonraki kısım, bulanık TOPSIS metodunun adımlarından oluşur. Ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisi normalize edilir ve değerleri $[0, 1]$ aralığındadır. Sonrasında, bulanık pozitif ideal çözüm (BPİDÇ, A^+) ve bulanık negatif ideal çözüm (BNİDÇ, A^-) Denklem 5.38'deki gibi tanımlanabilir (Chen, 2000):

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+) \quad (5.38)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-)$$

burada $\tilde{v}_j^+ = \max_i \{v_{ij}\}$ ve $\tilde{v}_j^- = \min_i \{v_{ij}\}$, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$.

Sonrasında, her alternatifin A^+ ve A^- 'den uzaklıkları Denklem 5.39'deki gibi hesaplanabilir (Chen, 2000):

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (5.39)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

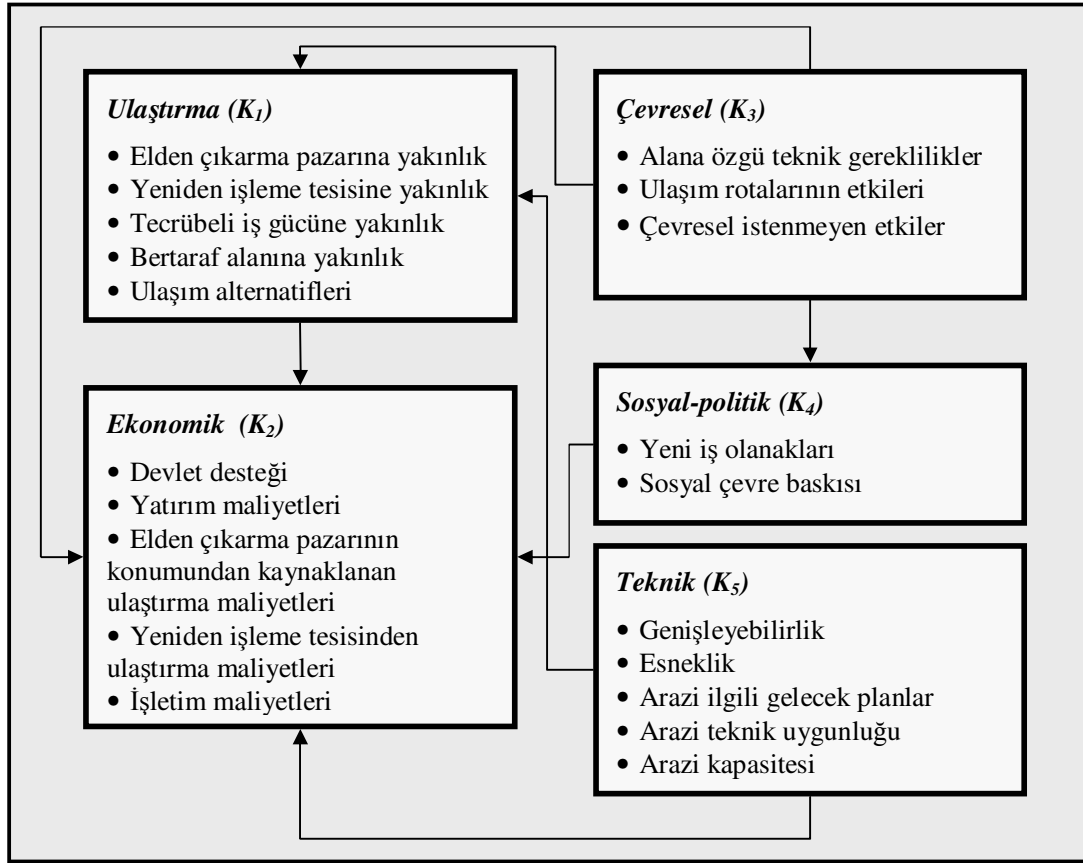
burada $d(.,.)$, iki bulanık sayı arasındaki uzaklıktır.

Sonrasında, alternatiflerin değerlerini sıralamak için yakınlık katsayıları Denklem 4.7'deki gibi hesaplanır.

CC_i 'nin "1" e yakın değerleri alternatifin BPIÇ'e yakın olduğunu gösterir ve CC_i 'nin "0" a yakın değerleri alternatifin BNIÇ'e yakın olduğunu gösterir.

5.6.1 MTM bölgelerinin ağırlıklandırılması için belirlenen kriter kümeleri

MTM lokasyonlarının değerlendirme kriterleri, ilgili nitelikler ve kriterler arasındaki etkileşimler ilgili literatürden, özellikle de (Tuzkaya vd. (2008), Tuzkaya ve Gülsün (2008), Vasiloglou (2004), Karagianniadis ve Moussiopoulos (1998), Mahler ve de Lima (2003), Al-Jarrah ve Abu-Qdais (2006))’den faydalanılarak ve belediye, çevre organizasyonları, bertaraf alanı ve üretim alanı yetkilileri ile görüşülerek hazırlanmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 MTM alternatif lokasyonları değerlendirme kriterleri, ilgili nitelikler ve kriterler arasındaki etkileşimler

5.6.1.1 Ulaştırma kriterleri kümesi

Bu kümede beş alt kriter mevcuttur. Bunlar;

- **Elden çıkarma pazarına yakınlık:** Bu aşamada söz konusu olan ulaşım faaliyeti, MTM’lerde hurdaya gönderilmek üzere sınıflandırılmış ürünlerin ilgili tesislere aktarılması sırasında yapılması gereken ulaşım faaliyetleri ile ilgilidir. Bu aşamada da taşıma ile

ilgili bir maliyet oluştuğundan MTM'lerin bu tesislere ve alanlara yakın olması istenir.

- **Üretim tesisine yakınlık:** MTM'lerde sınıflandırılan ürünlerden üretime sokulacak kalite düzeyinde bulunanlar parçalara ayrıldıktan sonra ÜT'lere gönderilirler. Bu aşamada gerçekleştirilecek olan taşımaların da mümkün olduğunca az olması istenir.
- **İş gücüne yakınlık:** MTM'lerde çalıştırılacak olan personelin ulaştırılması zaman ve maliyet gerektiren bir iştir. Bu tesislerde çalıştırılacak olan personelin ÜT'de çalıştırılacak olan personel gibi ilgili ürünün üretimi ile ilgili bilgi sahibi olması gerekmektedir. MTM'lerde de ÜT'de çalıştırıldığı gibi vasıflı (çok fonksiyonlu) iş gücünün çalıştırılması gerekmektedir, ancak, bu tesislerde çalışacak olan personel, sınıflandırma, parçalara ayırma, tamir, bakım, onarım gibi işler yapacaklardır. Bu konuda bilgi ve deneyim sahibi olan işgücüne yakın olan alanların seçilmesi, işin çekiciliğini arttırması ve taşıma maliyetlerini düşürmesi açısından önemlidir.
- **Bertaraf alanına yakınlık:** Ürünlerin geri dönüştürülmeyen kısmının uygun şekilde yok edileceği tesislere olan yakınlıktır.
- **Ulaşım alternatifleri:** MTM tesislerine yakın ulaşım alternatiflerin varlığı taşımalarla ilgili oluşacak maliyetlerde bir düşüş olanağı oluşturulabilir. Örneğin MTM ile ÜT arasında raylı taşıma olanağının bulunması hem taşıma güvenilirliğini hem de maliyetini düşürebilir. Aynı şekilde deniz taşımacılığı olanağının bulunması maliyetler konusunda avantaj sağlayabilir. Çok alternatifi olan bir alanda, taşıma tipleri arasında değişiklik yapma yani kombine taşıma olanağı da sağlanabilir ve bu da firmaya bir esneklik sağlayacaktır.

5.6.1.2 Ekonomik kriterler kümesi

Ekonomik kriterler kümesi içinde beş alt kriter mevcuttur. Bunlar;

- **Devlet desteği:** Bazı bölgelerin gelişimi açısından girişimcilerin o bölgelere yatırım yapması durumu devlet tarafından desteklenebilir. Bu bölgelere vergi indirimi gibi teşvikler uygulanabilir. Tesislerin bu gibi bölgelere kurulması yine genel maliyetler açısından avantajlı durumlar oluşturabilir.
- **Yatırım maliyetleri:** MTM'lerin kurulması için gerekli ilk yatırım maliyetleri, inşaat yatırım masrafı veya arazi fiyatları nedeniyle bölgeden bölgeye değişiklik arzedebilir.
- **Elden çıkarma pazarının konumundan kaynaklanan ulaştırma maliyetleri:** MTM'lerin elden çıkarma pazarına, hurda, bertaraf alanına olan uzaklıkları da bir maliyet oluşturacaktır.

- **Üretim tesisine ulaştırma maliyetleri:** MTM'lerin üretim tesislerine olan uzaklıklarının mümkün olduğunca az olması istenir.
- **İşletim maliyetleri:** İş gücünün pahalılığı, enerji kaynağı çeşidi imkânı vb. çeşitli nedenlerle işletim maliyetleri alternatif bölgeler için farklı olabilir.

5.6.1.3 Çevresel kriterler kümesi

Bu küme içerisinde üç alt kriter bulunmaktadır. Bunlar;

- **Alan-spesifik teknik gereklilikler:** Toprak yapısı, arazinin eğimli, engebeli ya da düz oluşu, deprem bölgesinde olup olmaması gibi faktörler alan-spesifik teknik gerekliliklerde değişikliklere neden olacaktır.
- **Ulaşım rotalarının etkileri:** MTM'lerin bulunduğu konum itibarıyla, İTM'lere ya da ÜT'lere gidiş gelişlerde oluşacak rotalar nüfus-yoğun bölgelerden geçiyorsa, bazı rotalar üzerinde belirli saatlerde trafiğe kapalı alanlar varsa vb. bu lokasyonlara MTM kurulması istenmeyebilir.
- **Çevresel istenmeyen etkiler:** MTM'lerin kurulduğu bölgelerde çevreye verebileceği potansiyel etkiler düşünülerek alan seçimi yapılmasına dikkat edilmelidir. Çevresel istenmeyen etkiler, gürültü, zararlı gazlar, görüntü kirliliği vb. olabilir.

5.6.1.4 Sosyal-politik kriterler kümesi

Sosyal-politik kriterler kümesi altında iki alt kriter mevcuttur. Bunlar;

- **Yeni iş olanakları:** MTM kurulduğu bölge civarında yeni iş olanakları doğuracaktır. Bu da çevre nüfus açısından çekici bir faktör olabilir.
- **Sosyal çevre baskısı:** Çeşitli nedenlerle çevre halkı, MTM'nin yakınlarına kurulmasını istemeyebilir. Bu tarz bir işletmeye yakın bir yerde oturmak, evlerin değerini düşürebilir, yukarıda sözü edilen gürültü, çevre kirliliği vb. oluşturabilir ve tüm bu faktörler de toplumsal bir muhalefet oluşturabilir.

5.6.1.5 Teknik kriterler kümesi

Teknik kriterler kümesi altında beş alt kriter mevcuttur. Bunlar;

- **Genişleyebilirlik:** MTM'nin kurulduğu alan, gelecekteki genişleme ihtiyaçlarına karşılık verebilecek şekilde olmalıdır. Çevresi tamamen dolu ya da çevresiyle ilgili geleceğe dair planlar yapılmış olan bir alanda genişleyebilirlik mümkün olmayabilir.
- **Esneklik:** Özellikle varolan bir bina modifiye edilecekse mevcut tesis üzerinde herhangi

bir değişikliğin kolay gerçekleştirilip gerekleştirilemeyeceğiyle ilgili bir kriterdir.

- **Arazi ile ilgili gelecek planlar:** Genişleyebilirlik kriteriyle ilişkili bir kriterdir ve mevcut arazinin çevresiyle ilgili geleceğe dair bir yapılaşma planı olup olmamasıyla, yerleşim alanı planı olup olmamasıyla vb. faktörlerle ilişkilidir.
- **Arazi teknik uygunluğu:** Bu faktör, inşaatın yapılacağı arazinin yapılaşmaya uygun olup olmaması, deprem bölgesi olup olmaması vb. faktörlerin değerlendirilmesini gerektirir.
- **Arazinin kapasitesi:** Potansiyel alanda kurulacak tesisin kapasitesinin en fazla ne kadar olabileceği ile ilgili bir kriterdir.

5.6.1.6 MTM bölgelerinin ağırlıklandırılması için kullanılan kriterler arasındaki etkileşimler

Alternatif MTM lokasyonlarının değerlendirilmesi için belirlenen ve yukarıda açıklanan kriterler ve kriter kümeleri arasında bazı etkileşimler mevcuttur. Bu etkileşimler KV'lerle yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Bu ilişkiler kısaca şöyle özetlenebilir: Çevresel kriterler kümesinin ulaştırma kriterleri, sosyal politik kriterler ve ekonomik kriterler üzerinde etkisi mevcuttur. Çevresel kriterler kümesindeki ulaşım rotalarının etkileri alt kriteri ulaştırma kriterleri kümesindeki elden çıkarma pazarına yakınlık, yeniden işleme tesisine yakınlık gibi alt kriterleri etkilemektedir. Çevresel kriterler kümesinin bir alt kriteri olan alan-spesifik teknik gereklilikler kriteri ise ekonomik kriterler içerisindeki yatırım maliyetleri alt kriterini etkilemektedir. Aynı zamanda çevresel kriterlerin devlet ekonomik kriterler kümesi içindeki çeşitli ulaştırma maliyetleri kriterlerine de etkileri vardır. Çevresel kriterler sosyal-politik kriterler kümesindeki sosyal evre baskısı kriterini de etkilemektedirler.

Ulaştırma kriterleri kümesinin ekonomik kriterler üzerinde etkileri mevcuttur. Örneğin, ulaşım alternatiflerinin mevcudiyeti devlet desteklerini artırabilir. Ayrıca, ulaştırma kriterlerindeki yakınlıkla ilgili alt kriterlerin ekonomik kriterlerdeki maliyetle ilgili alt kriterlere de etkileri mevcuttur.

Sosyal-politik kriterler kümesinin ekonomik kriterler üzerinde etkileri vardır. Toplam muhalefetin ekonomik kriterler kümesi içerisindeki maliyet kriterleri üzerinde etkisi olabilir. Yeni iş olanakları ise devlet teşvikini arttırıcı etki yapabilir. Teknik kriterler kümesinin ulaştırma ve ekonomik kriterler üzerinde etkileri vardır. Teknik kriterler kümesindeki sanayi bölgesi yapılması gibi alanla ilgili gelecek planların varlığı devlet teşviklerinin potansiyelini gösterebilir ve alanın teknik uygunluğu ilk yatırım maliyetlerini düşürebilir.

6. UYGULAMA

6.1 Uygulamanın Kapsamı ve Kullanılan Veriler

5. Bölüm’de ayrıntılı olarak açıklanan modelin kapsamı bu bölümde uygulamaya dönük olarak kısaca açıklanacaktır. Tez uygulaması kapsamında Türkiye’de çeşitli sektörlerden firma ve organizasyon yetkilileri ile görüşülmüştür. Bu firma ve organizasyonlar şöyledir: Fasdat Gıda Dağıtım Sanayi ve Ticaret A.Ş., Siemens A.Ş., Migros Türk A.Ş., Arçelik A.Ş., Ekol Lojistik, Lojitek Lojistik Danışmanlık, LODER, TürkBesd-Türkiye Beyaz Eşya Sanayicileri Derneği, bazı belediyeler ve bu belediyelere bağlı yetkili kuruluşlar. Gerçekleştirilen görüşmeler sonunda, ilgili literatürden de faydalanılarak tez uygulamasının beyaz eşya sektöründe, çamaşır makinesi tersine lojistiği üzerine yapılması uygun görülmüştür.

Model kapsamında TLAT bileşenleri olarak, müşteriler, İTM’ler, MTM’ler, ÜT’ler, bertaraf ve hurda alanları ve söz konusu bu alanlar arasındaki taşıma alternatifleri düşünülmüştür. Model çözülürken iki amaç dikkate alınmaktadır: net maliyet minimizasyonu (AF1) ve MTM’lere yapılan ağırlıklandırılmış yük atamaların maksimizasyonu (AF2). Model sonucunda verilmesi gereken kararlar ise şu şekildedir:

- Hangi müşterinin hangi İTM’ye atanacağı kararı,
- Hangi İTM’nin hangi MTM’ye atanacağı kararı,
- MTM’lerde sınıflandırılmış olan ürünlerin ilgili kısmının hangi ÜT’ye gönderileceği kararı,
- İTM’lere gelen ürünlerin İTM’lerde kaç gün bekletilmesi gerektiği kararı (taşıma aracının tam dolmasının sağladığı maliyet avantajı ile elde tutma maliyeti arasında ödünleşim mevcuttur).
- Tüm bu kararlar verilirken sistemden kaynaklanan bazı kısıtlar mevcuttur. Bu kısıtlar:
 - İTM’ler için maksimum hizmet alanı kısıtı,
 - İTM kapasite kısıtı,
 - MTM kapasite kısıtı,
 - Taşıma aracı maksimum kapasite kısıtı,
 - En az bir İTM ve bir MTM açılması kısıtı,

Yukarıda anlatılan amaçları, mevcut kısıtlarla gerçekleştirirken söz konusu kararların alındığı

modelin uygulanması kapsamında Türkiye’de beyaz eşya sektörü ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Türkiye’de beyaz eşya sektöründe ve çoğu sektörde TLA’sı çok iyi planlanmış ve sistematik olarak işleyen pek firma olmadığından, bu çalışmada, bir lojistik firmasından alınan ve bir beyaz eşya imalatçısının Ege ve Marmara Bölgeleri dâhilindeki bayii ve müşteri bilgilerinden faydalanılmıştır. Türkiye’de çamaşır makinesi imalatın çoğu İstanbul, Manisa, Bolu, Bursa, İzmir, Kocaeli, Yalova ve Bilecik civarında yapılmaktadır [2]. Bu çalışma kapsamında gerçek bayii ağı bilgilerine dayanarak oluşturulmaya çalışılan ağda üretim tesisi bölgesi olarak İstanbul ve Manisa alınmıştır. Bertaraf tesisi bölgesi olarak da İzaydaş’ın konumlandığı alan olan Kocaeli, Solaklar Köyü Mevkii alınmıştır.

Söz konusu ağda tek tek müşteri bölgesi anlamında bilgi edinmenin ve planlama yapmanın zorluğundan dolayı, kayda değer miktarda satış yapılan ilçeler müşteri olarak kabul edilmiştir ve 122 tane müşteri hesaba katılmıştır. Bu müşteriler ve bu müşterilerin günlük talep miktarları ve hesaplama bilgileri Ek 1’de verilmiştir.

Müşterilerden dönen ürünler İlk Toplama Merkezleri’nde (İTM) toplanmaktadır. İTM’lerin kurulması için potansiyel alanlar seçilirken, uygun kapasiteler ve kira bedelleri belirlenirken, yetkililerle yapılan görüşmelere, nüfus bilgilerine ve geri dönüş bilgilerine dikkat edilmiştir. Potansiyel İTM lokasyonları, İTM kapasiteleri ve yıllık kira bedelleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Alternatif İTM lokasyonları, İTM kapasiteleri ve yıllık kira bedelleri

İTM No	İTM Lokasyonu	İTM Kapasitesi (adet/yıl)	İTM Kira Bedeli (YTL/yıl)
1	Balıkesir (Merkez)	200000	35000
2	Bursa (Osmangazi)	200000	50000
3	Çanakkale (Merkez)	200000	30000
4	Denizli (Merkez)	200000	35000
5	Edirne (Merkez)	200000	35000
6	İstanbul (Kartal-Samandra)	200000	60000
7	İstanbul (Küçükçekmece-İkitelli)	200000	65000
8	İstanbul-Şişli	200000	80000
9	İzmir (Konak)	200000	45000
10	Kocaeli (Merkez)	200000	50000
11	Kütahya (Merkez)	200000	25000
12	Manisa (Merkez)	200000	30000
13	Muğla (Merkez)	200000	25000
14	Sakarya (Merkez)	200000	40000
15	Tekirdağ (Merkez)	2000000	40000

TLA’nda sonraki aşama Merkezi Toplama Merkezleridir (MTM). Yine yetkililerle görüşmeler sonucunda ve dönüşlerin yoğunlaştığı bölgeler ve nüfus bilgileri dikkate alınarak, uygun MTM lokasyonları, MTM kurma maliyetleri ve MTM kapasiteleri Çizelge 6.2’teki gibi belirlenmiştir. Ayrıca, MTM’lerde gerçekleştirilecek sınıflandırma ve işleme maliyetleri, gerekli işçi sayıları ve giderler hesaplanarak Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 Alternatif MTM lokasyonları, MTM kurma maliyetleri, MTM kapasiteleri ve MTM’lerde sınıflandırma ve işleme maliyetleri

MTM No	MTM Adı	Kurma maliyeti (YTL)	Kapasite (adet)	Sınıflandırma ve işleme maliyeti (YTL/adet)
1	Bursa-Osmangazi	1000000	500000	5.0
2	İstanbul-Anadolu-Samandra	1250000	500000	5.5
3	İstanbul-Avrupa-İkitelli	1375000	500000	5.5
4	Denizli-Merkez	750000	500000	4.0
5	İzmir-Bornova	875000	500000	4.5

Taşıma maliyetlerinin hesaplanmasında Ekol Lojistik’ten alınan veriler kullanılmıştır. Tez kapsamında, taşımaların 10 tekerlekli kamyonlarla yapıldığı kabul edilmiştir. TürkBesd’ten alınan çamaşır makinesi boyutları ve taşıma aracının boyutları Çizelge 6.3’de belirtilmiştir. Bu boyutlara göre bir araç içerisinde taşınabilecek çamaşır makinesi sayısı hesaplanmıştır.

Çizelge 6.3 Taşıma aracı ve çamaşır makinesi boyutları

Boyutlar (m)	En	Boy	Yükseklik
10 Teker kamyon	2.4	7.0	2.6
Çamaşır makinesi	0.6	0.6	0.85
İlgili boyuta sığabilecek çamaşır makinesi	4.0	11	3.0

Çizelge 6.3’te görüldüğü üzere, en, boy ve yüksekliğe maksimum 4, 11 ve 3 adet olmak üzere toplam 134 çamaşır makinesi sığdırılabilmektedir. Fakat yükleme sırasında oluşabilecek hacim kayıpları dikkate alınarak bir aracın tam dolu halinde toplam 120 adet çamaşır makinesi bulunacağı kabul edilmiştir.

Uygulama aşamasında araçların tam doldurulmadan çıkartılabileceği de dikkate alınmış ve tam dolu ve kısmi dolu yük olarak iki ayrı birim taşıma maliyeti hesaplanmıştır. Ayrıca Ekol Lojistik ile yapılan görüşmeler sonucunda taşıma mesafelerinin de maliyet üzerinde farklılık oluşturacağı sonucuna varılmıştır. Buna göre farklı birim taşıma maliyetleri Çizelge 6.4’te gösterilmiştir. Ayrıca MTM-diğer tesisler arası taşıma maliyetleri 0.015 km/YTL olarak alınmıştır.

Çizelge 6.4 Bir çamaşır makinesi için bölgeler arası birim taşıma maliyetleri (YTL/km)

Taşıma mesafesi (km)	Tam dolu (km/YTL)	Kısmi dolu (km/YTL)
<250	0.015	0.021
250-500	0.012	0.016
>500	0.010	0.014

Taşıma maliyetlerinin hesaplanmasında, yakıt giderleri, otoban, köprü vb. yol masrafları, sigorta, personel ve farklı kalemlerden oluşan bakım maliyetleri dikkate alınmıştır.

Yıllık çalışılan gün sayısı, tatil günleri ve diğer resmi tatiller dikkate alınarak 250 gün olarak kabul edilmiştir. İTM'lerden MTM'lere taşıma aşamasında, kısmi dolu olarak yük oluştukça sürekli taşıma yapmak yerine İTM'de bekleterek tam dolu araç hazırlama durumunda ortaya çıkacak stokta bekletme maliyeti de çamaşır makinesi başına 0.05 YTL/gün olarak belirlenmiştir. İTM'lerle müşteriler arası uzaklıkların 250 km'yi geçmemesi istenmektedir.

Çizelge 6.5 İTM-MTM mesafeleri (km)

MTM No	1	2	3	4	5
İTM No					
1	151	269	307	288	170
2	0	219	258	437	379
3	271	409	275	495	272
4	437	452	490	0	231
5	420	267	223	697	484
6	218	0	50	450	438
7	258	51	0	490	478
8	242	34	26	474	462
9	322	44	482	224	4
10	132	151	119	538	456
11	173	239	278	289	212
12	286	409	447	206	32
13	541	597	635	145	204
14	375	170	127	668	361
15	159	135	173	501	510

Müşteri-İTM uzaklıkları çizelgenin büyüklüğünden dolayı Ek 2'de, İTM-MTM uzaklıkları Çizelge 6.5'de, İTM-diğer tesis (bertaraf ve üretim tesisi) uzaklıkları Çizelge 6.6'da gösterilmiştir. Bu uzaklıklar, hesaplanırken Kara Yolları Genel Müdürlüğü internet sitesi [3] ve Map 24 internet sitesinden [4] faydalanılmıştır.

Çizelge 6.6 İTM-Diğer tesis mesafeleri (km)

İTM No	Bertaraf Tesisi	Çamaşır makinesi	Çamaşır makinesi
1	161	112	285

Çizelge 6.6 İTM-Diğer tesis mesafeleri (km) (devamı)

İTM No	Bertaraf Tesis	Çamaşır makinesi	Çamaşır makinesi
2	90	44	408
3	127	11	368
4	416	479	202
5	464	398	36

6.2 Merkezi Toplama Merkezlerinin Ağırlıklandırılması

Tez kapsamında geliştirilen modelin ikinci amacı olan “MTM'lere yapılan gönderilerin ağırlıklı toplamalarının maksimize edilmesi” amacı kapsamında gerekli hesaplamalar AAS-bulanık TOPSIS yaklaşımıyla gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkların belirlenmesi çeşitli karar verici gruplarla görüşmeler sonucunda gerçekleştirilmiştir. Bu gruplar, Çizelge 6.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.7 MTM ağırlıklandırma sürecinde görüşmeler yapılan karar vericiler (KV)

Karar verici no	Karar verici adı
KV1	Çevre organizasyonları
KV2	Belediye yönetimi
KV3	Müşteriler
KV4	Üreticiler
KV5	MTM yöneticileri

4. Bölüm'de bahsedilmiş olan karar verme kriterlerinin kriter numaraları Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8 MTM değerlendirme kriterleri ve kriter numaraları

Kriter no	Kriter adı
K1	Ulaştırma
	Elden çıkarma pazarına yakınlık
	Yeniden işleme tesisine yakınlık
	Tecrübeli iş gücüne yakınlık
	Bertaraf alanına yakınlık
	Ulaşım alternatifleri
K2	Teknik
	Genişleyebilirlik
	Esneklik
	Arazi ve çevresi ile ilgili geleceğe dönük planlar
	Arazinin teknik uygunluğu
	Arazi kapasitesi
K3	Sosyal/Politik
	Yeni iş olanakları

Çizelge 6.8 MTM değerlendirme kriterleri ve kriter numaraları (devamı)

Kriter no	Kriter adı
	Sosyal çevre baskısı
K4	Çevresel
	Alana özgü teknik gereklilikler
	Taşıma yolları nedeniyle oluşan olumsuz etkiler
	Çevresel istenmeyen etkiler
K5	Ekonomik
	Devlet desteği
	Yatırım Maliyetler,
	Elden çıkarma pazarından ulaştırma maliyetleri
	Yeniden işleme tesisinden ulaştırma maliyetleri
	İşletim maliyetleri

İlk olarak Karar Vericilerden (KV) Saaty'nin 1-9 skalasına göre (Saaty, 1989) kriterleri ikili karşılaştırmaları istenmiştir. Bu karşılaştırmalar Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9 Karar vericilerin kriterleri ikili karşılaştırmaları

KV1					
Kriter	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1	2	0,33	0,25	2
K2	0,5	1	0,11	0,11	0,5
K3	3	9	1	2	8
K4	4	9	0,5	1	5
K5	0,5	2	0,13	0,2	1
Toplam	9,00	23,00	2,07	3,56	16,50
KV2					
K1	1	3	2	0,2	2
K2	0,33	1	0,33	0,33	2
K3	0,5	3	1	2	3
K4	5	3	0,5	1	5
K5	0,5	0,5	0,33	0,2	1
Toplam	7,33	10,50	4,16	3,73	13,00
KV3					
K1	1	0,2	0,33	2	5
K2	5	1	0,33	4	7
K3	3	3	1	2	9
K4	0,5	0,25	0,5	1	5
K5	0,2	0,14	0,11	0,2	1
Toplam	9,70	4,59	2,27	9,20	27,00
KV4					
K1	1	5	6	4	3

Çizelge 6.9 Karar vericilerin kriterleri ikili karşılaştırmaları (devamı)

K2	0,2	1	7	7	3
K3	0,17	0,14	1	0,5	0,14
K4	0,25	0,14	2	1	0,2
K5	0,33	0,33	7	5	1
Toplam	1,95	6,61	23,00	17,50	7,34
KV5					
K1	1	2	2	3	2
K2	0,5	1	3	2	3
K3	0,5	0,33	1	2	0,33
K4	0,33	0,5	0,5	1	0,5
K5	0,5	0,33	3	2	1
Toplam	2,83	4,16	9,50	10,00	6,83

Sonrasında Çizelge 6.10'daki ikili karşılaştırmalar sütun toplamaları "1" olacak şekilde normalize edilmiştir ve satır ortalamaları alınarak özvektörleri hesaplanmıştır.

Çizelge 6.10 Normalize ikili karşılaştırmalar matrisi ve özvektörler

KV1						
Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	Özvektör
K1	0,11	0,09	0,16	0,07	0,12	0,11
K2	0,06	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04
K3	0,33	0,39	0,48	0,56	0,48	0,45
K4	0,44	0,39	0,24	0,28	0,30	0,33
K5	0,06	0,09	0,06	0,06	0,06	0,06
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
KV2						
K1	0,14	0,29	0,48	0,05	0,15	0,22
K2	0,05	0,10	0,08	0,09	0,15	0,09
K3	0,07	0,29	0,24	0,54	0,23	0,27
K4	0,68	0,29	0,12	0,27	0,38	0,35
K5	0,07	0,05	0,08	0,05	0,08	0,07
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
KV3						
K1	0,10	0,04	0,15	0,22	0,19	0,14
K2	0,52	0,22	0,15	0,43	0,26	0,31
K3	0,31	0,65	0,44	0,22	0,33	0,39
K4	0,05	0,05	0,22	0,11	0,19	0,12
K5	0,02	0,03	0,05	0,02	0,04	0,03
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
KV4						
K1	0,51	0,76	0,26	0,23	0,41	0,43
K2	0,10	0,15	0,30	0,40	0,41	0,27
K3	0,09	0,02	0,04	0,03	0,02	0,04
K4	0,13	0,02	0,09	0,06	0,03	0,06

Çizelge 6.10 Normalize ikili karşılaştırmalar matrisi ve özvektörler (devamı)

K5	0,17	0,05	0,30	0,29	0,14	0,19
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
KV5						
K1	0,35	0,48	0,21	0,30	0,29	0,33
K2	0,18	0,24	0,32	0,20	0,44	0,27
K3	0,18	0,08	0,11	0,20	0,05	0,12
K4	0,12	0,12	0,05	0,10	0,07	0,09
K5	0,18	0,08	0,32	0,20	0,15	0,18
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Bir sonraki adımda KV'lerden kriterlerin birbirlerine etkilerine göre karşılaştırması istenmiştir. Tüm KV'lerin ortak kararı olan bu karşılaştırmalar Çizelge 6.11'de verilmiştir.

Çizelge 6.11 Kriterlerin göreceli önemlerinin KV'lerce karşılaştırılması

K1					
Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1,00	9,00	9,00	9,00	9,00
K2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K3	3,00	2,00	1,00	2,00	3,00
K4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K5	2,00	2,00	3,00	3,00	1,00
Toplam	6,00	13,00	13,00	14,00	13,00
K2					
K1	1,00	5,00	6,00	7,00	5,00
K2	9,00	1,00	9,00	9,00	9,00
K3	3,00	3,00	1,00	3,00	2,00
K4	2,00	3,00	3,00	1,00	2,00
K5	8,00	5,00	7,00	7,00	1,00
Toplam	23,00	17,00	26,00	27,00	19,00
K3					
K1	1,00	9,00	9,00	9,00	9,00
K2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K3	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
K4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam	1,00	9,00	10,00	9,00	9,00
K4					
K1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K2	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
K3	9,00	9,00	1,00	9,00	9,00
K4	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00
K5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam	18,00	19,00	10,00	10,00	18,00
K5					

Çizelge 6.11 Kriterlerin göreceli önemlerinin KV'lerce karşılaştırılması (devamı)

K1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K5	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00
Toplam	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00

Çizelge 6.12’de verilen ikili karşılaştırmalar sütun toplamaları “1” olacak şekilde normalize edilmiştir ve satır ortalamaları alınarak özvektörleri hesaplanmıştır (Çizelge 6.12).

Çizelge 6.12 Kriter göreceli önem matrislerinin normalizasyonu ve özvektörler

K1						
Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	Özvektör
K1	0,17	0,69	0,69	0,64	0,69	0,58
K2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K3	0,50	0,15	0,08	0,14	0,23	0,22
K4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K5	0,33	0,15	0,23	0,21	0,08	0,20
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K2						
K1	0,04	0,29	0,23	0,26	0,26	0,22
K2	0,39	0,06	0,35	0,33	0,47	0,32
K3	0,13	0,18	0,04	0,11	0,11	0,11
K4	0,09	0,18	0,12	0,04	0,11	0,10
K5	0,35	0,29	0,27	0,26	0,05	0,24
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K3						
K1	1,00	1,00	0,90	1,00	1,00	0,98
K2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K3	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,02
K4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K4						
K1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K2	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01
K3	0,50	0,47	0,10	0,90	0,50	0,49
K4	0,50	0,47	0,90	0,10	0,50	0,49
K5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K5						
K1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Çizelge 6.12 Kriter göreceli önem matrislerinin normalizasyonu ve özvektörler (devamı)

K4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge 6.13 Kriterlerin göreceli etki dereceleri

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	0,58	0,22	0,98	0,00	0,00
K2	0,00	0,32	0,00	0,01	0,00
K3	0,22	0,11	0,02	0,49	0,00
K4	0,00	0,10	0,00	0,49	0,00
K5	0,20	0,24	0,00	0,00	1,00
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge 6.12'deki özvektörler birleştirildiğinde kriterlerin göreceli etkilerini gösteren matris Çizelge 6.13'deki gibi oluşturulur.

Çizelge 6.14 Göreceli kriter etki matrisinin KV kriter ağırlıkları ile ağırlıklandırılması

	K1	K2	K3	K4	K5	Özvektör KV1	Wc
K1	0,58	0,22	0,98	0,00	0,00	0,11	0,51
K2	0,00	0,32	0,00	0,01	0,00	0,04	0,02
K3	0,22	0,11	0,02	0,49	0,00	x 0,45	= 0,20
K4	0,00	0,10	0,00	0,49	0,00	0,33	0,17
K5	0,20	0,24	0,00	0,00	1,00	0,06	0,10
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	K1	K2	K3	K4	K5	Özvektör KV2	Wc
K1	0,58	0,22	0,98	0,00	0,00	0,22	0,41
K2	0,00	0,32	0,00	0,01	0,00	0,09	0,03
K3	0,22	0,11	0,02	0,49	0,00	x 0,27	= 0,24
K4	0,00	0,10	0,00	0,49	0,00	0,35	0,18
K5	0,20	0,24	0,00	0,00	1,00	0,07	0,13
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	K1	K2	K3	K4	K5	Özvektör KV3	Wc
K1	0,58	0,22	0,98	0,00	0,00	0,14	0,53
K2	0,00	0,32	0,00	0,01	0,00	0,31	0,10
K3	0,22	0,11	0,02	0,49	0,00	x 0,39	= 0,14
K4	0,00	0,10	0,00	0,49	0,00	0,12	0,09
K5	0,20	0,24	0,00	0,00	1,00	0,03	0,14
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	K1	K2	K3	K4	K5	Özvektör KV4	Wc
K1	0,58	0,22	0,98	0,00	0,00	0,43	0,35
K2	0,00	0,32	0,00	0,01	0,00	0,27	= 0,09
K3	0,22	0,11	0,02	0,49	0,00	x 0,04	0,16
K4	0,00	0,10	0,00	0,49	0,00	0,06	0,06
K5	0,20	0,24	0,00	0,00	1,00	0,19	0,34

Çizelge 6.14 Göreceli kriter etki matrisinin KV kriter ağırlıkları ile ağırlıklandırılması
(devamı)

Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	K1	K2	K3	K4	K5	Özvektör KV5	Wc
K1	0,58	0,22	0,98	0,00	0,00	0,33	0,37
K2	0,00	0,32	0,00	0,01	0,00	0,27	0,09
K3	0,22	0,11	0,02	0,49	0,00	x 0,12	= 0,15
K4	0,00	0,10	0,00	0,49	0,00	0,09	0,07
K5	0,20	0,24	0,00	0,00	1,00	0,18	0,32
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Bir sonraki adımda ortak göreceli etki matrisi (Çizelge 6.13) her bir karar vericinin kriter ağırlıklarıyla (Çizelge 6.10.'da her bir KV ile ilgili kısımdaki özvektörler) ağırlıklandırılır (Çizelge 6.14). Bu ağırlıklandırma işlemi Denklem 5.34'deki gibi yapılmıştır. Sonraki aşamada KV'lerden alternatif MTM lokasyonlarını her bir kriter için Çizelge 4.2'deki sözel ifadelerle değerlendirmesi istenir. Bu değerlendirmeler Çizelge 6.15'te verilmiştir.

Çizelge 6.15 Alternatif MTM bölgelerinin KV'ler tarafından kriterlere göre karşılaştırılması

		Karar Vericiler				
Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
K1	MTM1	OZ	Z	İ	Oİ	Oİ
	MTM2	İE	Çİ	Çİ	Çİ	İ
	MTM3	İE	Çİ	Çİ	İ	İ
	MTM4	İ	İ	Oİ	İ	İ
	MTM5	ÇZ	Oİ	Oİ	İE	İE
K2	MTM1	İ	Oİ	Oİ	İ	İ
	MTM2	Oİ	Oİ	İE	İE	İE
	MTM3	İ	Oİ	İE	Oİ	İ
	MTM4	Çİ	İ	Çİ	İ	Çİ
	MTM5	Z	ÇZ	ÇZ	OZ	Z
K3	MTM1	İ	Oİ	Oİ	İE	İ
	MTM2	İ	İE	Oİ	Oİ	İ
	MTM3	İ	İ	İE	Oİ	Oİ
	MTM4	İ	İ	Çİ	Çİ	İ
	MTM5	Z	Z	OZ	OZ	Z
K4	MTM1	İE	Oİ	Oİ	İE	İ
	MTM2	İ	Çİ	İ	Çİ	Çİ
	MTM3	İ	İ	Oİ	Oİ	İE
	MTM4	İE	İE	Oİ	İE	İ
	MTM5	İE	OZ	Z	OZ	İE
K5	MTM1	Oİ	Oİ	İE	İE	OZ
	MTM2	Z	Z	ÇZ	OZ	OZ
	MTM3	OZ	OZ	ÇZ	OZ	OZ
	MTM4	İ	İ	Oİ	Oİ	İ
	MTM5	İE	İE	OZ	OZ	İE

Bir sonraki aşamada Çizelge 6.15'teki değerlendirmeler Çizelge 4.2'den faydalanarak bulanık üçlü sayılara dönüştürülerek bulanık karar matrisi oluşturulmuştur (Çizelge 6.16).

Çizelge 6.16 Bulanık karar matrisi

Kriterler	Alternatifler	Karar Vericiler				
		KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
K1	MTM1	1 3 5	0 1 3	7 9 10	5 7 9	5 7 9
	MTM2	3 5 7	9 10 10	9 10 10	9 10 10	7 9 10
	MTM3	3 5 7	9 10 10	9 10 10	7 9 10	7 9 10
	MTM4	7 9 10	7 9 10	5 7 9	7 9 10	7 9 10
	MTM5	0 0 1	5 7 9	5 7 9	3 5 7	3 5 7
K2	MTM1	7 9 10	5 7 9	5 7 9	7 9 10	7 9 10
	MTM2	5 7 9	5 7 9	3 5 7	3 5 7	3 5 7
	MTM3	7 9 10	5 7 9	3 5 7	5 7 9	7 9 10
	MTM4	9 10 10	7 9 10	9 10 10	7 9 10	9 10 10
	MTM5	0 1 3	0 0 1	0 0 1	1 3 5	0 1 3
K3	MTM1	7 9 10	5 7 9	5 7 9	3 5 7	7 9 10
	MTM2	7 9 10	3 5 7	5 7 9	5 7 9	7 9 10
	MTM3	7 9 10	7 9 10	3 5 7	5 7 9	5 7 9
	MTM4	7 9 10	7 9 10	9 10 10	9 10 10	7 9 10
	MTM5	0 1 3	0 1 3	1 3 5	1 3 5	0 1 3
K4	MTM1	3 5 7	5 7 9	5 7 9	3 5 7	7 9 10
	MTM2	7 9 10	9 10 10	7 9 10	9 10 10	9 10 10
	MTM3	7 9 10	7 9 10	5 7 9	5 7 9	3 5 7
	MTM4	3 5 7	3 5 7	5 7 9	3 5 7	7 9 10
	MTM5	3 5 7	1 3 5	0 1 3	1 3 5	3 5 7
K5	MTM1	5 7 9	5 7 9	3 5 7	3 5 7	1 3 5
	MTM2	0 1 3	0 1 3	0 0 1	1 3 5	1 3 5
	MTM3	1 3 5	1 3 5	0 0 1	1 2 5	1 3 5
	MTM4	7 9 10	7 9 10	5 7 9	5 7 9	7 9 10
	MTM5	3 5 7	3 5 7	1 3 5	1 3 5	3 5 7

Çizelge 6.16'daki üçlü bulanık sayılar 0-1 aralığında olacak şekilde, Denklem 5.36'ten faydalanarak normalize edilir (Çizelge 6.17).

Bir sonraki aşamada, Çizelge 6.17'deki normalize bulanık karar matrisi, Çizelge 6.14'deki KV özvektörleri ile Denklem 5.37'dan faydalanarak ağırlıklandırılır (Çizelge 6.18).

Çizelge 6.18'deki tüm KV'ler için ayrı ayrı olan ağırlıklandırılmış değerlendirmelerin ortalaması alınarak ortak bir karar matrisi oluşturulur. Burada KV'ler eşit öneme sahip kabul edilmiştir (Çizelge 6.19).

Çizelge 6.17 Normalize bulanık karar matrisi

Kriterler	Alternatifler	Karar Vericiler														
		KV1			KV2			KV3			KV4			KV5		
K1	MTM1	0,1	0,3	0,5	0	0,1	0,3	0,7	0,9	1	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9
	MTM2	0,3	0,5	0,7	0,9	1	1	0,9	1	1	0,9	1	1	0,7	0,9	1
	MTM3	0,3	0,5	0,7	0,9	1	1	0,9	1	1	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1
	MTM4	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1
	MTM5	0	0	0,1	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7
K2	MTM1	0,7	0,9	1	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1
	MTM2	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7
	MTM3	0,7	0,9	1	0,5	0,7	0,9	0,3	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	1
	MTM4	0,9	1	1	0,7	0,9	1	0,9	1	1	0,7	0,9	1	0,9	1	1
	MTM5	0	0,1	0,3	0	0	0,1	0	0	0,1	0,1	0,3	0,5	0	0,1	0,3
K3	MTM1	0,7	0,9	1	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,3	0,5	0,7	0,7	0,9	1
	MTM2	0,7	0,9	1	0,3	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	1
	MTM3	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1	0,3	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9
	MTM4	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1	0,9	1	1	0,9	1	1	0,7	0,9	1
	MTM5	0	0,1	0,3	0	0,1	0,3	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0	0,1	0,3
K4	MTM1	0,3	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,3	0,5	0,7	0,7	0,9	1
	MTM2	0,7	0,9	1	0,9	1	1	0,7	0,9	1	0,9	1	1	0,9	1	1
	MTM3	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,3	0,5	0,7
	MTM4	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,3	0,5	0,7	0,7	0,9	1
	MTM5	0,3	0,5	0,7	0,1	0,3	0,5	0	0,1	0,3	0,1	0,3	0,5	0,3	0,5	0,7
K5	MTM1	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,1	0,3	0,5
	MTM2	0	0,1	0,3	0	0,1	0,3	0	0	0,1	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5
	MTM3	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0	0	0,1	0,1	0,2	0,5	0,1	0,3	0,5
	MTM4	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	1
	MTM5	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,3	0,5	0,7

Çizelge 6.18 Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi

	MTM1			MTM2			MTM3			MTM4			MTM5		
KV1	0,05	0,15	0,26	0,15	0,26	0,36	0,15	0,26	0,36	0,36	0,46	0,51	0,00	0,00	0,05
	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01
	0,14	0,18	0,20	0,14	0,18	0,20	0,14	0,18	0,20	0,14	0,18	0,20	0,00	0,02	0,06
	0,05	0,08	0,12	0,12	0,15	0,17	0,12	0,15	0,17	0,05	0,08	0,12	0,05	0,08	0,12
	0,05	0,07	0,09	0,00	0,01	0,03	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,10	0,03	0,05	0,07
KV2	0,00	0,04	0,12	0,37	0,41	0,41	0,37	0,41	0,41	0,29	0,37	0,41	0,21	0,29	0,37
	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00
	0,12	0,17	0,21	0,07	0,12	0,17	0,17	0,21	0,24	0,17	0,21	0,24	0,00	0,02	0,07
	0,09	0,13	0,16	0,16	0,18	0,18	0,13	0,16	0,18	0,05	0,09	0,13	0,02	0,05	0,09
	0,07	0,09	0,12	0,00	0,01	0,04	0,01	0,04	0,07	0,09	0,12	0,13	0,04	0,07	0,09
KV3	0,37	0,48	0,53	0,48	0,53	0,53	0,48	0,53	0,53	0,27	0,37	0,48	0,27	0,37	0,48
	0,05	0,07	0,09	0,03	0,05	0,07	0,03	0,05	0,07	0,09	0,10	0,10	0,00	0,00	0,01
	0,07	0,09	0,12	0,07	0,09	0,12	0,04	0,07	0,09	0,12	0,14	0,14	0,01	0,04	0,07
	0,05	0,07	0,08	0,07	0,08	0,09	0,05	0,07	0,08	0,05	0,07	0,08	0,00	0,01	0,03
	0,04	0,07	0,10	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,07	0,10	0,12	0,01	0,04	0,07
KV4	0,17	0,24	0,31	0,31	0,35	0,35	0,24	0,31	0,35	0,24	0,31	0,35	0,10	0,17	0,24
	0,06	0,08	0,09	0,03	0,04	0,06	0,04	0,06	0,08	0,06	0,08	0,09	0,01	0,03	0,04
	0,05	0,08	0,11	0,08	0,11	0,14	0,08	0,11	0,14	0,14	0,16	0,16	0,02	0,05	0,08
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,03	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,01	0,02	0,03
	0,10	0,17	0,24	0,03	0,10	0,17	0,03	0,07	0,17	0,17	0,24	0,31	0,03	0,10	0,17
KV5	0,18	0,26	0,33	0,26	0,33	0,37	0,26	0,33	0,37	0,26	0,33	0,37	0,11	0,18	0,26
	0,06	0,08	0,09	0,03	0,04	0,06	0,06	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09	0,00	0,01	0,03
	0,11	0,14	0,15	0,11	0,14	0,15	0,08	0,11	0,14	0,11	0,14	0,15	0,00	0,02	0,05
	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,02	0,04	0,05	0,05	0,07	0,07	0,02	0,04	0,05
	0,03	0,10	0,16	0,03	0,10	0,16	0,03	0,10	0,16	0,22	0,29	0,32	0,10	0,16	0,22

Çizelge 6.19 Birleştirilmiş ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi

	MTM1			MTM2			MTM3			MTM4			MTM5		
K1	0,16	0,24	0,31	0,32	0,38	0,40	0,30	0,37	0,40	0,28	0,37	0,43	0,14	0,20	0,28
K2	0,04	0,05	0,06	0,02	0,04	0,05	0,03	0,05	0,06	0,05	0,06	0,07	0,00	0,01	0,02
K3	0,10	0,13	0,16	0,09	0,13	0,16	0,10	0,14	0,16	0,14	0,17	0,18	0,01	0,03	0,06
K4	0,05	0,07	0,10	0,09	0,11	0,12	0,07	0,09	0,11	0,04	0,07	0,09	0,02	0,04	0,06
K5	0,06	0,10	0,14	0,01	0,04	0,08	0,02	0,05	0,09	0,12	0,17	0,20	0,04	0,08	0,12

Çizelge 6.19’da tüm kriterler için tüm MTM değerlendirmeler incelenir ve Denklem 5.38’den faydalanarak maksimum ve minimum değerlendirme sonuçları bulunur (Çizelge 6.20).

Çizelge 6.20 MTM değerlendirmelerinin kriterlere göre maksimum ve minimum değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5
Maksimum	0,43	0,07	0,18	0,12	0,20
Minimum	0,14	0,00	0,01	0,02	0,01

Çizelge 6.20’deki değerler üç aynı sayıyı içerecek şekilde üçlü sayılara çevrilir ve böylece

bulanık pozitif ideal çözüm (BPİDÇ) ve bulanık negatif ideal çözüm (BNİDÇ) bulunur (Çizelge 6.21).

Çizelge 6.21 Bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözüm

	K1			K2			K3			K4			K5		
BPİÇ	0,43	0,43	0,43	0,07	0,07	0,07	0,18	0,18	0,18	0,12	0,12	0,12	0,20	0,20	0,20
BNİÇ	0,14	0,14	0,14	0,02	0,02	0,02	0,06	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01

Çizelge 6.22 MTM'lerin kriterlere göre değerlendirmelerinin ideal çözümlerden pozitif ve negatif uzaklıkları

	K1	K2	K3	K4	K5	Pozitif Uzaklık
MTM1	0,28	0,04	0,10	0,06	0,13	0,61
MTM2	0,30	0,04	0,08	0,08	0,13	0,63
MTM3	0,08	0,02	0,05	0,03	0,15	0,33
MTM4	0,09	0,01	0,05	0,05	0,04	0,24
MTM5	0,23	0,06	0,15	0,08	0,12	0,62
	Negatif Uzaklık					
MTM1	0,12	0,03	0,07	0,06	0,09	0,37
MTM2	0,23	0,02	0,09	0,09	0,04	0,47
MTM3	0,22	0,03	0,08	0,07	0,05	0,45
MTM4	0,23	0,04	0,05	0,05	0,15	0,53
MTM5	0,09	0,01	0,04	0,03	0,08	0,25

Sonrasında Denklem 5.38 ve 5.39'dan faydalanılarak BPİDÇ'dan ve BNİDÇ'ten uzaklıklar hesaplanır ve üçlü sayılar tekli sayılara çevrilir (Çizelge 6.22).

Elde edilen pozitif ve negatif uzaklıklar Denklem 4.17'den faydalanılarak birleştirilerek yakınlık katsayıları hesaplanır (Çizelge 6.23).

Çizelge 6.23 Alternatif bölgelerin yakınlık katsayılarının hesaplanması

	Pozitif Uzaklık (PU)	Negatif Uzaklık (NU)	PU+NU	NU/(PU+NU)
MTM1	0,61	0,37	0,98	0,38
MTM2	0,63	0,47	1,10	0,43
MTM3	0,33	0,45	0,78	0,58
MTM4	0,24	0,53	0,77	0,68
MTM5	0,62	0,25	0,87	0,28

Çizelge 6.23'de görüldüğü gibi MTM ağırlıkları hesaplanmıştır ve ağırlığı en yüksek MTM, 0.68'lik ağırlıkla MTM4 olarak hesaplanmıştır.

6.3 Elde Edilen Verilerin Kullanıldığı Modelin Genel Çözüm Süreci

Problem sırayla GA, SA ve melez GASA ile çözdürülmüştür. Her üç algoritmayla çözüm süreci de kısaca bu bölümde anlatılacaktır. Modelin çözümündeki ilk aşamada müşteriler kapasite sınırlarını aşmayacak şekilde en yakındaki İTM'ye atanmalıdır. İkinci aşamada İTM'lerde toplanan ürünlerin hangi MTM'ye iletecekleri problemi çözülür. Üçüncü aşamada ise yapılan bu atamalara göre, çözümün tüm maliyetleri ve MTM'ye yapılan atamaların toplam ağırlıkları hesaplanmaktadır. Ağırlıklar ve maliyetler ayrı ayrı fonksiyonlar olarak hesaplanmakta ve kısıtların sağlanması için her ikisine de ilgili ceza maliyetleri eklenmektedir. Bu aşamada hesaplanan fonksiyon “uygunluk fonksiyonu”dur. Ceza durumu, Bölüm 5’de açıklanan model kısıtlarının sağlanmaması durumunda oluşur ve her kısıt ihlal edildiğinde uygunluk fonksiyonu’na 1000000 gibi büyük bir sayı eklenerek, cezalı bireyin seçilme olasılığı en küçüklenir.

6.4 Uygulamanın Genetik Algoritmayla Çözümü İçin Algoritmanın Belirlenmesi

Bölüm 6.3’de anlatılan çözüm süreci ilk olarak GA’ya uyarlanmıştır. GA’da %5’lik oranda elitizm uygulanmıştır. Çeşitliliğin sağlanabilmesi için çaprazlama olasılığı %70, mutasyon oranı ise %10, birey sayısı 1250 olarak alınmıştır. Bu oranlar belirlenirken birçok deneme ve analiz yapılmıştır. Parametre analizlerinin ayrıntılı açıklaması 7. Bölüm kapsamında verilmiştir. Önerilen modelin GA için Visual Studio C#’da geliştirilen programının genel akış şeması Şekil 6.1’de gösterilmiştir.

6.4.1 Çözümün kodlanması

Bu çalışmada çözümün temsili için, Min et al. (2006) ‘da kullanılan kromozom yapısının bir benzerinden faydalanılmıştır. Kromozom toplam 65 genden oluşmaktadır. Örnek bir kromozom Şekil 6.2’de verilmiştir. Her İTM için kullanılan 4 genden ilki, o toplama noktasının açık (1) veya kapalı (0) olmasını ifade etmektedir. Diğer üç adet gen ise toplama periyodu uzunluğunu (gün olarak ikilik sistemde) ifade eder. Örneğin ilk İTM için periyot 2 gün, ikinci ve onbeşinci İTM açılmadığından dolayı 0 gün ve ondördüncü İTM için 6 gündür. Kromozomun son 5 geni ise MTM’ler için ayrılmıştır. Açık olan MTM için 1, kapalı için 0 kullanılır.

İTM1				İTM2				...	İTM14				İTM15				MTM1		...	MTM5	
1	0	1	0	0	0	0	0	...	1	1	1	0	0	0	0	0		...		1	

Şekil 6.2 Örnek bir kromozom

6.4.2 Yeni birey ve ilk neslin oluşturulması

GA'da yeni birey oluşturma süreci Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Şekil 6.3'te görülen "kromozomu standart forma getirme" şu şekilde gerçekleştirilmektedir: 0 ve 1'lerden oluşan 65 genli bir rasgele dizi üretilmektedir. $n = 0$ 'dan başlayarak " $4xn$ ". gen eğer "1"se $n+1$, $n+2$, $n+3$. genlere dokunulmamaktadır. " $4xn$ ".gen eğer "0"sa, stokta bekletmeyi ifade eden $n+1$, $n+2$, $n+3$. genler de sıfıra eşitlenmektedir, çünkü kiralanmamış bir İTM'de stokta bekletme söz konusu olmamaktadır. Burada $n=0,1,...,14$ 'tür.

Şekil 6.3'te görülen fizibil olup olmama durumu kontrolü ise şu şekilde açıklanabilir: İlk 60 gen ve son 5 gen ayrı ayrı incelenir ve içlerinde en az bir adet "1" içerip içermedikleri kontrol edilir. Eğer iki kısımdan herhangi biri ya da her ikisi de hiç "1" içermiyorsa kromozom fizibil değildir, çünkü hiç İTM ve/veya MTM açılmamıştır. Bu durumda tekrar kromozom üretme yoluna gidilir. Bu şekilde, en az bir İTM ve MTM açılması sağlanmıştır.

İlk neslin oluşturulması, yeni birey oluşturma işleminin topluluk büyüklüğü kadar tekrarlanmasından ibarettir. Tamamlanana kadar sürekli yeni bir birey oluşturulur, bunların uygunluk değerleri hesaplanır ve kaydedilir.

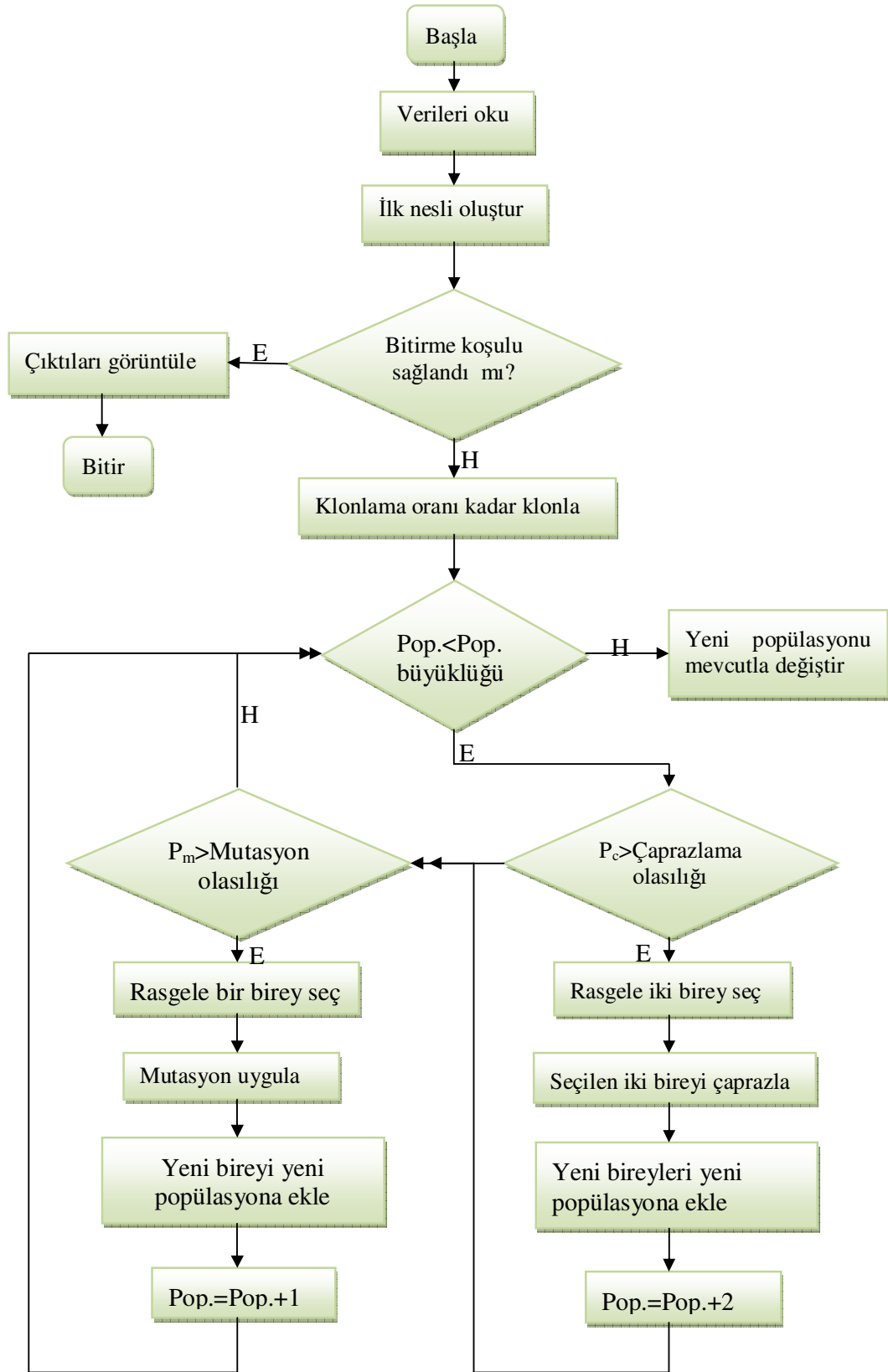
6.4.3 Klonlama

Mevcut neslin iyi olan %5'lik kısmı olduğu gibi gelecek nesile aktarılmaktadır. Bu işlem elitizm olarak da adlandırılabilir. Elitizm sayesinde çeşitlilik artmamaktadır, fakat uygunluk değeri yüksek olan bireylerin kaybedilmesinin de önüne geçilmektedir.

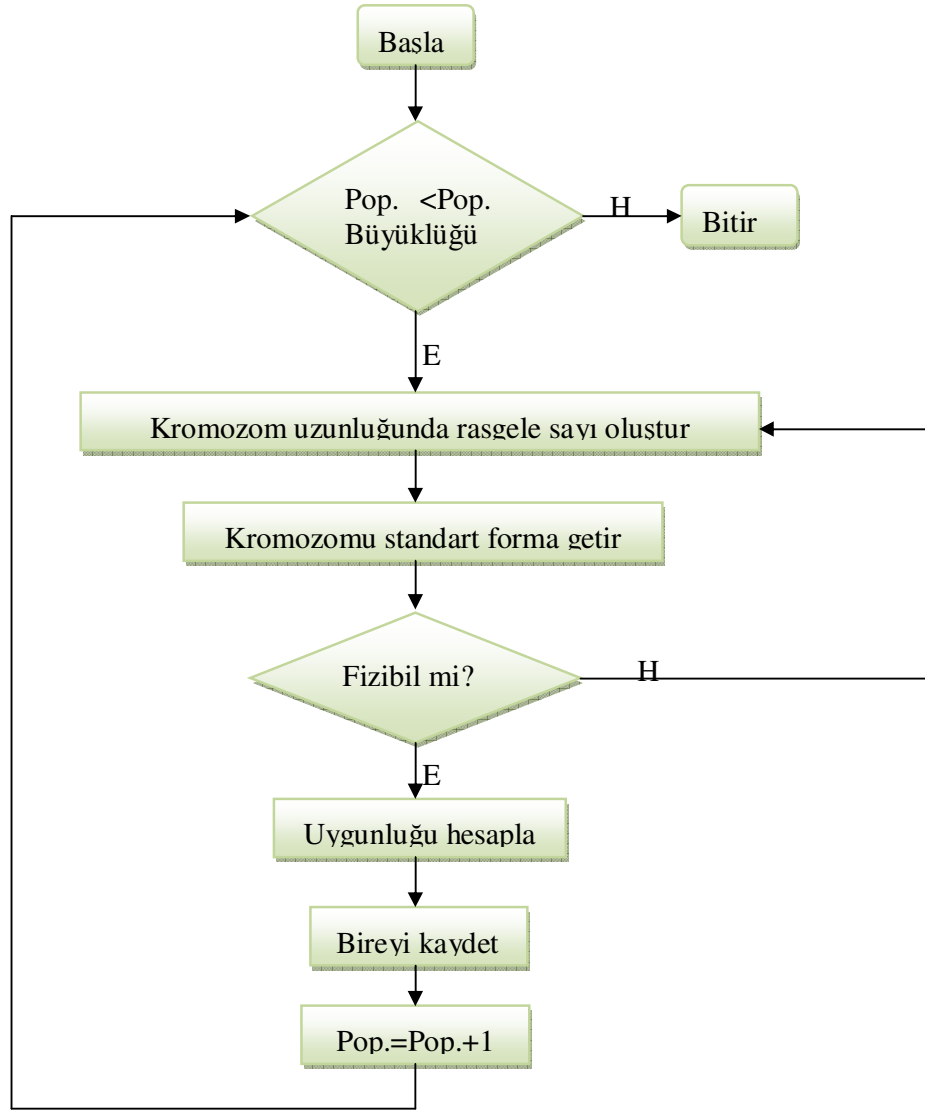
6.4.4 Ebeveyn seçimi

Programlamada ebeveyn seçimi üç metotla ayrı ayrı denenmiş ve en sağlıklı sonuç veren yöntem varsayılan olarak kabul edilmiştir.

İlk olarak denenen uygunluk oranına göre seçim metodunda, popülasyon büyüklüğü fazla olduğu zaman bireylere düşen dilimlerin oranı gittikçe küçülmektedir. Daha açık bir ifade ile topluluktaki birey sayısı ne kadar artarsa, seçim işlemi de rastgele seçime kaymakta, üstelik yapılan işlemlerin yoğunluğu da arttığı için çözüm süresi de uzamaktadır.



Şekil 6.1 GA algoritması akış diyagramı



Şekil 6.3 Yeni birey oluşturma algoritması akış diyagramı

İkinci olarak denenen turnuva metodu ile seçimde ikili ve beşli turnuvalar denenmiş, bunların da bazı denemelerde yerel çözümlerde takılmalara yol açtığı görülmüştür. Turnuva ile seçimde rastgele ve birbirinden farklı seçilen bireyler içindeki en iyi birey gelecek nesle aktarılmaktadır. Bu işlem rulet yöntemine göre daha hızlı olmakla beraber, turnuvadaki birey sayısı artması oranında yerel çözümlere takılmalar olmaktadır. Bunun nedeni, limit durumda yani turnuva tüm topluluğa uygulandığında elitizm yapıyor olmasıdır.

Son olarak denenen rastgele seçimde, ebeveynler uygunluk değerlerinden bağımsız olarak rastgele seçilmektedir. Bu taktirde yapılan denemelerde en iyi çözüme daha geç ulaşıldığı görülmüş fakat yerel çözümlere takılma olmamıştır. Fakat program yeterince hızlı olduğundan ve en sağlıklı sonucu verdiğinden dolayı, rastgele seçim yöntemi varsayılan seçim yöntemi

olarak kullanılmıştır.

Rastgele seçimle belirlenen iki ebeveynin, daha önceden belirtilen sorun nedeniyle aynı bireyler olmaması için, iki birey de önce rastgele seçilmekte, daha sonra ikinci birey birinciden farklı değilse farklı olana kadar yeniden seçilmektedir. Daha sonra bu iki bireyin genleri çaprazlanmak üzere uygun fonksiyona iletilmektedir.

6.4.5 Çaprazlama

Ana-baba genleri mevcut nesilden seçildikten sonra çaprazlama fonksiyonuna iletilmektedir. Bu çalışmada kullanılan çaprazlama fonksiyonunda iki noktadan çaprazlama uygulanmıştır. Bunun için ilk olarak iki çaprazlama noktası rasgele belirlenmektedir. Belirlenen bu iki nokta aynı olmamalı ve ilki ikincisinden küçük olmalıdır. İki nokta rasgele belirlendikten sonra iki birey genlerinin bu iki nokta arasında kalanları, bireyler arasında değiştirilerek, iki yeni ve farklı birey oluşturulmuş olur. Oluşturulan bireyler, bir çeşit temizleme işleminden geçirilerek standart forma getirilir. Daha sonra her iki yeni bireyin de fizibil olup olmadıkları kontrol edilmektedir. Fizibil değilse iki yeni nokta belirlenip işlem tekrarlanır. Fizibilse yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır ve bireyler yeni nesile kaydedilir. “Fizibil” olup olmama durumu ve “standart forma getirme” işlemleri Bölüm 6.4.2’de açıklanmıştır.

6.4.6 Mutasyon

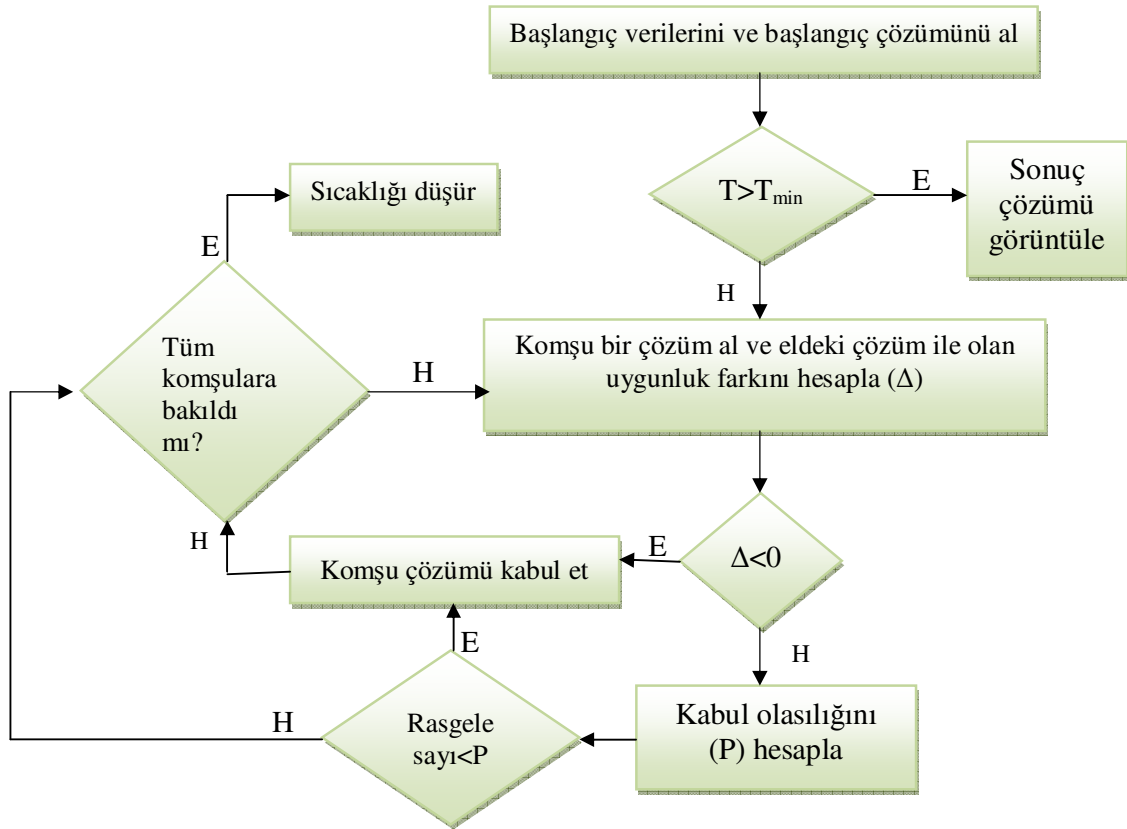
Mutasyon algoritması da büyük oranda çaprazlamaya benzemektedir. Birey seçimi benzer mantıkla yapılmakta, daha sonra seçilen birey mutasyon fonksiyona iletilmektedir. Mutasyon fonksiyonunda ilk olarak rastgele bir mutasyon noktası belirlenir ve eğer belirlenen nokta 0 ise 1, 1 ise 0 olarak değiştirilir. Oluşan yeni birey standart forma getirilir, fizibil değilse işlem tekrarlanır. Fizibil çözüm olması durumunda uygunluk değeri hesaplanır ve birey yeni nesile kaydedilir.

Mutasyon noktasına kadar ve mutasyon noktasından sonrası için mevcut bireyin tüm genleri olduğu gibi yeni bireye aktarılırken, belirlenen mutasyon noktasındaki gen değiştirilir. Standart forma getirilip fizibil olup olmadığı denetlenir. Eğer fizibilse birey ve uygunluk değeri kaydedilir. Aksi takdirde işlem tekrarlanır.

6.5 Uygulamanın Tavlama Benzetimi ile Çözümü İçin Algoritmanın Belirlenmesi

TB algoritması için Visual Studio C#’da geliştirilen programın genel akış şeması Şekil 6.4’de

verilmiştir. TB ile ilgili parametrelerin seçilmesi için çeşitli deneme ve analizler yapılmıştır. Bu analizler 7. Bölüm’de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. TB algoritmasında, başlangıç sıcaklığı, 1500, soğuma faktörü, 0.99, düzeltme katsayısı, 1, ve bitiş sıcaklığı 100 alınmıştır. Başlangıç için rasgele belirlenmiş bir fizibil çözüm seçilir. Başlangıç çözüme komşu bir çözüm alınarak, bunlar arasındaki uygunluk değerleri farkı olan Δ hesaplanır. Bu çalışmada TB algoritması için komşuluk yapısı şu şekilde belirlenmiştir: Öncelikle bir mutasyon adedi belirlenir, bu çalışmada 3 olarak alınmıştır. Sonrasında 1’le gen sayısı (bu çalışmada gen sayısı 65’dir) arasında mutasyon adedi kadar rasgele nokta belirlenir. Bu noktalarda 0 olan genler 1’e, 1 olan genler 0’a çevrilir. Eğer yeni oluşturulan komşu çözümle, eski çözüm arasındaki fark olumlu ise komşu çözüm kabul edilir ve aksi taktirde kabul edilme olasılığı ($P = e^{-\frac{\Delta}{T}}$) hesaplanır. Buradaki “T”, o anki sistem sıcaklığıdır. “k” ise Δ ile T arasındaki oranı koruyan bir katsayıdır. P değeri rasgele üretilmiş bir sayıdan büyükse komşu çözüm kabul edilir. Tüm komşular incelendiğinde ve sıcaklık minimum sıcaklığa düştüğünde algoritma sonlandırılır. Sistem sıcaklığı olan T sayısı, 0 ile 1 arasında bir değeri olan soğuma faktörü ile çarpılarak azaltılır.



Şekil 6.4 TB algoritması akış diyagramı

6.6 Uygulamanın Melez Genetik Algoritmalar-Tavlama Benzetimi Yaklaşımı (MGATB) ile Çözümü İçin Algoritmanın Belirlenmesi

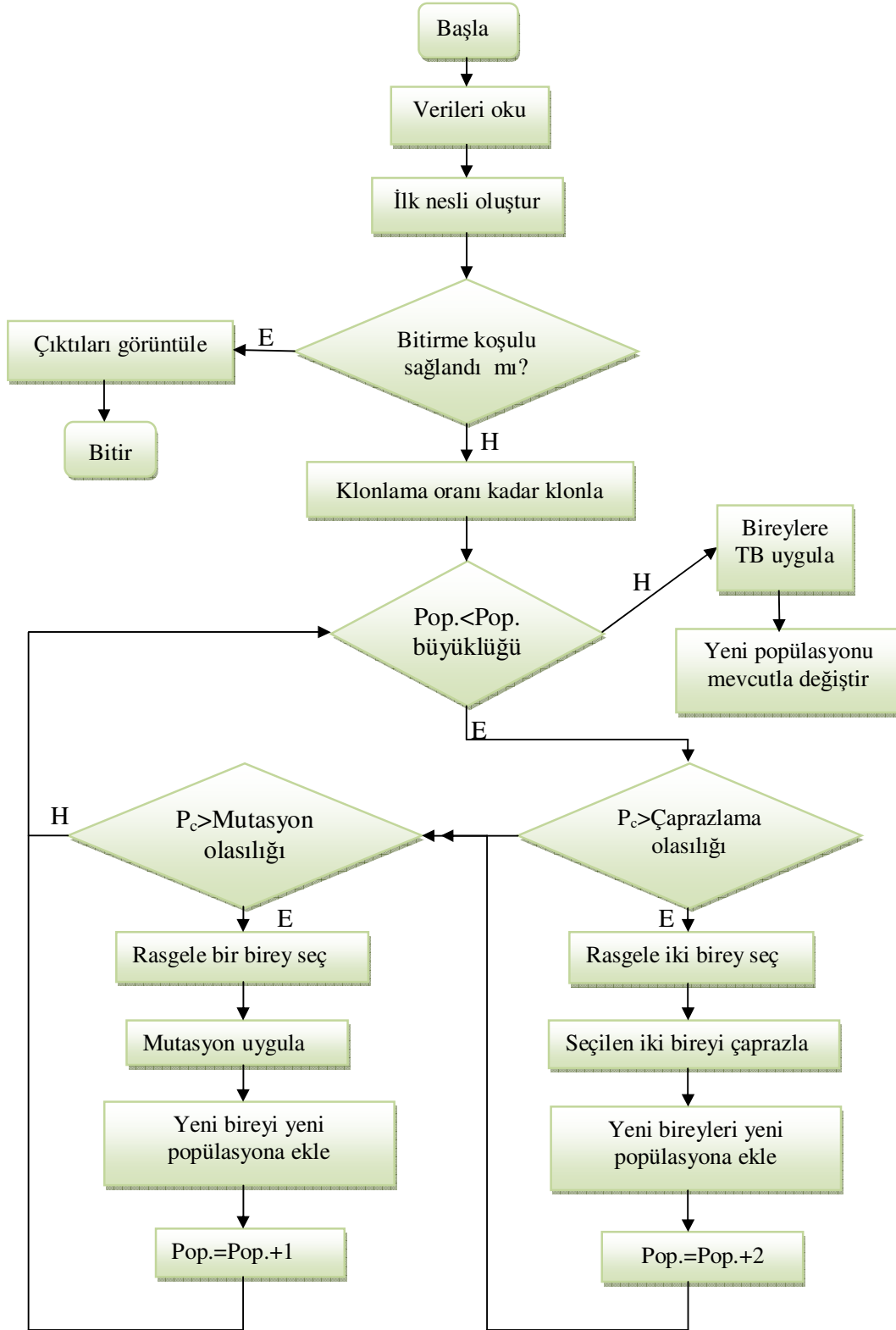
Genetik algoritmanın çalışma prensiplerinin açıklandığı Bölüm 4’de belirtildiği gibi, GA’nın en büyük eksiklerinden birisi çözüm uzayında genel bir arama yapması dolayısıyla, yerel çözümlerdeki iyileştirmelerde başarılı olamamasıdır. Melez algoritmaların temelde çıkış nedeni de, tüm problem türlerinde başarılı olan tek bir algoritmanın olmayışıdır.

Kromozom yapısından anlaşılabilceği gibi 65 uzunluktaki ikilik sistemde ifade edilen bir çözüm için bakılması gereken toplam çözüm uzayı $2^{65}-1$ büyüklüğündedir. Her 15 toplama noktası için 0 ile 7 gün arasında bir toplama süresi tanımlanabilmektedir. Bu da her bir yerleşim için 8^{15} (2^{45}) ayrı ihtimal olması demektir. Her bir yerleşim için ayrıca mevcut olan bu ihtimallerden de anlaşılabilceği gibi problem, meta-sezgisel bir algoritmayla çözülmeye uygundur. Fakat çözüm uzayındaki herhangi bir yerleşime ait gelişmelerin de elde edilebilmesinin gerekliliği de vardır. Bu nedenle mevcut GA’nın, yerel bir arama yapan başka bir algoritma ile desteklenmesi gerekliliğine inanılmıştır.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen iyileşme olasılığı da MGASA ile denenmiştir. Her yerleşim için yerel olarak iyileştirme yapacak olan algoritma için tavlama benzetimi (TB) uygun görülmüştür. Bu durumda mevcut GA içerisine gömülü olacak bir TB ile iyi bireyler önce genel olarak çözüm uzayında aranmakta, sonra her bireyde TB uygulanarak yerel iyileştirmelere gidilmektedir. TB algoritması genetik süreç içerisinde bir operatör gibi davranmaktadır. Tavlama yapılacak başlangıç bireyi, GA tarafından sağlanmaktadır. TB ile iyileştirilmeye çalışılan birey, sonuçta tekrar GA’ya devredilmektedir. Anlatılan melez algoritmanın kodlarıyla normal GA sahte kodları Çizelge 6.24’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.24 GA ve MGATB sahte kodları karşılaştırması

GA sahte kodu	MGATB sahte kodu
Verileri_Oku();	Verileri_Oku();
İlk_Nesli_Oluştur();	İlk_Nesli_Oluştur();
(Bitirme_Koşulu) sağlanmadığı	(Bitirme_Koşulu) sağlanmadığı
sürece yap	sürece yap
Klonla();	Klonla();
Ana_Baba_Seç();	Ana_Baba_Seç();
Çaprazla();	Çaprazla();
Mutasyon();	Mutasyon();
Bitir	Bireylere_TB_Uygula();
Çıktıları_Görüntüle;	Bitir
	Çıktıları_Görüntüle;



Şekil 6.5 MGATB algoritması akış diyagramı

MGATB için uygun parametrelerin denenmesi ve analizi 7. Bölüm’de açıklanmıştır. Belirlenen parametreler şu şekildedir: GA’da, birey sayısı, 1000, klonlama oranı, %20, çaprazlama olasılığı %80, mutasyon olasılığı ise %10’dur; TB’de ise, başlangıç sıcaklığı, 900, soğuma faktörü 0.5, düzeltme katsayısı 0.05 ve bitiş sıcaklığı ise 100’dür. MGATB’de de TB’deki komşuluk yapısı uygulanmıştır. MGATB’nin genel akış diyagramı Şekil 6.5’de verilmiştir.

7. PARAMETRE ANALİZİ, UYGULAMA SONUÇLARI, SONUÇLARIN ANALİZİ VE MODELİN GEÇERLİLİĞİNİN ANALİZİ

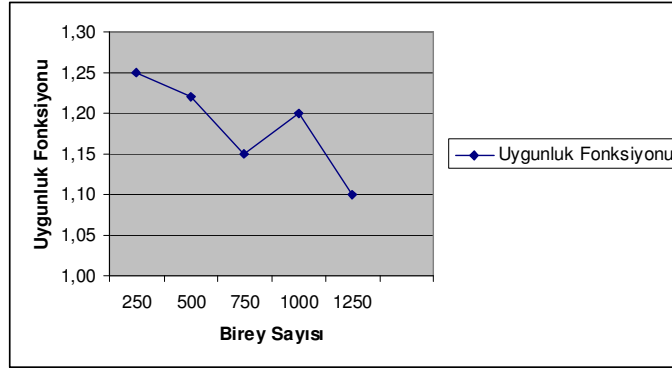
7.1 Parametre Analizi

GA ve TB teknikleri ile optimuma en yakın sonuçları bulabilmek için kullanılan parametrelerin en uygun değerlerini belirlemek büyük önem taşır. Bu değerlere ulaşabilmek için yapılması gereken, problemi farklı parametre değerleri için yeterli sayıda tekrar tekrar çözdürmektir. Bu sebeple aşağıda GA ve TB tekniklerinin her bir parametresinin çözüm kalitesi üzerindeki etkileri analiz edilerek en uygun değerler saptanmıştır.

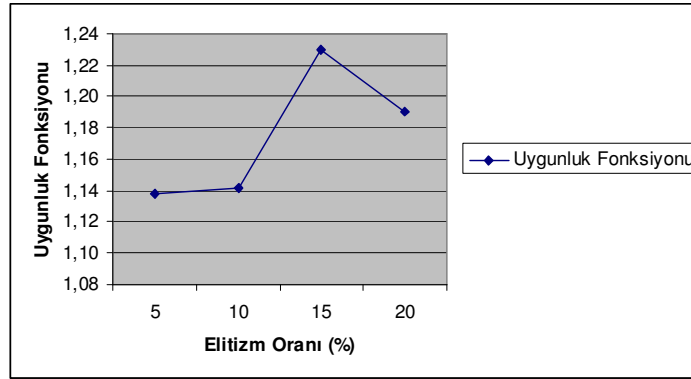
GA parametrelerini belirleme aşamasında problem farklı birey sayıları, elitizm oranları, çaprazlama yüzdeleri ve mutasyon yüzdeleri için çözdürülerek sonuçları analiz edilmiştir. Problem, her seferinde sadece bir parametre üzerinde değişiklik yapıp diğerlerini sabit tutarak 50 kere çözdürülmüştür. Parametrelere verilen değerler literatürde sıkça kullanılan değerler dikkate alınarak şu şekilde belirlenmiştir: Birey sayısı için 250, 500, 750, 1000 ve 1250; elitizm oranı için 5, 10, 15 ve 20; çaprazlama yüzdesi için %70, %80, %90; ve mutasyon yüzdesi için %1, %5, %10 ve %15 değerleri denenmiştir. Bu değerlere göre 240 farklı kombinasyon oluşmuştur. Rassallık faktörü dikkate alınarak her kombinasyon için 50 çözüm denendiğinden toplam 12000 adet çözüm üzerinden parametreler değerlendirilmiştir. Her kombinasyon için elde edilen sonuçların ortalamaları, minimum değerleri, standart sapmaları ve çözüm süreleri dikkate alınmıştır. Bununla birlikte, her kombinasyon için yapılan 50 deneme içerisinde bulunan bir tane minimum değer belirleyici olmamasından, standart sapmaların büyük farklar gözetmemesinden ve yine bilgisayar işlemcilerinin yeteri kadar hızlı olması sebebi ile en uzun çözüm süresinin dahi kabul edilebilir olmasından dolayı çözümlerin ortalamaları üzerinden yorumlar yapılmıştır.

İlk olarak birey sayısının farklı değerleri incelenmiştir. Şekil 7.1’de görüldüğü gibi bazı sapmalar olmakla beraber genel eğilim birey sayısının artmasıyla bulunan çözümlerin iyileştiğini göstermektedir. Sonuç problemin 1250 birey ile çözülmesine karar verilmiştir.

Klonlama oranları ise Şekil 7.2’de görüldüğü gibi %5’den %20’ye çıkartılırken artış eğilimine girmektedir. %20 klonlama oranına varıldığında bir miktar azalma olsa da en iyi değer %5 olarak seçilmiştir.

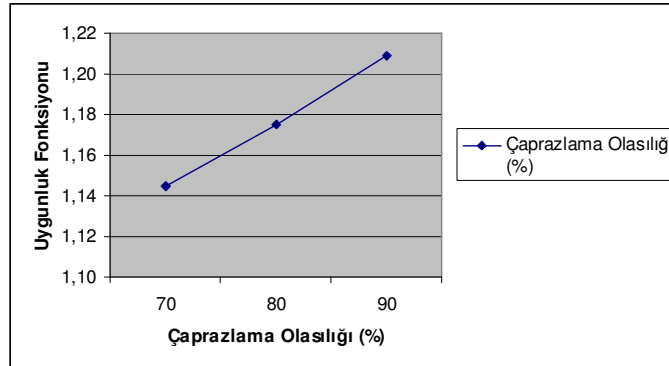


Şekil 7.1 Birey sayısındaki değişikliğe göre uygunluk fonksiyonundaki değişim



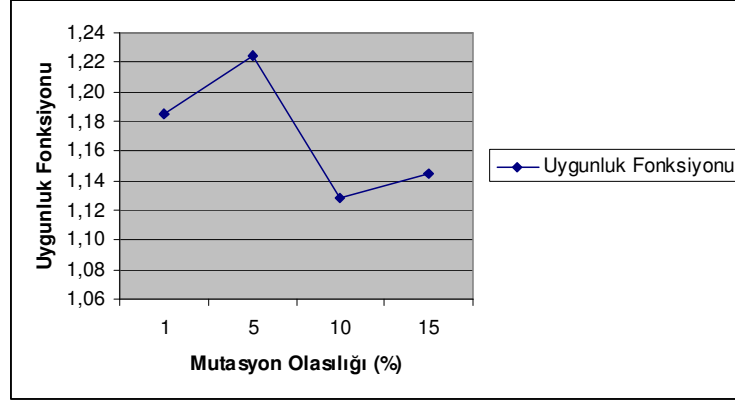
Şekil 7.2 Elitizm oranındaki değişikliğe göre uygunluk fonksiyonundaki değişim

Şekil 7.3’de çaprazlama yüzdesinin artması ile elde edilen ortalama uygunluk değerlerinin kötüleştiği görülmektedir. Üç farklı değer için yapılan denemeler sonucun da en küçük olan %70 çaprazlama değerinin kullanılması kararı verilmiştir.



Şekil 7.3 Çaprazlama oranındaki değişime göre uygunluk fonksiyonundaki değişim

GA tekniğinin son parametresi olan mutasyon yüzdesi için denenen değerler Şekil 7.4’de görünmektedir. Mutasyon yüzdesinin artırılması sırasında ortalama uygunluk değerlerinde artış ve azalış olması ile birlikte en iyi uygunluk değeri %10 mutasyon değerinde bulunmuştur.

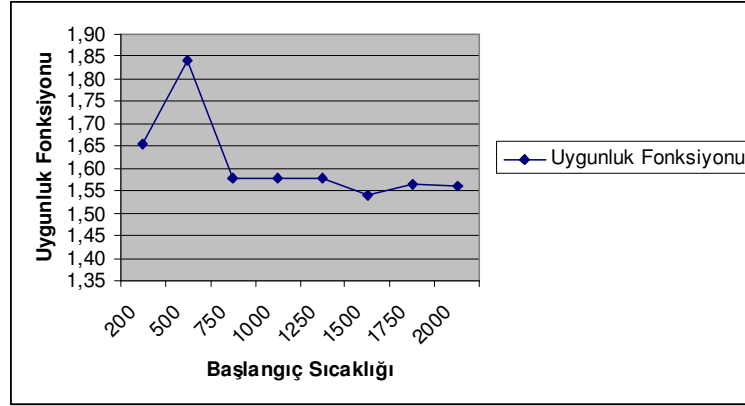


Şekil 7.4 Mutasyon oranındaki değişikliğe göre uygunluk fonksiyonundaki değişim

Sonuç olarak, 12000 deneme ile varılan noktada, 1250 birey, %5 elitizm, %70 çaprazlama ve %10 mutasyon ile GA uygulandığında en iyi sonuçların elde edileceği belirlenmiştir.

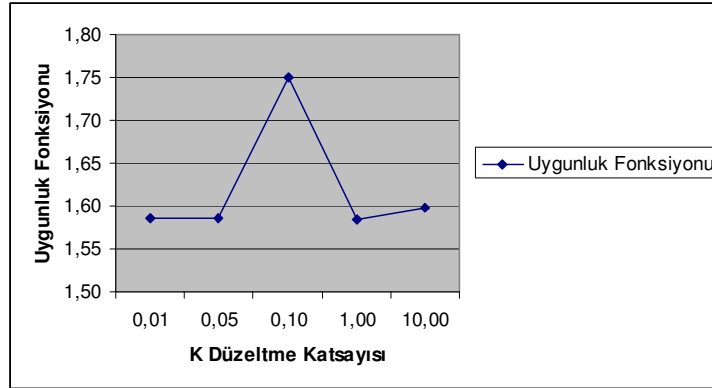
İkinci sezgisel TB içinde başlangıç sıcaklığı, K düzeltme katsayısı ve soğutma faktörü parametreleri üzerinde denemeler yapılmıştır. Yine parametrelerin her birinde yapılan değişiklik için 50 farklı deneme yapılmıştır. Başlangıç sıcaklığı için 200, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750 ve 2000, K düzeltme katsayısı için 0.01, 0.05, 0.1, 1 ve 10 ve soğutma faktörü için 0.80, 0.85, 0.90, 0.91, 0.92, 0.93, 0.94, 0.95, 0.96, 0.97, 0.98 ve 0.98 değerleri denenmiştir. Oluşan 480 farklı kombinasyon için 50’şer deneme yapılarak toplam 24000 farklı çözüm elde edilmiştir. Elde edilen ortalama uygunluk derlerine göre uygun parametre değerleri belirlenmiştir.

İlk olarak başlangıç sıcaklığı için en uygun değer aranmıştır. Şekil 7.5’den görüldüğü gibi 750 başlangıç sıcaklığından itibaren elde edilen uygunluk değerlerinde büyük değişiklikler olmamasına rağmen en iyi parametre değeri küçük farkla 1500 olarak belirlenmiştir.



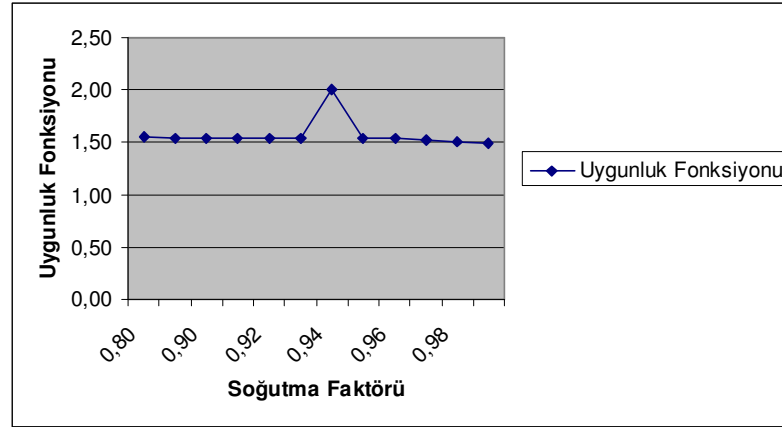
Şekil 7.5 Başlangıç sıcaklığındaki değişime göre uygunluk fonksiyonundaki değişim

TB'nin ikinci parametresi olarak K düzeltme katsayısı incelendiğinde büyük ve küçük değerler için daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. 0.1 düzeltme katsayısı için kötü sonuç veren TB diğer birbirine yakın sonuçlar arasından 1 düzeltme katsayısının en iyi sonucu verdiği görülmektedir (Şekil 7.6).



Şekil 7.6 K düzeltme katsayısındaki değişime göre uygunluk fonksiyonundaki değişim

TB'nin son parametresi soğutma faktörü için elde edilen sonuçlar Şekil 7.7'de görülmektedir. Rastsallıktan ileri gelen %94'lük soğutma faktörü sonucunda elde edilen kötü sonuç dışında diğer sonuçlar kısmen birbirine yakındır. Bununla birlikte soğutma faktörü yüzdesi artarken düşük de olsa uygunluk değerlerinde bir iyileşme trendi görülmektedir. Sonuç olarak soğutma faktörü için %99'luk değer seçilmiştir.



Şekil 7.7 Soğutma faktöründeki değişime göre uygunluk fonksiyonundaki değişim

Sonuç olarak analiz edilen 24000 farklı çözüme göre TB için başlangıç sıcaklığı 1500, K düzeltme katsayısı 1 ve soğutma faktörü 0.99 olarak seçilmiştir.

MGATB için de GA ve TB için seçilen parametrelerin bir kombinasyonunun kullanılması uygun görülmüştür. Ancak yapılan denemeler sonucunda çözüm sürecinin çok uzadığı görülmüş ve MGATB'ye özel parametreler belirleme yoluna gidilmiştir. GA, TB ve MGATB için belirlenen parametrelerin bir özeti Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 GA, MGATB ve TB için parametre değerleri

	GA	MGATB	TB
Birey sayısı	1250	1000 / 1	1
Elitizm oranı	%5	%20	-
Çaprazlama olasılığı	0.7	0.8	-
Mutasyon olasılığı	0.1	0.1	-
Süreç uzunluğu	50 nesil	50 nesil + 270 iterasyon	270 iterasyon
Başlangıç sıcaklığı	-	900°C	1500 °C
Bitiş sıcaklığı	-	10 °C	100 °C
Soğutma faktörü	-	0.5	0.99
K Düzeltme Katsayısı	-	1	1

7.2 Uygulama Sonuçları

6. Bölüm'de açıklanan uygulama, Çizelge 7.1'deki parametreler kullanarak GA, MGATB ve TB'de çözdürülmüştür. Ancak, çok amaçlı modelin çözdürülebilmesi için amaç fonksiyonu değerlerin aynı aralıkta olması ve aynı sayı ile aynı tatmin etme derecesini göstermesi gerekmektedir. Bu nedenle, amaç fonksiyonlarına normalizasyon uygulanmalıdır. Bunu

yapabilmek için, her bir amaç fonksiyonu için model GA, MGATB ve TB’de 1000’er kere çözdürülmüştür ve üç algorithmadan elde edilen 3000 çözüme bakıldığında bulunan en iyi çözüm ilgili amaç fonksiyonunun en iyi sonucu olarak kabul edilmiştir ve amaç fonksiyonları, bulunan en iyi değerlerle normalize edilmiştir.

Sonrasında amaç fonksiyonlarının tek bir amaçta birleştirilirken ağırlıklarının belirlenmesi gerekmiştir. Bu amaçla, 6. Bölümde sözü geçen KV’lere danışılmıştır. Sonuç olarak, Net maliyet minimizasyonu olan 1. amaç fonksiyonunun (AF1) ağırlığının 0.8, MTM’lere gönderilen ağırlıklandırılmış yükün maksimizasyonu olan 2. amaç fonksiyonunun (AF2) ise ağırlığının 0.2 olmasına karar verilmiştir. Bu durumda minimize edilmeye çalışılan birleştirilmiş amaç fonksiyonu (BAF) Denklem 7.1’deki gibidir. BAF’ın elde edilme süreci Bölüm 5.5’de açıklanmıştır.

$$BAF = 0.8 * AF1 / 2464099 + 0.2 * 444990 / AF2 \quad (7.1)$$

Denklem 7.1’de görülen 2464099 değeri AF1 için elde edilen en iyi değerdir. AF1’in değeri elde edilen değere ne kadar yaklaşırsa AF1 / 2464099 oranı 1’e o kadar yaklaşır. 1, bu oranın alabileceği en küçük değerdir. 444990 değeri ise AF2 için elde edilen en iyi değerdir. AF2’nin değeri elde edilen değere ne kadar yaklaşırsa 444990 / AF2 oranı 1’e o kadar yaklaşır. 1, bu oranın alabileceği en küçük değerdir. Sonuç olarak, AF1 minimize edilmeye, AF2 maksimize edilmeye, BAF ise minimize edilmeye çalışılmaktadır. AF1 ve AF2 uygun bir şekilde birleştirildikten sonra uygulama, GA, MGATB ve TB için çözdürülmüştür.

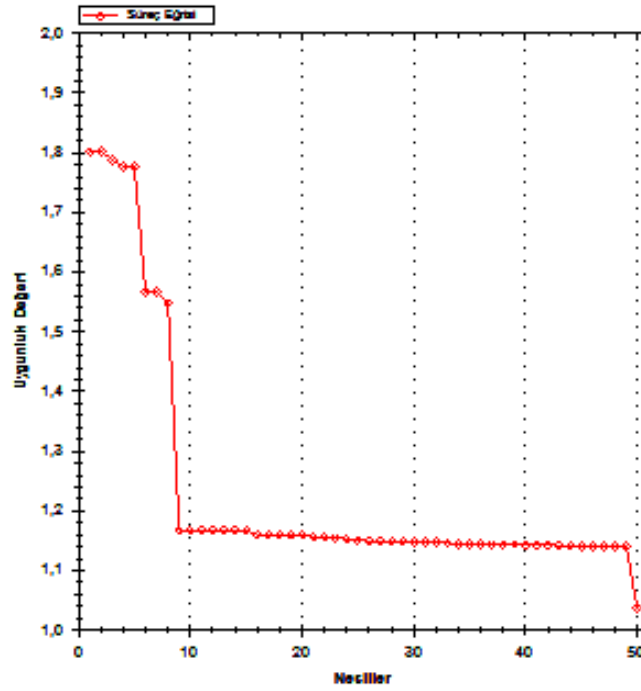
İlk olarak, GA ile elde edilen iyi sonuçlardan rasgele seçilmiş biri GA sürecinin işleyişini göstermek açısından Şekil 7.8’de verilmiştir. Bu GA süreci sonucunda, elde edilen çözümün kromozomu aşağıdaki gibidir:

“0000 1000 1000 0000 1100 1100 0000 0000 0000 1010 1100 1000 1000 0000 1000 11010”

Bu kromozomla elde edilen uygunluk değeri 1,0372’dir, AF1, 2488721, AF2 ise 388315 olarak elde edilmiştir.

İkinci olarak, MGATB ile elde edilmiş rasgele çözümlerden biri MGATB sürecinin işleyişini göstermek açısından Şekil 7.9’de verilmiştir. Bu MGATB süreci sonucunda elde edilen kromozom aşağıdaki gibidir:

“0000 1000 1000 0000 1000 1000 0000 0000 0000 1000 1000 1000 1000 0000 1000 11010”



Şekil 7.8. GA ile elde edilen bir çözümde uygunluk fonksiyonunun en iyiye yakınsama süreci

Bu kromozomla elde edilen uygunluk değeri 1,0292'dir, AF1, 2464100, AF2 ise 338315 olarak elde edilmiştir.

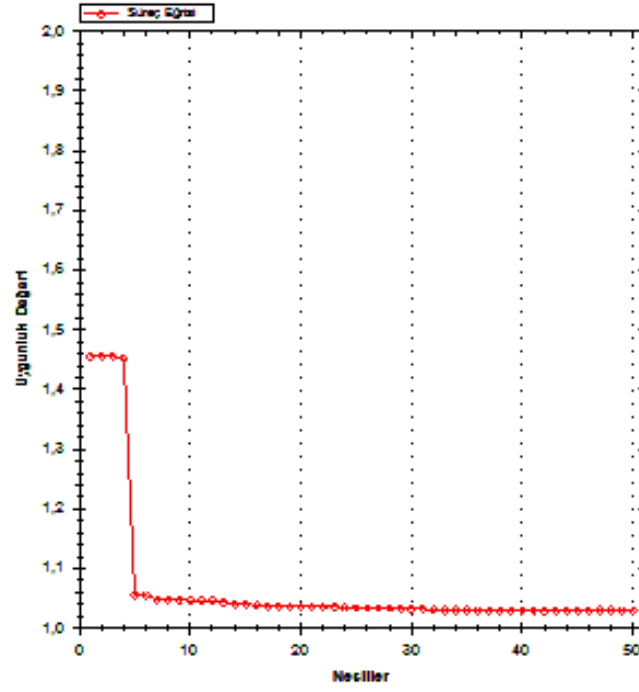
Son olarak, TB ile elde edilmiş rasgele çözümlerden biri TB sürecinin işleyişini göstermek açısından Şekil 7.10'da verilmiştir. Bu TB süreci sonucunda elde edilen kromozom aşağıdaki gibidir:

“0000 1101 1010 1000 1000 1000 0000 0000 0000 1101 1000 1111 0000 0000 1011 11010”

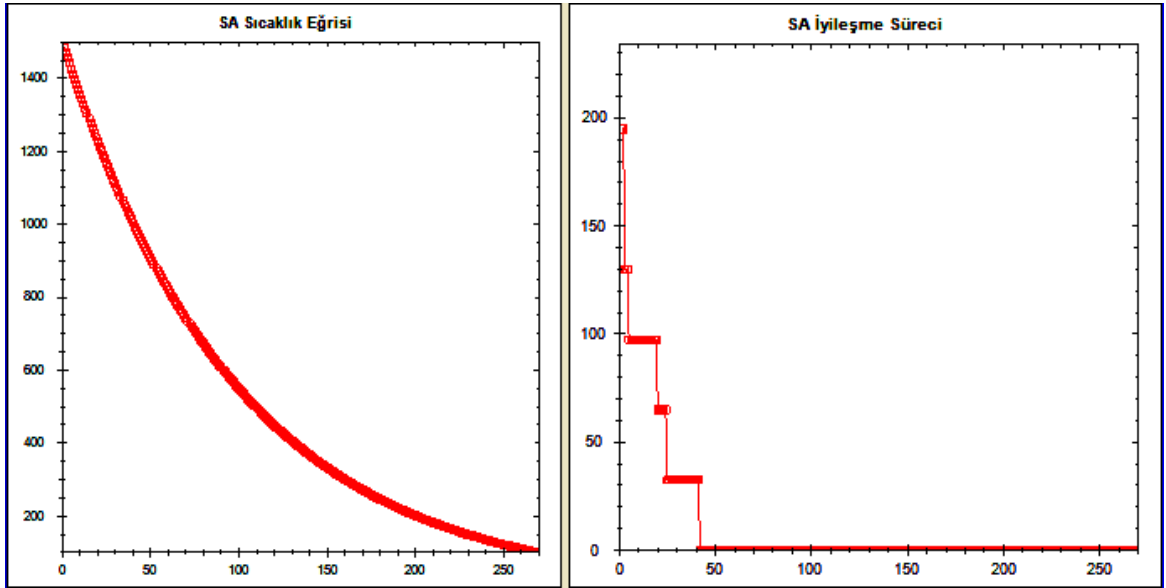
Bu kromozomla elde edilen uygunluk değeri 1,0457'dir, AF1, 2515260, AF2 ise 388540 olarak elde edilmiştir.

Yapılan denemeler sonucunda elde edilen sonuçlardan en iyisi GA ve MGATB ile bulunmuştur. Bu sonucun kromozom yapısı aşağıdaki gibidir:

“0000 1000 1000 0000 1000 1000 0000 0000 0000 1000 1000 1000 1000 0000 1000 11010”



Şekil 7.9. MGATB ile elde edilen bir çözümde uygunluk fonksiyonunun en iyiye yakınsama süreci



Şekil 7.10. TB ile elde edilen bir çözümde uygunluk fonksiyonunun en iyiye yakınsama süreci

Bu İTM'lerde geri dönen ürünlerin hiç bekletilmemesine karar verilmiştir. MTM'lerden ise 1, 2 ve 4.'lerin kurulmasına karar verilmiştir. 1. ve 2. MTM'ler 1. ÜT'ye, 4. MTM ise 2. ÜT'ye ürün (ya da ürün bileşeni) göndermektedir. Tek bertaraf tesisi olduğundan 1, 2 ve 4. MTM'ler bu bertaraf tesisine atık göndermektedir. Çözümle ilgili atamalar ve İTM atama miktarları Şekil 7.11'de verilmiştir.

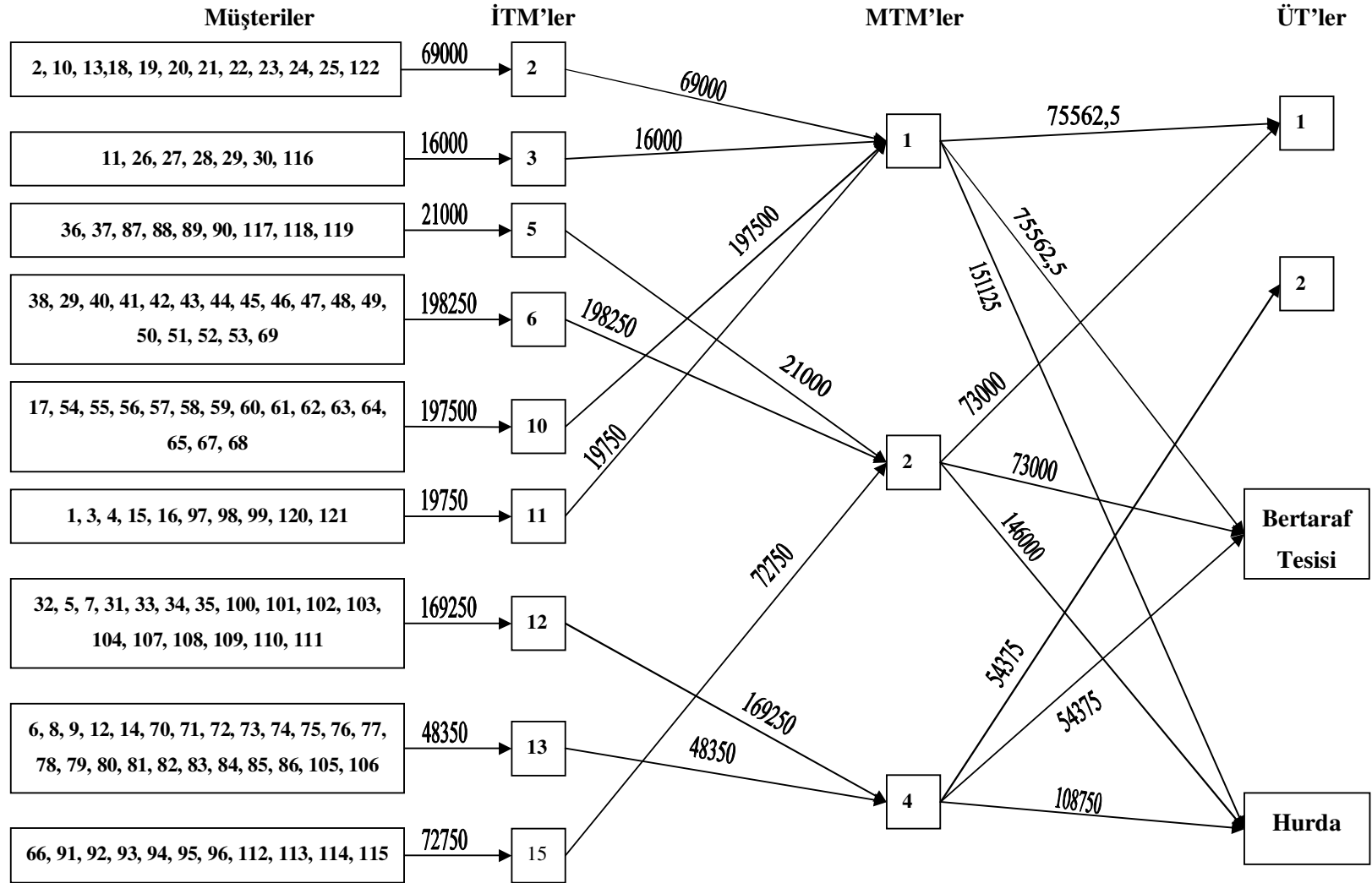
Şekil 7.11'den görüldüğü gibi İTM'ler içinden en çok atama yapılanı 5. İTM'dir. Hiçbir İTM için kapasite kısıtının sağlanamaması durumu söz konusu olmamıştır. Bu durumda atamalarda, hizmet kapsama alanı kısıtının ve taşıma maliyeti hesaplamalarının etkili olduğu söylenebilir. İTM'lerden MTM'lere yapılan atamalar incelendiğinde ise, 1, 2 ve 4. MTM'lerin açıldığı gözlemlenmektedir. Bu atamalar yapılırken AF2'nin etkisi AF1'e göre daha az hissedilmiştir. Bu durum KV'lerce verilen amaç fonksiyonu ağırlıkları ile paralellik göstermektedir. Dolayısıyla 2. en çok ağırlığa sahip olan 3. MTM'ye herhangi bir atama yapılmamıştır ve sondan ikinci ağırlık seviyesine sahip olan 1. MTM'ye en fazla atama yapıldığı görülmektedir. Bu durumun AF2'nin ağırlığının artması ile değişmesi beklenir. Ağırlıklarla ilgili analizler duyarlılık analizleri bölümünde verilmiştir.

MTM'lerin hangi ÜT'ye atanacağı kararında da yine en önemli faktör taşıma maliyetlerinin minimizasyonu olmuştur ve MTM'lerdeki geri dönüşler en yakın ÜT'lere sevk edilmiştir.

7.3 Uygulama Kapsamında Yararlanılan Algoritmaların Geçerliliğinin Analizi

Bu bölümde, Bölüm 7.1'de uygun parametreler açısından analiz edilen ve Bölüm 7.2.'de kendi aralarında karşılaştırılan GA, TB ve MGATB algoritmalarının gerçekten iyi sonuçlar verip vermediği araştırılacaktır. Bu aşamada mevcut modelin daha önceki bölümlerde detaylı olarak belirtilen sebepler yüzünden klasik optimizasyon yöntemleriyle çözülüp global optimum çözümler bulunması mümkün olmamıştır. Bu amaçla model basitleştirilmiş, lineer olmayan bir modele sebep olan bazı kısıtlar değiştirilmiştir. Ayrıca, müşteri, İTM, MTM ve ÜT sayıları azaltılmıştır. Modelin ve uygulamanın basitleştirilmiş halindeki değişiklikler şu şekildedir:

- İlk 12 müşteri ile ilgili bilgiler hesaba katılmıştır,
- İlk 4 İTM ile ilgili bilgiler hesaba katılmıştır,
- İlk 2 MTM ile ilgili bilgiler hesaba katılmıştır,
- İlk 1 ÜT ile ilgili bilgiler hesaba katılmıştır,



Şekil 7.11 Tasarlanan ağ ve atama miktarları (adet)

- İTM'lerde ürün bekletmesinin olmadığı kabul edilmiştir,
- Taşıma maliyetleri aracın tam dolu ya da kısmi dolu olmasına göre değişmemektedir,
- Taşıma maliyetleri uzaklık sınırlarına göre değişmemektedir,
- Elde edilen hurda ve yeniden kullanım gelirleri hesaba katılmamıştır.
- Müşteri sayısındaki düşüşten dolayı mevcut İTM kapasiteleri 25000 adet, MTM kapasiteleri 40000 adede düşürülmüştür.

Yukarıda bahsedilen şartlar altında model AF1, AF2 ve BAF'a göre LINGO 9.0 optimizasyon programında çözdürülmüştür. Model AF2 yok sayılıp AF1 için çözdürüldüğünde, AF1'in değeri 1224513 YTL olarak hesaplanmıştır ve global optimum çözüme ulaşılmıştır. Tüm müşterilerden gelen dönüşler 1. İTM'ye, 1. İTM'den dönüşler 1. MTM'ye atanmıştır.

İkinci durumda ise modelde AF1 yok sayılıp AF2 için çözdürüldüğünde, AF2'nin değeri 10105 birim olarak hesaplanmıştır ve bu sonuç global optimum sonuçtur. Bu durumda, tüm müşteriler 4. İTM'ye, 4. İTM, 2. MTM'ye atanmıştır.

Son olarak iki amaç en iyi çözümlerle normalize edilerek ve KV'lerce belirlenen ağırlıklarla ağırlıklandırılarak Denklem 7.2'deki gibi tek amaç haline getirilmiştir.

$$BAF = 0.8 * (AF1 / 1224513) + 0.2 * (10105 / AF2) \quad (7.2)$$

Model BAF'a göre çözdürüldüğünde, BAF değeri 1.026316, AF1 değeri 1224513 YTL, AF2 değeri 8930 birim olarak elde edilmiştir ve yerel optimum sonuca ulaşılabilmektedir. Bu durumda tüm müşteriler 1. ve 4. İTM'ye, 1. ve 4. İTM ise 1. MTM'ye atanmıştır.

Model GA, TB ve MGATB ile çözdürüldüğünde, tamamen aynı sonuca ulaşmak mümkün olmuştur. Bu durum, kullanılan algoritmaların iyi sonuçlar verdiğine dair bir işaret olarak yorumlanabilir. Ancak, kesin olarak bir yorum yapabilmek için, gerçek modelin tamamen aynısı için global optimum bir sonuç bulup, tez kapsamında kullanılan algoritmaların sonuçları ile karşılaştırmak gerekmektedir. Bu çözümü bulmak çalışma kapsamında mümkün olmamıştır. Bu nedenle meta-sezgisel yöntemlerden yararlanma yoluna gidilmiştir.

7.4 Sonuçların Analizi

7.4.1 TB, GA ve MGATB'nin sonuçlar açısından karşılaştırılması

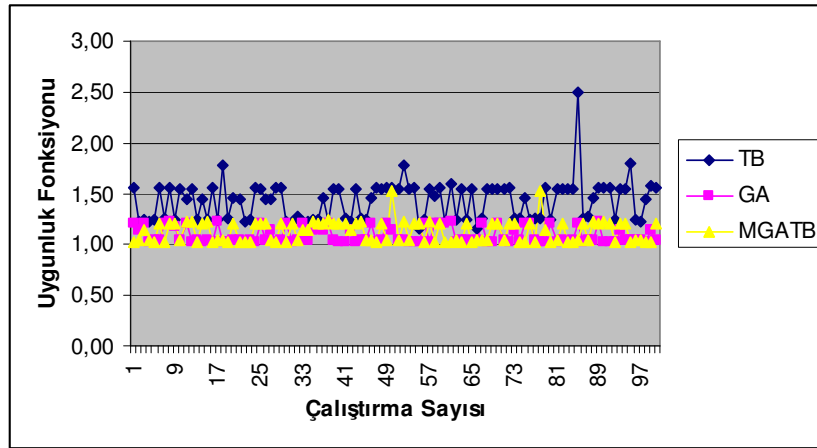
TB, GA ve MGATB ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması için model her üç yöntemle de 100'er kez çözdürülmüştür. Bu çözümlerin, uygunluk ve süre açısından sonuçları Ek 3'de

verilmiştir.

Ek 3'te verilen uygunluk fonksiyonu ve zaman kullanımı popülasyonları eşleştirilmiş *t*-testi ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma için, *Analyze-it* istatistik programı kullanılmıştır. Eşleştirilmiş *t*-testi iki popülasyon arasında belirgin bir fark olup olmadığının analizi için kullanılan bir testtir.

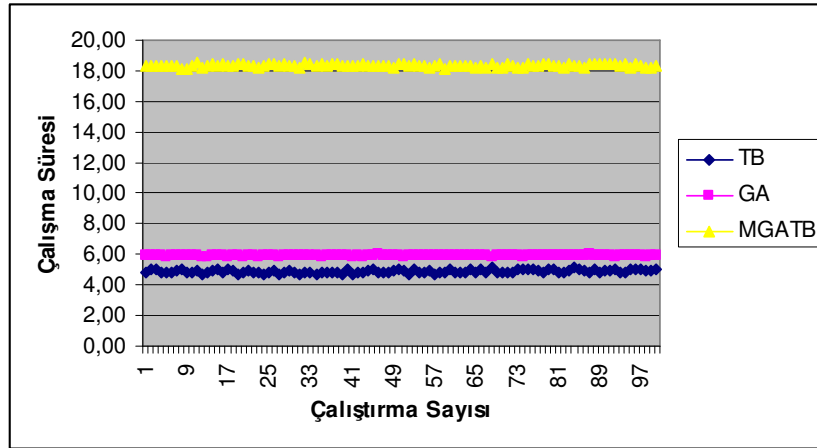
Uygunluk açısından TB ve GA popülasyonları karşılaştırıldığında $TB \neq GA$ hipotezinin reddedilme olasılığı 10000'de birden daha az çıkmıştır. TB ve MGATB popülasyonu için de aynı sonuç çıkmıştır. $MGATB \neq GA$ hipotezinin kabul edilmesi için yeterince kanıt bulunamamıştır. Zaman açısından yapılan eşleştirilmiş *t*-testleri ise $TB \neq GA$, $MGATB \neq GA$, $MGATB \neq TB$ hipotezlerinin üçünün de reddedilme olasılığı 10000'de 1'den daha az çıkmıştır.

Ek 3'deki sonuçlar uygunluk fonksiyonu açısından Şekil 7.12'de ve zaman açısından Şekil 7.13'de gösterilmiştir.



Şekil 7.12 100 koşum için GA, MGATB ve TB uygunluk fonksiyonları

Şekil 7.12'de görüldüğü gibi uygunluk fonksiyonu açısından en kötü sonuçlar TB algoritması ile elde edilmiştir. GA ve MGATB algoritmaları ise birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir. Ayrıca uygunluk fonksiyonu sonuçlarının ortalama, standart sapma ve %95 güven aralığı değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 7.2). Bu sonuçlara göre GA, MGATB ve TB'den daha iyi sonuçlar vermiştir. GA ve MGATB'nin sonuçları yakındır ancak çok az bir farkla GA daha üstün görünmektedir. Ancak eşleştirilmiş *t*-testi sonucuna göre iki popülasyonun eşit olmadığına dair yeterince kanıt mevcut değildir.



Şekil 7.13 100 koşum için GA, MGATB ve TB zaman gereksinimleri

Şekil 7.13’de görüldüğü gibi çözüm için gerekli zaman açısından en iyi sonuçları TB algoritması sağlamaktadır. İkinci çok zaman gerektiren yöntem GA ve üçüncü ise MGATB algoritmasıdır. Ayrıca zaman kullanımı sonuçlarının ortalama, standart sapma ve %95 güven aralığı değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 7.2). Bu sonuçlar da şekil üzerinden yapılan yorumlara benzer sonuçlar vermiştir.

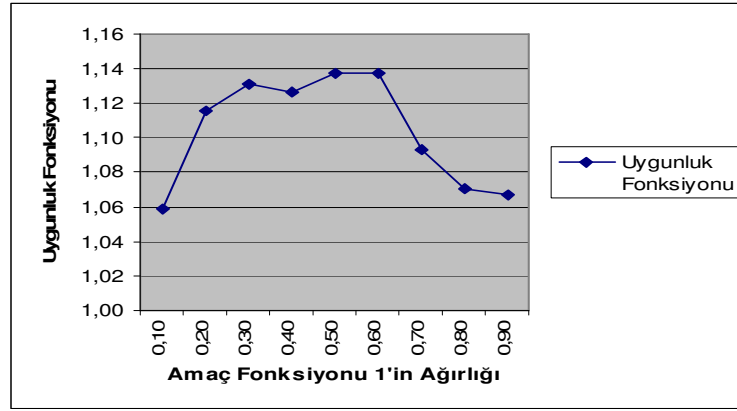
Çizelge 7.2 GA, MGATB ve TB sonuçlarının ortalama, standart sapma ve %95 güven aralığı değerleri

	GA	MGATB	TB
Ortalama uygunluk	1,087	1,123	1,424
Standart sapma	0,077	0,104	0,194
%95 Güven aralığı	1,072-1,102	1,103-1,144	1,386-1,463
Ortalama çözüm süresi	5,904	18,339	4,880
Standart sapma	0,037	0,083	0,107
%95 Güven aralığı	5,896-5,911	18,322-18,355	0,094-0,124

7.4.2 Duyarlılık analizleri

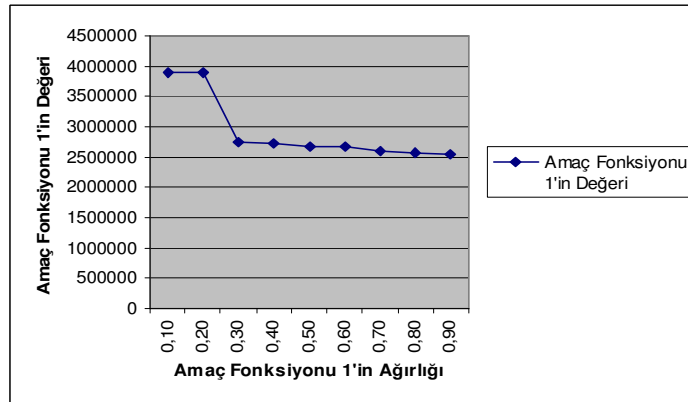
Uygulama bölümünde ve uygulama sonuçları bölümünde açıklandığı gibi, çok amaçlı modelin amaç fonksiyonu ağırlıkları KV'lere danışılarak belirlemiştir. Bu bölümde ilk olarak amaç fonksiyon ağırlıklarının değişmesi karşısında sonuçların duyarlılığı incelenecektir. Şekil 7.14'ten görüldüğü gibi AF1'in ağırlığı 0,1 olarak verildiğinde uygunluk fonksiyonu en iyi değerini almakta ve AF1'in ağırlığı arttıkça bu değer kötüleşmekte, bir süre kötü bir seyir izledikten sonra AF1'in ağırlığı 0,6 ve daha büyük değerler aldığı anda tekrar bir iyileşme göstermektedir. AF1 ile AF2'nin ağırlıkları toplamı 1'dir. Yani, Şekil 7.14, 7.15 ve 7.16'da

AF1'in ağırlığının 0,1 görüldüğü yerde AF2'nin ağırlığı 0,9 olmaktadır.



Şekil 7.14 1. Amaç fonksiyonunun ağırlığının artması durumunda uygunluk fonksiyonundaki değişim

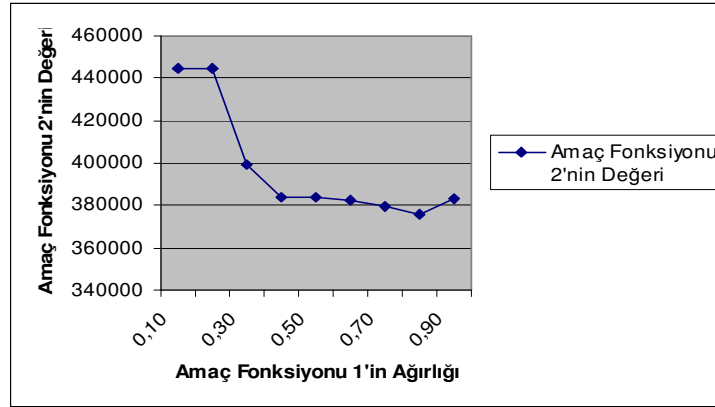
Şekil 7.15'te AF1'in ağırlığı arttıkça AF1'in değerindeki değişim görülmektedir. AF1'in ağırlığı 0,1'ken AF1'in değeri 4000000 YTL seviyelerindeyken, AF1'in ağırlığı yükseldikçe bu değer düşmekte ve, AF1'in ağırlığı 0,9 olduğunda alabileceği en iyi değer olan 2500000 YTL seviyelerine gelmektedir.



Şekil 7.15 1. Amaç fonksiyonunun ağırlığının artması durumunda 1. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim

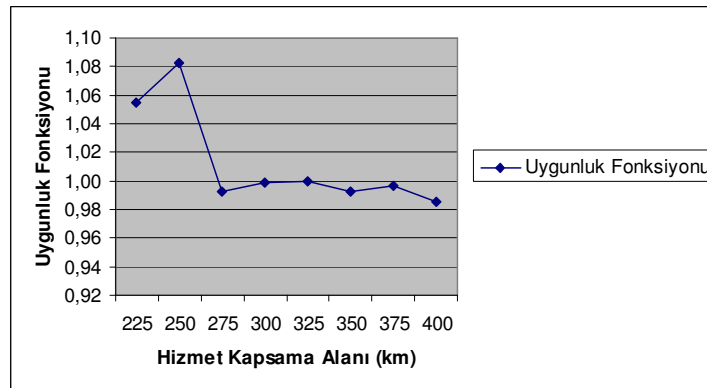
Şekil 7.16'da AF1'in ağırlığı arttıkça AF2'nin değerindeki değişim görülmektedir. AF2'nin maksimize edilmesi istenmektedir ve AF1'in ağırlığı 0,1 olduğunda yani AF2'nin ağırlığı 0,9'la yüksek bir değer aldığı anda, AF2'nin değeri en iyi seviyelere, 440000 seviyelerine ulaşmaktadır. AF1'in ağırlığı artıp, AF2'nin ağırlığı düştükçe, AF2'nin değerinde

kötüleşmeler gözlenmektedir.

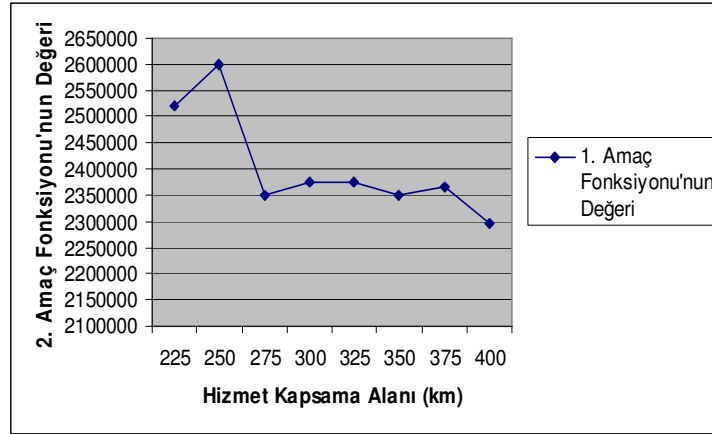


7.16 1. Amaç fonksiyonunun ağırlığının artması durumunda 2. amaç fonksiyonunun değeriindeki değişim

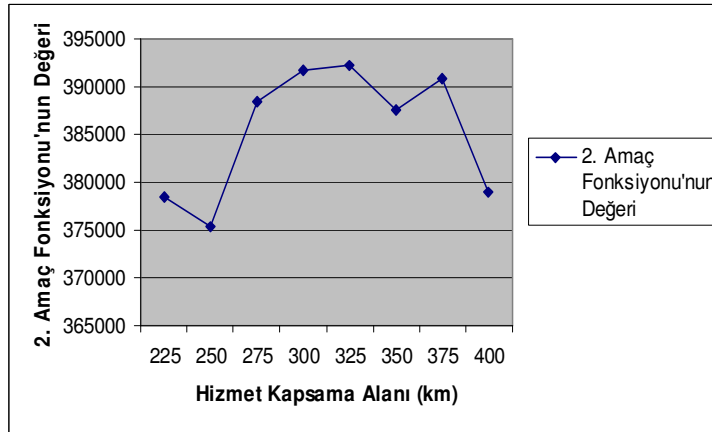
İkinci duyarlılık analizi, hizmet kapsama alanı üst sınırı için yapılmıştır. Uygulamada hizmet kapsama alanı üst sınırı KV'lere danışılarak 250 km olarak belirlenmiştir. Üst sınır 225 km'nin altına düşürülürse, fizibil bir çözüm elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Şekil 7.17'da görüldüğü gibi hizmet kapsama alanı kısıtı rahatlatıldığında, uygunluk fonksiyonunun değeri daha küçük yani daha uygun değerlere çekilebilmektedir. Şekil 7.18'de görüldüğü gibi hizmet kapsama alanının genişletilmesi AF1'in değerinde de iyileşmeler sağlamaktadır. Ancak, Şekil 7.19'de görüldüğü gibi AF2'nin değeri tutarlı bir iyileşme ya da kötüleşme göstermemektedir. Bunun nedeni, uygulamada AF1'in ağırlığının AF2'nin ağırlığından çok daha yüksek alınması olarak gösterilebilir. Dolayısıyla bir kısıttaki rahatlatma, ağırlığı yüksek olan fonksiyonun değerinde daha çok iyileşme sağlamıştır.



Şekil 7.17 Hizmet kapsama alanı genişletildiğinde uygunluk fonksiyonundaki değişim



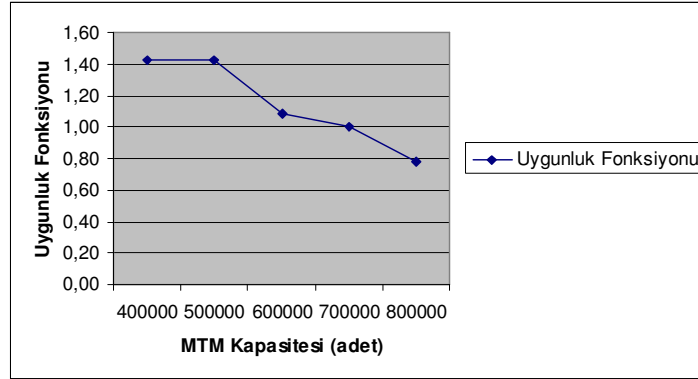
Şekil 7.18 Hizmet kapsama alanı genişletildiğinde 1. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim



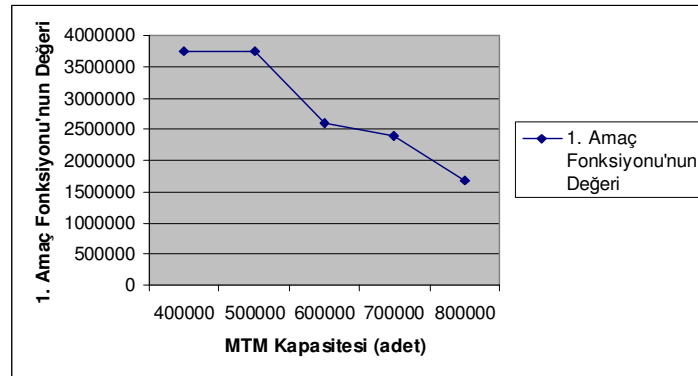
Şekil 7.19 Hizmet kapsama alanı genişletildiğinde 2. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim

Üçüncü duyarlılık analizi, MTM kapasitelerinin değişimi üzerine uygunluk fonksiyonu ve amaç fonksiyonu değerlerinin değişimini analiz etmek için gerçekleştirilmiştir. MTM kapasiteleri mevcut durumda 500000 adettir ve bu değer 400000 sınırının altına düştüğünde fizibil çözüm elde etmek mümkün olmamaktadır. Şekil 7.20’de MTM kapasitesi artırıldığında uygunluk fonksiyonundaki değişim görülmektedir. MTM kapasite kısıtının rahatlatılması, uygunluk fonksiyonunu çok iyi seviyelere çekmektedir. Şekil 7.21’de ise MTM kapasiteleri arttığında 1. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim görülmektedir. Bu değişim MTM kapasite kısıtı rahatlatıldıkça AF1’in değerinin iyileşmesi yönündedir. Şekil 7.22’de MTM kapasiteleri arttığında 2. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim

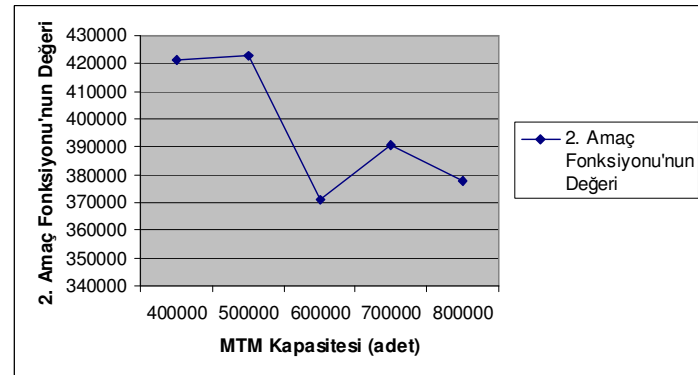
görülmektedir. Şekil 7.22’de görülen değişim, AF2’nin değerinin MTM kapasitelerinden çok tutarlı bir şekilde etkilenmediği yönündedir. Bunun nedeni olarak da, AF2’nin ağırlığının düşük olması gösterilebilir.



Şekil 7.20 MTM kapasiteleri arttığında uygunluk fonksiyonundaki değişim

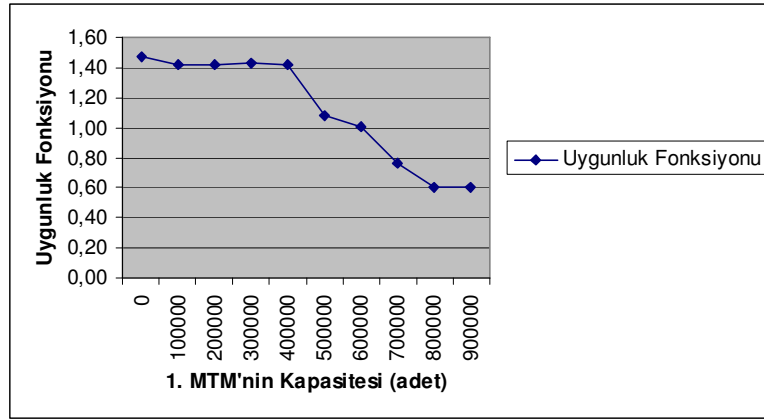


Şekil 7.21 MTM kapasiteleri arttığında 1. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim

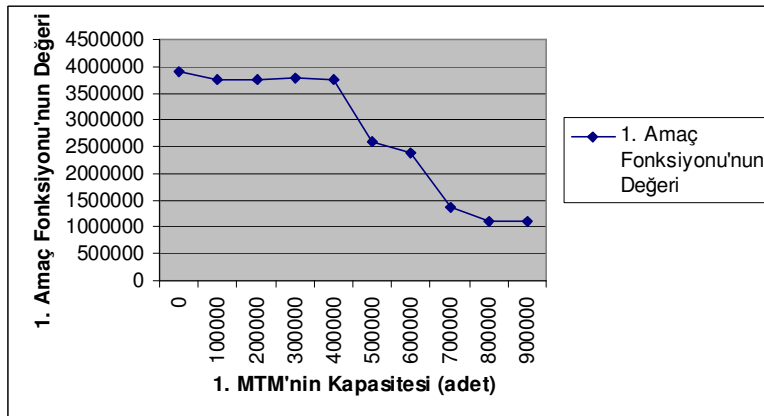


Şekil 7.22 MTM kapasiteleri arttığında 2. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim

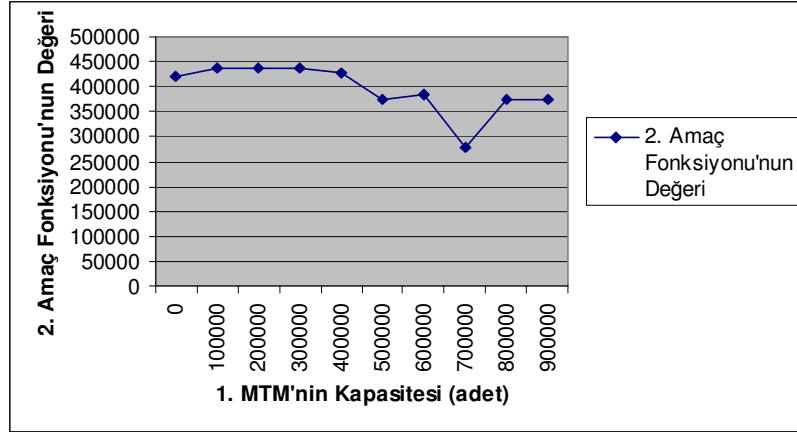
Dördüncü duyarlılık analizi, şartlar uygun olduğunda en çok atama yapılan MTM olan 1. MTM'nin kapasite değişikliklerine karşı uygunluk fonksiyonu ve amaç fonksiyonları değerlerinin değişimi üzerine gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.23'den görüldüğü gibi, 1. MTM'nin kapasite kısıtı rahatlatıldığında uygunluk fonksiyonunda iyileşme görülmektedir. Bu iyileşme 800000 sınırından sonra durmaktadır. Şekil 7.24'de 1. MTM'nin kapasitesindeki değişim karşısında amaç fonksiyonu 1'in değerindeki değişim görülmektedir ve bu değişim kapasite sınırı arttırıldıkça AF1'in değerinin iyileşmesi yönündedir. AF2'nin değeri ise ağırlığı düşük olduğundan dolayı 1. MTM'nin kapasite kısıtının rahatlatılmasından çok tutarlı bir şekilde etkilenmemiştir (Şekil 7.25).



Şekil 7.23 1.MTM'nin kapasitesindeki değişim karşısında uygunluk fonksiyonundaki değişim

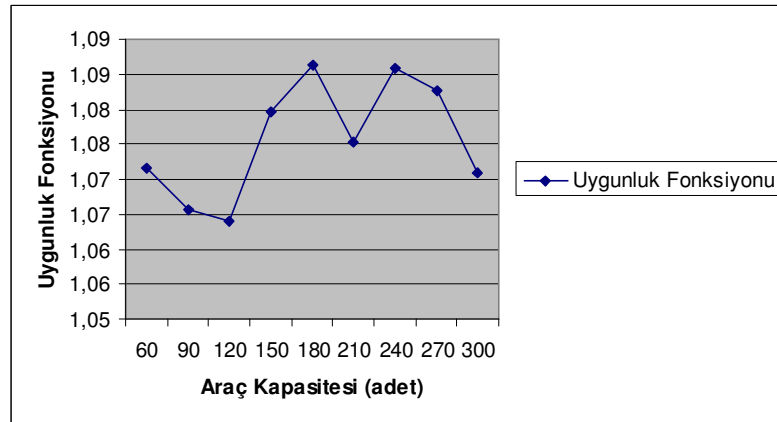


Şekil 7.24 1.MTM'nin kapasitesindeki değişim karşısında 1. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim

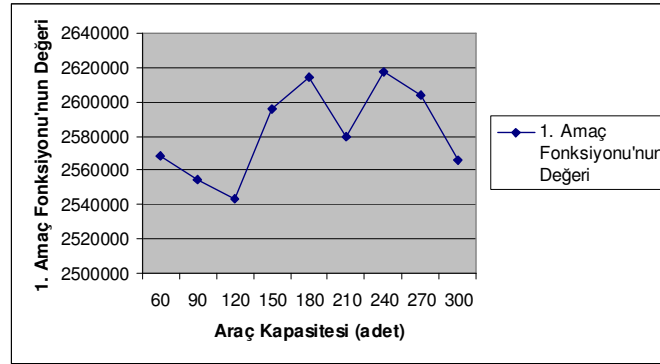


Şekil 7.25 1.MTM' nin kapasitesindeki değişim karşısında 2. amaç fonksiyonunun değerindeki değişim

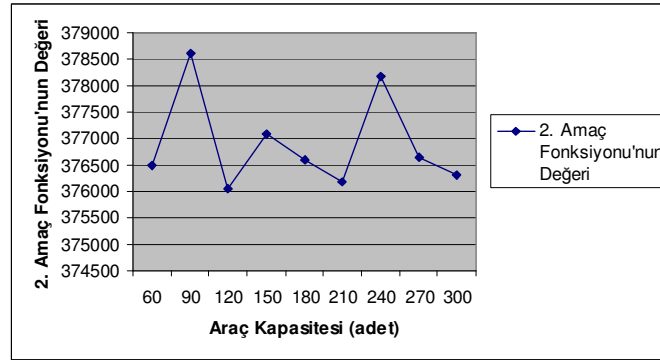
Beşinci duyarlılık analizi, İTM'lerden MTM'lere taşıma yapan aracın kapasitesinin uygunluk fonksiyonu ve amaç fonksiyonu değerleri üzerine etkisi olup olmadığını araştırmak üzere yapılmıştır. Şekil 7.26, 7.27 ve 7.28'den görüldüğü gibi araç kapasitesini arttırmak uygunluk fonksiyonu, AF1 ve AF2 değerleri üzerinde önemli etkiler oluşturmamıştır. Aynı zamanda araç kapasitesinin İTM'de ürün bekletme günü sayısı üzerine etkileri de gözlenmiş ve önemli bir etkiye rastlanmamıştır. Bu durumda tam dolu ve kısmi dolu taşımacılık maliyetleri arasındaki farkın İTM'de ürün bekletme günü sayısına etkisi analiz edilmiştir (Şekil 7.29). Şekil 7.29'dan da görüldüğü gibi, söz konusu fark arttıkça İTM'lerde ürün bekletilen toplam gün sayısı artmaktadır. Böylece araçlar tam dolarak gönderilmeye çalışılmaktadır.



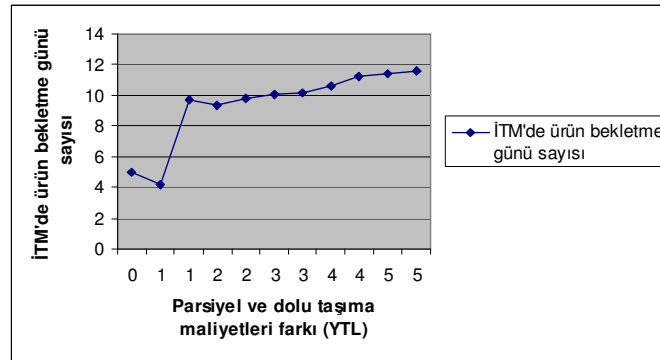
Şekil 7.26 Araç kapasitesindeki artışın uygunluk fonksiyonu üzerindeki etkisi



Şekil 7.27 Araç kapasitesindeki artışın 1. amaç fonksiyonunun değeri üzerindeki etkisi



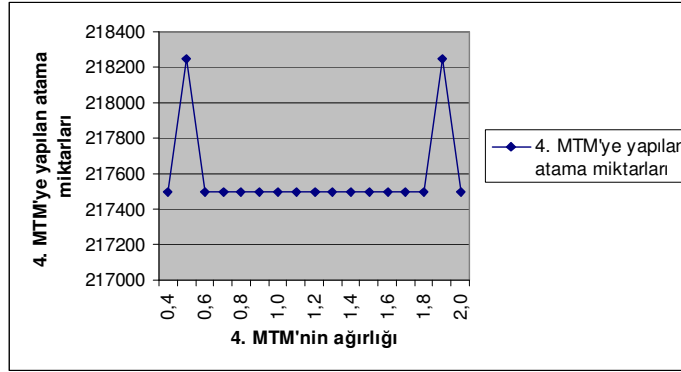
Şekil 7.28 Araç kapasitesindeki artışın 2. amaç fonksiyonunun değeri üzerindeki etkisi



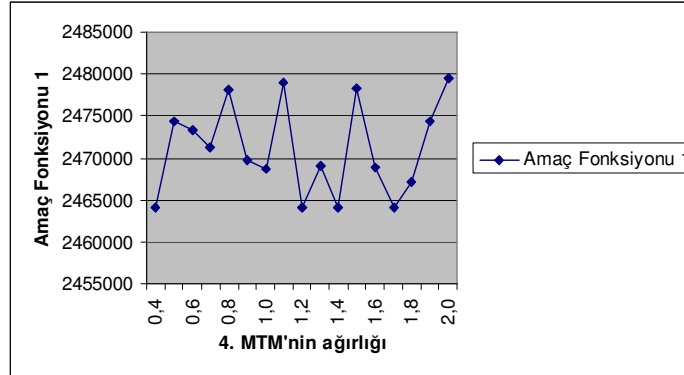
Şekil 7.29 Kısmi dolu ve dolu taşıma yapma maliyetleri arasındaki farkın İTM'de ürün bekleme günü sayısı üzerine etkisi

Son duyarlılık analizi KV'lerin fikirleri alınarak AAS-Bulanık TOPSIS'ten yararlanılarak elde edilen MTM ağırlıkları üzerine yapılmıştır. Ancak tüm MTM ağırlıkları üzerine ayrı ayrı yapılan analizler benzer sonuçlar verdiğinden, bu çalışma kapsamında, ağırlığı en yüksek olan

4. MTM üzerinden yapılan analizler açıklanacaktır. 4. MTM'nin ağırlığı ile ilgili analizler ilk önce AF1'in ağırlığı 0.8 ve AF2'nin ağırlığı 0.2 olması durumu için yapılmıştır. Bu ağırlık kombinasyonu, tez kapsamında kullanılan ve KV'lere danışılarak belirlenmiş ağırlık kombinasyonudur. 4. MTM'nin ağırlığının değişmesine göre 4. MTM'ye yapılan atamalardaki değişiklik durumu Şekil 7.30'da gösterilmiştir. Sonuçlarda yalnızca iki değer elde edilmiştir: 217450 ve 218250 değerleri. 218250'lik atama miktarı 0.3 ve 1.9 ağırlık değerlerinde elde edilmiştir, bunun dışındaki ağırlıklar için 217450 atama değeri elde edilmiştir. Bu farklılık rassal olarak oluşabilir ve Şekil 7.30 incelendiğinde, 4. MTM'ye yapılan atama miktarlarının, 4. MTM'nin ağırlığından çok fazla etkilenmediği görülmektedir



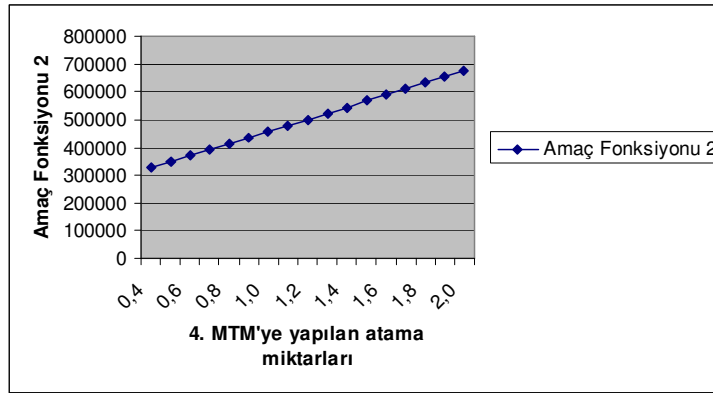
Şekil 7.30 4. MTM'nin ağırlığının 4. MTM'ye yapılan atamalar üzerindeki etkisi



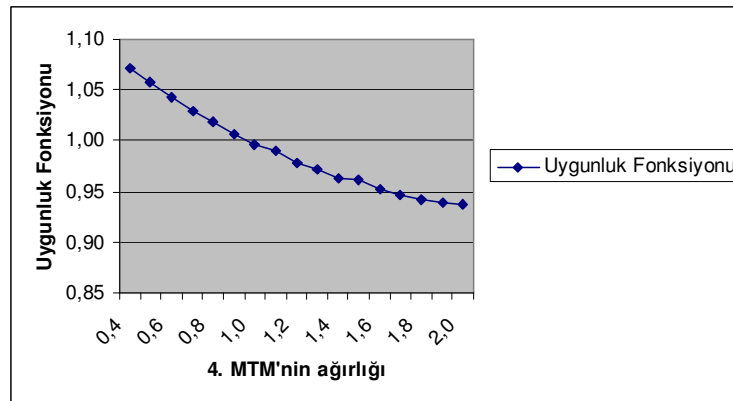
Şekil 7.31 4. MTM'nin ağırlığının 1. amaç fonksiyonunun değerindeki etkisi

Şekil 7.31'de 4. MTM'nin ağırlığındaki değişim karşısında AF1'in değerindeki değişim gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, AF1'in değeri 4. MTM'nin ağırlığındaki değişimlere tutarlı bir tepki vermemektedir ve aldığı değerler 2460000 ile 2480000 YTL arasında inişli çıkışlı bir seyir izlemektedir.

Şekil 7.32’de 4. MTM’nin ağırlığındaki değişim karşısında AF2’in değerindeki değişim gösterilmektedir. Şekilde, AF2’in değerinin 4. MTM’nin ağırlığındaki artışlar karşısında artan bir seyir izlediği gözlenmektedir. Ancak bu seyrin atamaların daha ağırlıklı olacak şekilde yapılmasından mı yoksa AF2’nin hesaplanmasındaki katsayılarından birinin (4. MTM’nin ağırlığının) artmasından mı kaynaklandığını anlamak için ürün atamalarındaki değişme bakmak uygun olacaktır. Şekil 7.30’da görüldüğü gibi 4. MTM’ye yapılan atamalarda 4. MTM’nin ağırlığındaki artışa bağlı bir değişim gözlenmemiştir. Dolayısıyla Şekil 7.32’de görülen AF2’nin değerlerindeki artış, daha iyi sonuçlar elde edildiğinden değil, AF2’nin hesaplanmasından kullanılan katsayılarından birinin artmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 7.33’de verilen 4. MTM’nin ağırlığındaki değişim karşısında uygunluk fonksiyonu değerinin değişimi grafiği için de benzer bir yorum yapılabilir. Uygunluk fonksiyonundaki iyileşmeler, AF2’nin değerindeki gerçek nedenlerle oluşmayan iyileşmelerden kaynaklanmaktadır.

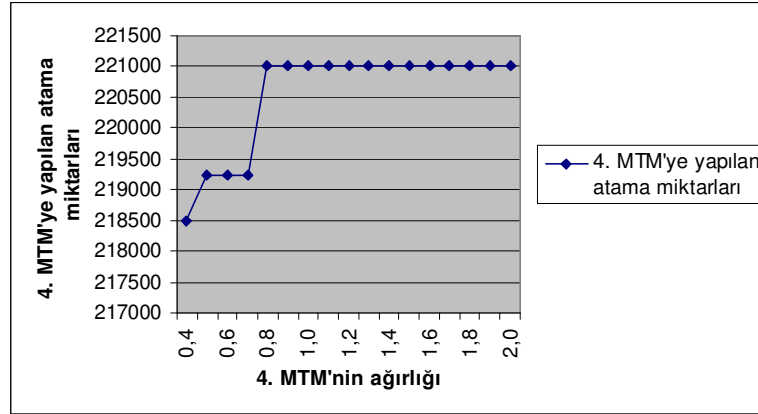


Şekil 7.32 4. MTM’nin ağırlığının 2. amaç fonksiyonunun değerindeki etkisi



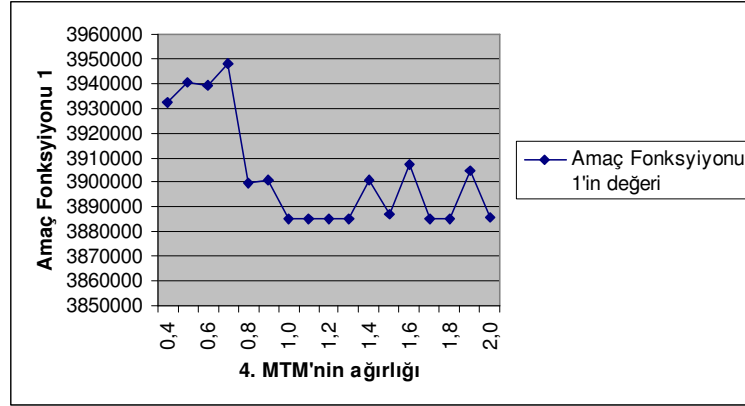
Şekil 7.33 4. MTM’nin ağırlığının uygunluk fonksiyonu üzerindeki etkisi

Şekil 7.30-7.31-7.32-7.33 için yapılan analizler doğrultusunda, 4. MTM'nin ağırlığının sonuçlar üzerinde çok önemli bir etkisi olmadığı söylenebilir. Ancak bu analizler AF1'in ağırlığının 0.8 ve AF2'nin ağırlığının 0.2 olduğu durum için söz konusudur. MTM'lere yapılan ağırlıklı atamaların maksimizasyonu olan AF2'nin kullanılmasındaki en önemli amaç İTM'lerden MTM'lere atama yapılırken kalitatif faktörlerin değerlendirmesi sonucu ağırlıklandırılmış olan MTM'lerden en yüksek ağırlıklı olanlarına atama yapmaktır. Ancak AF1'in ağırlığının 0.8 ve AF2'nin ağırlığının 0.2 olduğu durum için sonuçlar 4. MTM'nin ağırlığından etkilenmemiştir. Bu nedenle AF2'nin ağırlığı yükselttilerek aynı analizlerin yapılması uygun görülmüştür ve AF1'in ağırlığı için 0.01 ve AF2'nin ağırlığı için 0.99 değerleri kullanılmıştır. Şekil 7.34'de 4. MTM'nin ağırlığındaki değişim karşısında 4. MTM'ye yapılan ağırlıklardaki değişim görülmektedir. 4. MTM'nin ağırlığı 0.8 seviyesine ulaşana kadar yapılan artışlara paralel olarak 4. MTM'ye yapılan atama miktarlarında artış görülmektedir. Ancak 4. MTM'nin ağırlığı daha yüksek seviyelere çıkarıldığında artış durmakta ve atama miktarlarında herhangi bir değişiklik olmamaktadır.



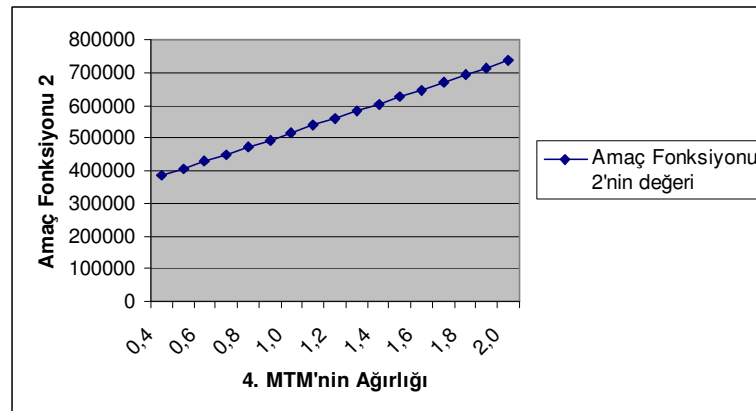
Şekil 7.34 4. MTM'nin ağırlığının 4. MTM'ye yapılan atamalar üzerindeki etkisi

Şekil 7.35'te 4. MTM'nin ağırlığındaki değişimlerin AF1 üzerindeki etkileri görülmektedir. 4. MTM'nin ağırlığı 0.1'den 0.8 seviyesine çıkarıldığında AF1'in değerinde iyileşmeler olduğu gözlemlenmektedir. Ancak 0.8 den daha üst seviyelerdeki değişikliklerde AF1'in değerinde tutarlı bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

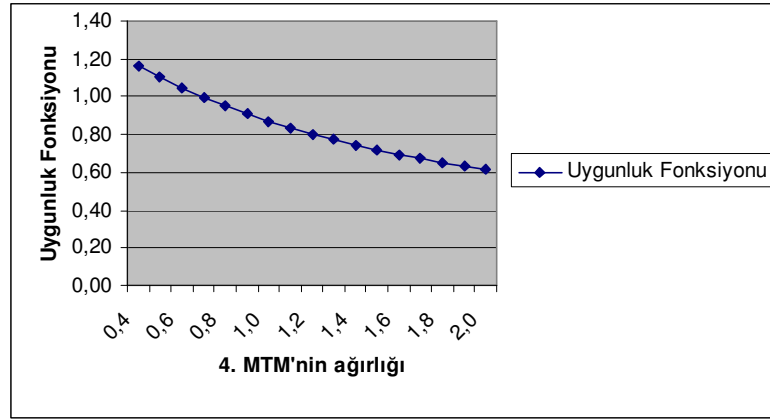


Şekil 7.35 4. MTM'nin ağırlığının 1. amaç fonksiyonunun değerindeki etkisi

Şekil 7.36'te 4. MTM'nin ağırlığındaki değişikliklerin AF2'nin değeri üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekil 7.34'teki değişim grafiğinden de faydalanarak AF2'nin değerindeki iyileşmelerin 0.8 ağırlık seviyesine kadar atamalarda iyileşmelerden ve AF2'nin hesaplanmasında kullanılan bir katsayıdaki (4. MTM'nin ağırlığı) artıştan kaynaklandığı, bu seviyeden sonra ise yalnızca AF2'nin hesaplanmasında faydalanılan bir katsayının iyileşmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Şekil 7.37'de verilen 4. MTM'nin ağırlığındaki değişim karşısında uygunluk fonksiyonu değerinin değişimi grafiği için de benzer bir yorum yapılabilir. Uygunluk fonksiyonundaki iyileşmeler, 0.8 ağırlık seviyesine kadar AF2'nin değerindeki iyileşmelerden ve AF2'nin hesaplanmasında faydalanılan bir katsayıdaki (4. MTM'nin ağırlığı) artıştan kaynaklandığı ve bu seviyeden sonra ise yalnızca AF2'nin hesaplanmasında faydalanılan bir katsayının iyileşmesinden kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 7.36 4. MTM'nin ağırlığının 2. amaç fonksiyonunun değerindeki etkisi



Şekil 7.37 4. MTM'nin ağırlığının uygunluk fonksiyonu üzerindeki etkisi

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

TL konusu, artan çevre problemlerine paralel olarak önem kazanmaya başlayan konulardan biridir. Kullanım ömrü bitmiş, garanti kapsamında geri dönmüş veya iade edilmiş olan ürünlerin üretici tarafından yeniden eldesi süreci iyi planlanmadığında sistemde koordinasyon bozukluklarına, önemli maliyet artışlarına ve müşteri memnuniyetsizliğine sebebiyet verebilir. Bu anlamda Tersine Lojistik Ağları'nın tasarlanması konusu stratejik bir öneme sahiptir.

TLAT kapsamında en uygun İTM, MTM yeri seçimi problemi, müşterilerden İTM'lere, İTM'lerden MTM'lere gönderilecek ürünlerin miktarı ve bu ürünler için uygun taşıma yollarının seçimi, MTM'lerde yapılan sınıflandırma işleminden sonra, hurdaya, bertarafa ve ÜT'ye gönderilecek ürünlerin miktarı ve taşıma yollarının seçimi gibi önemli kararların verilmesi durumu söz konusudur. Bu anlamda TLAT problemi hem bir yer seçimi problemidir hem de bir atama problemidir.

Bu çalışma kapsamında TLAT problemi için bir model sunulmuştur. Bu model kapsamında, yukarıda sözü edilen kararlar alınmaya çalışılmıştır. Ayrıca, müşterilerden İTM'lere gönderilen ürünlerin, İTM'lerden MTM'lere hemen mi yoksa belirli bir zaman biriktirildikten sonra mı gönderilmesi gerektiği kararı da alınmıştır. Ek olarak, ürünlerin MTM'lerde sınıflandırılması da söz konusudur ki bu durum doğrudan ÜT'ye gönderilmesi durumuna göre maliyet avantajı sağlamaktadır.

Tez kapsamında açıklanan ve uygulanmaya çalışılan modelin çözümü için meta-sezgisellerden faydalanma yoluna gidilmiştir. Bu tercihin yapılmasındaki en önemli neden modelin “eğer...ise...” yapısında mantıksal hesaplamalar içermesidir. Örneğin, eğer İTM'deki ürünler 250 km'den daha yakına gönderiliyorsa ve eğer kamyon kapasitesi tam dolu ise x maliyeti oluşur, eğer kamyon tam dolmadan gönderiliyorsa y maliyeti oluşur, gibi hesaplamalar için klasik optimizasyon tekniklerinden faydalanmak problemin karmaşıklığını önemli derecede arttırmaktadır. Oysaki bu tarz kısıtlar, meta-sezgisel yöntemlerle çok kolay bir şekilde ifade edilebilmektedir. Diğer bir neden ise, modelin lineer olmayan yapısıdır ve bu da hesaplama karmaşıklığını arttırmıştır. Son olarak, 122 müşteri, 15 İTM, 5 MTM ve 2 ÜT ve 1 bertaraf tesisini kapsayan ağın tasarımı, yukarıdaki nedenlerle de birleşince klasik optimizasyon teknikleriyle çok uzun zamanlar gerektirmektedir. Bu karmaşıklık ve uzun zaman gereksinimleri, ağdaki bileşen sayısı arttıkça artacak bir yapıdadır. Tüm bu nedenlerle mevcut sistemin tasarımı için klasik optimizasyon teknikleri yerine meta-sezgisel tekniklerle

çözüm yoluna gidilmiştir.

Bu çalışma kapsamında meta-sezgisellerden, GA, TB ve bu iki tekniğin birlikte kullanıldığı MGATB algoritmalarından faydalanılmıştır. GA'nın seçilme nedenlerinin başında, çözüm uzayının birden çok yerinde aynı anda arama yapma yeteneği ve çeşitliliği arttırıcı mutasyon, çaprazlama gibi operatörlerinin olmasıdır. Bu özellikleri sayesinde GA ile yerel optimumlara düşme probleminden kurturulur. Diğer taraftan TB algoritması ile çözüm aramasına tek bir başlangıç çözüm ile başlanır. TB'de komşuluk yapısının belirlenmesi ve başlangıç çözümün seçimi, nihai çözümün başarısı üzerinde çok etkilidir. Ancak TB arama yaptığı çevrede GA'ya göre daha titiz bir arama gerçekleştirir ve bazı problem tipleri için daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Her iki tekniğin olumlu özelliklerini birleştirmek amacıyla MGATB algoritması geliştirilmiştir. Bu algortmada ilk olarak GA ile çözüm uzayının geneli araştırılmaktadır, sonrasında ise bulunan her çözüme TB uygulanarak, İTM'lerde ürün bekletilmesi için en uygun gün sayıları üzerinde iyileştirmeler yapılmaktadır.

Meta-sezgisel tekniklerde çözüm başarısı önemli oranda kullanılan parametrelere bağlıdır. Bu parametrelerin belirlenmesi ise sayıları arttıkça zorlaşmaktadır. GA'da mutasyon, çaprazlama, elitizm oranları ve birey sayısı parametreleri, TB'de ise başlangıç sıcaklığı, düzeltme katsayısı ve soğutma faktörü parametreleri vardır. Bu çalışma kapsamında doğru parametrelerin belirlenmesi için çok sayıda parametre kombinasyonu denenmiştir ve çeşitli analizler yapılmıştır.

Belirlenen GA ve TB ve MGATB parametreleri ile son halini alan algoritmaların geçerliliğini test etmek için mevcut problemin basitleştirilmiş bir versiyonu klasik optimizasyonla çözülmüş ve sonuçlar GA, TB ve MGATB sonuçları ile karşılaştırılmıştır ve kullanılan algoritmaların iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Uygulama kapsamında tüm veriler kesin olarak elde edilememiştir ve bazı veriler KV'lerce belirlenmiştir. Sözü edilen bu belirsizliklerden dolayı çeşitli parametreler üzerinden duyarlılık analizleri yapılmıştır.

En son olarak, önerilen algoritmaların bir karşılaştırması yapılmış ve uygunluk fonksiyonu açısından GA ile TB'nin yakın sonuçlar verdiği, fakat ortalama ve standart sapma değerleri dikkate alındığında GA'nın çok az farkla daha iyi olduğu görülmüştür. Çözüm için gerekli zaman açısından bakıldığında ise GA'nın MGATB'ye göre daha üstün olduğu çok açıktır.

Sonuç olarak, bu çalışma ile, literatür incelendiğinde TLAT konusunda daha önce hiç denenmemiş teknikler olan TB ve MGATB teknikleri uygulanmıştır. Yine literatür incelendiğinde, çok amaçlı TLAT problemine rastlanmamıştır ve bu anlamda Melez AAS-TOPSIS ve meta-sezgisellerin kullanımı bir ilktir. Ayrıca, Türkiye açısından düşünüldüğünde, TLAT uygulaması sayısı çok azdır ve veriler tam olarak bulunmasa da bu çalışma ile çamaşır makinesi geri dönüşü açısından Marmara ve Ege Bölgeleri’ni kapsayan bir ağ tasarlanmıştır.

Geliştirilen modelin ve önerilen algoritmaların işleyişine katkıda bulunması açısından geleceğe dönük aşağıdaki geliştirme çalışmaları yapılabilir:

- Bu çalışmada geliştirilmiş olan model GA, TB ve MGATB ile çözdürülmüştür. Model Karınca Algoritması, Tabu Araması gibi diğer bazı meta-sezgisel algoritmalarla çözdürülüp sonuçların karşılaştırılması yapılabilir. Bu anlamda özellikle hatırlama özelliği olan teknikler olan Tabu Araması ve Yayılma Araması teknikleri ile çözüm aranması sonuçların iyileştirilmesi açısından katkı sağlayabilir,
- Önerilen melez algoritma (MGATB)’da GA ile çözdürülen her sonuç, TB ile çözdürülmüştür. Bu yöntemle GA ile yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ancak melez algoritma oluşturma başka yolları da araştırılıp, sonuçlarda iyileşme sağlanabilir. Aynı zamanda diğer meta-sezgisellerle yapılan melezleştirme çalışmaları da faydalı olabilir. Örneğin Tabu Araması’nın hatırlama özelliği ile GA’nın birleştirilmesinin iyi sonuçlar veren bir melez algoritma olması potansiyeli vardır.
- Uygulama kapsamında elde edilen bazı veriler belirsizlikler içermektedir. Bu belirsizlikleri analiz etmek için çeşitli duyarlılık analizleri yapılmıştır. Ancak, bu verilerin belirsiz yapısı bulanık sayılar kullanılarak modele yansıtılabilir.
- MTM’lere gelen ürünler sınıflandırılmaktadır ve bu sınıflandırma sonucunda hurda, bertaraf ya da üretim tesisine gönderilmektedir. Burada gelen ürünlerin oransal olarak ne kadarının hurdaya, ne kadarının bertarafa, ne kadarının da üretim tesisine gideceğine KV’lerle görüşülerek karar verilmiştir. Bu yola gidilmesinin nedeni, elde yeterince geçmiş verinin bulunmamasıdır. Yeterince veri elde edildiğinde, bu oranların ne kadar olduğunun belirlenmesi için çeşitli istatistiksel teknikler ya da yapay sinir ağlarından faydalanılabilir.
- Uygulama tek ürün için geliştirilmiştir. Gerçek hayatta bir MTM’ye birden fazla çeşit ürün gelebilmelidir. Daha kapsamlı bir çalışmayla birden çok ürünlü bir sistemin analizi yapılabilir.
- Türkiye’de TLAT’ın uygulanmasında önemli eksiklikler vardır ve birçok sektörde ilgili

analizlerin yapılması için açık mevcuttur. Bu anlamda beyaz eşya sektöründen yetkililerle yapılan görüşmelerden elde edilen sonuçlar da aynı yöndedir.

EKLER

- | | |
|------|---|
| Ek 1 | Müşterilerden geri dönen ürün adetlerinin hesaplanması ve müşterilerden geri dönen günlük ürün adetleri |
| Ek 2 | Müşteri-İTM arası mesafeler |
| Ek 3 | 100'er çözüm için GA, MGATB ve TB sonuçları |

Ek 1 Müşterilerden geri dönen ürün adetlerinin hesaplanması

Müşterilerin günlük talepleri şu şekilde hesaplanmıştır: Arçelik A.Ş.'den sağlanan verilere göre, Türkiye'de çamaşır makinesi için 2008 yılı yıllık geri dönüş beklentisi 1.634.345 adettir. Türkiye İstatistik Kurumu'ndan [5] elde edilen il, ilçe nüfus bilgileri ve gayri safi milli hasıla bilgileri ile söz konusu yıllık geri dönüş beklentisi ilçelere yansıtılmıştır.

Müşterilerden geri dönen ürün adetleri ile ilgili tutulmuş bir istatistiksel veri bulunmadığından ilgili bilginin elde edilmesi için sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemle elde edilen verilerin bir kesinliği bulunmamaktadır, ancak, oransal olarak gerçeği yansıttığı düşünülmektedir. İlgili hesaplamalar aşağıdaki çizelge'de verilmiştir. Geliştirilen sezgisel yöntem ve kullanılan veriler aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Öncelikle ilçe nüfusu (İN) ve il nüfusu (İLN) bilgileri Türkiye İstatistik Kurumu internet sitesinden elde edilmiştir [5].
- İl hane sayısı ve Türkiye Hane Sayısı (THS) verileri Türkiye İstatistik Kurumu internet sitesinden elde edilmiştir [5].
- İl genel nüfusu, il hane sayısına (İLHS) bölünerek İl Hane Ortalama Birey Sayısı (İLHOBS) verisi elde edilmiştir.
- İlçe nüfusu İLHOBS'na bölünerek ilçe hane sayısı (İHS) verisi elde edilmiştir.
- İl GSMH (İL-GSMH) ve Türkiye GSMH (T-GSMH) verileri Türkiye İstatistik kurumu internet sitesinden [5] elde edilmiştir.
- İlk beş maddede elde edilen veriler kullanılarak Geri Dönen Ürün Adedi Katsayısı (GDÜAK) aşağıdaki formülle elde edilmiştir:

$$GDÜAK = \frac{İL-GSMH}{T-GSMH} \times \frac{İHS}{THS}$$
- GDÜAK ülke çapında 2008 yılında beklenen geri dönen ürün adedi ile çarpılarak İlçe Bazında Geri Dönen Ürün Adedi (İGDÜA) hesaplanmıştır:
- İGDÜA kabul edilen yıllık çalışma günü sayısına bölünerek İlçe Bazında Günlük Geri Dönen Ürün Adedi (İGGÜA) hesaplanmıştır.

İl	Müşteri	İN	İLN	İLHS	İLHOBS	İHS	İL-GSMH(\$)	GDÜAK	GDÜA	İGGÜA
Afyonk.	Merkez	234807	701572	164452	4	55040	1263	0,0022	3585	14
	Çay	35876				8410		0,0003	548	2
	Dinar	50311				11793		0,0005	768	3
	Emirdağ	46199				10829		0,0004	705	3
Aydın	Didim	42266	946971	251330	4	11218		0,0004	731	3
	Kuşadası	75543				20049		0,0008	1306	5
	Merkez	231884				61543		0,0025	4008	16
	Söke	115939				30771		0,0012	2004	8
Balıkesir	Ayvalık	58638	1118313	314022	4	16466	2005	0,0010	1702	7
	Bandırma	126603				35550		0,0022	3676	15
	Burhaniye	48602				13647		0,0009	1411	6
	Edremit	107620				30220		0,0019	3125	12
	Erdek	33187				9319		0,0006	964	4
	Merkez	313630				88067		0,0056	9106	36
Bilecik	Bozüyük	64514	203777	49779	4	15760	2584	0,0013	2100	8
	Söğüt	23186				5664		0,0005	755	3
	Gölpazarı	11860				2897		0,0002	386	2
	Merkez	63075				15408		0,0013	2053	8
Bursa	Gemlik	98085	2439876	545391	4	21925	2507	0,0017	2835	11
	İnegöl	208314				46565		0,0037	6020	24
	Kestel	44456				9937		0,0008	1285	5
	Nilüfer	251344				56183		0,0044	7264	29
	Orhangazi	73633				16459		0,0013	2128	9
	Osmangazi	736034				164527		0,0130	21271	85
	Yıldırım	575450				128632		0,0102	16630	67
Çanakkale	Çan	51965	476128	137036	3	14956	2335	0,0011	1801	7
	Ayvacık	30387				8746		0,0006	1053	4
	Biga	79569				22901		0,0017	2758	11
	Yenice	38827				11175		0,0008	1346	5

İl	Müşteri	İN	İLN	İLHS	İLHOBS	İHS	İL-GSMH(\$)	GDÜAK	GDÜA	İGGÜA
	Merkez	115775				33322		0,0025	4012	16
Denizli	Merkez	494961	907325	223089	4	121699	2133	0,0082	13386	54
	Sarayköy	30028				7383		0,0005	812	3
	Çal	24157				5940		0,0004	653	3
	Buldan	27380				6732		0,0005	741	3
	Acıpayam	58687				14430		0,0010	1587	6
Edirne	Keşan	77442	396462	103229	4	20164	2403	0,0015	2499	10
	Merkez	150717				39243		0,0030	4863	19
İstanbul	Adalar	10460	12573836	2550607	5	2122	3063	0,0002	335	1
	Avcılar	323596				65642		0,0063	10368	41
	Bağcılar	719267				145904		0,0141	23046	92
	Bahçelievler	571711				115972		0,0112	18318	73
	Bakırköy	214821				43577		0,0042	6883	28
	Bayrampaşa	272196				55215		0,0053	8722	35
	Beşiktaş	191513				38848		0,0038	6136	25
	Beykoz	241833				49056		0,0047	7749	31
	Beyoğlu	247256				50156		0,0048	7922	32
	Eminönü	32557				6604		0,0006	1043	4
	Esenler	517235				104921		0,0101	16573	66
	Eyüp	325532				66034		0,0064	10430	42
	Fatih	422941				85794		0,0083	13552	54
	Gaziosmanp.	1013048				205497		0,0199	32459	130
	Güngören	318545				64617		0,0062	10207	41
	Kadıköy	744670				151057		0,0146	23860	95
	Kağıthane	418229				84838		0,0082	13401	54
	Kartal	541209				109784		0,0106	17341	69
	Küçükçek.	785392				159317		0,0154	25165	101
	Maltepe	415117				84207		0,0081	13301	53
	Pendik	520486				105581		0,0102	16677	67

İl	Müşteri	İN	İLN	İLHS	İLHOBS	İHS	İL-GSMH(\$)	GDÜAK	GDÜA	İGGÜA
	Sarıyer	276407				56069		0,0054	8856	35
	Şişli	314684				63834		0,0062	10083	40
	Tuzla	165239				33519		0,0032	5294	21
	Ümraniye	897260				182010		0,0176	28749	115
	Üsküdar	582666				118194		0,0114	18669	75
	Zeytinburnu	144801				29373		0,0028	4640	19
	Büyüçekmece	688774				139718		0,0135	22069	88
	Çatalca	89158				18086		0,0017	2857	11
	Silivri	125364				25430		0,0025	4017	16
	Sultanbeyli	272758				55329		0,0053	8740	35
	Şile	25169				5106		0,0005	806	3
İzmir	Aliğa	60043	3739353	922729	4	14816	3215	0,0015	2456	10
	Balçova	74837				18467		0,0019	3062	12
	Seferihisar	25830				6374		0,0006	1057	4
	Bornova	476153				117496		0,0119	19480	78
	Buca	400930				98934		0,0100	16403	66
	Çeşme	27796				6859		0,0007	1137	5
	Çiğli	144251				35596		0,0036	5902	24
	Dikili	27348				6748		0,0007	1119	4
	Foça	30549				7538		0,0008	1250	5
	Gaziemir	109291				26969		0,0027	4471	18
	Güzelbahçe	19255				4751		0,0005	788	3
	Karşıyaka	515184				127128		0,0129	21077	84
	Kemalpaşa	81777				20179		0,0020	3346	13
	Konak	848226				209310		0,0212	34702	139
	Menemen	126934				31322		0,0032	5193	21
	Narlıdere	61455				15165		0,0015	2514	10
	Selçuk	34002				8390		0,0009	1391	6
Kırklareli	Lüleburgaz	130375	333256	86175	4	33713	359	0,0004	624	2

İl	Müşteri	İN	İLN	İLHS	İLHOBS	İHS	İL-GSMH(\$)	GDÜAK	GDÜA	İGGÜA
	Babaeski	51815				13399		0,0002	248	1
	Pınarbaşı	20338				5259		0,0001	97	1
	Merkez	83378				21560		0,0002	399	2
Kocaeli	Kandıra	47322	1437926	283708	5	9337	6165	0,0018	2968	12
	Karamürsel	48831				9635		0,0019	3063	12
	Derince	117303				23144		0,0045	7358	29
	Gölcük	131992				26042		0,0051	8280	33
	İzmit	447898				88372		0,0172	28095	112
	Körfez	123289				24325		0,0047	7734	31
Kütahya	Merkez	237570	583910	152276	4	61955	1805	0,0035	5767	23
	Altınbaş	20316				5298		0,0003	493	2
	Simav	76210				19875		0,0011	1850	7
Manisa	Merkez	332346	1319920	323491	4	81453	2459	0,0063	10329	41
	Akhisar	157161				38518		0,0030	4884	20
	Turgutlu	135830				33290		0,0026	4221	17
	Saruhanlı	58205				14265		0,0011	1809	7
	Salihli	155016				37992		0,0029	4818	19
Muğla	Bodrum	105474	766156	191547	4	26370	3308	0,0028	4498	18
	Datça	14836				3709		0,0004	633	3
	Fethiye	173426				43358		0,0045	7397	30
	Marmaris	73461				18366		0,0019	3133	13
	Merkez	94207				23553		0,0025	4018	16
	Milas	120508				30128		0,0031	5140	21
	Ortaca	39648				9912		0,0010	1691	7
Sakarya	Akyazı	83255	835222	167487	5	16695	2108	0,0011	1815	7
	Hendek	74890				15018		0,0010	1633	7
	Merkez	412994				82818		0,0055	9003	36
	Söğütli	14115				2830		0,0002	308	1
Tekirdağ	Çerkezköy	131723	728396	159569	5	28856	2498	0,0023	3717	15

İl	Müşteri	İN	İLN	İLHS	İLHOBS	İHS	İL-GSMH(\$)	GDÜAK	GDÜA	İGGÜA
	Çorlu	225244				49344		0,0039	6356	25
	Merkez	161136				35300		0,0028	4547	18
	Malkara	56484				12374		0,0010	1594	6
Uşak	Merkez	209033	334115	82802	4	51804	1436	0,0023	3836	15
	Ulubey	15315				3795		0,0002	281	1
Yalova	Merkez	102871	181758	42765	4	24204	3463	0,0026	4322	17

Ek 2 Müşteri-İTM arası mesafeler (km)

İTM No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Müşteri no															
1	321	250	528	225	689	338	377	361	327	349	100	309	370	592	312
2	313	213	335	445	280	336	374	361	333	295	293	301	335	301	449
3	318	338	503	113	681	425	464	450	340	385	185	313	232	397	584
4	319	254	508	596	598	342	381	365	401	301	101	307	328	622	501
5	332	476	424	225	637	601	640	624	157	619	422	184	120	523	672
6	273	416	364	185	577	542	582	565	98	560	372	125	157	464	613
7	293	422	455	126	664	498	538	522	130	570	415	156	99	635	601
8	282	423	371	173	584	551	591	575	107	569	356	135	147	473	622
9	130	130	149	372	352	394	434	418	141	412	347	126	345	289	465
10	99	143	170	288	344	230	131	130	273	248	252	238	425	97	301
11	93	235	106	328	300	144	184	167	340	115	126	130	365	249	429
12	86	147	166	289	337	353	393	377	167	371	306	142	371	231	424
13	120	145	168	287	339	249	148	148	293	267	272	257	445	78	321
14	0	151	207	288	411	270	310	294	173	279	221	137	392	382	310
15	251	160	410	339	429	173	213	197	271	126	66	348	411	332	131
16	250	120	371	320	424	160	208	191	399	118	83	368	431	112	527
17	266	128	379	367	413	157	197	181	450	77	127	406	477	71	317
18	246	95	366	399	479	139	179	163	417	139	110	381	544	382	102
19	174	29	263	355	386	96	136	120	349	114	157	314	501	255	167
20	193	45	270	346	393	140	180	164	369	103	100	333	410	299	132
21	160	12	272	345	395	139	179	163	335	117	134	300	445	298	147
22	142	8	254	340	390	134	174	157	318	152	155	282	470	293	205
23	143	47	256	331	392	136	260	243	382	153	70	329	517	221	151
24	151	0	271	437	420	135	259	242	322	132	173	286	541	375	159
25	138	5	251	341	392	136	175	159	314	153	155	278	466	295	207
26	104	258	76	343	234	322	302	320	233	344	348	207	436	170	398

İTM No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Müşteri no															
27	116	258	84	356	287	383	302	320	200	401	336	167	396	455	224
28	110	173	85	383	231	299	355	373	267	317	321	222	462	371	168
29	219	257	10	442	211	321	299	297	279	390	405	245	474	444	148
30	207	271	0	495	217	322	279	297	325	399	428	335	554	188	430
31	288	437	440	0	706	450	490	474	224	538	289	206	145	668	501
32	263	324	420	23	692	436	475	459	207	398	234	180	248	423	454
33	276	300	443	52	667	411	451	435	235	374	194	204	164	409	571
34	243	308	399	43	677	421	461	445	192	384	219	160	132	409	434
35	341	409	497	57	767	511	551	535	275	488	285	258	119	500	531
36	239	392	211	708	112	258	216	233	379	327	485	359	583	85	381
37	411	420	211	697	0	267	225	243	534	340	589	544	763	140	377
38	266	132	317	448	265	21	49	33	449	80	236	406	594	134	169
39	314	181	260	497	213	58	19	38	490	127	285	454	642	112	180
40	301	168	278	484	228	44	11	25	477	114	272	441	629	131	167
41	301	168	272	484	225	44	11	25	477	114	272	441	629	124	167
42	296	163	275	479	228	45	17	25	471	114	267	436	624	128	167
43	296	162	281	478	230	38	14	19	471	108	266	435	623	133	161
44	286	152	294	468	244	28	27	11	461	98	256	425	613	147	151
45	307	173	316	489	264	42	48	32	490	111	277	447	634	165	168
46	286	153	288	469	237	32	21	15	461	101	257	426	613	141	155
47	284	150	288	466	237	33	21	15	459	102	254	423	611	140	155
48	299	166	280	482	230	42	13	22	474	111	270	439	626	133	165
49	293	160	285	476	234	36	18	16	468	105	263	432	620	138	159
50	265	131	315	447	265	44	15	20	471	108	266	404	592	168	132
51	297	164	282	480	231	40	15	21	472	109	268	437	624	134	163
52	299	165	283	481	232	41	16	22	474	111	269	438	626	135	164
53	279	145	304	461	253	24	37	21	454	93	249	418	606	156	147
54	289	155	288	471	238	32	21	6	464	101	259	428	616	141	154

İTM No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Müşteri no															
55	261	127	322	443	272	16	56	39	436	74	231	400	598	175	128
56	319	186	278	502	226	61	15	33	503	130	290	459	647	184	130
57	266	132	314	448	263	18	47	30	441	80	236	405	593	166	133
58	255	122	322	438	272	16	55	39	431	69	226	395	583	175	123
59	298	165	300	481	249	41	33	15	474	111	269	438	626	152	164
60	287	153	291	470	240	30	24	0	462	99	257	426	614	144	153
61	250	116	332	432	281	25	65	49	425	63	220	389	577	184	117
62	285	151	303	467	252	20	36	20	460	89	255	424	612	155	143
63	282	149	295	465	244	24	28	17	457	93	253	422	609	147	147
64	293	160	287	476	237	42	21	23	468	112	264	433	620	140	165
65	329	196	248	512	202	70	34	51	504	142	300	469	657	101	195
66	342	209	251	525	200	85	43	61	526	154	213	482	670	208	103
67	329	196	245	512	199	72	33	51	504	141	300	501	667	98	195
68	270	137	319	453	269	6	53	36	445	73	241	410	597	172	127
69	303	170	361	486	310	53	93	77	487	72	274	443	631	105	213
70	180	323	272	233	485	448	488	472	53	466	322	65	261	362	494
71	186	328	278	239	491	454	494	478	14	472	328	47	211	376	525
72	204	347	297	257	510	473	513	516	52	510	366	86	231	414	564
73	167	313	271	231	484	438	478	462	4	456	312	32	203	360	509
74	182	326	276	226	489	452	491	475	10	469	325	45	199	377	523
75	260	402	265	312	578	528	568	552	88	546	402	125	289	454	603
76	186	328	254	248	467	454	494	478	11	472	328	47	220	404	525
77	194	337	287	247	500	463	503	486	105	481	337	86	306	321	478
78	186	329	286	224	499	454	494	478	64	472	428	75	271	392	524
79	189	332	281	223	494	457	497	481	8	475	331	51	196	379	529
80	206	349	299	259	512	475	515	498	30	493	349	68	231	397	546
81	180	323	261	245	474	449	489	472	6	467	323	42	217	371	520
82	177	319	277	227	490	445	485	469	24	463	311	38	199	367	516

İTM No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Müşteri no															
83	185	328	278	234	491	454	494	477	0	450	334	36	229	505	481
84	185	324	247	254	460	447	490	474	29	468	335	59	237	397	530
85	190	333	283	243	496	459	498	482	17	476	332	52	215	381	530
86	194	337	287	242	500	463	502	486	76	480	337	104	159	385	534
87	234	284	183	682	85	195	153	170	458	264	388	386	661	53	318
88	266	246	179	662	63	222	180	198	458	291	450	430	654	345	73
89	498	521	222	682	66	242	200	218	502	311	470	474	697	365	95
90	354	365	222	714	62	242	199	217	551	551	570	561	780	121	358
91	291	157	393	429	342	126	166	91	506	41	194	470	555	285	53
92	264	130	395	410	344	62	102	85	415	35	184	380	499	221	56
93	283	150	385	417	334	78	118	102	458	13	194	416	526	231	56
94	288	154	389	410	160	83	123	107	463	16	188	397	503	259	54
95	234	150	385	418	337	78	118	102	458	0	249	414	669	243	37
96	261	128	396	406	338	89	129	113	437	20	181	401	529	248	57
97	221	173	404	289	589	239	278	262	334	249	0	316	434	492	212
98	217	633	404	251	493	237	277	261	330	193	5	298	362	205	397
99	132	160	317	181	541	285	325	309	225	248	113	194	273	276	307
100	137	286	245	206	544	410	450	434	36	414	316	0	255	515	445
101	90	233	247	196	428	407	447	382	50	425	239	53	239	430	281
102	151	294	316	173	479	400	460	443	61	438	267	30	184	491	342
103	122	264	241	205	445	390	430	414	67	408	272	23	254	462	312
104	154	297	310	133	491	422	462	446	101	440	226	70	184	404	345
105	385	527	475	207	668	627	667	650	230	645	449	257	111	549	698
106	330	473	475	111	802	713	753	737	323	651	491	351	121	635	706
107	377	470	522	119	734	668	706	604	256	543	426	367	124	652	638
108	377	520	521	152	734	645	685	669	255	580	420	283	52	567	635
109	392	541	597	145	763	598	638	622	229	669	434	255	0	734	646
110	229	372	377	128	644	609	649	632	165	627	381	192	63	531	680

İTM No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Müşteri no															
111	329	472	474	112	687	598	638	621	208	516	405	302	76	587	620
112	335	200	435	431	384	140	170	165	510	50	220	500	560	310	25
113	343	209	444	441	394	137	178	161	518	56	225	506	571	320	31
114	310	159	435	501	377	135	175	159	481	37	212	445	646	280	0
115	337	204	439	436	388	132	172	156	512	51	215	497	561	312	26
116	251	332	119	531	131	135	93	11	568	205	362	531	719	62	257
117	225	282	180	598	138	150	108	126	403	220	378	368	555	37	273
118	382	375	148	668	140	174	132	150	505	243	492	515	734	0	280
119	197	305	145	481	105	235	193	210	381	304	462	361	585	59	358
120	278	311	389	152	634	325	365	349	211	390	141	193	297	605	353
121	268	300	379	142	624	320	360	340	200	380	135	185	290	595	345
122	216	69	323	568	405	41	81	64	387	65	236	351	606	308	102

Ek 3 100 çözüm için TB, GA ve MGATB sonuçları

No	TB		GA		MGATB	
	Uygunluk	Süre (sn)	Uygunluk	Süre (sn)	Uygunluk	Süre (sn)
1	1,561	4,844	1,211	5,953	1,029	18,281
2	1,231	5,000	1,144	5,906	1,033	18,375
3	1,247	5,016	1,213	5,938	1,142	18,344
4	1,216	4,828	1,029	5,891	1,033	18,328
5	1,237	4,797	1,033	5,859	1,030	18,281
6	1,553	4,844	1,032	5,938	1,205	18,297
7	1,260	4,969	1,205	5,891	1,030	18,281
8	1,551	5,000	1,218	5,922	1,205	18,094
9	1,248	4,859	1,171	5,938	1,212	18,109
10	1,542	4,797	1,033	5,875	1,032	18,344
11	1,435	4,938	1,205	5,891	1,215	18,547
12	1,538	4,734	1,030	5,859	1,216	18,234
13	1,247	4,797	1,033	5,859	1,030	18,313
14	1,438	4,922	1,029	5,906	1,213	18,422
15	1,247	5,063	1,031	5,969	1,217	18,328
16	1,556	4,750	1,030	5,969	1,030	18,391
17	1,242	4,984	1,216	5,844	1,034	18,359
18	1,782	4,969	1,031	5,938	1,031	18,375
19	1,260	4,719	1,029	5,922	1,030	18,422
20	1,455	4,750	1,034	5,859	1,206	18,391
21	1,449	4,969	1,034	5,906	1,030	18,281
22	1,223	4,859	1,029	5,922	1,030	18,359
23	1,242	4,766	1,033	5,828	1,029	18,250
24	1,554	4,703	1,029	5,891	1,205	18,344
25	1,543	4,797	1,206	5,906	1,213	18,406
26	1,448	4,922	1,034	5,953	1,212	18,484
27	1,436	4,734	1,140	5,859	1,034	18,344
28	1,552	4,859	1,029	5,938	1,029	18,453
29	1,559	4,938	1,034	5,875	1,205	18,359
30	1,225	4,813	1,205	5,922	1,029	18,313
31	1,229	4,734	1,029	5,875	1,212	18,172
32	1,268	4,859	1,036	5,891	1,032	18,500
33	1,220	4,766	1,206	5,906	1,143	18,438
34	1,230	4,734	1,032	5,953	1,143	18,281
35	1,248	4,813	1,141	5,859	1,220	18,453
36	1,245	4,813	1,150	5,938	1,205	18,281
37	1,456	4,844	1,147	5,891	1,205	18,422
38	1,227	4,781	1,207	5,938	1,234	18,422
39	1,548	4,734	1,047	5,906	1,213	18,344
40	1,542	4,984	1,030	5,906	1,205	18,313
41	1,257	4,719	1,030	5,844	1,205	18,313
42	1,218	4,844	1,142	5,891	1,142	18,344
						18,422
43	1,550	4,859	1,029	5,844	1,205	

No	TB		GA		MGATB	
	Uygunluk	Süre (sn)	Uygunluk	Süre (sn)	Uygunluk	Süre (sn)
44	1,261	4,938	1,036	5,938	1,216	18,328
45	1,243	4,984	1,033	5,891	1,033	18,328
46	1,459	4,828	1,213	5,984	1,033	18,313
47	1,552	4,781	1,030	5,906	1,030	18,344
48	1,545	4,766	1,033	5,891	1,205	18,313
49	1,553	4,891	1,206	5,906	1,039	18,266
50	1,556	4,984	1,148	5,938	1,523	18,391
51	1,542	4,969	1,032	5,844	1,032	18,422
52	1,783	4,734	1,032	5,891	1,216	18,344
53	1,538	4,984	1,030	5,906	1,032	18,422
54	1,556	4,828	1,029	5,891	1,212	18,375
55	1,165	4,766	1,029	5,875	1,206	18,359
56	1,234	4,969	1,205	5,953	1,030	18,250
57	1,548	4,734	1,030	5,922	1,216	18,297
58	1,479	4,797	1,209	5,938	1,029	18,438
59	1,552	4,859	1,205	5,891	1,212	18,156
60	1,231	5,016	1,207	5,906	1,030	18,375
61	1,585	4,813	1,216	5,922	1,030	18,359
62	1,242	4,766	1,030	5,875	1,032	18,313
63	1,546	4,813	1,037	5,938	1,030	18,313
64	1,233	5,000	1,046	5,938	1,205	18,281
65	1,544	4,797	1,030	5,875	1,029	18,266
66	1,151	5,000	1,035	5,906	1,032	18,297
67	1,260	4,766	1,205	5,953	1,032	18,234
68	1,549	5,109	1,029	5,859	1,035	18,453
69	1,541	4,844	1,029	5,875	1,205	18,219
70	1,540	4,781	1,206	5,906	1,206	18,234
71	1,540	4,828	1,039	5,891	1,033	18,422
72	1,556	4,828	1,031	5,875	1,206	18,328
73	1,254	5,016	1,140	5,969	1,212	18,266
74	1,257	5,000	1,033	5,844	1,030	18,266
75	1,466	5,031	1,205	5,953	1,030	18,438
76	1,236	4,984	1,205	5,875	1,205	18,281
77	1,261	4,875	1,031	5,906	1,030	18,281
78	1,254	4,813	1,030	5,906	1,523	18,391
79	1,555	5,031	1,031	5,953	1,140	18,469
80	1,237	5,031	1,205	5,906	1,029	18,297
81	1,550	4,766	1,029	5,875	1,032	18,359
82	1,541	4,844	1,031	5,875	1,207	18,266
83	1,549	4,875	1,029	5,891	1,030	18,391
84	1,535	5,156	1,032	5,922	1,029	18,328
Kısıtlar						
85	sağlanamadı	5,031	1,205	5,906	1,032	18,281
86	1,252	4,891	1,031	5,906	1,205	18,219
87	1,270	4,766	1,037	6,016	1,031	18,422

TB			GA		MGATB	
No	Uygunluk	Süre (sn)	Uygunluk	Süre (sn)	Uygunluk	Süre (sn)
88	1,464	5,000	1,032	5,875	1,215	18,469
89	1,562	4,859	1,216	5,953	1,213	18,391
90	1,556	4,906	1,029	5,891	1,219	18,422
91	1,560	4,906	1,029	5,891	1,205	18,484
92	1,235	5,031	1,029	5,844	1,029	18,422
93	1,543	4,859	1,140	5,922	1,205	18,297
94	1,549	4,781	1,031	5,891	1,206	18,422
95	1,791	5,078	1,035	5,906	1,029	18,234
96	1,248	4,984	1,034	5,875	1,036	18,406
97	1,219	5,016	1,032	5,922	1,033	18,344
98	1,450	4,938	1,030	5,813	1,029	18,219
99	1,576	4,922	1,147	5,953	1,029	18,266
100	1,558	5,016	1,031	5,875	1,212	18,313

KAYNAKLAR

- Al-Jarrah, O., Abu-Qdais, H., (2006) "Municipal solid waste landfill siting using intelligent system", *Waste Management*, 26 (3), 299-306.
- ArosteGUI Jr., M.A., Kadıpaşaoğlu, S.N., Khumawala, B.M., (2006) "An empirical comparison of Tabu Search, Simulated Annealing, and Genetic Algorithms for facilities location problems", *International Journal of Production Economics*, 103: 742-754.
- Badri, M.A. (1999), "Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location-allocation problem", *International Journal of Production Economics*, 62: 237-248.
- Barros, A.I., Dekker, R., Scholten, V. (1998), "A two-level network for recycling sand: A case study", *European Journal of Operational Research*, 110: 199-214.
- Beasley, J.E., Chu, P.C. (1996), "A genetic algorithm for the set covering problem", *European Journal of Operational Research*, 94(2): 392-404.
- Biehl, M., Prater, E., Relff, M.J. (2007), "Assessing performance and uncertainty in developing carpet reverse logistics systems", *Computers and Operations Research*, 34(2):443-463.
- Bodenhofer, U. (2004), *Genetic Algorithms: Theory and Applications*, Ders Notları, Fuzzy Logic Laboratorium Linz, Hagenberg.
- Candia-Vejar, A., Bravo-Azlan, H. (2004), "Performance Analysis of Algorithms for the Steiner Problem in Directed Networks", *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 18: 67-72.
- Carter, A.E., Ragsdale, C.T. (2006), "A new approach to solving the multiple travelling salesman problem using genetic algorithms", *European Journal of Operational Research*, 175: 246-257.
- Chams, M., Hertz, A., de Werra, D. (1987), "Some experiments with simulated annealing for coloring graphs", *European Journal of Operational Research*, 32(2): 260-266.
- Chan, F.T.S., Au, K.C., Chan, L.Y., Lau, T.L. (2007), "Using genetic algorithms to solve quality-related bin packing problem", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23(1): 71-81.
- Chatterjee, S., Carrera, C., Lynch, L.A. (1996), "Genetic algorithms and travelling salesman problems", *European Journal of Operational Research*, 93(3): 490-510.
- Chen, C.-T., (2000), "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment", *Fuzzy Sets and Systems*, 114 (1): 1-9.
- Chen, C.-T., (2001), "A fuzzy approach to select the location of the distribution center", *Fuzzy Sets and Systems*, 118 (1): 65-73.
- Chen, K.J., Ji, P. (2007), "A genetic algorithm for dynamic advanced planning and scheduling (DAPS) with a frozen interval", *Expert Systems with Applications*, 33(4): 1004-110.
- Cho, H-S., Paik, C-H., Yoon, H-M., Kim, H-Y. (2005), "A robust design of simulated annealing approach for mixed-model sequencing", *Computers & Industrial Engineering*,

48(4): 753-764.

Chu, M-T., Shyu, J., Tzeng, G-H., Khosla, R. (2007), "Comparison among three methods for knowledge communities group-decision analysis", *Expert Systems with Applications*, 33(4): 1011-1024.

Cui, J., Forssberg, E. (2003), "Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review", *Journal of Hazardous Materials B99*: 243-263.

Davis, L., (1991), *Handbook of Genetic Algorithms*, Chapter 2. Van Nostrand Reinhold, New York.

de Brito, M.P., Dekker, R., Flapper, S.D.P. (2003), *Reverse logistics-A review of case studies*, ERIM Report Series Research in Management, ERS-2003-012-LIS.

Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., Wassenhove, L.N.W., (2004), *Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Dobos, I. (2003), "Optimal production-inventory strategies for a HMMS-type reverse logistics system", *International Journal of Production Economics* 81–82: 351–360.

Doong, S-H., Lai, C-C., Wu, C-H. (2007), "Genetic subgradient method for solving location-allocation problems", *Applied Soft Computing*, 7(1): 373-386.

Dowsland, K. (1993), *Simulated annealing*, in *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*, New York, John Wiley & Sons.

Eiben, A.E., Smith, J.E. (2003), *Introduction to Evolutionary Computing*, Springer.

Ferguson, N., Browne, J. (2001), "Issues in end-of-life product recovery and reverse logistics", *Production Planning and Control*, 12(5): 534-547.

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

Fleischmann, M., Krikke, H.R., Dekker, R., Flapper, S.D.P. (2000), "A characterisation of logistics networks for product recovery", *Omega*, 28: 653-666.

Fleischmann, M., Kuik, R. (2003), "On optimal inventory control with independent stochastic item returns", *European Journal of Operational Research*, 151: 25-37.

Franke, C., Basdere, B., Ciupek, M., Seliger, S. (2006), "Remanufacturing of mobile phones-capacity, program and facility adaptation planning", *Omega* 34: 562-570.

Gen, M., Cheng, R (1997), *Genetic Algorithms and Engineering Optimization*, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley&Sons, Inc., New York.

Goldberg D.E., Lingle, R. (1985), "Alleles, loci and the travelling salesman problem", *Proc. Of International Conference on Genetic Algorithms and their applications*, Lawrance Erlbaum Associates, Hillsdale, N.J., 154-159.

Goldberg, D.E. (1989), *Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning*, Addison-Wesley.

- Güngör, A., Gupta, S.M. (1999), "Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey", *Computers and Industrial Engineering*, 36: 811-853.
- Hale, T.S., Moberg, C.R. (2003), "Location Science Research: A Review", *Annals of Operations Research*, 123: 21-35.
- Haouari, M., Siala, J.C. (2006), "A hybrid Lagrangian genetic algorithm for the prize collecting Steiner tree problem", *Computers&Operations Research*, 33(5): 1274-1288.
- He, R.S., Hwang, S.F. (2006), "Damage detection by an adaptive real-parameter simulated annealing genetic algorithm", *Computers and Structures*, 84: 2231-2243.
- Ishibuchi, H., Misaki, S., Tanaka, H. (1995), "Modified simulated annealing algorithms for the flow shop sequencing problem", *European Journal of Operational Research*, 81(2): 388-398.
- Jaramillo, J.H., Bhadury, J., Batta, R.(2002), "On the use of genetic algorithms to solve location problems", *Computers and Operations Research*, 29: 761-779.
- Jharkharia, S., Shankar, R., (2007), "Selection of logistics service providers: An analytic network process (ANP) approach", *Omega*, 35 (3), 274-289.
- Jwo, W.S., Liu, C.W., Liu, C.C. (1991), "Large-scale optimal VAR planning by hybrid simulated annealing/genetic algorithm", *Electrical Power and Energy Systems*, 21: 39-44.
- Kahraman, C., Ruan, D., Doğan, İ. (2003), "Fuzzy group decision making for facility location selection", *Information Sciences*, 157: 135-153.
- Karagiannidis, A., Moussiopoulos, N., (1998), "A model generating framework for regional waste management taking local peculiarities explicitly into account", *Location Science*, 6 (1-4): 281-305.
- Kiesmüller, G.P. (2003), "A new approach for controlling a hybrid stochastic manufacturing/remanufacturing system with inventories and different leadtimes", *European Journal of Operational Research*, 147: 62-71.
- Kirkpatrick, S., Jr., C. G., Vecchi, M. (1983), "Optimization by simulated annealing", *Science*, 220.
- Kleber, R., Minner, S., Kiesmüller, G. (2002), "A continuous time inventory model for a product recovery system with multiple options", *International Journal of Production Economics*, 79:121-141.
- Klose, A., Drexl, A. (2005), "Facility location models for distribution system design", *European Journal of Operational Research*, 162: 4-29.
- Ko, H.J. ve Evans, G.W. (2007), "A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs", *Computers&Operations Research* 34(3): 709-723.
- Korugan, A., Gupta, S.M. (1998), "A multi-echelon inventory system with returns", *Computers and Industrial Engineering*, 35(1-2): 145-148.
- Krikke, H.R., van Harten, A., Schuur, P.C. (1999), "Business case Roteb: recovery strategies

for monitors”, *Computers and Industrial Engineering*, 36: 739-757.

Kröger, B. (1995), “Guillotineable bin packing: A genetic approach”, *European Journal of Operational Research*, 84(3): 645-661.

Krumwiede, D.W., Sheu, C. (2002), A model for reverse logistics entry by third party providers, *Omega* 30: 325-333.

Kun, Z., Heng, W., Feng-Yu, L. (2005), “Distributed multicast routing for delay and delay variation-bounded Steiner tree using simulated annealing”, *Computer Communications*, 28(11): 1356-1370.

Lebreton, B., Tuma, A. (2006), “A quantitative approach to assess the profitability of car and truck tire remanufacturing”, *International Journal of Production Economics* 104: 639-652.

Lee, D.H., Cao, Z., Meng, Q. (2007), “Scheduling of two-transit systems for loading outbound containers in port container terminals with simulated annealing algorithm”, *International Journal of Production Economics*, 107(1): 115-124.

Lewis, J.E., Ragade, R.K., Kumar A., Biles, W. (2005), “A distributed chromosome genetic algorithms for bin-packing”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 21(4-5): 486-495.

Lin, F.T. (2008), “Solving the knapsack problem with imprecise weight coefficients using genetic algorithms”, *European Journal of Operational Research*, 185(1): 133-145.

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.

Louis, S.J., Li, G. (2000), “Case injected genetic algorithms for travelling salesman problems”, *Information Sciences*, 122 (2-4), 201-225.

M'Hallah, R. (2007), “Minimizing total earliness and tardiness on a single machine using a hybrid heuristic”, *Computers & Operations Research*, 34: 3126-3142.

Mahadevan, B., Pyke, D.F., Fleischmann, M. (2003), “Periodic review, push inventory policies for remanufacturing”, *European Journal of Operational Research*, 151: 536-551.

Mahler, C.F., De Lima, G.S., (2003), “Applying value analysis and fuzzy logic to select areas for installing waste fills”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 84 (1-2), 129-140.

Martin, C.H. (2009), “A hybrid genetic algorithm/mathematical programming approach to the multi-family scheduling problem with lot streaming”, *Omega*, 37(1): 126-137.

Meiri, R., Zahavi, J. (2006), “Using simulated annealing to optimize the feature selection problem in marketing applications”, *European Journal of Operational Research*, 171(3): 842-858.

Metropolis, N., Rosenbluth, A., Rosenbluth, M., Teller, A., Teller, E. (1953), “Equation of state calculations by fast computing machines”, *Journal of Chemical Physics*, 21: 1087-1092.

Min, H., Jeung Ko, H., Seong Ko, C. (2006), “A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns”, *Omega*. 34(1), 46-69.

Mitchell, M. (2002), *An Introduction to Genetic Algorithms*, A Bradford Book, The MIT

Pres, Cambridge, Massachusetts, London, England.

Moon, C., Kim, J., Choi, G., Seo, Y. (2002), "An efficient genetic algorithm for travelling salesman problem with precedence constraints", *European Journal of Operational Research* 140: 606-617.

Nagurney, A., Toyasaki, F. (2005), "Reverse supply chain management and electronic waste recycling: a multitiered network equilibrium framework for e-cycling", *Transportation Research Part E*, 41: 1-28.

Partovi, F.Y. (2006), "An analytic model for locating facilities strategically", *OMEGA-International Journal of Management Science*, 34(1): 41-55.

Pati, R.K., Vrat, P., Kumar, P. (2006), "Economic analysis of paper recycling vis-a-vis wood as raw material", *International Journal of Production Economics*, 103: 489-508.

Peng, T., Huanchen, W., Dongme, A. (1998), "Simulated annealing for the quadratic assignment problem: A further study", *Computers&Industrial Engineering*, 31(3-4), 925-928.

Ravi, V., Shankar, R., Tiwari, M.K. (2005), "Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach", *Computers&Industrial Engineering*, 48: 327-356.

Reeves C.R., (1993), *Modern heuristic techniques for combinatorial problems*. John Wiley&Sons, Inc. New York, Toronto.

Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R.S., *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*, 1998, Reverse Logistics Executive Council.

Ruiz, R., Maroto, C. ve Alcaraz, J. (2006), "Two new robust genetic algorithms for the flowshop scheduling problem", *Omega*, 34(5): 461-476.

Saaty, T.L., (1989), *Group decision making and the AHP*, Golden, B.L., Wasil, E.A., Harker, P.T., *The Analytic Hierarchy Process: Application and Studies*. Springer, Berlin.

Saaty, T.L., (1999). "Fundamentals of the Analytic Network Process", *ISAHP 1999*, Kobe, Japan, August 12-14.

Safaei, N., Saidi-Mehrabadi, M., Jabal-Ameli, M.S. (2008), "A hybrid simulated annealing for solving an extended model of dynamic cellular manufacturing system", *European Journal of Operational Research*, 185(2): 563-592.

Serrato, M., S. M. Ryan, J. Gaytan. (2003), *Characterization of reverse logistics networks for outsourcing decisions*. White paper, Iowa State University

Shadram, S., Kianfar, F. (2007), "A genetic algorithm for resource investment Project scheduling problem, tardiness permitted with penalty", *European Journal of Operational Research*, 181(1): 86-101.

Sharma, M., Ammons, J.C., Hartman, J.C. (2007), "Asset management with reverse product flows and environmental considerations", *Computers&Operations Research*, 34(2):464-486.

Shih, L.H. (2001), "Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan", *Resources, Conservation and Recycling*, 32: 55-72.

- Shyur, H.J., (2006), "COTS evaluation using modified TOPSIS and ANP", *Applied Mathematics and Computation*, 177 (1): 251-259.
- Shyur, H.J., Shih, H.S., (2006), "A hybrid MCDM model for strategic vendor selection", *Mathematical and Computer Modeling*, 44 (7-8): 749-761.
- Solar, M., Parada, V., Urrutia, R. (2002), "A paralel genetic algorithm to solve the set-covering problem", *Computers&Operations Research*, 29(9): 1221-1235.
- Spengler, T., Puchert, H., Penkuhn, T., Rentz, O. (1997), "Environmental integrated introduction and recycling management", *European Journal of Operational Research*, 97 (2): 308-326.
- Sun, M. (2006), "Solving the uncapacitated facility location problem using tabu search", *Computers and Operations Research*, 33: 2563-2589.
- Şen, Z. (2004), *Genetik Algoritmalar ve En İyileme Yöntemleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Safaei, N. ve Y. Gholipour (2006), "A hybrid simulated annealing for capacitated vehicle routing problems with the independent route length", *Applied Mathematics and Computation*, 176(2): 445-454.
- Tuzkaya, G., Gulsun, B. (2008), "Evaluating centralized return centers in a reverse logistics network: an integrated fuzzy multi-criteria decision approach", *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 5 (3): 339-352.
- Tuzkaya, G., Önüt, S., Tuzkaya, U.R., Gülsün, B., (2008), "An analytic network process approach for locating undesirable facilities: An example from Istanbul, Turkey", *Journal of Environmental Management*, 88(4): 970-983.
- Tzeng, G., Lin, C., Opricovic, S., (2005), "Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation", *Energy Policy*, 33 (11): 1373-1383.
- Uyar, S. (2006), *Natural Inspired Computing Ders Notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü.
- Vals, V., Ballestin, F., Quintanilla, S. (2008), "A hybrid genetic algorithm for the resource constraint project scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, 185(2): 495-508.
- Vasiloglou, V.C., (2004). "New tool for landfill location", *Waste Management Researches*, 22 (6): 427-439.
- Wang, T.-C., Chang, T.-H., (2007), "Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment", *Expert Systems with Applications*, 33 (4): 870-880.
- Weise, T. (2008), *Global Optimization Algorithms-Theory and Application*, 2nd Edition, Elektronik Kitap.
- Whitley, D., Starkweatjer, T., Shaner, D. (1991), *The traveling salesman and sequence scheduling: quality solutions using genetic edge recombination*, *Hadbook of genetic algorithms*. Van Nostrand Reinhold, New York, 350-572.
- Yanez, J., Ramirez, J. (2003), "The robust coloring problem", *European Journal of*

Operational Research, 148(3): 546-558.

Yao, R., Yang, B., Cheng, G., Tao, X. ve Meng, F. (2003), “Kinetics research for the synthesis of branch ether using genetic-simulated annealing algorithm with multi-pattern evolution”, Chemical Engineering Journal, 94:113-119.

Yoo, M., Gen, M. (2007), “Scheduling algorithm for real-time tasks using multiobjective hybrid genetic algorithm in heterogeneous multiprocessors system”, Computers & Operations Research, 34: 3084-3098.

Yu, H., Fang, H., Yao, P. ve Yuan, Y. (2000), “A combined genetic/simulated annealing algorithm for large scale system energy integration”, Computers and Chemical Engineering, 24: 2023-2035.

INTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0024:0038:EN:PDF>

[2] <http://www.kobi.mynet.com/pdf/BeyazEsys.pdf>

[3] <http://www.kgm.gov.tr/il1.asp>

[4] www.map24.com

[5] www.tuik.gov.tr

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 15.02.1980

Doğum yeri Samsun

Lise 1993-1997 Samsun Tülay Başaran Anadolu Lisesi

Lisans 1997-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fak.,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2002-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Endüstri Müh. Anabilim Dalı

Yüksek Lisans 2002-2005 İstanbul Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler
Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı

Doktora 2004-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Endüstri Müh. Anabilim Dalı

Çalıştığı kurum(lar)

2002-Devam ediyor YTÜ, Makine Fakültesi, Araştırma Görevlisi