



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**DOKTORA TEZİ**

**TERSİNE TEDARİK ZİNCİRİ HARİTALAMA VE  
SÜREÇ OPTİMİZASYONU**

**Zeynep GERİN**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Endüstri Mühendisliği Programı**

**Danışman**

**Prof. Dr. Şakir ESNAF**

**Temmuz, 2015**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 01/07/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Jürisi:**



Prof. Dr. Şakir ESNAF (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Semra BİRGÜN  
Beykent Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Alp BARAY  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Ferhan ÇEBİ  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
İşletme Fakültesi

## ÖNSÖZ

Beni akademisyen olma hedefime yaklaştıran tüm doktora sürecim ve tez çalışmam boyunca, paylaştığı bilgi, tecrübe ve yardımları ile geliştiren, birlikte akademik bir katkı üretmekten onur duyduğum danışman hocam Prof.Dr. şakir ESNAF'a,

Tez ara raporlarım boyunca verdikleri destek ve yönlendirmelerinden dolayı, tez izleme komitemdeki değerli hocalarım Prof. Dr. Semra BİRGÜN ve Prof.Dr. Alp BARAY'a,

Uygulama verisini sağlayan İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.ř. (İSTAÇ) yöneticileri ile süreci anlamamda yardımcı olarak zamanlarını benden esirgemeyen, çok meşakkatli görevlerini son derece özveriyle gerçekleştirdiklerine şahit olduğum tüm çalışanlarına,

Akademisyenlik mesleğine geri dönmem için beni cesaretlendiren, öğrencisi olarak tanıştığım, yıllar sonra meslektaşı olarak aynı sınıfları gururla paylaştığım, gösterdiği yakın ilgi ve destekle, bu tez çalışması sırasında ve yirmiiki yıldır daima yanımda olan kıymetli hocam Prof.Dr. Tülin AKTİN'e,

Bu yolun başında bana inanan, güvenen, ilk sınıfımı teslim eden ve desteğini her zaman hissettiğim Prof.Dr. Güneş GENÇYILMAZ hocama,

Tezimde kullandığım çeşitli yöntemleri öğrenmemdeki katkılarından dolayı akademisyen arkadaşlarım Doç.Dr. Fadime Üney YÜKSEKTEPE, Yrd.Doç.Dr. Tarık KÜÇÜKDENİZ, Öğr.Gör. Nükhet TUNÇBİLEK ve sevgili kardeşim Burak DOĞRUÖZ'e,

Çalışmalarım boyunca beni göremedikleri günlerde gösterdikleri sonsuz anlayış, destek ve hayatıma değer katan varlıkları için sevgili eşim Levent ve biricik kızım Müge'ye,

Bütün başarılarımın özünde varolan annem Dr. Gülhiz DOĞRUÖZ ve babam Dr. Keramettin DOĞRUÖZ'e, aşıladıkları öğrenme ve öğretim aşkı ile emeklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Temmuz, 2015

Zeynep Doğruöz GERGİN

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ .....	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiv
SUMMARY .....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR .....	7
2.1. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ .....	7
2.2. TERSİNE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ (TTZY).....	10
2.2.1. TTZY Araştırma Konuları .....	12
2.2.2. TTZY’de Atık Yönetimi .....	13
2.2.3. TTZY’de Tersine Lojistik.....	16
2.2.4. Tersine Lojistik Araştırma Konuları .....	17
2.2.5. Tersine Lojistik için Tesis Yeri Seçimi Problemi (TYSP) .....	19
2.2.5.1. TYSP için kesin çözüm yöntemleri .....	21
2.2.5.2. TYSP için sezgisel/metasezgisel ve yapay zeka tabanlı yöntemler ....	22
2.2.5.3. Öbekleme ve öbekleme algoritmaları .....	23
2.2.5.4. Öbekleme algoritmalarının tesis yeri seçimi problemine uygulanması.....	29
2.2.6. Tersine Lojistik için Araç Rotalama Problemi (ARP).....	33
2.2.6.1. ARP için kesin çözüm yöntemleri.....	38
2.2.6.2. ARP için sezgisel/meta sezgisel çözüm yöntemleri.....	40

2.3.	YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ.....	42
2.4.	YALIN ÜRETİM YAKLAŞIMI İLE YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ .....	48
2.5.	DEĞER AKIŞ HARİTALAMA.....	51
2.5.1.	Değer Akış Haritası Sembolleri.....	53
2.5.2.	Değer Akış Haritası Çizim Adımları .....	56
2.5.3.	Yeşil Değer Akış Haritalama .....	57
<b>3.</b>	<b>MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>62</b>
3.1.	VERİ TOPLAMA VE ANALİZ .....	63
3.2.	MEVCUT DURUM DEĞER AKIŞ HARİTASI .....	64
3.3.	ÖBEKLEME .....	65
3.3.1.	Bulanık C-Ortalamlar (BCO) Algoritması.....	66
3.3.2.	Öz Düzenleyici Haritalar (ÖDH) Algoritması.....	67
3.3.3.	BCO ve ÖDH Algoritmalarına Ağırlık Merkezi Algoritmasının Eklenmesi (BCO-GM ve ÖDH-GM).....	69
3.3.4.	Tek İterasyonlu Bulanık C-Ortalamlar (Tİ-BCO) Algoritması .....	69
3.3.5.	Yapay Arı Kolonisi (YAK) Algoritması.....	71
3.4.	MATEMATİKSEL MODELLEME.....	74
3.4.1.	Araç Atama Modeli.....	75
3.4.1.1.	<i>Modelin İndisleri</i> .....	75
3.4.1.2.	<i>Modelin Parametreleri</i> .....	75
3.4.1.3.	<i>Modelin Karar Değişkenleri</i> .....	76
3.4.1.4.	<i>Modelin Formülasyonu</i> .....	76
3.4.2.	Araç Rotalama Modeli.....	78
3.4.2.1.	<i>Modelin İndisleri</i> .....	78
3.4.2.2.	<i>Modelin Parametreleri</i> .....	78
3.4.2.3.	<i>Modelin Karar Değişkenleri</i> .....	78
3.4.2.4.	<i>Modelin Formülasyonu</i> .....	79
3.5.	GELECEK DURUM DEĞER AKIŞ HARİTASI.....	82
3.6.	SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	83

3.7.	UYGULAMA ALANLARI .....	83
<b>4.</b>	<b>UYGULAMA VE BULGULAR.....</b>	<b>84</b>
4.1.	TIBBİ ATIKLARIN KONTROLÜ .....	85
4.1.1.	Tanımlar .....	85
4.1.2.	Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıkların Sınıflandırılması.....	87
4.1.3.	Tıbbi Atıkların Toplanması ve Taşınması .....	89
4.1.4.	Tıbbi Atıkların Bertaraf Edilmesi .....	92
4.2.	VERİ TOPLAMA VE ANALİZ .....	95
4.3.	MEVCUT DURUM DEĞER AKIŞ HARİTALARI .....	101
4.3.1.	Asya Yakası Mevcut Durum Değer Akış Haritası.....	101
4.3.2.	Avrupa Yakası Mevcut Durum Değer Akış Haritası.....	103
4.4.	ÖBEKLEME İLE STERİLİZASYON TESİSLERİNİN YERLERİNİN BELİRLENMESİ .....	105
4.4.1.	Bulanık C-Ortalamalar Algoritması (BCO) ile Öbekler.....	106
4.4.2.	Öz Düzenleyici Haritalar (ÖDH) ile Öbekler .....	108
4.4.3.	BCO ve ÖDH Algoritmalarına Ağırlık Merkezi Algoritmasının Eklenmesi ile Öbekler (BCO-GM ve ÖDH-GM).....	109
4.4.4.	Yapay Arı Kolonisi (YAK) Algoritması ile Asya Yakası Öbekleri .....	112
4.4.5.	Tek İterasyonlu Bulanık C-Ortalamalar (Tİ-BCO) Algoritması ile Avrupa Yakası Öbekleri .....	113
4.4.6.	Karşılaştırmalı Sonuçlar ve En İyi Öbekler .....	115
4.5.	MATEMATİKSEL MODELLEME İLE ARAÇLARIN ÖBEKLERE ATANMASI VE ROTALANMASI.....	124
4.5.1.	Araç Atama Modelinin Girdileri.....	124
4.5.1.1.	<i>Araçlar ve Taşıma Kapasiteleri (<math>q_k</math>)</i> .....	126
4.5.1.2.	<i>Öbeklerin Günlük Atık Miktarları (<math>cw_i</math>)</i> .....	127
4.5.2.	Araç Atama Modelinin Çıktıları .....	128
4.5.3.	Araç Rotalama Modelinin Girdileri .....	132
4.5.3.1.	<i>Öbekler (<math>I</math>) ve sistemdeki atık miktarları (<math>qh_i</math>)</i> .....	132
4.5.3.2.	<i>Hastaneler Arası Uzaklıklar (<math>d_{ij}</math>)</i> .....	137
4.5.3.3.	<i>Araç Tür ve Kapasiteleri (<math>q_k</math>)</i> .....	138
4.5.3.4.	<i>Günlük Zaman Sınırı (<math>TS</math>)</i> .....	138

4.5.3.5.	<i>Ortalama Araç Sürati (v)</i> .....	138
4.5.3.6.	<i>Atık Toplama Süresi (wt)</i> .....	139
4.5.4.	Araç Rotalama Modelinin Çıktıları .....	139
4.5.4.1.	<i>Asya Yakası Öbeklerinin Rotalama Sonuçları</i> .....	140
4.5.4.2.	<i>Avrupa Yakası Öbeklerinin Rotalama Sonuçları</i> .....	143
4.6.	GELECEK DURUM DEĞER AKIŞ HARİTALARI .....	150
4.6.1.	Asya Yakası Gelecek Durum Değer Akış Haritası.....	151
4.6.2.	Avrupa Yakası Gelecek Durum Değer Akış Haritası .....	153
4.7.	MEVCUT VE GELECEK DURUM DEĞER AKIŞ HARİTALARININ KARŞILAŞTIRILMASI .....	156
4.7.1.	Asya Yakası İçin MDAH ve GDAH Karşılaştırılması.....	156
4.7.2.	Avrupa Yakası İçin MDAH ve GDAH Karşılaştırılması .....	159
<b>5.</b>	<b>TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>162</b>
	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>167</b>
	<b>EKLER.....</b>	<b>184</b>
	EK 1. ARAÇ ATAMA MODELİ GAMS KODU VE ÖRNEK PROBLEM İLE MODELİN DOĞRULANMASI .....	184
	EK 2. ARAÇ ROTALAMA MODELİ GAMS KODU VE ÖRNEK PROBLEM İLE MODELİN DOĞRULANMASI .....	190
	EK.3. ASYA YAKASI HASTANELERİ ÖBEK VERİSİ.....	196
	EK 4. AVRUPA YAKASI HASTANELERİ ÖBEK VERİSİ .....	199
	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>203</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 2.1: TZY faaliyetleri (Charkha ve Jaju, 2014). .....	7
Şekil 2.2: TZY'nin tarihsel evrimi (Mangan ve diğ., 2008; Bagchi ve Skjoett-Larsen, 2005). ...	9
Şekil 2.3: TTZY faaliyetleri (Blackburn ve diğ., 2004). .....	11
Şekil 2.4: TTZY araştırma konuları (Sasikumar ve Kannan , 2009). .....	12
Şekil 2.5: Atık hiyerarşisi. ....	14
Şekil 2.6: Üretim stratejileri ve TTZY arasındaki ilişki (Jayal ve diğ., 2010). .....	16
Şekil 2.7: Tersine lojistik ve YTZY ortak faaliyet alanları (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001). .....	18
Şekil 2.8: YTZY'nin alt başlıkları (Srivastava, 2007). .....	45
Şekil 2.9: DAH örneği (Birgün ve Gülen, 2008). .....	52
Şekil 2.10: Yeşil DAH örneği 1 (Wills, 2009). .....	59
Şekil 2.11: Yeşil DAH örneği 2 (Sparks ve Bauderdeen, 2014). .....	61
Şekil 3.1: Çalışmanın metodolojisi. ....	62
Şekil 3.2: MDAH örneği. ....	65
Şekil 3.3: GDAH örneği. ....	82
Şekil 4.1: Uluslararası biyotehlike amblemi. ....	85
Şekil 4.2: Tıbbi atık torbası. ....	90
Şekil 4.3: Kesici-delici tıbbi atık kabı. ....	91
Şekil 4.4: Tıbbi atık taşıma aracı ve personeli. ....	92
Şekil 4.5: Tıbbi atık konteynerleri. ....	92
Şekil 4.6: Tıbbi atık yakma tesisi. ....	93
Şekil 4.7: Tıbbi atık sterilizasyon ünitesi şematik gösterimi. ....	94



Şekil 4.8: Sterilizasyon üniteleri.....	99
Şekil 4.9: İstanbul Asya yakası MDAH.....	102
Şekil 4.10: İSTAÇ Kemberburgaz sterilizasyon tesisi.....	103
Şekil 4.11: İstanbul Avrupa yakası MDAH.....	104
Şekil 4.12: Asya yakası hastanelerinin koordinatları.....	105
Şekil 4.13: Avrupa yakası hastanelerinin koordinatları.....	106
Şekil 4.14: Asya yakası hastanelerinin 2'li öbek dağılımı.....	118
Şekil 4.15: Asya yakası hastanelerinin 3'lü öbek dağılımı.....	119
Şekil 4.16: Asya yakası hastanelerinin 4'ü öbek dağılımı.....	120
Şekil 4.17: Avrupa yakası hastanelerinin 2'li öbek dağılımı.....	121
Şekil 4.18: Avrupa yakası hastanelerinin 3'lü öbek dağılımı.....	122
Şekil 4.19: Avrupa yakası hastanelerinin 4'lü öbek dağılımı.....	123
Şekil 4.20: Asya yakası öbek 1 hastaneleri (37 hastane).....	133
Şekil 4.21: Asya yakası öbek 2 hastaneleri (25 hastane).....	133
Şekil 4.22: Asya yakası öbek 3 hastaneleri (28 hastane).....	134
Şekil 4.23: Avrupa yakası öbek 1 hastaneleri (6 hastane).....	135
Şekil 4.24: Avrupa yakası öbek 2 hastaneleri (80 hastane).....	136
Şekil 4.25: Avrupa yakası öbek 3 hastaneleri (76 hastane).....	136
Şekil 4.26: Hastaneler arası uzaklık hesaplama uygulaması ekran görünümü.....	137
Şekil 4.27: İstanbul Asya yakası GDAH.....	153
Şekil 4.28: İstanbul Avrupa yakası GDAH.....	156

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

<b>Tablo 2.1:</b> Tedarik zinciri performans ölçütleri (Günasekaran ve diğerleri, 2004). .....	8
<b>Tablo 2.2:</b> YTZ’de dikkat edilmesi gereken faktörler (Büyükozan ve Vardaloğlu, 2008). .....	46
<b>Tablo 2.3:</b> İstisraf türleri ve doğal çevre üzerindeki etkileri (US-EPA, Ekim 2003). .....	49
<b>Tablo 2.4:</b> YTZ’de israf kalemleri (Vincent, 2009). .....	50
<b>Tablo 2.5:</b> DAH sembolleri (Nash ve Poling, 2008; Jones ve Womack, 2009). .....	53
<b>Tablo 2.6:</b> DAH’da kullanılabilir sürdürülebilir üretim ölçütleri (Paju ve diğ., 2010). .....	60
<b>Tablo 4.1:</b> Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıklar (Tıbbi atıkların kontr.yönetmeliği, 2005). .....	88
<b>Tablo 4.2:</b> Sağlık kuruluşlarında atıkların biriktirilmesi. ....	89
<b>Tablo 4.3:</b> Tıbbi atıkların toplanması ve bertarafı sürecindeki YTZ israf kalemleri. ....	95
<b>Tablo 4.4:</b> Asya yakası araç bilgileri (12.03.2014 itibarıyla). ....	97
<b>Tablo 4.5:</b> Avrupa yakası araç bilgileri (12.03.2014 itibarıyla). ....	98
<b>Tablo 4.6:</b> Sterilizasyon ünitesi işlem ve sarf bilgileri (1 ünite için) .....	99
<b>Tablo 4.7:</b> Yakma tesisi işlem ve sarf bilgileri (tüm tesis için) .....	100
<b>Tablo 4.8:</b> Asya yakası BCO öbekleme algoritması sonuçları. ....	107
<b>Tablo 4.9:</b> Avrupa yakası BCO öbekleme algoritması sonuçları. ....	107
<b>Tablo 4.10:</b> Asya yakası ÖDH öbekleme algoritması sonuçları. ....	108
<b>Tablo 4.11:</b> Avrupa yakası ÖDH öbekleme algoritması sonuçları. ....	109
<b>Tablo 4.12:</b> Asya yakası BCO-GM öbekleme algoritması sonuçları. ....	110
<b>Tablo 4.13:</b> Asya yakası ÖDH-GM öbekleme algoritması sonuçları. ....	110
<b>Tablo 4.14:</b> Avrupa yakası BCO-GM öbekleme algoritması sonuçları. ....	110
<b>Tablo 4.15:</b> Avrupa yakası ÖDH-GM öbekleme algoritması sonuçları. ....	111

<b>Tablo 4.16:</b> Asya yakası YAK öbeleme algoritması sonuçları. ....	112
<b>Tablo 4.17:</b> Avrupa yakası YAK öbeleme algoritması sonuçları. ....	113
<b>Tablo 4.18:</b> Avrupa yakası katı atık aktarma istasyonları ve koordinatları. ....	114
<b>Tablo 4.19:</b> Avrupa Yakası Tİ- BCO öbeleme algoritması sonuçları. ....	114
<b>Tablo 4.20:</b> Asya yakası öbeleme sonuçları için toplam maliyetler. ....	115
<b>Tablo 4.21:</b> Asya yakası öbeleme sonuçları için toplam maliyetlerin kıyaslanması. ....	115
<b>Tablo 4.22:</b> Avrupa yakası öbeleme sonuçları için toplam maliyetler. ....	116
<b>Tablo 4.23:</b> Avrupa yakası öbeleme sonuçları için toplam maliyetlerin kıyaslanması. ....	116
<b>Tablo 4.24:</b> Avrupa yakası Tİ-BCO öbeleme sonuçları için toplam maliyetler. ....	117
<b>Tablo 4.25:</b> İSTAÇ araç filosu. ....	126
<b>Tablo 4.26:</b> Model araç girdileri ( $q_k$ ). ....	127
<b>Tablo 4.27:</b> Öbeklerden toplanan tıbbi atıkların günlere dağılımı. ....	127
<b>Tablo 4.28:</b> Atama modeli çıktıları (Model B. Minimum sayıda aracın kullanılması durumu). ....	128
<b>Tablo 4.29:</b> Atama modeli çıktıları (Model A. Tüm araçların kullanılması durumu-DP). ....	129
<b>Tablo 4.30:</b> Atama modeli çıktıları (Model A. Tüm araçların kullanılması durumu-Excel çözücü GA -açılım-). ....	129
<b>Tablo 4.31:</b> Atama modeli çıktıları (Model A-qmax. Tüm araçların kullanılması ve her öbeğe en az bir maksimum kapasiteli araç atama durumu-DP). ....	130
<b>Tablo 4.32:</b> Atama modeli çıktıları (Model A-qmax. Tüm araçların kullanılması ve her öbeğe en az bir maksimum kapasiteli araç atama durumu -Excel çözücü GA- açılım-). ....	130
<b>Tablo 4.33:</b> Atama modellerinin kapasite kullanım oranları. ....	131
<b>Tablo 4.34:</b> Asya yakası öbekleri (YAK algoritması sonuçları). ....	132
<b>Tablo 4.35:</b> Avrupa yakası öbekleri (Tİ-BCO algoritması sonuçları). ....	135
<b>Tablo 4.36:</b> Öbeklere ait araçlar ve kapasiteleri. ....	138
<b>Tablo 4.37:</b> Araçların türlerine göre yakıt sarf ve CO <sub>2</sub> emisyon değerleri. ....	139
<b>Tablo 4.38:</b> Asya yakası öbek 1 rotalama sonuçları. ....	140

<b>Tablo 4.39:</b> Asya yakası öbek 2 rotalama sonuçları. ....	141
<b>Tablo 4.40:</b> Asya yakası öbek 3 rotalama sonuçları. ....	142
<b>Tablo 4.41:</b> Asya yakası birleştirilmiş rotalama sonuçları. ....	143
<b>Tablo 4.42:</b> Asya yakası sonuçlarının eniyi sonuca uzaklık yüzdeleri. ....	144
<b>Tablo 4.43:</b> Avrupa yakası öbek 1 rotalama sonuçları. ....	144
<b>Tablo 4.44:</b> Avrupa yakası öbek 2 rotalama sonuçları. ....	145
<b>Tablo 4.45:</b> Avrupa yakası öbek 3 rotalama sonuçları. ....	147
<b>Tablo 4.46:</b> Avrupa yakası birleştirilmiş rotalama sonuçları. ....	149
<b>Tablo 4.47:</b> Avrupa yakası sonuçlarının eniyi sonuca uzaklık yüzdeleri. ....	150
<b>Tablo 4.48:</b> 12.03.2014 tarihinde toplanan tıbbi atık miktarları. ....	151
<b>Tablo 4.49:</b> Asya yakası sterilizasyon ve depolama adımları GDAH verisi. ....	152
<b>Tablo 4.50:</b> Avrupa sterilizasyon ve depolama adımları GDAH verisi. ....	154
<b>Tablo 4.51:</b> Asya yakası için MDAH ve GDAH değerleri. ....	157
<b>Tablo 4.52:</b> Avrupa yakası için MDAH ve GDAH değerleri. ....	160

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

### Öbekleme ve öbekleme algoritmalarında kullanılan simgeler;

Simgeler	Açıklama
$a_i$	: $i$ noktasının yatay eksenindeki konumu (YAK)
$b_i$	: $i$ noktasının dikey eksenindeki konumu (YAK)
$c$	: öbek sayısı (BCO, Tİ-BCO)
$d_{ij}$	: $i$ ve $j$ noktaları arasındaki uzaklık (YAK)
$d(X_j, P_i)$	: $i$ noktası ile öbek merkezi arasındaki uzaklık (YAK)
$fitness_i$	: $i$ çözümünün uygunluk değeri/kaynağın kalitesi (YAK)
$\phi_{ij=-1,1}$	: olasılık dağılımı ile belirlenen rassallık faktörü (YAK)
$\varphi(t)$	: zamana bağlı öğrenme limiti (ÖDH)
$\varepsilon$	: iterasyon durdurma parametresi (BCO)
$h_{j,i(x)}(t)$	: $i$ nöronundan $j$ nöronuna gidişi belirleyen komşuluk fonksiyonu(ÖDH)
$J(X,U,V)$	: veri noktalarının öbek merkezlerine olan uzaklıklarının toplamını veren amaç fonksiyonu (BCO, Tİ-BCO)
$k$	: kümelemede kullanılacak bir sonraki veri noktası(BCO, Tİ-BCO, YAK)
$\lambda$	: hedeflenen zaman limiti (ÖDH)
$\mu^{ik}$	: $i$ noktasının $k$ öbeğine ait olma derecesi (BCO, Tİ-BCO M)
$m$	: bulanıklaştırma parametresi (BCO, Tİ-BCO)
$n$	: parametre sayısı (BCO, Tİ-BCO)
$N$	: toplam veri sayısı (BCO, Tİ-BCO)
$P_i$	: $i$ noktasının sabit konumu (YAK)
$SN$	: görevli arı sayısı (YAK)
$t$	: şimdiki adım (ÖDH)
$x_{ij}$	: mevcut besin kaynağının $(i,j)$ boyutlarındaki lokasyonu (YAK)
$x_j$	: $j$ öbek merkezinin yatay eksenindeki konumu (YAK)
$X_j$	: $j$ öbek merkezinin değişken konumu $(x_j, y_j)$ (YAK)
$x_{min}^j$	: $j$ boyutunun minimum sınır değeri (YAK)
$x_{maks}^j$	: $j$ boyutunun maksimum sınır değeri (YAK)
$x_k$	: herbir parametre vektöründen oluşan matris (BCO, Tİ-BCO)
$x_{kj}$	: $j$ boyutunda rasgele seçilen $k$ komşu kaynağın lokasyonu (YAK)
$x(t)$	: hedeflenen giriş değeri (ÖDH)
$v_i$	: öbek merkezi (BCO, Tİ-BCO)
$v_{ij}$	: yeni aday kaynağın $(i,j)$ boyutlarındaki lokasyonu (YAK)
$w_j(t)$	: $j$ nöronunun şimdiki adım ağırlık vektörü (ÖDH)
$y_j$	: $j$ öbek merkezinin dikey eksenindeki konumu (YAK)
$z_{ij}$	: $i$ noktasının $j$ öbek merkezine atanma durumu (YAK)

## Matematiksel modellerde kullanılan simgeler;

Simgeler	Açıklama
$ct_i$	: $i$ öbeğinin toplam atığı toplamak için gereken süre
$cw_i$	: $i$ öbeğindeki toplam atık miktarı
$c_{ij}$	: $i$ düğümünden $j$ düğümüne gitmenin maliyeti
$C$	: müşteri düğümleri kümesi
$d_{ij}$	: $i$ ve $j$ düğümleri arasındaki uzaklık
$g$	: gün indisi
$IC$	: garaj ve atık üreten düğümler kümesi
$IY$	: geridönüşüm tesis düğümleri kümesi
$i$	: öbek indisi
$i,j$	: düğüm indisi
$k$	: araç indisi
$N$	: tüm düğümler kümesi
$qh_i$	: her $i$ düğümünde toplanan haftalık atık miktarı
$qh_{ig}$	: her $i$ düğümünde haftanın $g$ gününde toplanan atık miktarı
$qh_j$	: $j$ müşterisinin talebi
$q_k$	: $k$ aracının taşıma kapasitesi
$q_{max}$	: en yüksek araç kapasitesi
$S_i$	: $i$ öbeğindeki atamalar sonrası fazla kapasite
$t_k$	: $k$ aracının günlük maksimum çalışma süresi
$T_{ik}$	: $k$ aracının $i$ düğümüne varış zamanı
$TS$	: günlük zaman sınırı
$UC_k$	: $k$ aracının kullanılmamış kapasitesi
$v$	: ortalama araç sürati
$V$	: heterojen araçlar kümesi
$wt$	: atık toplama süresi
$y_{ij}$	: $i$ müşterisinden $j$ müşterisine akış
$x_{ik}$	: $k$ aracının $i$ düğümüne atandığını gösteren değişken
$x_{ijk}$	: $k$ aracının $i$ düğümünden sonra $j$ düğümünü ziyaret ettiğini gösteren değişken

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>ARP</b>	: Araç Rotalama Problemi
<b>BCO</b>	: Bulanık C-Ortalamalar
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit gazı
<b>DAH</b>	: Değer Akış Haritası
<b>dak</b>	: Dakika
<b>DP</b>	: Doğrusal Programlama
<b>EU</b>	: European Union (Avrupa Birliği)
<b>EVSM</b>	: Environmental Value Stream Map (Çevresel Değer Akış Haritası)
<b>GA</b>	: Genetik Algoritma
<b>GDAH</b>	: Gelecek Durum Değer Akış Haritası
<b>GIS</b>	: Geographic Information System (Coğrafi Bilgi Sistemi)
<b>GM</b>	: Gravite Merkezi
<b>İSTAÇ</b>	: İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş.
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>km</b>	: Kilometre
<b>KKP</b>	: Kurumsal Kaynak Planlama
<b>kW</b>	: Kilovat
<b>lt</b>	: Litre
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metreküp
<b>MDAH</b>	: Mevcut Durum Değer Akış Haritası
<b>MGP</b>	: Malzeme Gereksinim Planlama
<b>ÖDH</b>	: Öz Düzenleyici Haritalar
<b>PCB</b>	: Poliklorlu Bifenil
<b>PCT</b>	: Poliklorlu Terfenil
<b>sa</b>	: Saat
<b>Sus-VSM</b>	: Sustainable Value Stream Map (Sürdürülebilir Değer Akış Haritası)
<b>Tİ-BCO</b>	: Tek İterasyon Bulanık C-Ortalamalar
<b>TTZ</b>	: Tersine Tedarik Zinciri
<b>TTZY</b>	: Tersine Tedarik Zinciri Yönetimi
<b>TYSP</b>	: Tesis Yeri Seçimi Problemi
<b>TZY</b>	: Tedarik Zinciri Yönetimi
<b>YAK</b>	: Yapay Arı Kolonisi
<b>YTZ</b>	: Yeşil Tedarik Zinciri
<b>YTZY</b>	: Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi
<b>US-EPA</b>	: United States Environmental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Organizasyonu)

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

## TERSİNE TEDARİK ZİNCİRİ HARİTALAMA VE SÜREÇ OPTİMİZASYONU

Zeynep GERGİN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof.Dr. Şakir ESNAF

Tersine Tedarik Zinciri Yönetimi, ürünün ömrünü tamamlaması sebebiyle ıskartaya ayrılması ve bertaraf edilmesi, yeniden değerlendirilmesi veya geri kazanımı gibi farklı sebeplerle kaynağına dönüşünü yöneterek sadece ekonomik değil, ekolojik kazanımlar sağlanmasına da hizmet eder. Zincir boyunca kullanılan doğal kaynakların ve çıkan zararlı atıkların miktarını gösterecek şekilde düzenlenen yeşil değer akış haritası, tersine tedarik zinciri süreçlerinin yeşil bir bakış açısıyla yalınlaştırılmasında kullanılır. Özellikle yoğun nüfuslu şehirlerde oluşan atıkların toplanması, transferi, geri kazanımı/bertaraf edilmesi süreçlerinin yönetimi, atık noktalarının ve biriken atık miktarının fazla olması bakımından oldukça karmaşıktır ve yalınlaştırılma ihtiyacı vardır. Bu tez çalışması kapsamında, çok fazla atık noktası olan sistemlerde, atıkların toplanması ile başlayan ve işlenerek yeniden kullanılması veya düzenli depolanması ile biten tersine tedarik zincirlerindeki israf kalemlerinin yeşil tedarik zinciri yönetimi bakışıyla azaltılmasına yönelik bir metodoloji geliştirilmiştir. Önerilen metodoloji, toplum sağlığı üzerindeki etkileri bakımından yadsınamayacak öneme sahip olan tıbbi atıkların toplanması ve bertarafı süreci için uygulanmıştır.

Metodolojinin ilk adımında çizilen mevcut durum değer akış haritası ile sürecin iyileştirmeye açık alanları tespit edilmiştir. Daha sonra, farklı yapay zeka tabanlı öbikleme algoritmaları denenerek en uygun atık işleme/bertaraf tesis yerleri belirlenmiştir. Üçüncü aşamada belirlenen öbeklere araçların atanması ve atık noktalarından bu tesislere gelecek araçların katettikleri mesafeleri enküçükleyecek şekilde rotalanması için karma tamsayılı doğrusal programlama modelleri geliştirilmiştir. Metodolojinin son adımında, önerilen iyileştirmeler sonrası durumu gösteren gelecek durum değer akış haritası çizilerek haritalar karşılaştırılmış, süreç için belirlenmiş performans göstergeleri açısından sonuçlar değerlendirilmiştir.

Temmuz, 2015, 203 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Değer Akış Haritalama, Tersine Tedarik Zinciri Yönetimi, Yeşil Tedarik Zinciri, Süreç Optimizasyonu, Öbikleme, Araç Rotalama



## **SUMMARY**

**Ph.D. THESIS**

**REVERSE SUPPLY CHAIN MAPPING AND PROCESS OPTIMIZATION**

**Zeynep GERGİN**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Science and Engineering**

**Department of Industrial Engineering**

**Supervisor : Prof.Dr. Şakir ESNAF**

Reverse Supply Chain Management, serves not only for economical but also for environmental gains by managing the return of product for scraping and treating, reusing, or recycling at the end of its life. A green value stream map which is designed to display the amount of natural resources and environmentally harmful outputs along the chain, is used for the reverse supply chain processes to become leaner and greener. Especially managing the collection, transfer and recycling processes of the wastes accumulated in crowded cities is complicated due to the high number of supply points and large amount of waste quantities, and needs to be leaner. In this study, a methodology is developed to decrease the wastes in reverse supply chains, especially for those which has high number of waste supply points, which start with the collection of the wastes and end with reuse or landfill, with green supply chain management approach. The methodology is implemented for the collection and treatment of medical waste which has an undeniable importance due to its effect on the health of the society.

At the first step of the methodology, improvement opportunities are identified with a current state value stream map. Afterwards, optimum facility locations are identified through testing various artificial intelligence based clustering algorithms. At the third step, mixed integer linear programming models are developed for allocating vehicles to the clusters and routing in them. Future state value stream maps showing the improvements are drawn and compared, the results are evaluated with respect to performance indicators defined for the process at the last step of the methodology.

July, 2015, 203 pages.

**Keywords:** Value Stream Mapping, Reverse Supply Chain Management, Green Supply Chain, Process Optimization, Clustering, Vehicle Routing

## 1. GİRİŞ

Tedarik zinciri yönetimi (TZY), müşteri ihtiyaçlarını karşılamak ve sistemin toplam maliyetini en aza indirebilmek üzere, malzeme ve ürünlerin doğru miktarlarda üretilmesini, doğru yerlere doğru zamanda ve miktarda dağıtılmasını sağlayacak şekilde, tedarikçileri, üreticileri, depoları ve perakendecileri bütünleştirecek tekniklerden oluşmaktadır. TZY, bu tesis ve aktörler arasında tedarikçilerden müşterilere doğru oluşan ileri akışlarla ilgilidir. Tersine Tedarik Zinciri Yönetimi (TTZY) ise müşteriden ürünün kaynağına dönüşünü yönetir. Geriye doğru akışlar ürünün ömrünü tamamlaması sebebiyle ıskartaya ayrılması ve bertaraf edilmesi, yeniden değerlendirilmesi veya geri kazanımı, garanti hükümleri bağlamında tamir edilmesi veya değiştirilmesi gibi farklı sebeplerle olabilir. Üreticisine dönen ürünler tamir etme, düşük kalite olarak satma, parça alma, yeniden üretim veya geri dönüştürme gibi işlemlerle değerlendirilebilir.

TTZY sadece ekonomik değil ekolojik kazanımlar sağlanmasına da hizmet eder. Öncelikle geri dönüşüm büyük bir getiri kaynağıdır ve dünyadaki kaynakların çok daha verimli bir şekilde kullanımını ve refahı da beraberinde getirme potansiyelini içinde taşımaktadır. Bu milyonlarca galon petrolün, çeliğin ve başka madenlerin tasarrufunu da beraberinde getirmektedir. Maliyetlerini düşürebilecek yöntemlerin arayışında olan organizasyonlar, kullanılmış ürünlerde arta kalan ekonomik değer, ürüne yeniden değer eklenerek veya eklenmeden tekrar kullanılabilmesini sağlamak için geriye akışı desteklemekte ve TTZY gittikçe önem kazanmaktadır.

TTZY'nin önem kazanmasının bir başka sebebi de, tüketicilerin çevreyle ilgili konularda gün geçtikçe bilinçlenmesi ve çevreye daha az zarar veren ürünlere yönelmeleridir. Bu durum organizasyonların doğal kaynaklardan yararlanmada ve çevreye verilen zararda duyarlılık geliştirmeleri sonucunu doğurmuştur. Diğer taraftan, son yıllarda iklim değişiklikleri gibi etkilerle kendini gösteren küresel ısınma ve dünya kaynakların azalması sorunları, hükümetleri çeşitli önlemler almaya yöneltmiştir. 1979 yılında ilki düzenlenen Dünya İklim Konferansı'ndan bu yana düzenlenen çeşitli

konferanslar ve imzalanan antlaşmalar ile tüm sanayilerin tedarik zinciri faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerini dikkate almalarını sağlayan yaptırımlar uygulanmaya başlanmıştır. Avrupa Birliği ülkelerinde gerçekleştirilen yeni yasal düzenlemeler, üreticilere “genişletilmiş üretici sorumluluğu” kavramı kapsamında yeni yükümlülükler getirmektedir. Bu sorumluluk çerçevesinde yayınlanan direktifler kapsamında üreticiler, ekonomik ömrünü tamamlamış bir ürünün yeniden kazanımını ve/veya bunun teknolojik ya da ekonomik olarak mümkün olmadığı durumlarda uygun şekilde bertarafını garanti altına almak zorundadırlar. Birçok işletme, gerek yasalara uyum sağlamak zorunluluğundan, gerekse çevresel anlamda yanlış yönetimler sonucu yaşadıkları veya yaşayabilecekleri finansal, yasal ve kamuoyu tepkisini bertaraf ederek tüketicinin gözündeki imajlarını olumlu tutmak uğruna geri dönüş politikaları uygulamaktadır.

Tedarik zincirinde çevreye duyarlı yaklaşım literatürde Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi (YTZY) olarak adlandırılmaktadır. TZY kavramına yeşil sıfatının eklenmesiyle kapsamı genişletilmiş ve işletmenin faaliyetlerinin her basamağında çevre duyarlılığını içerecek şekilde yapılması gündeme gelmiştir. Bu bağlamda yeşil yönetim yaklaşımı tedarik zincirlerindeki hem ileriye, hem de geriye doğru akışlardaki kaynakların ve çevreye olan etkilerin azaltılmasına odaklanmıştır.

Yalın Üretim ve YTZY'nin tedarik zinciri boyunca israfı azaltmayı amaçlamaları bağlamında birbirini destekledikleri ifade edilebilir. Yalın Üretim felsefesinde malın veya hizmetin üretimi için gerekli olmayan, değer katmayan işlemler, gereksiz malzeme hareketleri, gereksiz işgücü hareketleri, gereksiz stoklar, hatalar, uzun hazırlık süreleri ve gereğinden fazla üretim israf olarak adlandırılır. Bu yedi israf türü süreç analizine, etkinlik-verimliliğe, istatistiksel süreç kontrolüne ve sorun çözme tekniklerine dayanan farklı metodolojiler ile ortadan kaldırılmaya çalışılarak üretim sisteminin yalınlaştırılarak iyileştirilmesi hedeflenir. Değer Akış Haritalama (DAH), bu yalınlaşma sürecini yönetmek için faydalanılan görsel bir tekniktir; ürün gerçekleştirme süreçlerindeki temel akışlar boyunca ihtiyaç duyulan katma değer yaratan/yaratmayan tüm faaliyetler ürün bazında incelenerek, israf olarak adlandırılan kayıplar ve kaynakları belirlenmekte ve sistem geliştirme planlaması yapılmaktadır.

Yalın Üretim yedi ana başlık altında topladığı israf kalemlerini azaltmak amacındayken, YTZY sekiz başlık altında gruplanan çevresel israfların - su, elektrik, gaz, yeryüzü kaynaklarının girdi olarak kullanımı ile sürecin emisyon, kullanılmış ürün, hammadde, yan ürün çıktılarının- azaltılmasını amaçlar. Yalın Üretim metodlarından geleneksel Değer Akış Haritası (DAH), YTZY’nde zincir boyunca kullanılan doğal kaynakların ve çıkan zararlı atıkların miktarını gösterecek şekilde düzenlenerek, YTZY süreçlerinin yalınlaştırılmasına hizmet edebilir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, TZY süreçlerinin yalınlaştırılması ve optimizasyon modellerinin önerilmesine yönelik çeşitli çalışmalar olduğu görülmektedir. Yalın Üretim yaklaşımı ile süreçlerin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar literatürde sıklıkla yer almaktadır ve uygulamada da çoğunlukla fabrika içi maliyetleri düşürme amacına hizmet etmiştir. Ancak, artan ihtiyaçlar çalışmaları fabrika sınırları dışına taşıyarak tedarik zinciri süreçlerinin iyileştirilmesi hedefine getirmiştir. Bu bağlamda tedarik zincirinin elemanları ve bunlar arasındaki akışları ele alan çalışmalar yapılmıştır.

Son yıllarda artan çevre bilinci ve pek çok ülkede uygulanan yasalar neticesinde, özellikle müşteriden ürünün kaynağına dönüşünü yöneten tersine zincirin yönetimindeki süreçlerin YTZY bakışı ile iyileştirilmesine dair çalışmaların çoğalmakta olduğu görülmektedir. Bu bağlamda yeşil tasarım, tersine lojistik ve şebeke tasarımı alanlarında çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların büyük bölümü birinci yaşam döngüsünü tamamlamış ürünlerin orijinal kaynaklarına dönmelerini incelemekte, ürünlerin geri kazanımının sistemin amaçlarına uygunluğunu ile ekonomik ve çevresel faydalarını değerlendirmektedir. Ancak ekonomik ömrünü tamamlamış atıkların orijinal kaynağına dönmediği durumlarda, atıkların merkezi idari birimlerin sorumluluğunda toplanarak bertaraf edilmesi kapsamındaki TTZY faaliyetlerinin YTZY ile incelenmesine dair çalışmalar sınırlı sayıdadır.

Özellikle yoğun nüfuslu şehirlerde oluşan atıkların toplanması, transferi, geri kazanımı ve bertaraf edilmesi süreçlerinin yönetimi oldukça karmaşıktır ve dikkat gerektirmektedir. Bu tez çalışması kapsamında bu tür TTZ’nin yeşil yönetim bakışıyla yalınlaştırılması için bir metodoloji geliştirilmiştir. Bu amaçla, çok sayıda atık noktası

olan sistemlerde, atıkların toplanması ile başlayan ve işlenerek yeniden kullanılması veya düzenli depolanması ile biten TTZ'lerdeki israf kalemlerinin, Yalın Üretim metodlarından DAH ile analiz edilerek iyileştirilmesine yönelik bir yaklaşım önerilmiştir.

İlk adımda çizilen mevcut durum DAH ile sürecin iyileştirmeye açık alanları tespit edilir. Buna uygun olarak, öncelikle çok sayıda atık biriktirme noktasından toplanan atıklar için toplama ve geri kazanım/ bertaraf süreçlerinin optimizasyonu için şehrin çeşitli yerlerine merkezi işleme ve aktarma tesisleri kurulması önerisi değerlendirilmektedir. Daha sonra farklı öbekleme algoritmaları denenerek performansı en yüksek algoritmanın sonucuna göre uygun tesis yerleri belirlenir. Heterojen bir araç filosu havuzundan öbeklere dağıtılacak araçlar için yazılan iki atama modeli araçların atıl kapasitelerini en küçüklemeyi amaçlar. Bu modellerden biri servis kabiliyetini arttıracak şekilde araçların tümünü, diğeri ise işletim maliyetlerini azaltacak şekilde en az sayıda aracı öbeklere atamaktadır. Bir sonraki adımda, öbeklere atanan araçların atık noktalarını dolaşarak tesislere dönüşündeki karbondioksit ( $CO_2$ ) salımını en küçükleyecek rotalarını belirlemek için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Yüksek sayıda atık noktasının olması sözkonusu araç rotalama probleminin polinom zamanda kesin sonucu veren algoritmalarla çözülemeyen, polinomiyal olmayan-zor (NP-Zor) nitelikte olmasına neden olmaktadır (Bjorndal, 1991). Dolaşılacak nokta sayısı arttıkça problem karmaşıklaşmakta ve çözüm süresi üssel ( $10^n$ ) biçimde artmaktadır (Nuriyev ve Sadıgova, 2002). Bu sebeple GAMS yazılımında kodlanan modelin belirlenen öbekler için haftanın her günü için ayrı olarak çalıştırılması öngörülmüştür. Böylece hem çözüm süresi kısaltılmakta, hem de uygulamadaki değişken talep yapısının sistemin tümüne etki etmeden adapte edilebilmesi sağlanmaktadır. Metodolojinin son adımı, önerilen iyileştirmeler sonrası durumu gösteren gelecek durum DAH'nın çizilmesi, mevcut ve gelecek durumların süreç için belirlenmiş yeşil tedarik zincirindeki israf kalemlerinin performans göstergeleri açısından karşılaştırılmasıdır.

Çalışmanın uygulama aşamasında, önerilen metodoloji, toplum sağlığı üzerindeki etkileri bakımından yadsınamayacak bir öneme sahip olan tıbbi atıkların toplanması ve bertarafı süreçlerine uygulanmıştır. Bu kapsamda, İstanbul ilinde tıbbi atıkların

hastanelerden toplanmasıyla başlayan, zararlı etkilerinin ortadan kaldırılarak düzenli depolanmasıyla biten tersine tedarik zinciri süreçleri ele alınmıştır.

Bu çalışma ile akademik literatüre yapılması hedeflenen katkılar şöyle sıralanabilir;

- Yalın üretim felsefesinin ve DAH metodunun TTZY'ne entegrasyonu sağlayan literatüre bir çalışma eklenmiştir.
- DAH'nın TTZ'de yeşil tedarik zincirindeki israf kalemleri temel alınarak çizilmesi konusunda, literatürdeki sayılı çalışmalardan olmaya adaydır.
- TTZ'de tesis yeri seçimi, araç atama ve rotalama problemlerinin DAH ile entegre edilerek incelendiği ilk çalışmadır.
- DAH, Tek İterasyon Bulanık C-Ortalamlar (Tİ-BCO) ve Yapay Arı Kolonisi (YAK) öbikleme algoritmaları ilk kez sağlık verisine uygulanmıştır.
- Önerilen metodoloji sadece tıbbi atıklar için değil, atık biriktirme noktaları yüksek sayıda olan, NP-zor nitelikli ve çok sayıda başlık altındaki (katı atık, tehlikeli atık, tıbbi atık, ambalaj atığı, atık yağ, atık pil ve akümülatör, bitkisel atık yağ, hafriyat ve inşaat atığı, PCB ve PCT'li atıklar, ömrünü tamamlamış lastikler, ömrünü tamamlamış araçlar, atık elektrikli ve elektronik eşya gibi) tüm atık toplama ve işleme/bertaraf süreçlerine uygulanabilir.

Tezin giriş bölümünü izleyen ikinci bölümünde çalışmanın kavramsal altyapısına dair genel bilgi verilmiştir. Bu bölümde TZY, TTZY, YTZ, Yalın Üretim, DAH konu başlıkları ve bu konularda yapılan çalışmalar anlatılmıştır. İkinci bölümde ayrıca TTZ kapsamındaki tesisler için yer seçimi ve yerseçiminde kullanılan öbikleme algoritmaları ile araç rotalama problemleri tanıtılmış ve literatür taraması verilmiştir.

Üçüncü bölüm çalışmanın metodolojisinden oluşur; toplanan atıkların geri dönüş sürecinin mevcut ve önerilen gelecek durumlarının YTZ israf kalemleri gözetilerek haritalanmasını, atıkların geri dönüşüm veya bertarafı için kurulacak en uygun tesis yerlerinin çeşitli öbikleme algoritmaları yardımıyla karşılaştırılarak belirlenmesini, atık toplama ve transfer sürecinin optimizasyonu için önerilen modelleri içerir. Bu bölüm

altında, atık miktarları ve koordinat verisi kullanılarak, beş farklı öbikleme algoritmasının atık ve uzaklık parametrelerinden oluşan maliyet performansları değerlendirilmiş, en düşük maliyeti veren algoritmalar ile atık noktaları öbekenerek merkezi atık işleme tesislerinin yerlerini belirlemek için kullanılacak algoritma seçilmiştir. Öbikleme sonuçları metodolojinin sonraki modelleme adımında kullanılmaktadır. Modelleme adımı karma tamsayı matematiksel modellerden oluşur. Atama modelleri ile araç havuzundaki araçlar belirlenen öbeklere atanır, rotalama modeli ile ise atanan araçların öbek içi optimum rotaları belirlenir.

Dördüncü bölümde önerilen metodoloji İstanbul ilinin Asya ve Avrupa yakalarındaki yirmi yatak ve üzeri hastanelerde oluşan tıbbi atıkların toplanması, transferi ve bertaraf edilmesi adımlarından oluşan tersine tedarik zinciri sürecine uygulanmıştır. İstanbul'da bu süreç büyükşehir belediyesine bağlı olan, İSTAÇ (İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş.) tarafından yürütülmektedir. Öncelikle veri alınan bir gün için sürecin mevcut durum Değer Akış Haritası (MDAH) çizilerek iyileştirmeye açık YTZ israf kalemleri gösterilmiştir. Daha sonra seçilen öbikleme algoritmaları ile her iki yakadaki hastaneler ayrı ayrı öbekenerek tıbbi atıkların düzenli depolamaya aktarılmadan önce işleneceği tesis yerleri belirlenmiştir. Önerilen atama ve rotalama modelleri ile İSTAÇ tarafından kullanılan tıbbi atık toplama araçlarının öbeklere ataması ve rotalaması yapılmıştır. Süreçte yapılan iyileştirmeler gelecek durum Değer Akış Haritası (GDAH) üzerinde gösterilmiştir. Dördüncü bölümün sonunda, GDAH ve MDAH kullanılarak sürecin YTZ israf kalemlerindeki iyileştirme belirlenen performans ölçütleriyle hesaplanmıştır.

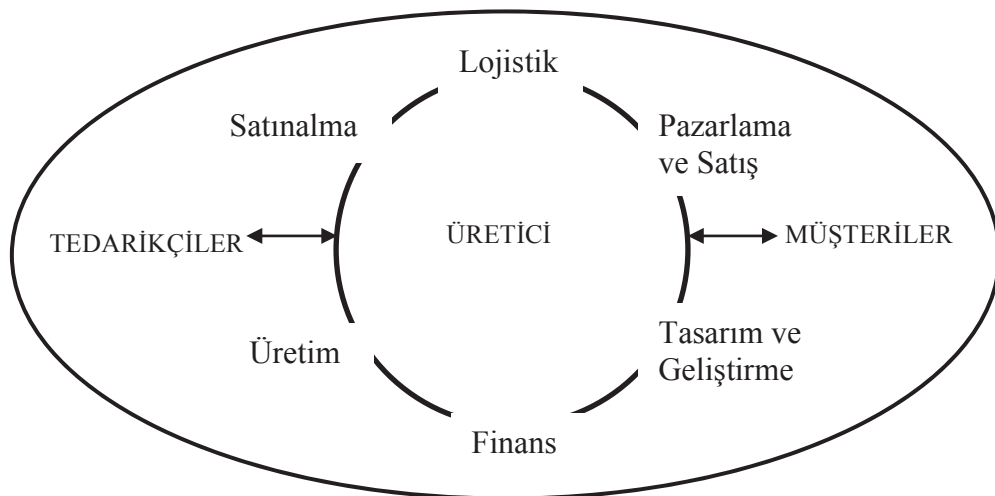
Beşinci bölümde bulgular tartışılarak uygulamanın sonuçları açıklanmış, gelecek dönem çalışmaları önerilmiştir.

## 2. GENEL KISIMLAR

Bu bölümde tezin teorik alt yapısını oluşturan konular açıklanmakta, konu başlıkları altında bu alanlarda ve tezin kapsamı bağlamında yapılan çalışmalara dair literatür taraması sonuçları sunulmaktadır.

### 2.1. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY) hammaddelerin tedarikçiden satın alınmasıyla başlayan ve nihai ürünün hedef müşterilere teslimatına kadar olan tüm faaliyetleri içeren süreçlerdeki malzeme, kaynak ve bilgi akışının zincirdeki tüm müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak ve sistemin toplam maliyetini en aza indirmek amacıyla yönetilmesidir (Charkha ve Jaju, 2014; Mangan ve diğ., 2008; Tan ve diğ., 1999; Saunders, 1998; Kopczak, 1997) . Bu amaçla malzeme ve ürünlerin ihtiyaç duyulan miktarda üretilmesini, talep merkezlerine doğru zamanda ve miktarda iletilmesini sağlayacak şekilde, tedarikçileri, üreticileri, depoları ve perakendecileri bütünleştirecek tekniklerden oluşmaktadır (Chopra ve Meindl, 2010). Charkha ve Jaju (2014), TZY'nin amacının Şekil 2.1'de gösterilen tüm tedarik zinciri faaliyetleri için atıkların ve çevrim sürelerinin azaltılması ile kaynakların etkinliğinin sağlanması olarak özetler.



Şekil 2.1: TZY faaliyetleri (Charkha ve Jaju, 2014).



TZY’de amaçların gerçekleştirilme derecesi çeşitli performans ölçütleri ile değerlendirilir. Chan ve Qi (2003) tedarik zincirinin süreçleri için, tedarik sürecinin stratejileri ve önceliklerine göre performans ölçütlerinin belirlenmesi gerektiğini belirtir ve tedarik zinciri için performans ölçütlerini girdi, çıktı ve karma olmak üzere üç boyutta gruplar. Girdi ölçütleri, süre ve maliyet; çıktı ölçütleri, son ürünle ilgili üretim esnekliği, dağıtım hızı, müşteri isteklerini karşılayabilme derecesi gibi değerlendirmeleri kapsamaktadır. Karma ölçütler ise, genel olarak süreçlerin verimliliği ve etkinliğidir. Günasekaran ve diğerleri (2004), tedarik zinciri için performans ölçütlerini planlama, kaynak yönetimi, üretim ve teslimat faaliyetleri için stratejik, taktik ve operasyonel olmak üzere üç seviyede incelemişlerdir. Günasekaran ve diğerlerinin performans ölçütleri gruplandırması Tablo 2.1 de verilmiştir. Stratejik seviye üst yönetimin kararlarını etkileyen ölçütlerdir. Taktik seviyede gruplanan ölçütler stratejik seviyede belirlenen hedeflerin gerçekleştirilmesini değerlendirir ve orta derece yönetimin kaynak atama kararlarını yönlendirir. Operasyonel ölçütler ise en alt seviye kararların etkinliğini değerlendirir.

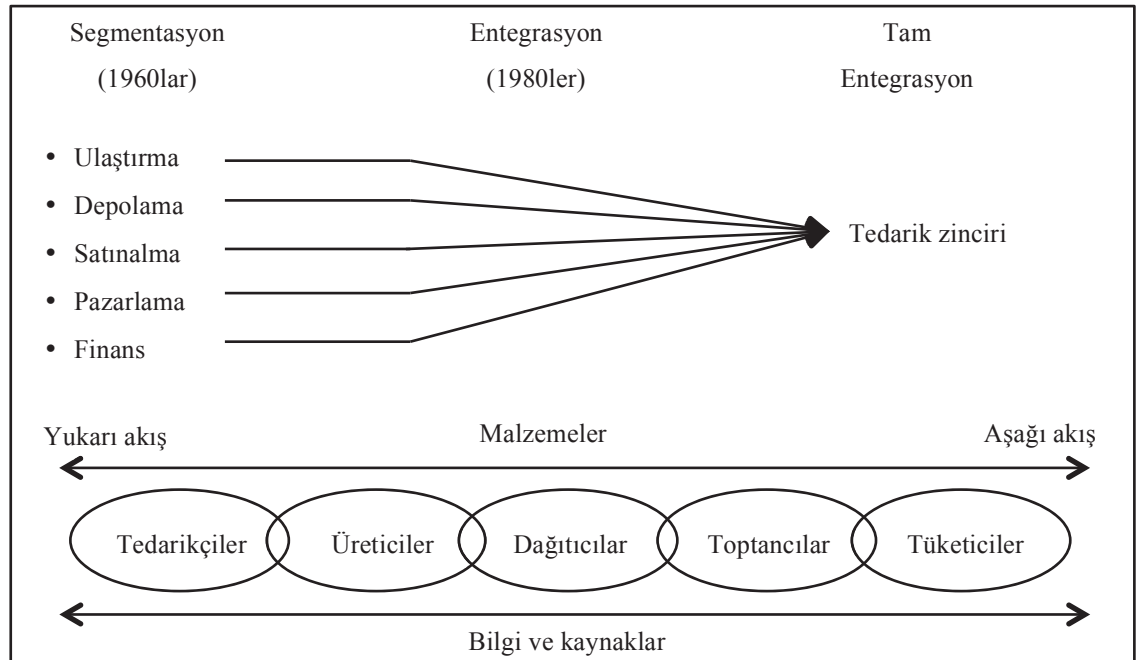
**Tablo 2.1:** Tedarik zinciri performans ölçütleri (Günasekaran ve diğerleri, 2004).

	Stratejik	Taktik	Operasyonel
Planlama	Ürünün algılanan değeri, sipariş teslim süresi, toplam çevrim süresi, nakit akışı, ürün geliştirme süresi	Müşteri sıra bekleme süresi, tahmin sistemlerinin tutarlılığı, insan kaynağı üretkenliği, planlama süreçlerinin çevrim süresi	Sipariş giriş yöntemleri, insan kaynağı üretkenliği
Kaynak		Tedarikçi teslimat performansı, tedarikçi fiyatları, satınalma siparişlerinin çevrim süresi	Satınalma siparişlerinin çevrim süresi, tedarikçi fiyatları
Üretim	Ürün çeşitliliği	Hata oranı, operasyon birim zaman maliyeti, kapasite kullanımı, ekonomik sipariş miktarı	Hata oranı, operasyon birim zaman maliyeti, insan kaynağı üretkenliği
Teslimat	Esneklik, dağıtım planlama etkinliği	Esneklik, fatura etkinliği, teslimattaki ürün oranı, teslimat güvenilirlik oranı	Teslim edilen ürün kalitesi, zamanında teslimat, hatasız fatura, acil teslimat oranı, teslimat güvenilirlik oranı

Chopra ve Meindl (2010) tedarik zincirlerinin performans ölçütlerini altı ana başlık altında toplar;

1. Tesis ile ilişkili ölçütler; kapasite, kapasite kullanımı, birim üretim maliyeti, çevrim süresi, ürün çeşitliliği, atıl süre, kalite kayıpları, vb.
2. Bilgi ile ilişkili ölçütler; Planlama ufku, revize sıklığı, tahmin hatası, mevsimsel faktörler vb.
3. Stok ile ilişkili ölçütler; ortalama stok, stok dönüşüm hızı, ortalama emniyet stoğu, mevsimsel stok, depo doluluk oranı, vb.
4. Fiyat ile ilişkili ölçütler; Kar marjı, sipariş başına sabit maliyet, sipariş başına değişken maliyet, ortalama satış fiyatı, ortalama sipariş büyüklüğü, vb.
5. Kaynak ile ilişkili ölçütler; Ortalama satınalma maliyeti, satınalma fiyatı aralığı, ortalama satınalma miktarı, zamanında teslimat oranı, tedarik kalitesi, tedarik çevrim süresi, tedarikçi güvenilirliği, vb.
6. Ulaştırma ile ilişkili ölçütler; ortalama ulaştırma maliyeti, ortalama yükleme, vb.

1980'lere kadar ayrı yönetilen ulaştırma, depolama, satınalma, pazarlama ve finans süreçleri, birleştirilmeye başlanmış ve günümüzde Şekil 2.2'de gösterilen haliyle, bu süreçleri bütünsel olarak ele alan tedarik zinciri yönetimi anlayışına evrilmiştir (Mangan ve diğ., 2008; Bagchi ve Skjoett-Larsen, 2005).



Şekil 2.2: TZY'nin tarihsel evrimi (Mangan ve diğ., 2008; Bagchi ve Skjoett-Larsen, 2005).

TZY'nin pek çok farklı faaliyetin yönetimini ve birbiriyle entegrasyonunu içermesi literatürde farklı disiplinler altında farklı kapsamlarda çalışılmasına sebep olmuştur. Bazı araştırmalar (Saunders, 1998; Vickery ve diğ., 2003; Mobeg ve diğ., 2004; Rodrigues ve diğ., 2004; Eng, 2005; Germain ve diğ., 2008; Daugherty ve diğ., 2009; Lou ve Wang; 2013; Chan ve diğ., 2014) işletme içi üretim, satış, pazarlama ve finansman faaliyetlerinin stratejik yönetiminin tedarik zinciri üzerindeki etkileri üzerinde çalışırken, bazı çalışmalar (Hines ve Rich; 1997b; Prahinski ve Benton, 2004; Kannan ve diğ., 2008; Hsu ve diğ., 2008; Lo ve Power, 2010; Zhang ve Chen; 2013; Kar; 2014) işletmenin satınalma faaliyetleri, tedarikçi seçimi ve tedarikçilerle ilişkilerin iyileştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Birçok araştırmacı (Kopczak, 1997; Lynch ve diğ., 2000; Chapman ve Ellinger, 2009; Chen ve diğ., 2004; Cai ve diğ., 2013; Islam ve diğ., 2013; Aguezzoul, 2014) ürünlerin transferindeki lojistik faaliyetleri incelemiş, özellikle son yıllarda ulaşım ağı tasarımı da lojistik faaliyetlerin çevre üzerindeki etkilerinin incelenmesine dair çalışmalar artmıştır (Murphy ve Poist, 2003; Figliozzi, 2010; Faulin ve diğ., 2011; Kuo ve Wang, 2011; Erdoğan ve Miller-Hooks, 2012; Jabali ve diğ., 2012; Diabat ve diğ., 2013; Ćirović ve diğ. 2014; Garg ve diğ. 2015).

## **2.2. TERSİNE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ (TTZY)**

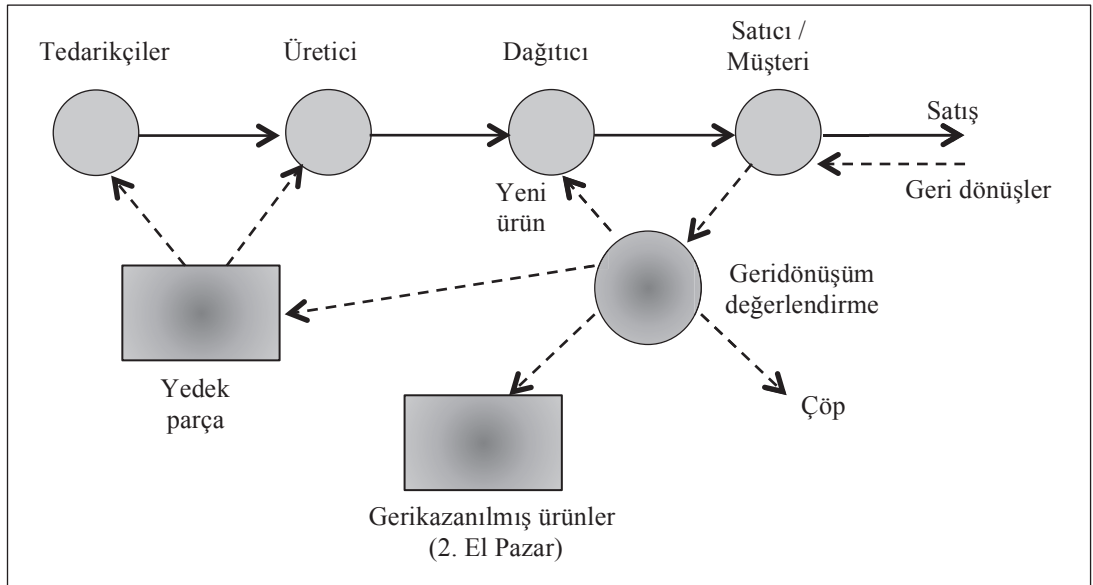
Tersine Tedarik Zinciri Yönetimi (TTZY) müşteriden ürünün kaynağına dönüşünü yönetir. Yaşam sürelerini tamamlamaları nedeniyle kullanım olanağı kalmamış, ya da kalitesizlik, demode olma, ürün geri çağırma ile garanti ve satış sonrası hizmet gibi nedenlerle iade edilen ürünlerin tüketim noktalarından toplanması, incelenmesi, muayene edilmesi ve o ürünlere değer eklenerek ekonomiye yeniden kazandırılması çalışmalarını kapsamaktadır (Erol ve diğ., 2010). Dowlatshahi (2000), TTZY'ni bir üretim tesisinin, daha önceden taşınmış ürün ya da parçaları olası geri dönüşüm, yeniden üretim ya da elden çıkarma faaliyetlerinden birini uygulamak amacıyla tüketim noktasından sistematik bir şekilde yeniden elde edilmesi süreçlerinin yönetilmesi olarak tanımlar. Fleishman (2001)'e göre, geleneksel tedarik zincirinin aksi yönünde, malzemenin geri kazanılması ya da uygun yöntemle bertaraf edilmesi amacıyla, ikincil

malzeme depolarının, malzeme akışının ve sürece dair bilginin planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi faaliyetleridir.

Güleş ve diğerlerine göre (2012), TTZ beş ana adımdan oluşur; ürün bulma, tersine lojistik, inceleme-elden çıkarma, yenileme-dağıtım ve satıştır. Bu bağlamda TTZY aşağıdaki faaliyetlerin planlanması ve kontrolünü içermektedir:

- i. Tüketici elinde kullanım ömrünü tamamlamış ve garanti süresi içinde bozulmuş ya da geri çağrılmış ürünlerin belli noktalarda toplanması,
- ii. Toplanan ürünlerin muayene/ayıklama, geri kazanım veya bertaraf edilecekleri yerlere transferi,
- iii. Toplanan ürünlerin üretici firma eline geçmeden önce ya da sonra muayene ve ayıklama işlemlerine tabi tutulması,
- iv. Geri kazanılır durumdaki ürünlerin uygun bir geri kazanım yöntemi ile değer eklenerek veya eklenmeden tekrar kullanılabilir hale dönüştürülmesi,
- v. Geri kazanılan ürünlerin birincil veya ikincil pazarlarda yeniden satışa sunulması,
- vi. Ekonomik veya teknolojik nedenlerle geri kazanılır durumda olmayan ürünlerin bertarafı.

Blackburn ve diğ., (2004), yukarıda sıralanan TTZY faaliyetlerini Şekil 2.3'deki gibi görselleştirmiştir;



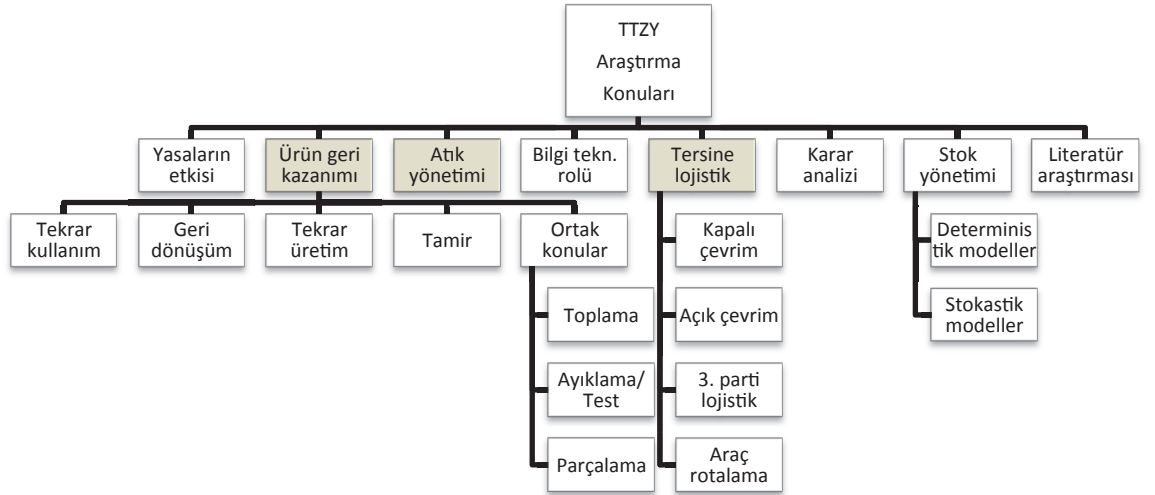
Şekil 2.3: TTZY faaliyetleri (Blackburn ve diğ., 2004).

TTZY faaliyetlerinin kapsamına giren ürünler şöyle sıralanır (Domagala ve Wolniak, 2013);

- Tamir edilerek tekrar kullanılabilir ürünler,
- Perakendecilerde kalan satılmamış ürünler,
- Satışı durdurulan ürünler,
- Kullanım amacı dışındaki amaçlarla kullanılabilir ürünler,
- Kullanım ömrünü tamamlamış ürünler (atıklar);
  - Enerji üretimi ve benzeri geri kazanımlar için toplanan atıklar
  - Depolanmak/bertaraf edilmek üzere toplanan atıklar

### 2.2.1. TTZY Araştırma Konuları

Sasikumar ve Kannan (2009), literatür araştırmaları sonucunda TTZY konulu çalışmaları Şekil 2.4'deki gibi gruplandırmıştır. Bu tez çalışmasının katkıda bulunduğu alanlar şekilde renklendirilmiştir ve izleyen bölümler bu başlıkları inceleyecektir;



Şekil 2.4: TTZY araştırma konuları (Sasikumar ve Kannan , 2009).

### 2.2.2. TTZY’de Atık Yönetimi

Kullanım ömrünü tamamlamış ürünler atık olarak adlandırılır. 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği’nde atık, ‘üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal’ olarak tanımlar. Aynı tanım 2006 yılında yayınlanan Avrupa Birliği Atık Yönetimi Direktifi’nde de yer almaktadır (EU, 2006). Yönetmelik atık kapsamına alınacak ürünleri aşağıda sıralanan yirmi başlıkta listelemiştir;

1. Madenlerin aranması, çıkarılması, işletilmesi, fiziki ve kimyasal işleme tabi tutulması sırasında ortaya çıkan atıklar,
2. Tarım, bahçivanlık, su ürünleri, ormancılık, avcılık ve balıkçılık, gıda üretimi ve işleme sonucu ortaya çıkan atıklar,
3. Ahşap işleme ve kâğıt, karton, kâğıt hamuru, panel (sunta) ve mobilya üretiminden kaynaklanan atıklar,
4. Deri, kürk ve tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıklar,
5. Petrol rafinasyonu, doğal gaz saflaştırma ve kömürün pirolitik işlenmesinden kaynaklanan atıklar,
6. Anorganik kimyasal işlemlerden kaynaklanan atıklar,
7. Organik kimyasal işlemlerden kaynaklanan atıklar,
8. Astarlar (boyalar, vernikler ve vitrikiye emayeler), yapışkanlar, yalıtıcılar ve baskı mürekkeplerinin imalat, formülasyon tedarik ve kullanımından (İFTK) kaynaklanan atıklar,
9. Fotoğraf endüstrisinden kaynaklanan atıklar,
10. Isıl işlemlerden kaynaklanan atıklar,
11. Metal ve diğer malzemelerin kimyasal yüzey işlemi ve kaplanması işlemlerinden kaynaklanan atıklar; demir dışı hidrometalurji,
12. Metallerin ve plastiklerin fiziki ve mekanik yüzey işlemlerinden ve şekillendirilmesinden kaynaklanan atıklar,
13. Yağ atıkları ve sıvı yakıt atıkları (yenilebilir yağlar, 05 ve 12 hariç),
14. Atık organik çözücüler, soğutucular ve itici gazlar (07 ve 08 hariç),
15. Atık ambalajlar ile başka bir şekilde belirtilmemiş emiciler, silme bezleri, filtre malzemeleri ve koruyucu giysiler,

16. İnşaat ve yıkım atıkları (kirlenmiş alanlardan çıkartılan hafriyat dahil),
17. İnsan ve hayvan sağlığı ve/veya bu konulardaki araştırmalardan kaynaklanan atıklar (doğrudan sağlığa ilişkin olmayan mutfak ve restoran atıkları hariç)
18. Atık yönetim tesislerinden, tesis dışı atık su arıtma tesislerinden ve insan tüketimi ve endüstriyel kullanım için su hazırlama tesislerinden kaynaklanan atıklar,
19. Ayrı toplanmış fraksiyonlar dahil belediye atıkları (evsel atıklar ve benzer ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklar),
20. Listede başka bir şekilde belirtilmemiş atıklar.

Atık yönetimi, yukarıda sıralanan ürünlere, literatürde atık hiyerarşisi (Faniran ve Caban, 1993; Kurdve ve diğ., 2011; Smith ve Ball, 2012) olarak adlandırılan işlem adımlarından, uygun olanının atığa uygulanması sürecidir (Şekil 2.5). Bu bağlamda atıklar oluşumunun önlenmesi, kaynağında azaltılması, yeniden kullanılması, özelliğine ve türüne göre ayrılması, biriktirilmesi, toplanması, geçici depolanması, taşınması, ara depolanması, geri dönüşümü, enerji geri kazanımı dâhil geri kazanılması, bertarafı, bertaraf işlemleri sonrası izlenmesi, kontrolü ve denetimi faaliyetlerine tabi tutulurlar.



Şekil 2.5: Atık hiyerarşisi.

Atık yönetiminde ilk hedef, atığın oluşmasının önlenmesidir. Önleme hedefini atığın azaltılması izler. Bu seviyede amaç oluşumu önlenemeyen - üretim sırasında

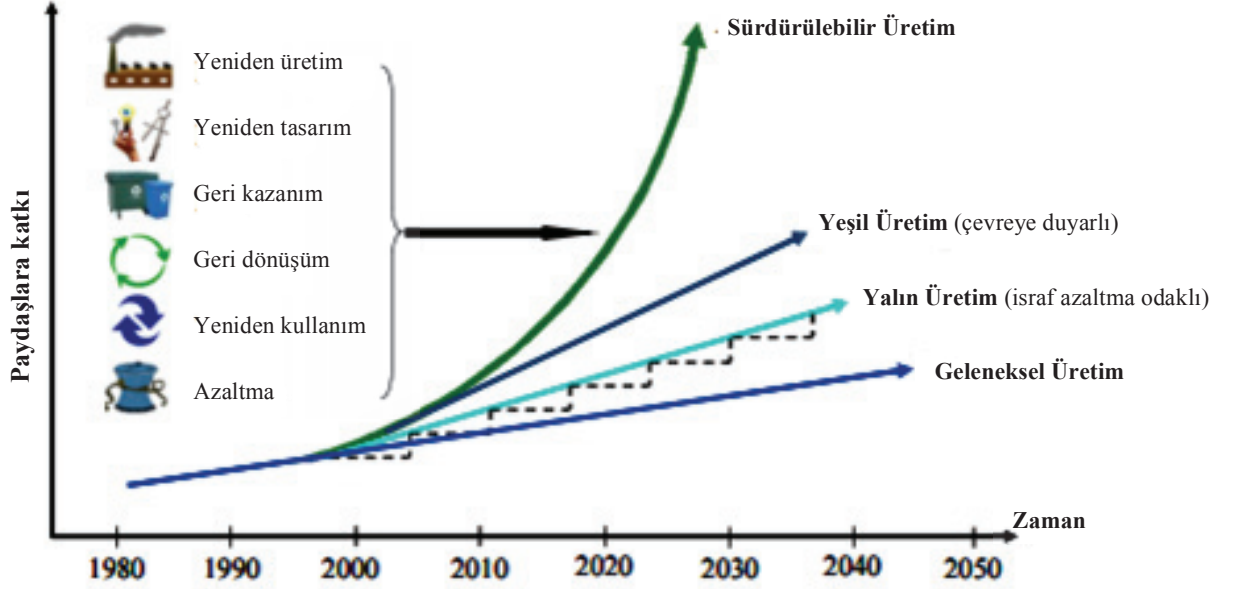
hammadelerin ve kullanım sırasında atıkların- azaltılmasıdır. Yeniden kullanım, kullanım ömrü dolan ürünün veya ürünü meydana getiren parçaların, ikinci el olarak ancak tasarlandığı şekil ve amaçla tekrar kullanımını ifade eder. Geri dönüşüm, enerji geri kazanımı ve yakıt olarak kullanımı için tekrar işlenmesi hariç olmak üzere, organik maddelerin tekrar işlenmesi dâhil atıkların işlenerek asıl kullanım amacı ya da diğer amaçlar doğrultusunda ürünlere, malzemelere ya da maddelere dönüştürülmesidir. Toplanan atıkların satılmak ya da bir tesiste kullanılan maddeler veya enerji yerine ikame edilmek üzere, faydalı bir amaç için kullanıma hazır hale getirilmesi (de-monte edilmesi, ayrıştırılması, temizlenmesi) geri kazanım olarak adlandırılır. Atık hiyerarşisinde en son tercih edilen ikincil amacı enerji geri kazanımı olsa dahi geri kazanım olarak kabul edilmeyen atıkların aşağıdaki işlemlerden birine tabi tutulmasıdır (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015);

- Toprağın altında veya üstünde düzenli depolama
- Arazi ıslahı (örneğin, sıvı veya çamur atıkların toprakta biyolojik bozulmaya uğraması ve benzeri)
- Derine enjeksiyon (örneğin, pompalanabilir atıkların kuyulara, tuz kayalarına veya doğal olarak bulunan boşluklara enjeksiyonu ve benzeri)
- Yüzey doldurma (örneğin, sıvı ya da çamur atıkların kovuklara, havuzlara ve lagünlere doldurulması ve benzeri)
- Özel mühendislik gerektiren düzenli depolama (çevreden ve her biri ayrı olarak izole edilmiş ve örtülmüş hücresel depolama ve benzeri)
- Deniz/okyanus hariç bir su kütesine boşaltım
- Deniz yatakları dahil deniz/okyanuslara boşaltım
- Yakma (Karada)
- Yakma (Deniz üstünde)
- Sürekli depolama (bir madende konteynerlerin yerleştirilmesi ve benzeri)

Jayal ve diğ. (2010), atık yönetimi faaliyetlerinden geri kazanım seviyesini ayrıntılandırarak yeniden tasarım ve yeniden üretim olarak adlandırmıştır. Ürünlerin tasarım aşamasında çevreye duyarlı, ilk yaşam döngüsü sonunda ayrılabilir ve tekrar kullanılabilir şekilde tasarlanması yeniden tasarım, kullanılmış ürünlerin tekrar işlenerek (temizleme, onarım, kontrol ile) orijinal hallerine veya yeni bir ürüne dönüştürülmesi yeniden üretim aşamalarıdır. TTZY faaliyetleri ile üretim yönetimi



stratejilerinin evrimi arasındaki ilişkinin gösterildiği Şekil 2.6’da, geleneksel üretim stratejilerinin yerine Yalın Üretim, Yeşil Üretim ve Sürdürülebilir Üretim stratejilerinin zincirdeki paydaşlara kattığı değer gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Üretim stratejileri ve TTZY arasındaki ilişki (Jayal ve diğ., 2010).

### 2.2.3. TTZY’de Tersine Lojistik

Tersine lojistik literatüre girdiği yıllarda malların dağıtım kanalının tersi yönünde tüketiciden üreticiye hareketi olarak tanımlanmıştır (Murphy; 1986). Lojistik Yönetim Konseyi 1990’da tersine lojistik kavramının ilk resmi tanımını yayınlamıştır; “Hammaddelerin, halen süreçte bulunan stokların, bitmiş malların ve bunlar hakkındaki bilginin tüketim noktasından üretim noktasına tekrar değer elde etme veya düzgün bir şekilde elden çıkarma amacıyla verimli ve maliyet avantajlı akışını planlama, yürütme ve kontrol etme sürecidir”. Bu tanım tersine lojistik kapsamını sadece ürünler ve bunlar hakkındaki bilginin geri kazanım veya elden çıkartma amacıyla transfer sürecinin yönetilmesi olarak sınırlar. Bununla beraber literatürde pek çok yazar tarafından tersine lojistik sisteminin –toplama, kontrol ve ayrıştırma, taşıma, geri kazanım, yeniden dağıtımdan oluşan bir bütünün- bir parçası olarak kabul edilmesi daha uygun görülmüştür (Srivastava, 2008; Blumberg, 2005; Rogers ve Tibben-Lembke, 2001; Dowlatshahi, 2000; Guide ve diğ., 2000; Carter ve Ellram, 1998; Fleishman ve diğ., 1997).

İşletmeye olan ekonomik katkısının yanısıra gittikçe artan tüketici bilinci, uygulanan yeşil kanunların ürünlerin geri getirilmesini zorlamaları ve işletmelerin sosyal sorumluluk anlayışı doğrultusunda uygulanmaya başlayan tersine lojistik faaliyetlerine son yıllarda daha fazla önem verilmeye başlanmıştır. (Blumberg, 2005; Kannan ve diğ., 2012). Bu önermeyi destekleyen Agrawal ve diğ.'nin (2015) yaptığı literatür taraması, 1986-2015 yılları arasında yapılan tersine lojistik konulu 242 araştırmadan sadece 63 tanesinin 2006 yılından önce yayınlandığını göstermiştir. Bu makalelerin 80 tanesi ise 2012 yılı ve sonrasıdır yayınıdır.

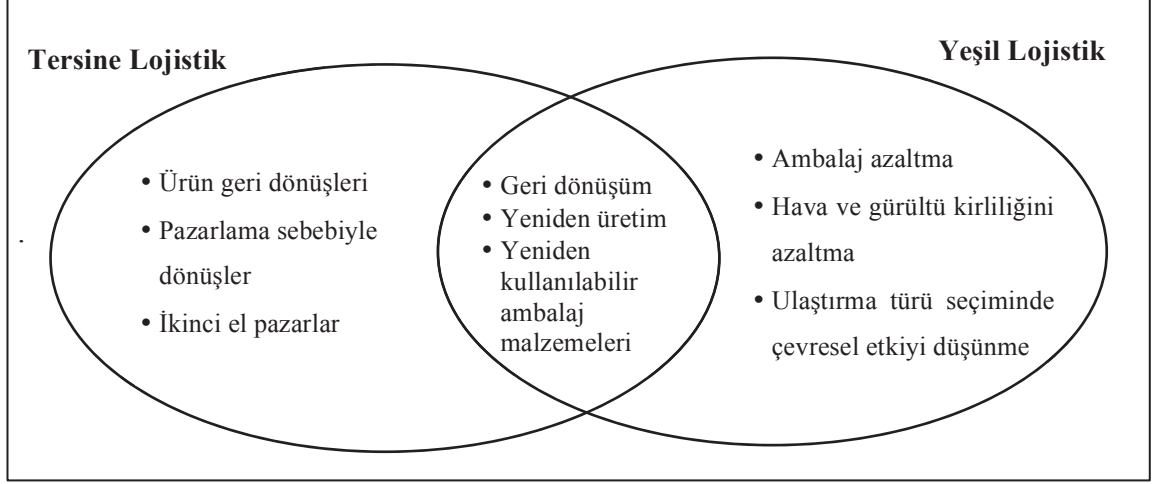
#### **2.2.4. Tersine Lojistik Araştırma Konuları**

Govindan ve diğ. (2015), 2007-2013 yılları arasında yayınlanan ve tersine lojistik anahtar kelimesi içeren 382 makaleyi inceleyerek, tersine lojistik konulu çalışmaları aşağıdaki ana başlıklar altında toplamıştır;

- Derleme ve sınıflandırma yapan kavramsal çalışmalar
- Talep belirleme
- Tasarım ve planlama
  - ulaşım ağı tasarımı ve planlaması
  - tesis yeri seçimi
  - kapasite planlaması
- Fiyat ve koordinasyon stratejisi belirleme
- Üretim planlama ve stok yönetimi
- 3.parti lojistik firma seçimi
- Araç rotalama

Birçok yayında tersine lojistik uygulamalarının motivasyonlarından biri olarak doğal çevreyi koruma göstermiştir (Ravi ve diğ., 2005; Wadhwa ve diğ., 2009; Rahman ve Subramanian, 2012; Chiou ve diğ., 2012; Kannan ve diğ., 2012; Jindal ve Sangwan, 2013). Ancak Govindan ve diğ. (2015)'nin literatür taramasına göre yukarıda sıralanan araştırma başlıkları içinde, %18,8 oranla tasarım ve planlama en fazla, %1,3 ile araç rotalama konulu makaleler en az orandadır. Ayrıca çalışmaların sadece kırk tanesinde tersine lojistik faaliyetlerinin yeşil bakış açısıyla incelendiği görülmüştür. Tüm yayınların yaklaşık %10'una tekabül eden bu oran ile tersine lojistik faaliyetlerinin

YTZY ile entegrasyonuna dair çalışmalar bakımından literatürde boşluk olduğu sonucu çıkarılabilir. Bu çalışmalarda ele alınan tersine lojistik ve YTZY'nin ortak faaliyet alanları Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Tersine lojistik ve YTZY ortak faaliyet alanları (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001).

Tersine lojistik çalışmalarında, en fazla uygulanan metodun karma tamsayılı doğrusal programlama olan çalışmalarda, çözüm yöntemi olarak sıklıkla optimum çözümü üreten LINDO, LINGO, GAMS, CPLEX yazılımlarının kullanıldığı görülmektedir (Agrawal ve diğ., 2015). Büyük boyutlu problemlerin çözümünde ise genetik algoritmalar, benzetimli tavlama, tabu arama, karınca kolonisi gibi sezgisel ve metasezgisel yöntemler kullanılmaktadır (Govindan ve diğ., 2015).

Literatür taramaları yukarıda sayılan çalışma konularının birlikte ele alındığı çalışmalar açısından da literatürde boşluk bulunduğunu göstermektedir. (Agrawal ve diğ., 2015; Govindan ve diğ., 2015). Bununla birlikte Govindan ve diğ. (2015) farklı metodolojilerin entegre edildiği hibrit algoritmaların kullanılmasını önermektedir. Bu tez çalışmasında geri dönüşüm tesisi yerlerinin belirlenmesi ve belirlenen yerlere gelecek ürünlerin rotalanması konuları birlikte ele alınarak YTZ'deki israf kalemlerinin yönetilmesine dair performans göstergeleri ile değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, çok sayıda YTZ israf kaleminin ele alınması ve DAH yöntemi ile entegre edilerek analiz edilmesi bakımından literatürdeki ilk çalışmadır. Çözüm yöntemi olarak tesis yerlerinin belirlenmesinde yapay zekâ tabanlı öbikleme algoritmaları, araç rotalama problemi için ise doğrusal programlama yöntemi önerilmektedir.

### 2.2.5. Tersine Lojistik için Tesis Yeri Seçimi Problemi (TYSP)

Tavakkoli ve Shayan (1998), tesis yeri seçimi problemlerini (TYSP)  $n$  adet tesisin  $m$  adet konuma ( $n < m$ ) taşıma maliyetlerinin minimize edilecek şekilde yerleştirilmesi olarak tanımlar. Bu problemler bir grup tesisin bazı kısıtlar altında, müşterilerin taleplerini karşılayacak şekilde uygun konumlara yerleştirilmesini ve her bir müşterinin belirli tesislere atanmasını kapsayan problemlerdir.

Eiselt ve Laporte (1995) TYSP'ni amaçlarına göre sınıflandırır;

- Tesis kurulum maliyetinin enküçüklenmesi
- Mevcut tesislere olan uzaklıkların enküçüklenmesi
- Toplam sabit maliyetlerin enküçüklenmesi
- Yıllık işletim masraflarının enküçüklenmesi
- Hizmet seviyesinin enbüyüklenmesi
- Ortalama zaman/dolaşılacak mesafelerin enküçüklenmesi
- Maksimum zaman/dolaşılacak mesafelerin enküçüklenmesi
- Açılan tesis sayısının enküçüklenmesi
- Talebe karşılık vermenin enbüyüklenmesi

Daskin (1995) tarafından yapılan daha geniş bir sınıflandırma şöyledir;

- Sürekli, ağ veya ayrık yapıda olmasına göre
- Ağaç problemi ya da genel grafik yapısında olmasına göre
- Mesafe ölçüsüne göre
- Yerleştirilecek tesis sayısına göre
- Statik ya da dinamik yerleşim modelleri olmasına göre
- Deterministik ya da probabilistik olmasına göre
- Tek ya da çoklu ürün modelli olmasına göre
- Özel sektör veya kamu sektörü problemleri olmasına göre
- Tek amaçlı ya da çok amaçlı olmasına göre
- Esnek ya da esnek olmayan talep durumuna göre
- Kapasite kısıtlı ya da kapasite kısıtsız olmasına göre
- Talebin en yakın tesisten ya da dağıtılarak karşılanmasına göre
- Hiyerarşik ya da tek aşamalı olmasına göre

- İstenen veya istenmeyen tesisler olmasına göre

Sule (2001) ise TSYP'ni beş başlıkta gruplar;

1.  $p$ -medyan problemleri:  $p$  adet tesis  $n$  adet düğümünden oluşan şebeke üzerinde toplam maliyeti (zaman, sermaye, uzaklık gibi) en küçük kılacak şekilde  $p$  adet yere yerleştirilir. Eğer problemde talep noktasıyla ilişkili bir ağırlık söz konusu ise bu problem ağırlıklı  $p$ -medyan problemi olarak isimlendirilir. Ağırlıklı  $p$ -medyan problemi, problemdeki tüm talep noktalarının amaç fonksiyonunu eşit miktarda etkilemediği durumları ifade etmektedir.
2.  $p$ -merkez problemleri: bir tesis ile bu tesisin eşleştiği talep noktaları arasındaki en büyük uzaklığın en küçük değerini bulacak şekilde  $p$  adet tesis  $p$  adet yere yerleştirilir.
3. Kapasite kısıtsız TYSP: başlangıçta açılacak tesis sayısı belirlenmiş değildir açılacak tesis sayısı maliyeti minimize edecek şekilde belirlenmektedir
4. Kapasite kısıtlı TYSP: temel olarak kapasite kısıtsız kuruluş yeri seçim problemine benzemekle birlikte, farklı olan yönü bu problemde hizmet veren tesislerin sınırlı bir kapasiteye sahip olmasıdır. Bu modelde problemin optimum çözümü için talep noktaları sadece bir tesisten değil birden fazla tesisten taleplerini karşılamak durumunda kalabilmektedir.
5. Karesel atama problemleri: birbirleri arasındaki akışların tanımlanmış olduğu  $n$  adet tesisin  $n$  adet konuma aynı anda yerleştirilmesi problemidir. Bu problemde amaç, akış ve uzaklık parametrelerinin çarpımı ile oluşacak toplam mesafeyi minimize etmektir.

Bu tez çalışmasında sürekli ve kesikli yapıda olmak üzere iki tür coğrafi konumlu, kapasite kısıtsız, çok tesisli yerseçimi problemi çözülmüştür. Sürekli TYSP hizmet veren tesislerin ve talep noktalarının düzlem üzerinde herhangi bir noktaya yerleştirilebildiği yaklaşımdır. Kesikli TYSP ise açılacak tesisler ve talep noktaları sadece şebeke üzerindeki düğümlere yerleştirilebilmektedir (Daskin, 1995)

TYSP'nin çözüm yöntemleri araç rotalama problemlerinde olduğu gibi kesin çözümü bulan matematiksel modelleme yöntemlerinin yanısıra çeşitli sezgisel ve metasezgisel yöntemlerden faydalanılır. Aşağıda tersine lojistik konu başlığı altında, geri dönüşüm / bertaraf tesislerinin yerlerinin belirlenmesine dair literatür taraması çalışmalarında kullanılan metodolojiler sıralanmıştır;

### 2.2.5.1. TYSP için kesin çözüm yöntemleri

Kırca ve Erkip (1988), ulaşım maliyetlerini enküçükleyen klasik tesis yerseçimi modeli kullanarak İstanbul'da belediye için katı atık aktarma transfer merkezlerine aday yerler belirlemiştir.

Rahman ve diğ. (1992) katı atık transfer tesislerinin yerlerini belirlerken atık noktalarına yakın ancak yerel halkın tepkisini çekmeyecek uzaklıkta olmasının çelişen amaçlar olduğunu vurgulayarak, uzlaşmayı sağlamaya yönelik çok amaçlı bir model önermişlerdir.

Jayaraman ve diğ. (2003)'ün önerdikleri karma tamsayılı programlama modeli önce yeniden üretim ve dağıtım tesislerinin yerlerini belirler, daha sonra ürün transfer ve optimum depolama problemini çözer.

Salema ve diğ. (2006, 2007), tek ve çok ürünlü ve kapasite kısıtlı sistemlerde, ileri ve geri akışlar için yerseçimi ve rotalama yapmak üzere bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir.

Lu ve Bostel (2007), üç tür tesis için önerdikleri karma tamsayılı programlama modellerinin performansını test problemleriyle ölçmüştür.

Wang ve diğ. (2007), Çin'deki elektronik pazarında tek tedarikçi ve üç dağıtım deposu olan bir zincir için stok miktarlarını da hesaba katan tesis yeri seçme problemi çalışmışlardır.

Aras ve diğ. (2008), çalışmalarında kullanılmış ürünleri müşterilerinden toplamak isteyen bir firma için geri dönüşüm tesis yerlerini belirlemiştir. Önerilen doğrusal olmayan karma tamsayılı programlama modelini geliştirdikleri tabu arama tabanlı bir sezgisel algoritma ile çözmüşlerdir.

Lin ve diğ. (2010), yerel belediyeler için GIS tabanlı bir tesis yeri optimizasyonu önermiştir. İhtiyaca özel olarak yazılan program ilave geri dönüşüm depolarının ulaşımı eniyileyecek şekilde optimum yerlerini hesaplamaktadır.

Gomes ve diğ. (2011), Portekiz’de elektronik ürünlerin geri dönüşüm tesis yerlerinin belirlenmesi için jenerik bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir.

Santibañez-Aguilar ve diğ. (2013)’nin Meksika’da geri dönüştürülebilir ürünler için birden fazla şehrin ihtiyacı olan tesislerin birleştirilmesini öneren çalışmalarında önerdikleri çok amaçlı optimizasyon modeli, tedarik zincirinin karını ve toplanan atıkları enbüyüklemeyi hedeflemektedir.

Kılıç ve diğ. (2015), Türkiye’deki elektronik ürün geri dönüşümü için farklı toplama oranlarının oluşması senaryolarını karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ile değerlendirmiştir. Model Avrupa Birliği’nin ürün kategorileri için belirlediği en küçük geri dönüşüm oranlarını sağlayacak şekilde depo ve geri dönüşüm tesis yerlerinin bulunması için çözülmüştür.

#### 2.2.5.2. *TYSP için sezgisel/metasezgisel ve yapay zeka tabanlı yöntemler*

Marin ve Pelegrin (1998) geri dönüşüm tesis yeri belirlemeye yönelik modellerini geliştirdikleri sezgisel algoritma ve kesin sonuç veren yöntemle çözümlerinde farklı sonuçları kıyaslamıştır.

Lu ve diğ. (2005), tersine akışlara özel durumları ele aldıkları tek tesisli bir yer seçimi problemi için önerdikleri sezgisel bir yöntemle senaryo analizleri yapmışlardır.

Min ve diğ. (2006a), geri dönüşüm tesislerine yer seçme problemine genetik algoritma ile çözüm önermiştir. Yazarlar diğer bir çalışmalarında (Min ve diğ. 2006b), aynı yöntemi internet satışlarından geri dönen perakende ürünlerin toplanacakları iade merkezlerinin yer seçimi problemine uyarlamıştır.

Kara ve diğ. (2007a) kullanım ömrünü tamamlamış aletler için sökülme tesisi yerini ağırlık merkezi yöntemi ile belirlemiş ve daha sonra sistemin çeşitli durumları için simülasyon ile senaryo analizi yapmıştır.

Gomes ve diğ. (2007) geri dönüşüm tesislerinin yerlerini belirleme problemine ÖDH ve c-ortalamalar öbekleme algoritmalarını kullanarak çözüm önermişlerdir.

Büyüksaatçi ve diğ. (2008), bir asfalt firmasının kurulacak geri dönüşüm tesisleri için kapasite, maliyet, talep ve coğrafi konum kısıtları bağlamındaki optimum tesis konumlarını Gustafson-Kessel bulanık öbekleme algoritması-Konveks programlama melez modeli ile belirlemiştir. Bu çalışmada ayrıca belirlenen tesis yerine bağlı gerçek sisteme ait lojistik performansı, maliyet, darboğaz noktaları ve makine/araç gereksinimi gibi parametreler bir simülasyon uygulaması ile incelenmiştir.

Esnaflık ve Küçükdeniz (2009), kapasite kısıtı olmayan tesis yeri seçimi problemine bulanık-öbekleme tabanlı bir çözüm önermiştir. Gerçek veriye uygulanan iki aşamalı çözüm yönteminde önce talep noktaları bulanık öbekleme yöntemi ile gruplanmış, daha sonra ağırlık merkezi algoritmasıyla öbeklere ait tesis yerleri belirlenmiştir.

Esnaflık ve diğ. (2014), tesis yerlerinin belirli olduğu durumlar için tesise bağlanacak talep noktalarının belirlenmesini amaçlayan çalışmalarında, tek iterasyonlu bulanık c-ortalamalar algoritmasını önermişlerdir. Kapasite kısıtsız tesis yeri seçimi problemi çözümünde, önerilen algoritmanın performansının doğrusal programlama ve yapay arı kolonisi algoritmalarına üstünlüğü gerçek veri ile test edilerek gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında, sürekli ve kesikli tesis yeri seçimi için yapay zeka tabanlı öbekleme algoritmaları kullanılacağından bu algoritmalar aşağıdaki alt bölümde tanıtılmıştır.

#### *2.2.5.3. Öbekleme ve öbekleme algoritmaları*

Bir veri uzayındaki elemanların birbirlerine benzerliğine dayalı olarak alt gruplara ayrılması öbekleme yöntemlerinin başlıca amacını oluşturur ve öbek içi benzerlik ile öbekler arası benzemezliğin maksimize edilmesi istenir (Tan ve diğ.,2005). Bireyler gruplanırken özelliklerinin birbirine yakınlıkları bazı uzaklık ölçütlerine göre hesaplanır. Özelliklerin ölçüldüğü değişkenlerin kesikli ya da sürekli olmalarına ya da değişkenlerin nominal, ordinal, aralık ya da oransal ölçekte olmalarına göre hangi benzerlik ölçütünün kullanılacağına karar verilir.



Nicel veriler için kullanılan benzerlik ölçütlerinden en yaygın olanları şunlardır;

Öklid uzaklığı: Öklid uzaklığı en sık kullanılan uzaklık ölçüsüdür. Geometrik olarak iki nokta  $(i,j)$  arasındaki en yakın uzaklık  $(d)$  şeklinde tanımlanır ve aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

Ölçekli Öklid Uzaklığı: Değişkenlerin aynı ağırlıkta ölçeklendiği durumlarda kullanılan uzaklık ölçütüdür ve aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p w_k^2 (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

Manhattan uzaklığı: Değişkenler arasında korelasyon olmadığı durumlarda kullanılan uzaklık ölçütü ve aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|$$

Eğer değişkenler arasında korelasyon varsa Manhattan ölçüsüyle hesaplanan uzaklık ölçüleri ile kümeleme anlamlı olmayacaktır.

Minkowski uzaklığı: Minkowski genel bir uzaklık ölçüsüdür. Öklid ve Manhattan uzaklık ölçüleri ise aşağıdaki formül ile hesaplanan Minkowski uzaklık ölçüsünün özel bir durumudur.

$$d_{ij} = \left[ \sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|^q \right]^{1/q}$$

Mahalanobis uzaklığı: Değişkenler arası korelasyon olduğu durumlarda kullanılan bir uzaklık ölçütüdür.

$$Md_{ij} = (x_i - x_j)' S^{-1} (x_i - x_j)$$

Hotelling T<sup>2</sup> Uzaklığı: n<sub>1</sub> ve n<sub>2</sub> adet eleman sayısına sahip iki öbeğin ortalama vektörlerinin karşılaştırıldığı durumlarda Hotelling uzaklık ölçütü kullanılır.

$$T^2 = \frac{n_1 n_2}{n} (\bar{x}_i - \bar{x}_j)' S^{-1} (\bar{x}_i - \bar{x}_j)$$

Nitel değişkenler için uzaklık ölçütü:

$$w_k = \begin{cases} 1 & ; \text{veri nicel ise} \\ \frac{1}{k' \text{incideğişkenin} \\ \text{dağılım aralığı}} & ; \text{veri nitel ise} \end{cases}$$

olmak üzere;

$$d_{ij} = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p w_k |x_{ik} - x_{jk}|$$

Öbekleme için geliştirilen algoritmalar farklı uzaklık ölçütlerinden faydalanarak, farklı (parametrik veya parametrik olmayan) yaklaşımlarla öbekleri bulmaya çalışırlar. İzleyen bölümlerde öbekleme algoritmaları geleneksel, sezgisel/metasezgisel, yapay zekâ tabanlı ve bulanık algoritmalar olarak dört ana başlık altında tanıtılmıştır. Bazı algoritmalar yapıları gereği birden fazla başlık altında gruplanabilir.

#### 1. Geleneksel Algoritmalar:

**Bölümlendirme Metodları:** Veriyi bölerek, her grubu belirlenmiş bir kritere göre değerlendirilir. Bölümlendirme yöntemlerinde, n veri tabanındaki nesne sayısı ve k oluşturulacak öbek sayısı olarak kabul edilir. Bölümlendirme algoritması n adet nesneyi, k adet öbeğe böler ( $k \leq n$ ). Her bir bölüm bir öbeği gösterir. Öbekler tarafsız

bölme ölçütü olarak nitelendirilen bir ölçüte uygun oluşturulduğu için aynı öbekteki nesnelere birbirlerine benzerken, farklı öbekteki nesnelere birbirinden farklıdır.

Literatüre aynı grupta yer alan üretim makinaları arasındaki trafiği enbüyükleyerek makina öbekleri oluşturmak amacıyla giren benzerlik katsayısı yöntemi (McAuley, 1972) bilinen en eski geleneksel bölümlendirme metodlu öbektelleme algoritmasıdır. “C-ortalamlar” (öbekler, öbek merkezi ile tanımlanır) ve “K-medoids” (öbekler, öbekteki bir eleman ile tanımlanır) en yaygın kullanılan bölümlendirme metodlu öbektelleme yöntemleridir (Han ve Kamber, 2006).

Hiyerarşik Metodlar: Veri öbeklerini ya da nesnelere önceden belirlenmiş bir kritere göre hiyerarşik olarak ayırır. Hiyerarşik ayrıştırma sırasında, “ağaç veri yapısı” olarak da bilinen dendogram kullanılır (Du, 2010). Dendogramın yapısının oluşturulmasına göre hiyerarşik öbektelleme yöntemi ikiye ayrılır. Hiyerarşik yapı oluşturulurken dendogramın kökünden birimlere doğru iniliyor ise bu yöntem ‘bölücü hiyerarşik öbektelleme’ yöntemi adı verilir. Bu durumun tersine, öbektelleme yapılırken her bir birim ayrı bir öbek olarak düşünülüp ana öbek elde ediliyorsa bu yöntem ‘birleştirici hiyerarşik öbektelleme’ yöntemi adı verilir. Türlerine göre hiyerarşik öbektelleme adımları şöyledir (Tan ve diğ.,2005);

Bölücü (divisive) hiyerarşik öbektelleme adımları;

- Aynı kümedeki bütün nesnelere başlanır.
- Bir küme daha küçük kümelere bölünür.

Birleştirici (agglomerative) hiyerarşik öbektelleme adımları;

- Her bir nesne için farklı bir grup oluşturularak başlanır.
- Tanımlanan kurallara göre gruplar birleştirilir (örn. merkezler arasındaki uzaklık)
- Tanımlanan durumuna ulaşıncaya kadar devam edilir.

Hiyerarşik öbektellemede küme sayısı ( $k$ ) belirtilmez. Hiyerarşi kurulduktan sonra gerekli kümelerin sayıları belirlenebilir. Veri seti birimlerinin birbirlerine olan uzaklık değerlerini kullanarak, birimlerin hiyerarşik ayrıştırmasını yapar. Tanımlanan sonlandırma durumuna ulaşıncaya kadar devam edilir. “AGNES (Agglomerative

NESting)", "DIANA (DIvisive ANALysis)", "BIRCH (Balanced Iterative Reducing and Clustering Using Hierarches)" bu gruptaki algoritmalarıdır (Han ve Kamber, 2006).

Yoğunluk Bazlı Metodlar: Nesnelerin yoğunluğuna, diğer bir deyişle analiz edilen veri uzayındaki elemanların sayısına göre öbikleme oluşturulur. Bu yöntemle rasgele şekillerde öbekler üretilebilir. Yöntem verideki aykırı nesnelere etkilenmez ve algoritmanın son bulması için yoğunluk parametresinin verilmesi gerekir. Yoğunluk tabanlı yöntemlerden bazıları "DBSCAN (Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise)", "OPTICS (Ordering Points To Identify the Clustering Structure)", "DENCLUE" olarak sıralanır (Han ve Kamber, 2006).

Model Bazlı Metodlar: Model tabanlı öbikleme metodları, öbikleme istenen veri ile belirlenen matematiksel model arasında uygunluğu optimize etmeye çalışır. Her öbeğin bir modele uyduğu varsayılır ve bu modellere uyan verileri gruplandırılır. Bu metodlar genelde olasılık dağılımlarına göre varsayımlar üretir. Model tabanlı öbikleme metodlarının iki ana yaklaşımı vardır: istatistiksel yaklaşım veya sinir ağı yaklaşımı. Kohonen (2001) tarafından önerilen "öz düzenleyici haritalar (ÖDH)", yapay sinir ağı yaklaşımını model bazlı metodlara örnek verilebilir (Du, 2010).

Grid Bazlı Metodlar: Grid temelli öbikleme yaklaşımı, hücresel veya görüntü temelli olarak da adlandırılan çok çözümlü grid veri yapısını kullanır. Öbikleme yapılacak alanın sonlu sayıda hücrelere bölünmesiyle oluşur. Bu yöntemlerin başlıca avantajı genelde birbirinden bağımsız sayıda veri nesnelerinde hızlı işlem zamanıdır. Grid temelli algoritmaların amacı veriyi önceden belirlenmiş sayıda hücrelere ayırmak ve daha sonra hangi nesne hangi hücreye aittir sorusunun cevabını bulmaktır. Yapısal olarak hiyerarşik kümeleme yaklaşımına daha yakın olmakla beraber farkı uzaklık ölçüsü yerine tanımlanan başka parametreler kullanmasıdır. "STING (STatistical INformation Grid)" algoritması bu grup altındadır. "Öz düzenleyici haritalar", özellikle çok yüksek boyuttaki veriyi iki veya üç boyut gibi çok daha küçük boyutta sinir hücrelerinin birleşiminden oluşan bir grid üzerinde göstererek görsel olarak öbikleme bakımından bazı kaynaklarda grid bazlı metodların altında gösterilmektedir (Han ve Kamber, 2006).

## 2. Sezgisel / Metasezgisel Algoritmalar:

Sezgisel ve metasezgisel yöntemler, karmaşık eniyileme problemlerine etkin çözümler üretebilmek için kullanılan yaklaşık algoritmalarıdır. Bu yöntemler, her zaman küresel en iyi çözümün bulunmasını garantileyemeseler de, büyük ölçekli ve karmaşık problemlere etkin çözümler üretebildikleri için oldukça kullanışlı olmaktadır (Talbi, 2009)

Temel olarak, doğadan esinlenen (yapay arı kolonisi, karınca kolonisi, benzetilmiş tavlama, genetik algoritmalar) ve doğadan esinlenmeyen (tabu arama, yinelemeli yerel arama) yöntemler, dinamik ve statik amaç fonksiyonuna sahip yöntemler, bir komşuluk yapısına ve değişken komşuluk yapısına sahip (değişken komşuluk arama, yinelemeli yerel arama) yöntemler, hafıza kullanan (tabu arama, parçacık sürü zekası optimizasyonu, karınca kolonisi, genetik algoritma ) ve kullanmayan yöntemler, tek çözüme dayalı ya da toplum tabanlı yöntemler olarak sınıflandırılabilir (Blum ve Roli, 2003). “gezgin satıcı”, “benzetimli tavlama”, “parçacık sürü zekası optimizasyonu”, “yapay arı kolonisi” vb. gibi çeşitli sezgisel/metasezgisel optimizasyon modellerine öbikleme uygulamalarında sıklıkla karşılaşılmaktadır.

## 3. Yapay Zeka Tabanlı Algoritmalar:

Çeşitli öbikleme problemlerini çözmek üzere geleneksel algoritmaların yapay zeka uygulamaları ile birleştirilerek öbikleme yapılmasıdır. “Yapay sinir ağları tabanlı algoritmalar”, “genetik algoritmalar”, “bulanık c-ortalamlar”, “öz düzenleyici haritalar” yöntemleri bu grupta sayılabilir.

## 4. Bulanık Öbikleme Algoritmaları:

Öbikleme algoritmaları altkümeleri klasik veya bulanık kümelere ayırmaları bakımından da gruplanabilir. Klasik öbikleme yöntemleri klasik küme teorisine göre yapılandırıldığından dolayı, her nesne sadece tek bir alt kümenin elemanıdır ve üyelik değeri 0 (sıfır) ya da 1 (bir) olabilir. Bulanık öbikleme analizi ise veri noktalarının 0 ile 1 arasındaki üyelik dereceleri ile öbiklere ayrılmasına izin verir. Böylece veri noktalarının aynı zamanda birden fazla öbeğe ait olarak ifade edilmesi esnekliğini sağlar. Bu üyelik dereceleri veri modelinin detaylarının çok daha iyi

derecelendirilmesi demektir (Esnaf ve diğ., 2008). “Bulanık C-Ortalamlar” ve “Gustaffson-Kessel” algoritmaları bulanık öbeleme algoritmalarındandır.

Öbeleme algoritmalarının seçiminde araştırmacılarının incelediği veri setinin kaç öbeğe bölüneceğinin bilinmediği durumlarda hiyerarşik yöntemlerin kullanılması gerekir. Buradaki avantaj bu yöntemlerin analiz edilen veriye ait daha önce gözlemlenmemiş ilişkileri gözleme olanağı vermesidir. Öbe sayılarının bilindiği veya belirlenmiş olduğu durumlarda ise hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemleri, kullanılır.

Algoritma seçimini yönlendiren bir başka kriter de performansdır. Farklı kümeleme algoritmalarının performanslarının kıyaslanması kendi başına bir araştırma alanı olmuştur. Örneğin Kiang ve Fisher (2008), Amerika’daki okulları öbeledikleri çalışmalarında öz düzenleyici haritaların, c-ortalamlar algoritmasına göre daha iyi sonuç verdiğini bulmuştur. Granzow ve diğ. (2001), tümör klasifikasyonu yaptıkları çalışmalarında bulanık öz düzenleyici haritalar algoritmasının üstünlüğünü önermişlerdir. Delibasis ve diğ. (1999), görüntü gruplamak için öz düzenleyici haritalar, bulanık c-ortalamlar ve c-ortalamlar algoritmalarını kullanmış, c-ortalamlar algoritmasının performans üstünlüğünü raporlamıştır. Karabulut ve İbrikçi (2011) ise DNA sıralamalarındaki motifleri inceledikleri araştırmalarında bulanık c-ortalamlar algoritmasını üstün bulmuştur.

Bazı araştırmalar ise farklı algoritmaların entegrasyonu durumunda performanslarını kıyaslamaktadır (Correia ve Captivo, 2006; Esnaf ve Küçükdeniz, 2009; Büyüksaatçi ve diğ., 2008). Bu yayınlarda farklı algoritmaların entegrasyonunun birbirlerinin zayıflıklarını tamamlamaları açısından öbeleme performansını arttırdığı belirtilmektedir.

#### 2.2.5.4. Öbeleme algoritmalarının tesis yeri seçimi problemine uygulanması

Klasik yerseçimi problemleri aşağıda tanımlanan dört bileşenleri bağlamında öbeleme algoritmaları kullanılarak çözülebilir (ReVelle ve Eiselt, 2005);

- Farklı coğrafi noktalara dağılmış müşteriler vardır,
- Farklı coğrafi noktalara dağılmış aday tesis yerleri vardır,

- Müşterilerle tesisler arasındaki uzaklıkları ölçen bir değişken vardır,
- Her müşteri belirli bir tesisle ilişkilendirilmelidir.

Literatürde tesis yerseçimi problemleri (TYSP) için farklı öbeleme algoritmalarının kullanıldığı görülmektedir;

Franca ve diğ. (1999) kapasite kısıtlı bir TYSP için yeni bir tabu arama algoritması önererek, talepleri belirli müşterileri arzları sınırlı tesislerle eşleştirmiştir.

Chepoi ve Dumitrescu (1999), 'yapısal kısıtlı öbeleme' olarak adlandırdıkları problemlerini üç farklı uzaklık ölçütü ile hesapladıkları bulanık öbeleme algoritmasıyla çözmüşlerdir.

Baldacci ve diğ. (2002), araştırmalarında kapasite kısıtlı TYSP problem için önerdikleri iki farklı sezgisel öbeleme algoritmasının performansını literatürdeki test problemleri ile ölçmüştür.

Hsieh ve Tien (2004), kapasite kısıtsız TYSP problemine ÖDH ve benzetimli tavlama algoritmaları ile çözüm aramıştır. Yazarlar test problemleri ile yapılan performans değerlendirmelerinde ÖDH algoritmasının kesin sonuçlara çok yakın değerlere ulaştığını belirtmektedir.

Sheu ve diğ. (2005), afet yardım istasyonlarının yerlerini belirlemek amaçlı çalışmalarında, varsayımsal olarak belirledikleri elli hasarlı bölgeyi beş merkezde birleştirmek üzere bulanık  $\alpha$ -kesim öbeleme algoritmasından faydalanmışlardır.

Scheuerer ve Wendolsky (2006), kapasite kısıtlı TYSP'ni ele aldıkları araştırmalarında çözüm için yeni bir dağılım arama tabanlı sezgisel yaklaşım önermişlerdir.

Negresios ve Palhano (2006), atık toplama bölgelerini belirlemek amaçlı iki aşamalı sezgisel öbeleme algoritması önermişlerdir. İlk aşamada geometrik ağaç arama ve ikinci aşamada değişken komşuluk arama algoritmalarını kullandıkları yöntemi test problemleriyle doğrulamışlardır.

Zalik (2006), TYSP için ilk kez BCO algoritmasını önermiş ve performansını klasik c-ortalamalar algoritması ile kıyaslamıştır. Zalik, BCO algoritmasının TYSP’de daha iyi sonuç vermesi bağlamında, uygun olduğunu belirtmiştir.

Ayoub ve diğ. (2007), biyoenerji çevirim tesisleri için BCO öbekleme yöntemi kullanan bir simülasyon ve optimizasyon modeli geliştirmiştir.

Esnaflar ve diğ. (2007), yer seçimi kararının yanı sıra talep noktalarının sınırlı kapasiteli tesislere atanması kararının da verildiği problemin çözümü için bulanık kümeleme esaslı bir yöntem kullanmıştır. Model, her bir öbeğin kapasitesi talebini karşılayana kadar öbek sayısını artırır, böylece optimum öbek sayısını bularak daha sonra tesis-talep noktası atamasını yapar. Her bir talep noktasının öbeklere atanmış olan tesislerden sağlayacağı ürün miktarı üyelik derecesi ölçüsündedir. Bu yayın tersine lojistik faaliyetleri gerçek verisi ile uygulanan sınırlı araştırmalardandır.

Güner ve Şevkli (2008), çalışmalarında parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile kapasite kısıtsız, çoklu tesis yeri seçimi problemi çalışmışlardır.

Büyüksaatçi ve diğ. (2008) bir asfalt firmasının kurulacak geri dönüşüm tesisleri için kapasite, maliyet, talep ve coğrafi konum kısıtları bağlamındaki optimum tesis konumlarını, Gustafson-Kessel bulanık öbekleme algoritması ve Konveks programlama modelinin birleştirildiği melez bir model ile belirlemiştir.

Esnaflar ve Küçükdeniz (2009), kapasite kısıtı olmayan tesis yeri seçimi problemine bulanık-öbekleme tabanlı bir çözüm önermiştir. Gerçek veriye uygulanan iki aşamalı çözüm yönteminde önce talep noktaları bulanık öbekleme yöntemi ile gruplanmış, daha sonra ağırlık merkezi algoritmasıyla öbeklere ait tesis yerleri belirlenmiştir.

Kashan ve diğ. (2012), DisABC adını verdikleri yeni bir YAK algoritmasını kapasite kısıtsız TYSP çözümünde test etmişlerdir.

Küçükdeniz ve diğ. (2012), konveks programlama ile BCO algoritmasını entegre ettikleri çalışmalarında, ilk adımda BCO ile kapasite kısıtlı TYSP için tesislerin ilk



yerlerini belirlemektedir. İkinci adımda ulaşım maliyetlerini enküçükleyen konveks programlama ile tesislerin iyileştirilmiş yerleri tespit edilmektedir. Önerilen entegre algoritma test problemleri ve gerçek veri ile de test edilerek performansının üstünlüğü raporlanmıştır.

Tunçbilek ve diğ. (2012), ayrık uzayda (kesikli sistem) kapasite kısıtsız TYSP problemine YAK algoritması ile çözüm aramıştır. Önerilen yöntemin performansı, sürekli ve ayrık uzay problemleri için parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile kıyaslanarak, 768 talep noktası ve 11 tesisli bir ağ için daha üstün performans verdiği gözlenmiştir.

Zhang ve Lee (2013), TTZ’de toplam ulaşım maliyetlerini en küçükmeyi amaçlayan, toplama tesislerinin yer seçimi problemini YAK algoritması ile çözmüşlerdir.

Esnaf ve Küçükdeniz (2013), kapasite kısıtsız çoklu TYSP problemlerinin çözümünde, BCO, BCO-GM ve parçacık sürü optimizasyonu algoritmalarına alternatif olarak önerdikleri yeni gravite merkezi ağırlıklı BCO algoritmasının, maliyet enküçüklemesi ve çözüm süresi bakımından performansının üstünlüğünü belirtmişlerdir.

Gergin ve Esnaf (2013)’ın, çoklu TYSP problemi çözümü için gerçek veri kullanılarak dört farklı algoritmanın performanslarının kıyaslandığı çalışmalarında gravite (ağırlık) merkezi (GM) yöntemi ilk kez ÖDH algoritması ile entegre edilmiştir.

Mohrechi ve Hatamlou (2014), YAK algoritması ile acil tıbbi yardım merkezlerinin yer seçimi problemini çalışmışlardır.

Esnaf ve diğ. (2014), tesis yerlerinin belirli olduğu durumlar için (kesikli sistem) tesise bağlanacak talep noktalarının belirlenmesini amaçlayan çalışmalarında, Tek İterasyonlu Bulanık C-Ortalamlar algoritmasını önermişlerdir. Önerilen algoritmanın performansının kapasite kısıtsız TYSP çözümünde, doğrusal programlama ve YAK algoritmalarına üstünlüğü gerçek veri ile test edilerek gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında TYSP için, gerek daha güncel olmaları, gerekse literatürdeki çalışmalarda daha iyi sonuçlar vermesi nedeniyle BCO-GM, ÖDH-GM ve YAK öbeleme algoritmaları kullanılmıştır.

Tersine lojistik faaliyetleri bünyesindeki tesislerin yerleşimi problemlerinin literatürde sınırlı sayıda tek başına ele alındığı ve bu problemlerin genellikle araç rotalama problemleri ile entegre olarak çalışıldığı görülmüştür. Bu nedenle izleyen bölümde araç rotalama problemleri ile ilgili literatür taraması yer almaktadır.

### **2.2.6. Tersine Lojistik için Araç Rotalama Problemi (ARP)**

Araç rotalama problemi (ARP) coğrafi olarak dağıtım şehirler veya müşteriler ile bir veya daha fazla depodan hizmet vermek üzere belirlenen araçların, belirli kısıtlar dahilinde en uygun dağıtım/toplama rotalarının belirlenmesi problemidir (Laporte, 1992).

Klasik ARP problemlerinin temel varsayımları şöyledir (Ekşioğlu ve diğ. , 2009) ;

1. Her rota depo ile başlar ve depo ile sonlanır.
2. Her müşteri tek bir rotaya atanır.
3. Rotaya ait toplam talep deponun kapasite değerini aşmamalıdır.
4. Müşteri talepleri bellidir ve bilinir.
5. Deponun talebi sıfırdır.
6. Araç filosu homojendir (aynı türdedir ve eşit kapasiteye sahiptir).

Literatürde farklı varsayım ve kısıtların eklenmesiyle oluşan aşağıda sıralanan ARP problem çeşitleri görülür (Baldacci ve Mingozzi, 2009; Ekşioğlu ve diğ. , 2009; Toth ve Vigo, 2002; Laporte ve diğ., 1992) ;

1. Karma kapasiteli (heterojen filo) ARP: Araçlar eş değildir, her bir aracın diğerinden farklı bir kapasitesi olabilir.
2. Stokastik talep yapılı (belirsiz talebe sahip) ARP: Müşterinin talebi değişkendir, araç müşteriye vardığı zaman müşterinin talebi belli olur.
3. Çok depolu ARP: Her müşteriye kendi lokasyonuna uygun depodan çıkan araç tarafından servis verilmektedir. Önce müşterilerin hangi depodan servis

alacaklarına karar verilir. Bu aşamaya “kümeleme (öbekleme) aşaması” denir; araçların kat edecekleri yolları azaltacak şekilde müşterilerin depolara atanması gerekmektedir. Daha sonra, araç kapasiteleri gözetilerek kat edilen yolu veya kullanılan araç sayısını enküçükleyecek şekilde araçların öbekteki rotaları belirlenir.

4. Geri toplamalı ARP: Araçlar iki grup müşteriye hizmet eder; birinci grup ürün teslimi yapılacak, ikinci grup ürün toplanacak müşterilerdir. Araçlar, ilk grubun servisi bittikten sonra ikinci grubu dolaşır.
5. Dağıtım ve toplamalı ARP: Dağıtım ve toplama aynı rotada birleştirilir. Araçlar sadece dağıtım yapmamakta, ayrıca müşterilerden bazı ürünleri toplamaktadır. Müşterilerden alınacak ürünler hesaplanarak araç kapasiteleri belirlenir.
6. Dinamik tesis yeri belirlemeli ARP: Bu problemlerde depoların yeri sabit değildir. Her rotalama öncesi yeni depo ve ona bağlı araç rotaları hesaplanır.
7. Parçalı dağıtımlı ARP: Her aracın sadece bir müşteriye hizmet vermesi kısıtı yoktur. Bir müşterinin talebi bölünerek birden fazla araç ile karşılanabilir.
8. Zaman pencereci ARP: Araçların müşterilere uğramaları gereken belirli zaman sınırı kısıtları vardır. Bu sınırlardan önce/sonra adrese uğramasına asla izin verilmez. Çift sınırlı bir zaman penceresinde, müşteriye gidilebilecek en erken ve en geç zaman belirlidir. Tek sınırlı zaman pencereleri, uğranılabilecek "ilk zamanı belirli olanlar" ve "son zamanı belirli olanlar" şeklinde ikiye ayrılır.

Bu tez çalışmasında heterojen filo ARP çalışılmıştır. Çalışmadaki öbekleme algoritmaları ile belirlenen öbeklere kapasite kısıtını sağlayacak şekilde heterojen filo araçlarını atayan bir araç atama modelinin ARP modeli çözülmeden önce kurulup sonuçların elde edilmesi gerekir. Bu araç atama modeli malzeme ve yöntem bölümünde (Bölüm 3) detaylı olarak açıklanmıştır.

Bu tür problemleri ifade eden genel matematiksel model formülasyonu aşağıda verilmiştir (Hoff ve diğ., 2010);

$i, j$	: düğüm indisi ( $0, \dots, n+1$ )
$k$	: araç indisi ( $1, \dots, K$ )
$c_{ij}$	: $i$ düğümünden $j$ düğümüne gitmenin maliyeti

$qh_j$	: $j$ müşterisinin talebi
$q_k$	: $k$ aracının kapasitesi
$N = \{0, \dots, n+1\}$	: tüm düğümler kümesi
$\{0, n+1\}$	: depo düğümleri
$C = \{1, \dots, n\}$	: müşteri düğümleri kümesi
$V = \{1, \dots, K\}$	: heterojen araçlar kümesi
$A \subseteq N \times N$	: düğümler arası ziyaret olması olasılığı; $(i, i)$ , $(i, 0)$ , $(n+1, i)$ hariç olmak üzere;

Modelin Karar Değişkenleri:

$x_{ijk}$	: 1, eğer $k$ aracı $i$ müşterisinden sonra $j$ müşterisini ziyaret ediyorsa; 0, aksi halde.
$y_{ij}$	: $i$ müşterisinden $j$ müşterisine akış

Amaç fonksiyonu:

$$\min z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K d_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in C \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ijk} - \sum_{i \in N} x_{jik} = 0 \quad \forall k \in V, \forall j \in C \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} y_{ij} - \sum_{i \in N} y_{ji} = qh_j \quad \forall j \in C \quad (4)$$

$$y_{0j} \leq \sum_{k \in V} q_k x_{0jk} \quad \forall j \in C \quad (5)$$

$$y_{ij} \leq \sum_{k \in V} M_{ijk} x_{ijk} \quad \forall (i, j) \in A \quad (6)$$

$$y_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A \quad (7)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in V, \forall (i, j) \in A \quad (8)$$

Burada amaç fonksiyonu (1), rotaların toplam maliyetlerini en küçükler. Birçok ARP'de maliyetin uzaklık parametresi olarak tanımlandığı görülmektedir (Nagy ve Salhi, 2007). (2) numaralı kısıt her müşterinin sadece bir kez ziyaret edilmesini, kısıt (3) düğüme giren aracın düğümden çıkmasını sağlamaktadır. Kısıt (4) tüm müşterilerin taleplerinin karşılanmasını ve müşteriler arasında sürekli akışın devam etmesini gerçekleştirir. (5) numaralı kısıt ile bir turdaki yükün tura atanmış aracın kapasitesini geçmemesi sağlanır. Kısıt (6),  $i$  düğümünden  $j$  düğümüne araç atanmadıysa bu düğümler arasında akış olmadığını ifade etmektedir. Buradaki  $M_{ijk}$ , yeterli ölçüde büyük bir sayı olmalıdır. Hoff ve diğ. (2010), bu sayının toplam müşteri talebi olarak tanımlanabileceğini aktarmıştır. (7) numaralı kısıt akışın pozitif olması ve (8) ağıdaki her  $(i, j)$  yayının  $k$  aracı tarafından kullanılması durumunda 1, aksi halde 0 değer almasını sağlar.

Araç rotalama problemleri polinom zamanda çözülemeyen zor (NP-zor) problemler olarak sınıflandırılır (Aksen ve diğ. 2007, Bjorndal ve diğ., 1995). NP-zor problemlerin tümünü etkin bir şekilde çözebilen tek bir algoritma mevcut değildir, ARP problemleri için literatürde uygulamaları görülen algoritmalar çeşitlidir;

1. Kesin çözüm algoritmaları: Optimal çözümü bulmayı amaçlayan bu algoritmaları Laporte (1992) üç başlık altında toplar; (i) Ağaç arama, (ii) Dinamik programlama, (iii) Tamsayılı doğrusal programlama. Kesin çözüm algoritmaları ARP problemleri için kullanılan en eski ve en yaygın yöntemlerdir. Literatürdeki ilk model Laporte ve diğ. (1984) tarafından yayınlanmıştır. Süral ve Bookbinder (2003) ve Kek ve

diğ. (2008), karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ile dağıtım ve toplamalı ARP problemine optimum çözüm bulmuştur. Baldacci ve Mingozzi (2009) farklı türlerdeki ARP problemleri için çeşitli matematiksel modeller önermiştir. Aras ve diğ. (2011), karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ile çok depolu ARP problemi çalışmışlardır.

2. Klasik sezgisel algoritmalar: Optimal çözümü bulmayı garanti etmeyen bu yöntemler NP-zor problemlere kabul edilebilir zaman sınırları içinde yaklaşık en iyi değerleri bulmayı amaçlamaktadır. Laporte ve diğ. (2000) bu algoritmaları gruplamıştır; (i) Rota yapılandırma yöntemleri, (ii) İki aşamalı yöntemler, (iii) Rota geliştirme yöntemleri. Literatürde ARP için kullanılmış sezgisel yöntemler Anbuodayasankar ve diğ., 2011; Nagy ve Salhi, 2005; Zografos ve Androustopoulos, 2004; Park ve Hong, 2003; Toth ve Vigo, 1999 çalışmalarında incelenebilir.
3. Meta-sezgisel algoritmalar: klasik sezgisel yöntemlerin verdiği sonuçlardan daha iyi sonuçlar verdiği ispatlanmış, ancak hesaplama süreleri klasik sezgisel yöntemlerden daha uzun, kesin çözüm veren algoritmalar ise daha kısadır . (i) Yerel arama, (ii) popülasyon tabanlı arama, (iii) öğrenme mekanizmaları başlıkları altında gruplanırlar. ARP problemleri için çeşitli metasezgisel algoritmalar kullanılmıştır;
  - Genetik Algoritmalar (Tasan ve Gen, 2012; Saez ve diğ., 2008; Baker ve Ayechev, 2003), sinir ağları (Modares ve diğ., 1999; Toriki ve diğ., 1997),
  - Karınca Kolonisi (Bell ve McMullen, 2004; Mazzeo ve Loiseau, 2004; Bullheimer ve diğ., 1999),
  - Benzetimli Tavlama (Van Breedam, 1995; Osman, 1993),
  - Tabu Arama (Nenjamin ve Beasley, 2010; Caballero ve diğ., 2007; Crevier ve diğ., 2007; Archetti ve diğ., 2006; Osman, 1993).

ARP tersine lojistik bağlamında ilk çalışma Beltrami ve Bodin (1974) tarafından yapılmış ve belediyenin atık toplama faaliyetlerine uygulanmış çalışmadır. 2006 yılına kadar sadece atık toplama ağlarının tasarımı için çalışılmış, bu yıldan sonra ise ilk

kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin geri dönüşüm veya yeniden üretim amacıyla toplanması problemleri çalışılmıştır (Lin ve diğ., 2014).

Aşağıda bu tez çalışmasının da kapsamında olması bağlamında, 1990-2015 yılları arasında tersine lojistik - atık toplama faaliyetleri için uygulanan ARP araştırmalarının literatür taraması sonuçları sıralanmıştır.

#### *2.2.6.1. ARP için kesin çözüm yöntemleri*

List ve Mirchandani (1991) bertaraf tesisi yerlerini de belirledikleri çalışmalarında çok amaçlı ve çok ürünlü bir model geliştirerek kamyonların rotasını hesaplamıştır.

Caruso ve diğ. (1993)'nin önerdikleri yazılım atık tesislerinin kurulum ve ulaşım maliyetlerinin yanında çevresel etkileri de hesaba katan çok amaçlı yer seçimi ve rotalama problemini çözmektedir.

Kulcar (1996), bir katı atık yönetimi sisteminde evsel atıkların toplandığı depoları dolaşarak günlük atıkları yakma tesisine transferini çoklu rotalamıştır. Bu çalışmada, rotalar ağırlık merkezi yöntemi ile birleştirilmiştir.

Nema ve Gupta (1999), çok amaçlı tamsayı programlama ile tehlikeli atıklar için tesis yeri seçimi ve rotalama modeli geliştirmiştir.

Shih ve Chang (2001), Tayvan'daki atık yönetim sistemi için haftanın farklı günlerine rotalar atayan karma tamsayı programlama yöntemi ve 348 hastaneli Tainan şehri için bir uygulama önermişlerdir.

Angelelli ve Speranza (2002) İtalya ve Belçika'da atık yönetiminde üç farklı atık toplama sisteminin işletim maliyetlerini incelemiştir.

Cappanera ve diğ. (2004), kurulacak atık tesisinin toplam maliyeti ile tesise transfer edilecek tek tip atığı taşıyan araçların kat edecekleri mesafeleri belirli lokasyon ve rota kısıtları altında enküçükleyen entegre bir model yazmışlardır. Problem yerseçimi ve

rotalama problemleri olarak alt problemlere bölünerek lagranj gevşemesi ile çözülmüştür.

Teixeira ve diğ. (2004) kentsel geri dönüştürülebilir atıkların toplanmasını inceledikleri çalışmalarında, işletim maliyetlerini enküçükleyecek şekilde her ay tekrarlanabilecek günlük atık toplama rotaları planlamışlardır.

Armağan ve Demir (2005), katı atıkların toplanması için GIS (Geographic Information System: coğrafi bilgi sistemi) temelli bir rotalama modeli geliştirmiş, İstanbul ili için pilot bir uygulama yapmıştır.

Apaydın ve Gönüllü (2007, 2008), birbirini takip eden yayınlarında Trabzon ili için belediyenin katı atık toplama sistemini çalışmışlardır. Armağan ve Demir (2005) ile aynı GIS temelli metodu kullanan yazarlar, rota mesafelerinin enküçüklenmesi ile çeşitli zehirli gaz emisyonlarını da azaltıldığını belirtmiştir.

Alumur ve Kara (2007), tehlikeli atıklar üzerine yaptıkları araştırmalarında, çok ürünlü bir şebekede, tehlikeli atıkların işlem göreceği tesis yerleri ve buralara araçların rotalanması problemini bütünleşik olarak ele almıştır. Önerdikleri doğrusal programlama modeli toplam maliyetin yanında tehlikeli atıkların transferinden kaynaklanan riski de enküçüklemeyi amaçlamaktadır. Model 20 aday tesis yeri ve 92 talep noktalı bir problem için çözülmüştür.

Caballero ve diğ. (2007)'nin çalışması, tehlikeli atık transferindeki riski ele alan bir başka araştırmadır. Çok amaçlı doğrusal programlama modeli yakma tesisinin sabit maliyetlerini küçüklerken, rotaların değişken maliyeti ile yakma tesisinin bulunduğu ve araçların geçtiği bölgelerdeki risk etkisini de hesaba katmaktadır.

Alagöz ve Kocasoy (2008), İstanbul'daki tıbbi atıkların toplanmasına dair senaryo bazlı çalışmalarında, ticari bir araç rotalama yazılımı kullanarak, farklı bertaraf yöntemleri için senaryo analizi yapmışlardır.



Aksen ve diğ. (2012), biodizel üretiminde kullanılmak üzere atık bitkisel yağ toplayan bir sistem için, toplama, depolama ve satılma maliyetlerini enküçükleyecek şekilde, günlük bazda hangi talep noktalarına uğranacağını belirleyen iki farklı model yazmışlardır. Model 36 senaryo için çalıştırılarak test edilmiş, ortalama % 3,28 oranında kesin sonuca yakınsamış sonuçlar elde edilmiştir.

Samanlıoğlu (2013), Marmara bölgesinde endüstriyel tehlikeli atıkların toplanması, transferi, işlenmesi ve bertaraf edilmesi uyguladığı araştırmasında GIS veri tabanından faydalanmış, çok amaçlı bir lokasyon-rotalama modelini CPLEX yazılımı ile çözmüştür. Modelin amacı, farklı teknolojiler uygulayan atık işleme tesislerinin yerlerinin ve farklı atık türlerinin uygun tesise yönlendirildiği rotaların toplam transfer ve tesis işletim maliyetlerini en küçüklemeektir.

Ramos ve diğ. (2013), çıkış noktasına dönmeyebilen bir atık yağ toplama sisteminde, araç kiralama masrafları ve kat edilen mesafelerin enküçülenmesi için, kapasite ve zaman kısıtlarını gözeterek araçları rotalayan karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir.

Ramos ve diğ. (2014), çevresel kaygıları da hesaba katan çok ürün ve çok depolu bir ARP çalışmıştır. Kat edilen mesafe ve CO<sub>2</sub> emisyonların enküçülenmesini amaçlayan model, altı senaryo için çalıştırıldığında ortalama % 22 mesafe ve % 27 CO<sub>2</sub> salımı tasarrufu elde edilmiştir.

Miranda ve diğ. (2015), Şili'de evsel atık toplama problemini incelemiştir. Klasik bir karma tamsayılı programlama modeli ile araçlar için günlük toplama çizelgesi oluşturmuşlardır.

#### 2.2.6.2. ARP için sezgisel/meta sezgisel çözüm yöntemleri

Tung ve Pinnoi (2000), sezgisel bir algoritma önermiş, Vietnam Hanoi bölgesindeki atıkların toplanması problemi için uygulamıştır.

Sahoo ve diğ. (2005), zaman pencereli araç rotalama problemine ilave kısıtlar ekleyerek kurdukları modellerinde araç sayıları ve rota zamanlarını enküçükleyerek, aynı zamanda

araçların iş yükü dengesini sağlamayı amaçlamıştır. Modelde zaman kısıtlarını yanısıra, gömme ve transfer tesisleri ile sürücülerin yemek araları kısıt olarak eklenmiştir. İki aşamalı çözüm yönteminde önce c-ortalamlar öbekleme algoritması ile başlangıç rotaları belirlenir, daha sonra metasezgisel bir yöntemle iyileştirilir. Daha sonra Kim ve diğ. (2006), aynı problemi çalışmış ve kullanılan metasezgisel yöntemi geliştirmişlerdir.

Nuortio ve diğ. (2006) ve Kytöjoki ve diğ. (2007) birbirini tamamlayan araştırmalarında çok büyük ölçekli zaman pencereli ARP için yerel arama sınıfında bir sezgisel bir yöntem önermişlerdir. Yazarlar, doğu Finlandiya'da atıkların toplanması örneği için uyguladıkları yöntemleriyle mevcut uygulamaya kıyasla kayda değer maliyet kazançları elde edildiğini göstermişlerdir.

Benjamin ve Beasley (2010), tabu arama ve komşu arama sezgisel yöntemlerini kullandıkları araştırmalarında, rotanın sonunda toplanan atıkların bir bertaraf tesisine teslim edildiği ve rota hesabında sürücülerin çalışma ve dinlenme zamanlarının da düşünüldüğü bir model yazmışlardır. Yazarlar daha sonra bu çalışmanın kapsamını genişleterek 2092 müşteriye hizmet veren bir şebeke için geliştirdikleri hibrit yöntemi uygulamıştır (Benjamin ve Beasley, 2012).

Aras ve diğ. (2011), bayilerinden tekrar kullanılabilir ürün toplayan bir firma için toplama tesisinden çıkan homojen araçların, sadece karlı toplama noktalarını ziyaret edecek şekilde dolaşarak aynı tesise döndükleri rotalarını hesaplayan karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Yazarlar modeli kendi geliştirdikleri tabu arama algoritması ile çözmüştür.

Ramos ve Oliviera (2011), güney Portekiz'in Alentejo bölgesinde uyguladıkları araştırmalarında, beş depolu bir geri dönüştürülebilir atık toplama problemini geliştirdikleri sezgisel algoritma ile çözmüştür.

Buhrkal ve diğ. (2012), atık toplama sistemi için uyguladıkları zaman pencereli ARP çalışmalarında, komşu arama metasezgisel yöntemi ile Danimarka örneği için uygulama yapmışlardır.

Hauge ve diğ. (2014), endüstriyel atıkların toplanması problemi ile ilgilenmiştir. Bu problemde atıklar konteynerlerle toplanmaktadır ve toplama sırasında boş konteynerlerin de dağıtımı yapılmaktadır. Dağıtım ve toplamalı ARP probleminde araçların farkı dolu ve boş konteyner kapasiteleri gözetilerek dört gerçek problem için sezgisel bir yöntemle çözüm önermişlerdir.

Son (2014), Vietnam'daki Danang şehrinde katı atıkların toplanması için parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını GIS veri tabanı ile entegre ederek hibrit bir yöntem uygulamıştır.

Bing ve diğ. (2014), Hollanda'da plastik atıkların toplanmasının diğer katı atıklardan farklı olmasını öneren ve amaç fonksiyonunda maliyet kaygılarının yanısıra çevresel etkilerin de gözetildiği bir ARP'ni tabu arama metasezgisel yöntemi ile çözmüştür. Magenigen şehri belediyesinden alınan gerçek veriyle, farklı toplama yöntemleri, araç tipleri, toplama noktaları ve toplama sıklıkları için senaryo analizleri yapılmıştır.

Huang ve Lin (2015), evsel atık toplama amaçlı iki aşamalı çalışmalarında önce toplama noktalarını kesin çözüm veren yöntemle belirlemiş, ikinci adımda sezgisel bir yaklaşım uygulayarak en az sayıda araç ve en kısa yol ile tüm atıkların toplanmasını çalışmışlardır.

Literatür taraması özellikle son yıllarda çevresel kaygıların arttığı ve yeşil bakış açısının çalışmalara entegre edildiği göstermektedir. Atık toplama faaliyetleri dışında öne çıkan ARP ve yeşil yönetim çalışmaları Bölüm 2.3'de, YTZY başlığı altında ayrıca listelenmiştir.

### **2.3. YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ**

Çevre sorunlarının küresel boyutta ilk olarak ele alındığı Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı'nda (1972) Yeşil Tedarik Zinciri (YTZ) yönetiminin temellerinin atıldığı ifade edilebilir. Bu konferansta çevre sorunlarını uluslararası boyutta ele alacak Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP: United Nations Environmental Program)

oluşturulmuştur. UNEP koordinasyonunda 1979 yılından bu yana düzenlenen aşağıda sıralanmış çeşitli konferanslar ve imzalanan antlaşmalar ile tüm sanayilerin tedarik zinciri faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerini dikkate almalarını sağlayan yaptırımlar uygulanmaya başlanmıştır;

- Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı (1972, Stockholm)
- Birinci Dünya İklim Konferansı (1979)
- Ozon Tabakasının Korunmasına ilişkin Viyana Sözleşmesi (1985)
- Ozon Tabakasını İncelten Maddelere ilişkin Montreal Protokolü (1987)
- Rio Konferansı ve sonucunda Rio Deklarasyonu (1992)
- Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (1994)
- Kyoto Protokolü (1997)
- La Haye Konferansı (2000)
- Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi (2002, Johannesburg)
- Biyogüvenlik Protokolü (2009, Cartagena)
- Rio+ 20 BM Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı (2012, Rio)

Bu bağlamda, Avrupa Birliği ülkelerinde gerçekleştirilen yeni yasal düzenlemeler, üreticilere “genişletilmiş üretici sorumluluğu” kavramı kapsamında yeni yükümlülükler getirmektedir. Bu sorumluluk çerçevesinde yayınlanan direktiflerle üreticiler, ekonomik ömrünü tamamlamış bir ürünün yeniden kazanımını ve/veya gerikazanımın mümkün olmadığı durumlarda uygun şekilde bertarafını garanti altına almak zorundadırlar. Sayılan sebepler bağlamında organizasyonlar için TTZ faaliyetlerinin etkin yönetiminin oldukça önem kazandığı ifade edilebilir. TTZY’de gerçekleştirilen faaliyetlerdeki israfın önlenmesi ve süreçlerin iyileştirilmesi yoluyla firmalara, doğaya, ekonomiye ve tüketicilere çeşitli katma değerler sağlanabilir.

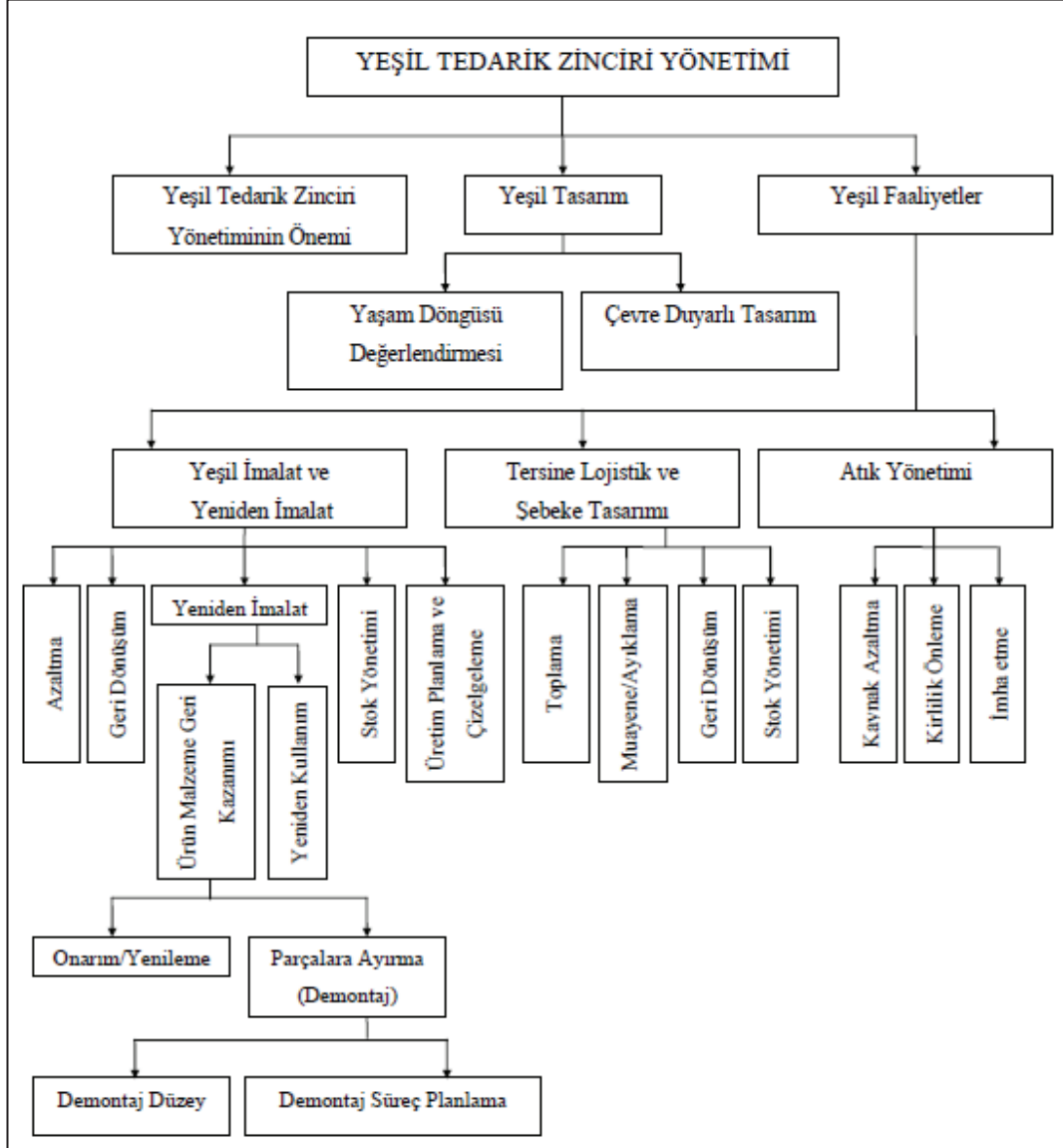
İşletmeleri yeşil politikalar uygulamaya zorlayan başlıca güç devlet gücü ve paralelinde giden yasalar olmakla beraber, diğer bir faktör de çevresel anlamda yanlış yönetimler sonucu yaşadıkları veya yaşayabilecekleri finansal, yasal ve kamuoyu tepkisi gibi sonuçlardır. Bu doğrultuda işletmelerde, tedarik zinciri yönetiminde kaynak kullanımındaki israfı azaltmak ve çevreye verilen zararı en aza indirmek amacıyla çeşitli yeni faktörler de dikkate alınmaya başlanmıştır.

Tedarik zincirinde çevreye duyarlı yaklaşım literatürde Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi (YTZY) olarak adlandırılmaktadır. Tedarik zinciri yönetimi kavramına yeşil sıfatının eklenmesiyle kapsamı genişletilmiş ve işletmenin faaliyetlerinin her basamağında çevre duyarlılığını içerecek şekilde yapılanması gündeme gelmiştir (Simpson ve Power, 2005).

YTZY ile ilgili literatür incelendiğinde, konunun genel olarak üç ana başlık altında tanımlandığı görülmektedir (Srivastava, 2007);

- Yeşil Tedarik Zinciri Yönetiminin öneminin ele alındığı çalışmalar
- Yeşil Tasarım
- Yeşil Faaliyetler

Yeşil tasarım, ürün ya da sürecin yaşam döngüsü değerlendirmesini hesaba katarak çevre duyarlı tasarım bakış açısından ele alınabilirken ; Yeşil faaliyetler de benzer olarak tersine lojistik ve şebeke tasarımı (toplama, muayene/ayıklama, ön işleme), yeşil imalat ve yeniden imalat (geri dönüşüm, üretim planlama ve çizelgeleme, stok yönetimi, yeniden kullanım, ürün ve malzeme geri kazanımı), atık yönetimi (kaynak azaltma, kirlilik önleme, imha etme) ile ilgili tüm operasyonel durumları içermektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8: YTZY'nin alt başlıkları (Srivastava, 2007).

Büyükozan ve Vardaloğlu (2008)'nin yaptığı literatür araştırmasına göre, çevresel, ekonomik ve operasyonel olarak üç ana başlık altında toplanan YTZ için dikkat edilmesi gereken faktörler Tablo 2.2'de gösterilmektedir. Tedarik zinciri optimizasyon çalışmalarında tabloda sıralanan çevresel göstergelerin dahil edildiği çalışmalar literatürde 2006 yılından sonra artmaya başlamıştır. Özellikle ARP problemlerinde, araçların dolaştığı mesafelerin azaltılmasını amaçlayan problemlerde dolaylı olarak emisyonların da azaltılacağını savunan çalışmalar sıklıkla görülmektedir (Lin ve diğ., 2014).

**Tablo 2.2:** Y TZ'de dikkat edilmesi gereken faktörler (Büyükozan ve Vardaloğlu, 2008).**Çevresel Faktörler**

- Harcanan toplam enerji miktarı
- Harcanan toplam malzeme miktarı
- Süreçlerde hammadde ve enerji kullanım miktarı
- Yeraltına ve su kaynaklarına sızan atık miktarı
- Ürünlerdeki ve yan ürünlerdeki tehlikeli, zararlı, zehirli madde derişimi
- Çevresel düzenlemeler, uyumluluk ve denetleme programları
- Süreçler sonucu oluşan gaz emisyon miktarı
- Regülasyonlara uygunsuzluk nedeniyle alınan cezaların sayısı
- Dağıtım araçlarında kullanılan yakıt türü

**Ekonomik Faktörler**

- Enerji tüketimi maliyetlerindeki azalma miktarı
- Çevre regülasyonlarına uyulmamasından ötürü ödenen ceza miktarı
- Hammadde satınalma maliyetlerindeki azalma miktarı

**Operasyonel Faktörler**

- Dağıtım ve geriye lojistik ağ tasarımının verimliliği
- Toplum tarafından algılanan yeşil imaj
- Tedarikçinin anı işte devamlılık sağlama gücü
- Ürünleri yeşil etiketleme
- Geri dönüştürülebilir malzemenin oranı
- Tedarikçilerle işbirliği
- Geri dönüştürülen paket ve konteyner kullanım oranı
- Ürünün kullanım ömrü dolduğunda geri dönüştürülebilir, yeniden kullanılabilir, yeniden işlenebilir malzemenin hacimsel yüzde değeri
- Üretim sırasında atığa ayrılan ürünün yüzdesi
- Satın alınacak malzemenin eko-tasarım spesifikasyonlarına uygunluğu
- Saatte demonte edilen ürün miktarı
- Tedarikçilerin yeşil imajı ve sertifikaları

Aşağıdaki sınırlı sayıdaki çalışma TTZ süreçlerini yeşil göstergelerle inceleyen literatür taraması sonuçlarıdır. Bu bağlamda bu tez çalışmasının TTZY faaliyetlerinin yeşil göstergelerle optimize edilmesini çalışan literatüre bir katkı olduğu ifade edilebilir.

Kara ve diğ. (2007b), kapasite kısıtlı araç rotalama probleminde amaç fonksiyonunu maliyet yerine enerjinin enküçüklenmesi olarak belirlemiştir. Önerilen tamsayılı doğrusal programlama modeli literatürdeki örnek problemler için CPLEX ile çözülmüştür.

Sundarakani ve diğ. (2010), otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir tedarik zincirindeki ısı ve emisyon transferini modellemişlerdir.

Bektaş ve Laporte (2011)'nin çalışması mevcut literatürdeki en kapsamlı çalışmadır. Emisyon-rotalama problemi olarak adlandırdıkları çalışmalarında, amaç fonksiyonu sadece kat edilen mesafeyi değil, sera gazı emisyonları, yakıt tüketimi, seyahat süreleri ve maliyetleri de hesaba katmaktadır. Zaman pencere ve penceresiz ARP problemleri için gerçek vakalarla test edilen model, araç yükü ve hızı gibi farklı parametreler için maliyet değerlerini göstermektedir.

Jabali ve diğ (2012), zaman pencere ve ARP için seyahat sürelerinin yanında CO<sub>2</sub> salımını da analiz etmiştir. Model tabu arama sezgiseli ile çözülmüştür.

Pradenas ve diğ. (2013), amaç fonksiyonunda enerji ihtiyacını tanımladıkları araç rotalama yapan matematiksel modellerini, dağılım grafiği olarak adlandırdıkları meta sezgisel yöntemi ile çevresel etki kısıtları altında çözmüşlerdir.

Ćirović ve Pamučar (2014), benzetimli tavlama algoritması ile çözüm önerdikleri araştırmalarında doğa dostu araçlar ile doğa dostu olmayan araçların aynı rotalarda kullanılmasını işletim maliyetleri ve hava ve gürültü kirliliği parametreleri açısından Belgrad'da yaptıkları bir pilot uygulama ile değerlendirmiştir.

Büyüksaatçi ve Esnaf (2014) Bulanık C-Ortalamlar ve Gustafson-Kessel öbekleme algoritmaları ile ağırlık merkezi metodunu birleştirdikleri araştırmalarında, geri



dönüşüm tesislerine gelen araçların CO<sub>2</sub> salımının en küçüklenmesini sağlayacak şekilde tesislerin yerlerini belirlemişlerdir.

#### 2.4. YALIN ÜRETİM YAKLAŞIMI İLE YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Womack ve Jones (2003)'un "Yalın Üretim" olarak adlandırdıkları üretim stratejisinin temelinde Toyota Motor Fabrikasının 1950'lerde kaynak kullanımını azaltmak amacıyla başladığı yöntem ve prensipler bulunur. Yalın Üretim felsefesinde amaç sadece müşterinin istediği ürünleri (fonksiyon, kalite ve fiyat açısından), müşterinin istediği zamanda (pazara sunulduğu zaman, teslim süresi, sevkiyat sıklığı), daha az kaynak harcayarak (emek, ekipman, zaman, alan vb.) üretebilmek ve müşteri için bir değer teşkil eden faaliyetlere odaklanabilmektir. Bu faaliyetler değer yaratan faaliyetler olarak adlandırılır ve bunlar haricindeki tüm faaliyetlerin sonuçlarının israf yarattığı kabul edilir. Böylece müşteri bakışıyla değer yaratan faaliyetler tanımlanır ve aşağıdaki israf kalemlerinin azaltılması yoluyla arttırılan değer sürekli akışı sağlanır (Ohno, 1988; Hines ve Rich, 1997a);

1. **Uygunsuz üretim:** Bir ürün veya hizmetin müşteri gereksinimlerini karşılamayacak şekilde üretilmesi; ürünü onarmak, yeniden yapmak
2. **Bekleme:** Değer katan herhangi bir şeyin yapılmadığı boş zaman (çalışanın makineyi, malzemeyi, bilgiyi beklemesi, makinenin onu çalıştıracak kişiyi beklemesi, arıza ve duruşlara etkin müdahale olmaması, uzun hazırlık süreleri vb.)
3. **Fazla üretim:** Müşterinin istediğinden fazla üretmek
4. **Gereksiz işlem:** Müşteri açısından ürüne değer katmayan parçalar, özellikler koymak, değer katmayan işlemler için çaba harcamak
5. **Gereksiz hareket:** Çalışanların değer katmayan herhangi bir amaç için hareket etmesi (yürüme, eğilme, uzanma, kaldırma vb.)
6. **Taşıma:** Malzemenin, ürün ve hizmetlere değer katmayan hareketi
7. **Fazla stok:** Üretim veya satış için gerekenden fazla malzeme, yarı mamul, ürün depolanması

İşletmelerin maliyetlerini düşürebilmek amacıyla uyguladıkları yöntemlerden Yalın Üretim ve Y TZ yönetiminin tedarik zinciri boyunca israfı azaltmayı amaçlamaları bağlamında birbirini destekledikleri ifade edilebilir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Organizasyonu (US-EPA) tarafından 2000 yılında ülke çapında yapılan araştırma, Yalın Üretim uygulamalarının çevre üzerindeki olumlu etkilerini destekleyen sonuçlara ulaşmıştır. Tablo 2.3 çalışma bağlamında 2003 yılında hazırlanan hazırlanan raporda Y TZ israf kalemlerinin doğal çevre üzerindeki etkilerini göstermektedir.

**Tablo 2.3:** İsr af türleri ve doğal çevre üzerindeki etkileri (US-EPA, Ekim 2003).

İsr af türü	Çevre üzerindeki etkisi
Uygun su z üretim	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Boşa giden hammadde kullanımı</li> <li>• Iskartaya ayrılan ürünlerin atık olarak depolanması</li> <li>• Uygun su z üretimin yeniden işlenmesi veya tamiri için gereken alanın ısıtılması, soğutulması, aydınlatılması için harcanan enerji</li> </ul>
Bekleme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Malzeme veya makine parçasının bozulması</li> <li>• Duruşlar sırasında ısıtma, soğutma, aydınlatma için harcanan enerji</li> </ul>
Fazla üretim	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fazladan hammadde kullanımı</li> <li>• Fazla üretilen ürünlerin bozulmasından kaynaklanan atıkların depolanması</li> </ul>
Gereksiz işlem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Boşa giden hammadde kullanımı</li> <li>• Gereksiz işlemler için kullanılan enerji</li> <li>• İşlemler neticesinde üretilen emisyonlar</li> </ul>
Gereksiz hareket	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gereksiz hareketler için kullanılan enerji</li> </ul>
Taşıma	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transfer için fazladan enerji kullanımı</li> <li>• Transfer için fazladan emisyon üretimi</li> </ul>
Fazla stok	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fazladan kullanılan ambalaj malzemesi</li> <li>• Depodaki ürünler için gereken alanın ısıtılması, soğutulması, aydınlatılması için harcanan enerji</li> <li>• Depodaki ürünlerin bozulmasından kaynaklanan atıkların depolanması</li> </ul>

Yalın Üretim 7 ana başlık altında topladığı israf kalemlerini azaltmak amacındayken, Y TZ yönetimi 8 başlık altında gruplanan çevresel israfların azaltılmasını amaçlar. Yalın Üretim israf kalemleri bağlamında sıralanan Y TZ israf kalemleri Tablo 2.4’de verilmiştir.

**Tablo 2.4:** Y TZ’de israf kalemleri (Vincent, 2009).

<b>TÜR</b>	<b>GİRDİ</b>	<b>ÇIKTI</b>
<b>1. SU</b>	Üretim için kullanılan su	Atık su
<b>2. ELEKTRİK</b>	Gaz/kömür/nükleer/petrol bazlı yakıtlar Rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal, güneş, biyoyakıtlar	
<b>3. GAZ</b>	Doğal gaz vb.	Propan, metan vb. zehirli gazlar
<b>4. YERYÜZÜ</b>	Doğal kaynaklı hammaddeler (tuz, kömür, ham petrol, boksit, kurşun, vb.)	Doğaya verilen atık
<b>5. EMİSYON</b>		Duman, su buharı, ısıtılmış hava, toksik gazlar, vb.
<b>6. KULLANILMIŞ ÜRÜN</b>		Ürünün kullanımı sonrası kalan atıklar (ambalaj malzemesi vb.)
<b>7. HAMMADDE</b>	Fazladan kullanılan hammadde (toksik kimyasallar dahil)	
<b>8. YAN ÜRÜN</b>		Katı atıklar, kullanılmayan süreç çıktıları, zehirli atıklar, vb.

Yalın Üretim felsefesi sırasıyla uygulanan beş ilke ile gerçekleştirilir (Womack ve Jones, 2003);

1. Belirli bir ürün için DEĞER’i kesin ve açık bir şekilde tanımlamak
2. Her ürünün DEĞER AKIMI’nı saptamak

3. Değerin kesintisiz AKIŞINI sağlamak
4. Müşterinin değeri üreticiden ÇEKMESİNİ sağlamak
5. MÜKEMMELLİK peşinde koşmak

Bu amaçla literatürdeki 5S, hat dengeleme (heijunka), tam zamanında üretim (JIT: Just in time), tek parça akış, hazırlık sürelerinin azaltılması (SMED:single minute exchange of die), toplam verimli bakım, kanban kartları, hata önleme (poka yoke), otonomasyon (jidoka), görsel yönetim (andon), değer akış haritalama (DAH) gibi pekçok yöntemden faydalanılır (Hines ve diğ. 2010).

Mason ve diğ. (2008), yeşil tedarik zinciri haritalama olarak isimlendirdikleri DAH ile haritaladıkları süreçlerde Yalın Üretim ve YTZY ilişkisini göstermişlerdir. İzleyen bölüm bu tez çalışması kapsamında kullanılan DAH yönteminin anlatılmasına ayrılmıştır.

## 2.5. DEĞER AKIŞ HARİTALAMA

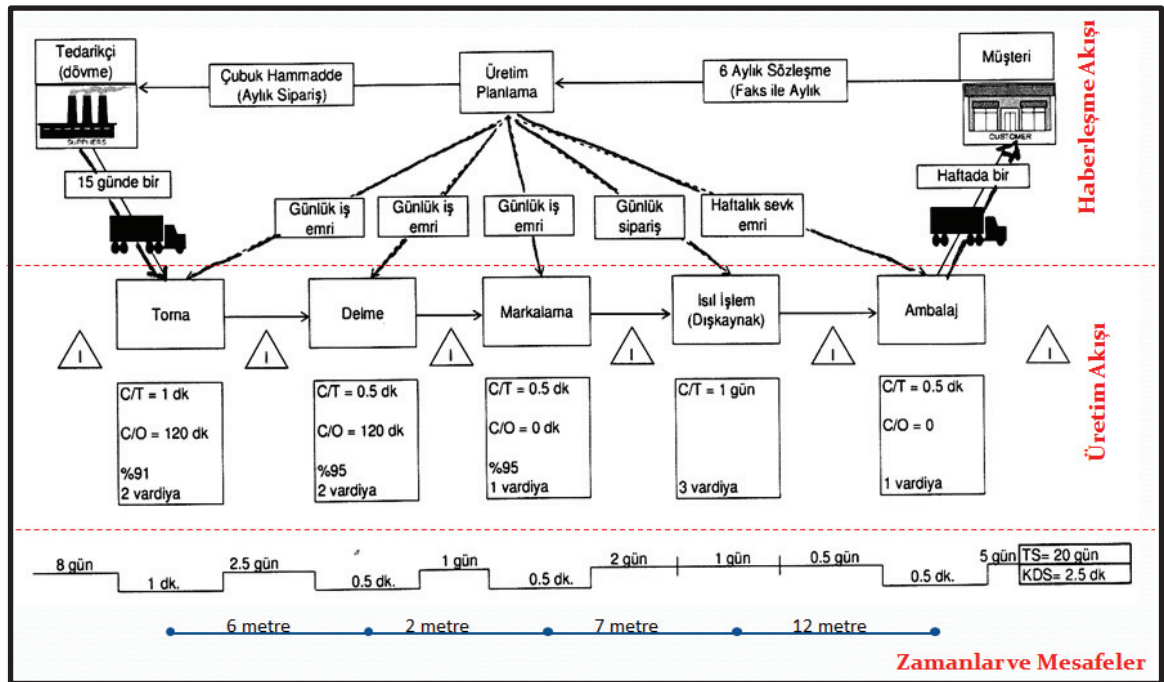
Değer Akış Haritalama (DAH) Yalın Üretim uygulamalarında kullanılan pek çok yöntemden farklı olarak, kaynağı Yalın Üretim prensipleri olan bir yöntemdir (Fearne ve Norton, 2009). DAH, tedarik zinciri süreçlerinin görselleştirilerek değer zincirindeki akışının detaylı olarak incelenmesine hizmet eder. Süreçte akışın durduğu, stoğun biriktiği, sürecin başlayıp bittiği noktalar, katma değer yaratmayan adımlar, temin süresi, kat edilen mesafe ve stok seviyesi gibi sayısal değerlerin detaylandırılmasını sağlayan görsel bir araçtır (Birgün ve diğ. , 2006).

Geleneksel bir DAH tedarik zinciri veya zincirdeki tek bir organizasyon bazında, tek bir ürün/ ürün ailesi için, ürünün ortaya çıkması için gerekli tüm süreçleri ve bilgi ve malzeme akışını gösterecek şekilde çizilir. Şekil 2.9'da gösterildiği üzere üç ana bölümden oluşur (Rother ve Shook, 1998);

1. **Haberleşme Akışı:** Müşteri ve tedarikçiler ile gerçekleşen iletişime dair bilgi bu bölümdedir. Müşteri ve tedarikçilerle alış verişi yapılan bilginin konusu,

frekansı, iletişim yöntemi, işletmede bu iletişimden sorumlu bölüm ve üretim emrinin verilmesine dair veri bu bölümde gösterilir.

- Üretim Akışı:** Ürün gerçekleştirme adımlarının ve sürecin parametrelerinin gösterildiği bölümdür. Bu bölümde her adımdaki hazırlık ve işlem sürelerinin yanısıra, kontroller, ara stoklar, çalışan sayısı gibi bilgiler bulunur. Mevcut durum DAH'da tespit edilen iyileştirmeye açık alanlar bu bölümdeki süreç adımlarının üzerinde gösterilmektedir.
- Zamanlar ve mesafeler:** Üstteki bölümlerdeki verinin kullanılarak çizildiği, zaman ve mesafeleri gösteren alandır. Zaman ve mesafe hattının sonunda sürecin toplam çevrim zamanı ve ürünlerin toplam hareket miktarı görülür. Süreç adımları arasında malzemenin kat ettiği mesafeler düz çizgiyle, işlem zamanları ise değer yaratan ve yaratmayan süreleri öne çıkartmak amacıyla yüksek ve alçak basamaklar halinde çizilir. Yüksek basamakların üzerinde yazan süreler stokların eritilmesi, hazırlık zamanları gibi Yalın Üretim felsefesinde değer yaratmayan faaliyetler için gereken zamanlardır ve iyileştirmeye açık alanlar bu değerler bağlamında belirlenir.




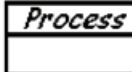
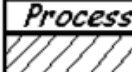
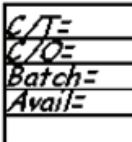

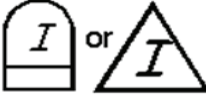
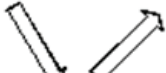

Şekil 2.9: DAH örneği (Birgün ve Gülen, 2008).

DAH'da süreçteki faaliyetlerin çevrim süreleri değerlendirilerek tüm değer yaratan ve yaratmayan zamanlar belirlenir. Amaç değer yaratmayan zamanlar için harcanan zamanların en aza indirilmesini sağlayacak süreç optimizasyonunu gerçekleştirmektir.






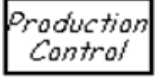
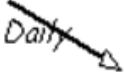

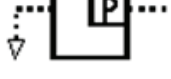

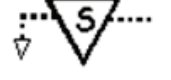
### 2.5.1. Değer Akış Haritası Sembolleri

DAH yöntemi sürece dair tüm bilgiyi bir bakışta göstermeyi amaçlar. Bunun için sürece dair tüm veriyi gösterecek şekilde tasarlanmış Tablo 2.5'de listelenen özel semboller ve şekiller kullanılarak çizilir;









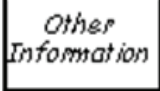

**Tablo 2.5:** DAH sembolleri (Nash ve Poling, 2008; Jones ve Womack, 2009).

 <b>Customer/Supplier</b>	<p>Sol üst köşede ise, tedarikçi – malzeme akışının başladığı yer;</p> <p>Sağ üst köşede ise müşteri – ürünün ulaştırıldığı yer</p>
 <b>Dedicated Process</b>	<p>Değer akışında bir faaliyet, bir süreç, bir makine yada bir bölüm</p>
 <b>Shared Process</b>	<p>Başka haritalar ile ortak kullanılan bir departman yada iş istasyonu</p>
 <b>Data Box</b>	<p>C/T: Cycle time - Çevrim süresi  C/O: Change over time - Hazırlık süresi  Batch: Batch size - Parti büyüklüğü  Avail: Capacity (time, shift etc) – Kapasite</p>
 <b>Workcell</b>	<p>Ürün ailelerinin çok fonksiyonlu bir hücrede olduğunu gösterir</p>
 <b>Inventory</b>	<p>Stok miktarı (hammadde, yarımamul, bitmiş ürün, vb)</p>
 <b>Shipments</b>	<p>Tedarikçilerden üretim sistemine malzeme veya üretim sisteminden müşterisine bitmiş ürün hareketi</p>
 <b>Push Arrow</b>	<p>İki süreç arası bir İTME sisteminin varlığını gösterir (bir üretim planı veya çizelge gibi)</p>

Tablo 2.5 (devam):

 <p><b>Supermarket</b></p>	<p>Süpermarket: Bir yada daha fazla bölümün ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile kurulan küçük bir depolama sistemi</p>
 <p><b>Material Pull</b></p>	<p>Supermarketten ÇEKME sistemi doğrultusunda ürünlerin çekilmesini gösterir</p>
 <p><b>FIFO Lane</b></p>	<p>Bir FIFO (ilk giren ilk çıkar) sistemde, limit varsa kullanılır.</p>
 <p><b>Safety Stock</b></p>	<p>Emniyet stoğu alanı; Beklenmeyen veya acil durumlarda, kısa dönemli kullanılan stoklama alanı</p>
 <p><b>External Shipment</b></p>	<p>Tedarikçiden gelen yada müşteriye gönderilen malzeme</p>
 <p><b>Production Control</b></p>	<p>Üretim çizelgesini yada kontrolunu yapan merkezi birim</p>
 <p><b>Manual Info</b></p>	<p>Periyodik olarak, sözlü yada yazılı, başka birimlere iletilen bilgi</p>
 <p><b>Electronic Info</b></p>	<p>Elektronik haberleşme: e-posta, telefon, faks etc.</p>
 <p><b>Production Kanban</b></p>	<p>Daha önceden belirlenmiş sayıda ürünün üretilmesi için gönderilen sinyal</p>
 <p><b>Withdrawal Kanban</b></p>	<p>Malzeme iletimini sağlayan kişiye supermarketten ne kadar ve hangi malzemenin gelmesi gerektiğini belirten form</p>
 <p><b>Signal Kanban</b></p>	<p>İki bölüm arasındaki stok miktarının belirli bir seviyenin altına düşmesi halinde üzerinde belirtilen sayıda üretimin yapılmasının sinyalini verir.</p>

Tablo 2.5 (devam):

 <b>Kanban Post</b>	Kanban sinyallerinin bulunduğu fiziksel yer
 <b>Sequenced Pull</b>	Süpermarket kullanılmadan çekme sistemi dahilinde alt montaj süreçlerinde önceden belirlenen miktarlarda üretime başlanması
 <b>Load Leveling</b>	Üretim miktar ve ürün çizelgesini gösterir X ürünü; O ürünü; X ürünü ....
 <b>MRP/ERP</b>	Malzeme Gereksinim Planlama (MGP) /Kurumsal Kaynak Planlama (KKP) gibi merkezi sistemlerle çizelgeleme
 <b>Go See</b>	Görsel olanaklarla bilgi toplama
 <b>Verbal Information</b>	Kişisel konuşmalarla iletilen bilgi akışı
 <b>Kaizen Burst</b>	İyileştirmenin gerekli olduğunu gösterir.
 <b>Operator</b>	Süreç adımını tamamlamak için gereken çalışan sayısı
 <b>Other</b>	Akış boyunca iletilen bir bilgi
 <b>Timeline</b>	Üretim, taşıma ve beklemenin ne kadar sürelerde yapıldığını gösteren çizelge



### 2.5.2. Değer Akış Haritası Çizim Adımları

DAH aşağıdaki adımlar izlenerek çizilir (Tapping ve diğ., 2002);

1. Ürün / ürün ailesi seçilir
2. Seçilen ürün için müşteri(ler) belirlenir
3. Seçilen ürün için tedarikçiler(ler) belirlenir
4. Toplanılacak veri listelenir (Kontrol listesi)
5. Süreç adımları sıralanır
6. Sahaya inilerek gözlem ve kayıtların incelenmesi yoluyla malzeme ve bilgi akışlarına dair veri toplanır.

Toplanan veri listelenenlerle sınırlı olmamakla beraber aşağıdaki başlıklar altında sıralanabilir (Tapping ve diğ., 2002);

Değer akışına dair toplanılacak veri;

- Vardiya sayısı ve süresi
- Planlı duruşlar (yemek, toplantı, çay molası vb.)
- Günlük üretim yapılabilir net süre
- Teslimat çizelgeleri
- Her bir teslimatın miktarı
- Aylık / günlük / saatlik teslimat miktarı
- Süreç adımları
- Çevrim süreleri
- Hazırlık süreleri
- Parti büyüklükleri
- Stok miktarları
- Operatör sayıları
- Makine güvenilirlik yüzdeleri
- Üretim hattı hızı
- Bakım çizelgeleri
- Uygunsuz ürün oranları

- Makine arıza ve duruş süreleri

Müşteri, tedarikçi ve kontrol birimine dair toplanılacak veri;

- Müşteri(ler)
- Tedarikçi(ler)
- Talep miktarı
- Sipariş periyodu
- Talep tahminleri
- Teslimat periyodu
- Üretim planlama ve kontrol birimi
- Kullanılan yöntem (MGP, KKP vb.)
- Kullanılan formlar, raporlama yöntemleri
- Kontrol biriminin çalışma saatleri

Veriler gözlem, iş etüdü, görüşme, doküman ve kayıt analizi, gibi yaygın olarak bilinen veri toplama araçları ile toplanabilir. Bununla beraber Hines ve Rich (1997a), DAH'na özel olarak kullanılabilen 7 yöntem; (1) Süreç faaliyet haritası, (2) Tedarik zinciri matrisi, (3) Üretim çeşitliliği hunisi, (4) Kalite filtreleme haritası, (5) Talep geliştirme haritası, (6) Karar noktası analizi, (7) Fiziksel yapı haritası önermiştir.

### **2.5.3. Yeşil Değer Akış Haritalama**

Geleneksel DAH tedarik zinciri süreçlerinin geleneksel yedi israf kaleminin gösterilmesine odaklanmıştır. Yalın Üretim uygulamalarının Y TZ ve çevresel performans ölçütleri üzerindeki etkilerinin ortaya konmasıyla geleneksel DAH'nın Yeşil DAH olarak çizildiği çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Ancak literatürdeki yeşil DAH çalışmaları aşağıda sıralanan az sayıda çalışmayla sınırlıdır. Bu bağlamda bu tez çalışması yeşil DAH yönteminin tersine tedarik zinciri süreçlerine entegre edildiği yeni bir uygulama ile literatüre katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

İlk olarak Simons ve Mason (2002) iki tür soğuk zincir gıdanın (ithal domates ve unlu ürünler), tedarik zincirindeki ambalaj atığı ve bozulan ürün miktarları ile bu israf

kalemlerinin depolanmasıyla oluşan CO<sub>2</sub> salımını geleneksel DAH'na dahil ederek çalışmalarını sürdürülebilir DAH (Sus-VSM: Sustainable Value Stream Map) olarak adlandırmıştır.

Mason ve diğ. (2002) aynı yıl İngiltere'de Ulaştırma Bakanlığı için yürütülen bir araştırma kapsamında, üç ürün için (marul, elma, kiraz), tarladan markete kadar olan alternatif transfer süreçlerinin oluşturduğu CO<sub>2</sub> salımını karşılaştıran yeşil DAH çizmişlerdir.

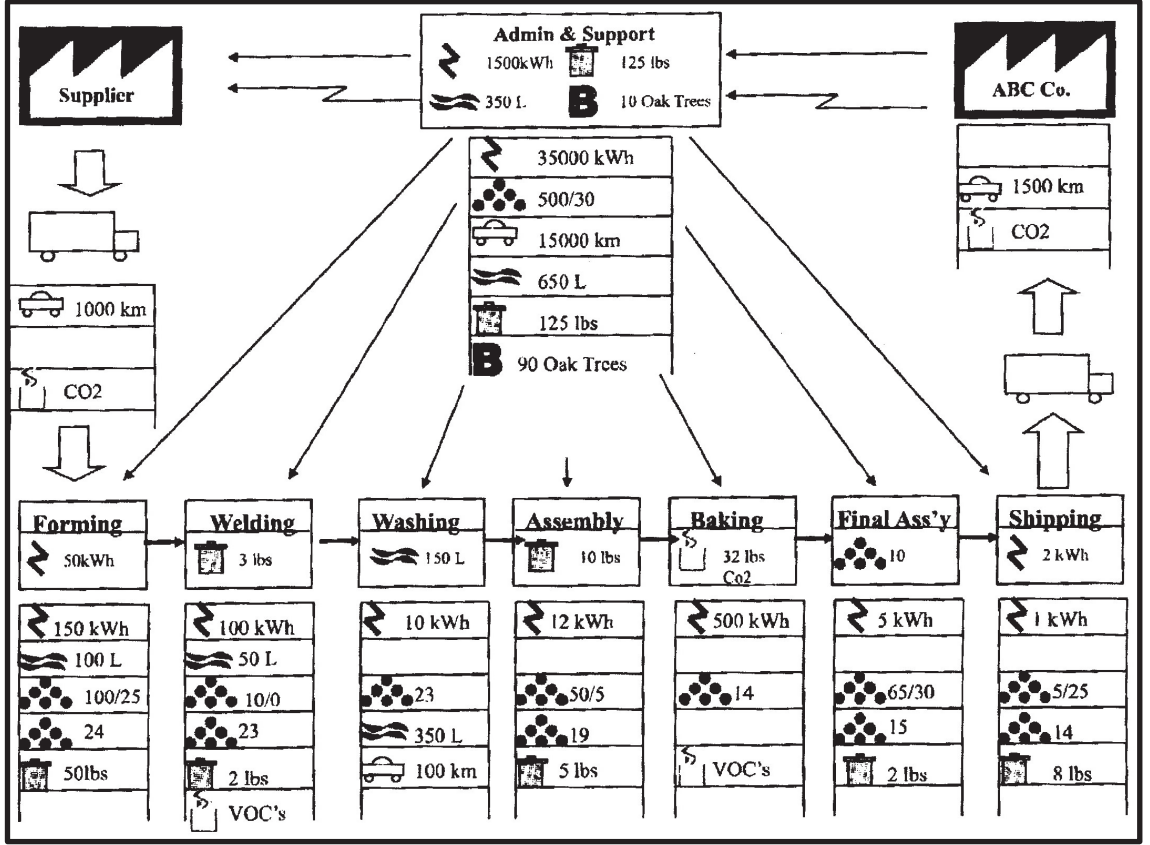
US-EPA 2007'de geleneksel DAH'na eklenecek yeşil israf kalemi ölçütlerinin önerildiği "yalın ve çevre aracı"nı (lean and environmental toolkit) geliştirmiştir. EPA bu aracın kullanıldığı ve yalın uygulamaların yeşil DAH ile gösterildiği çalışmalarını web sitesinde yayımlamaktadır.

Torres ve Gatti (2009), EVSM (Environmental Value Stream Map: Çevresel DAH) olarak adlandırdıkları haritaları ile alkol ve şeker üretimi süreçlerindeki su kullanımını DAH'da ilk olarak gösteren çalışmayı yapmışlardır.

Fearne ve Norton (2009), Mason ve diğerlerinin (2002) çalışmasını genişlettikleri haritalarında, dondurulmuş gıda tedariki zinciri süreçlerindeki CO<sub>2</sub> salımı, atığa giden bozuk ürün ve kullanılan/atılan su miktarlarını birlikte kullanmışlardır.

Wills (2009), Yalın Üretim prensiplerinin yeşil yönetime olan katkısını yazarak başladığı kitabında, yedi israf kaleminin DAH ile gösterimini adım adım anlatmıştır. Wills'in kullandığı DAH örneği Şekil 2.10'da gösterilmektedir.

Paju ve diğ. (2010), DAH tabanlı "sürdürülebilir üretim haritalama" (Sustainable Manufacturing Mapping) metodunu önermişlerdir. Bu çalışma, yedi ana ve on üç alt kategori altında belirledikleri sürdürülebilirlik ölçütlerinin DAH'da gösterilmesini kapsar. Araştırmacılar sürecin hedef ve sınırlarına göre, Tablo 2.6'daki listeden uygun olan ölçütlerin seçilebileceğini ifade etmiştir.



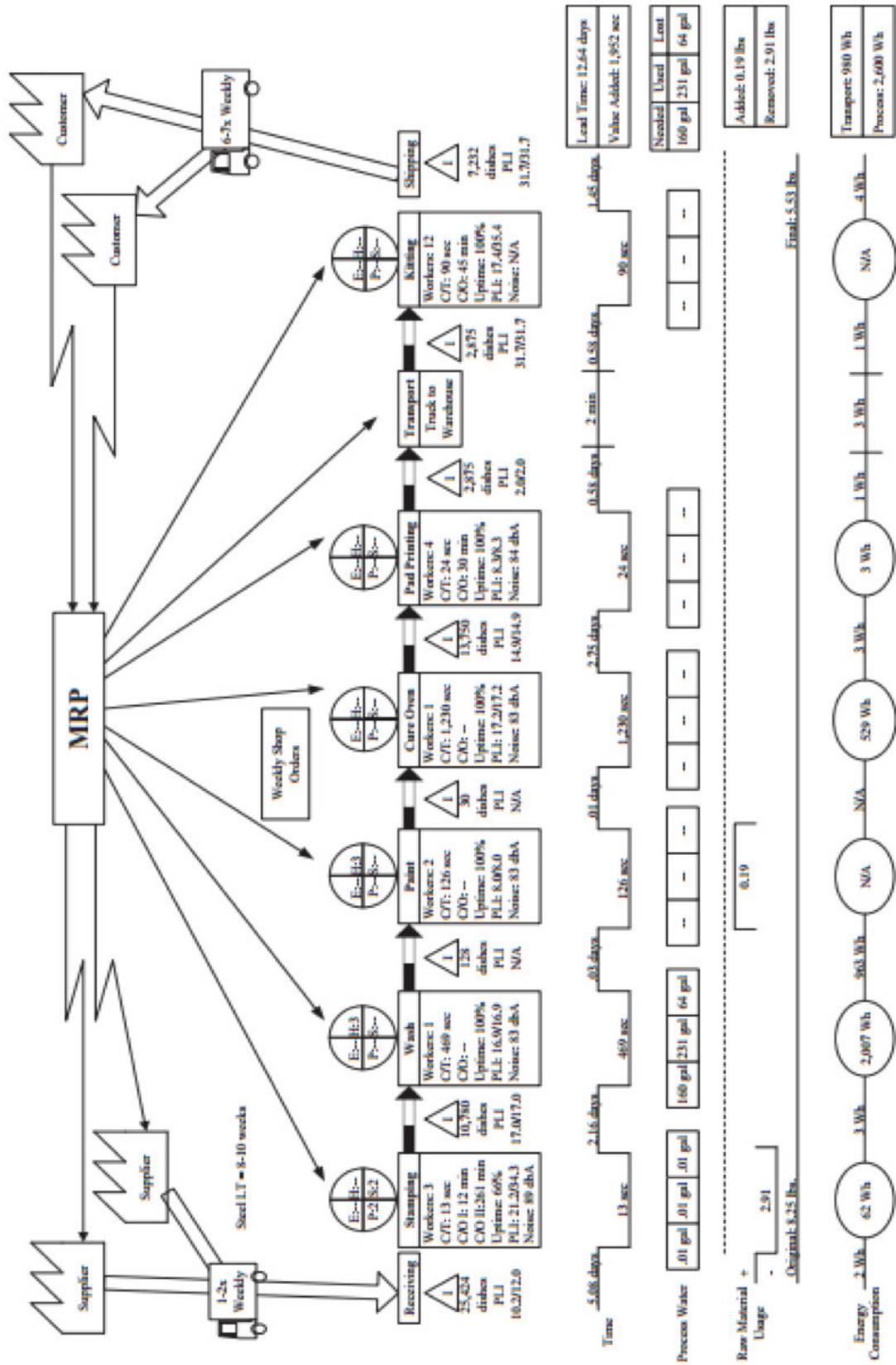
Şekil 2.10: Yeşil DAH örneği 1 (Wills, 2009).

2012’de Kentucky Üniversitesi “Sürdürülebilir DAH” (Sustainable VSM:Sus-VSM) olarak adlandırdıkları metod ile geleneksel DAH’a çevre faktörlerinin yanısıra sosyal faktörleri eklemiştir (Faulkner ve diğ.,2012). Bu bağlamda Sus-VSM sürdürülebilirlik kapsamında, ekonomik ölçütleri geleneksel DAH’dan alır. Çevre faktörleri için su, hammadde ve enerji kullanımı, sosyal faktörler için ise çalışan sağlık ve güvenliğini ölçen fiziksel iş yükü ve çalışma ortamı ölçütleridir. Çalışma ortamı ölçütleri, ortamdaki zararlı kimyasal, basınçlı sistem ve hızlı makina bulunması durumlarıyla ölçülür.

**Tablo 2.6:** DAH’da kullanılabilir sürdürülebilir üretim ölçütleri (Paju ve diğ., 2010).

<b>Kategori</b>	<b>Alt kategori</b>	<b>Ölçüt, örnek</b>	<b>Birim</b>
<b>ENERJİ</b>	Enerji türü	Elektrik, ısıtma, soğutma	kWh, MJ
<b>MALZEME</b>	Hammadde	Çelik, ambalaj malzemesi	kg
	Yardımcı malzeme	Yağ, basınçlı hava, su	m <sup>3</sup> , kg
	Atık malzeme	Geri dönüşüme giden çelik, plastik, atık yağ	kg
<b>EMİSYON</b>	Havaya karışan	CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , ağır metaller	kg
	Suya karışan	Kimyasal	kg
<b>ÜRETİM</b>	Zaman	Çevrim süresi, işlem süresi	gün, saat, saniye
	Üretim miktarı	parça	adet
<b>LOJİSTİK</b>	Ulaşım türü	Taşıt türü, yükleme oranı, kapasite	çeşitli
<b>MALİYETLER</b>	Birim maliyet	Hammadde maliyeti, enerji maliyeti	€, \$
	Yatırım maliyeti	Makine, tesis	€, \$
<b>SOSYAL</b>	Çalışanlar	Adam-saat, çalışılmayan gün	gün/yıl
	Müşteriler	şikâyetler	adet/yıl

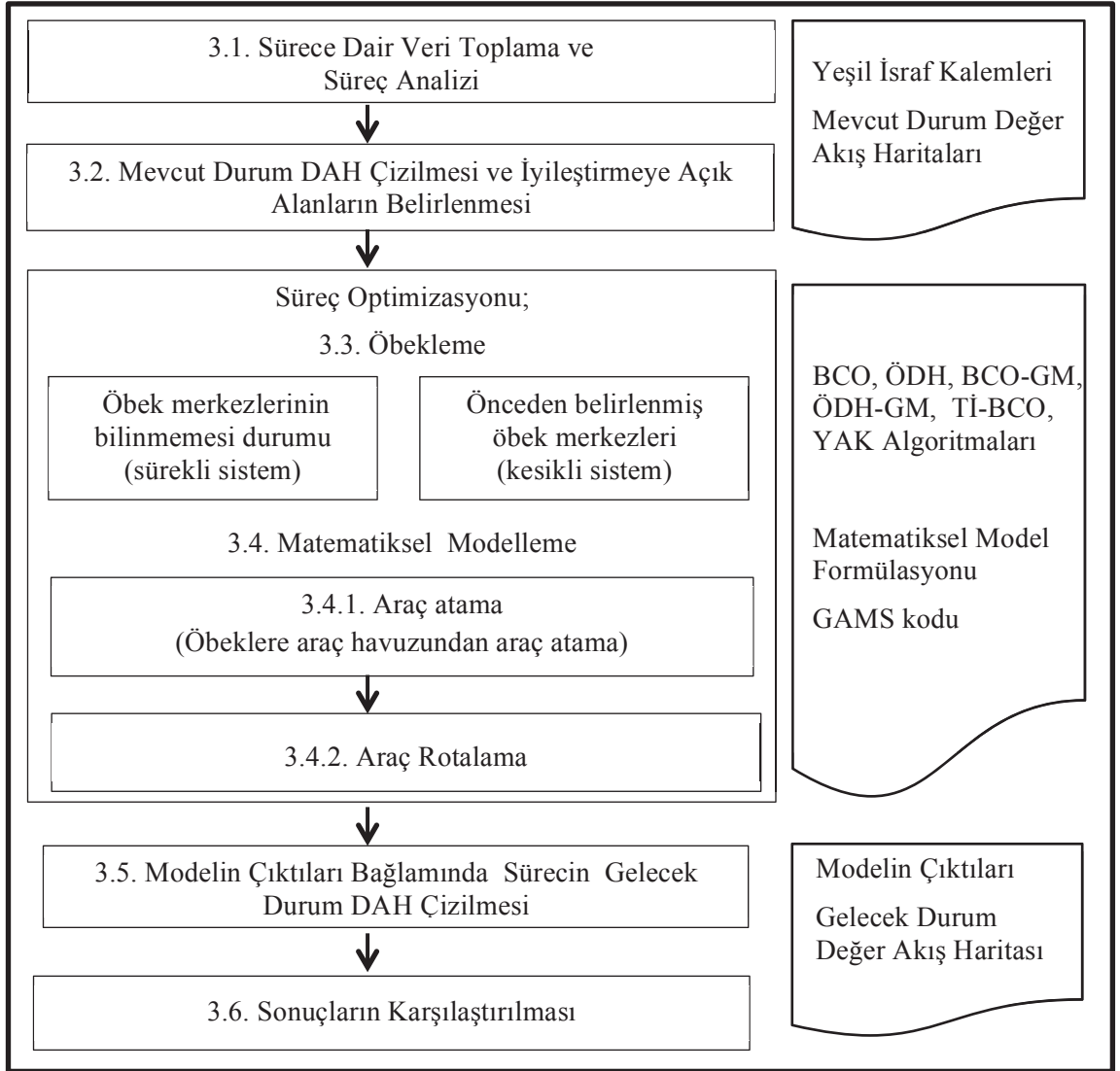
Yeşil DAH altında literatürdeki son çalışma Sparks ve Bauderdeen (2014) ile Faulkner ve Bauderdeen (2014)’in sürdürülebilir DAH çalışmalarıdır. Sparks ve Bauderdeen (2014) Sus-VSM yöntemine çevresel ölçütler altında sera gazı miktarı ölçütünü eklemiştir. Bu çalışmalarda yazarlar ayrıca haritalara yeni görsel semboller eklemiştir. Bu araştırmalarda kullanılan ölçütler sırasıyla doğal kaynak, zararlı/zararlı olmayan katı/sıvı kimyasal, su ve enerji kullanımı ile CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazı emisyonlarını kapsamaktadır. Sparks ve Bauderdeen’in çalışmalarındaki DAH örneği Şekil 2.11’de görülmektedir.



Şekil 2.11: Yeşil DAH örneği 2 (Sparks ve Bauderdeen, 2014).

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında önerilen metodoloji bağlamında, çok sayıda noktadan atık toplanan bir tersine tedarik zinciri sürecindeki yeşil israf kalemleri, önce mevcut durum DAH'na yansıtılır ve süreçteki iyileştirmeye açık alanlar tespit edilir. Daha sonra, sürecin optimizasyonu için, atık üreten noktaların gruplandırılması ve geri kazanım/ bertaraf tesisi yerlerinin belirlenmesinde öbektleme, öbek dahilinde atık toplanması için araç rotalamada matematiksel modelleme yöntemleri kullanılır. İyileştirmeler gelecek durum DAH'da gösterildikten sonra sonuçlar karşılaştırılır. Çalışmanın metodoloji akışı Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Çalışmanın metodolojisi.

### 3.1. VERİ TOPLAMA VE ANALİZ

Bu tez çalışmasında çok sayıda atık toplama noktasına sahip tersine tedarik zincirlerindeki atıkların toplanması, geri dönüşüm/bertaraf işlemlerinin uygulanacağı tesislere transferi ve nihai depolanması süreci incelenmiştir. Sürecin YTZY ve Yalın Üretim yöntemleri ile optimizasyonu amaçlanmıştır. Bu bağlamda süreç adımlarında oluşan yeşil israf kalemleri literatür çalışmasında belirlenen sekiz ana başlık (su, elektrik, gaz, yeryüzü, emisyon, kullanılmış ürün, hammadde, yan ürün) altında gruplanmıştır (Ref. Tablo 2.4).

Veri toplama aşamasının ilk adımı seçilen tersine tedarik sürecinin tanınmasıdır. Bu adımda sürecin haberleşme akışı ve üretim akışındaki adımlara dair veri toplanır. Zincirin akışı boyunca sekiz yeşil israf kaleminden hangilerinin geçerli olduğu belirlenir. Örneğin bazı süreçlerde su girdi olarak kullanılmazken, bazılarında hem girdi olarak sarf edilmekte, hem de atık su olarak süreçten çıkmaktadır. Benzer şekilde, bazı süreçler yeryüzü kaynakları tüketirken, bazıları toksik de olabilen yapay hammadde (kimyasallar) işleyebilmekte ve işlem sonrası çıktı olarak çeşitli sera gazı emisyonları veya katı atıklar üretebilmektedir.

İkinci adımda talep zamanlaması ve çevrim hızı gözetilerek DAH'ın hangi zaman periyodunda (gün, hafta) çizileceğine karar verilir. Ayrıca sürecin yeşil israf kalemlerinin ölçüm birimleri ve yöntemleri tespit edilir. Daha sonra toplanan verilerin kaynağı sürecin gözlemlenmesiyle elde edilen değerlerin yanısıra, süreç sorumlularından alınan çeşitli kayıt ve raporlardır. Bu adımda veri istenilen detayda değilse süreç sahipleri ile yapılan görüşmelerde analiz aşaması için gereken ayrıntıya inilir.

Veri toplama aşamasında derlenen veriler ana başlıklar halinde şöyle sıralanabilir;

1. Sürecin planlama ve kontrol birimi
2. Kullanılan haberleşme yöntemleri
3. Kullanılan formlar, raporlama yöntemleri
4. Atık biriktiren noktalar
5. Her noktada biriken atık miktarları



6. Atıkların toplanma periyodu
7. Atıkların toplanmasında kullanılan araçların kapasiteleri
8. Atıkların toplanmasında kullanılan araçların enerji sarfı
9. Atıkların toplanmasında kullanılan araçların kat ettikleri mesafeler
10. Geri kazanım/bertaraf süreci adımları
11. Geri kazanım/bertaraf süreci için geçerli yeşil israf kalemleri (Ref. Tablo 2.4)
12. Yeşil israf kalemlerinin miktarları veya hesaplamak için gerekli veri (ısı, süre vb.)
13. Geri kazanım/bertaraf tesisindeki stok miktarları
14. Düzenli depolamaya /yeniden kullanıma sevk edilen stok miktarları

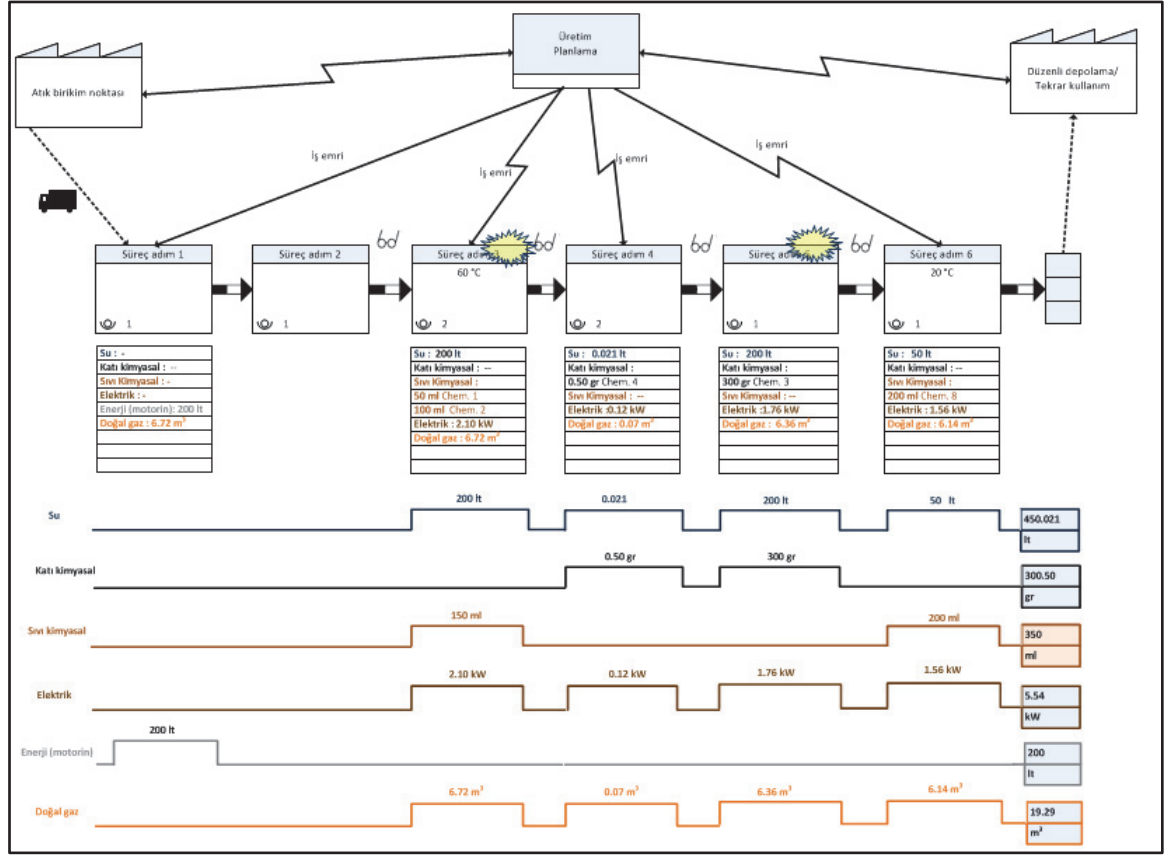
Veri analizi aşamasında sürece dair veri mevcut durum değer akış haritası (MDAH)'da gösterilecek şekilde düzenlenir ve haritanın çizileceği zaman (gün, saat, vb.) boyutuna indirgenir. Bu adımda aynı zamanda farklı israf kalemleri arasındaki ilişkiler ve verinin tutarlılığı süreç sorumluları ile yapılan görüşmelerle analiz edilir.

### **3.2. MEVCUT DURUM DEĞER AKIŞ HARİTASI**

Sürecin ilk incelendiği haliyle toplanan ve analiz edilen yeşil israf kalemleri MDAH ile görselleştirilir. Bu harita incelenen süreçteki malzeme ve haberleşme akışının yanı sıra, israf kalemlerinin değerleri ile süreçteki iyileştirmeye açık alanları göstermektedir.

Şekil 3.2'de verilen örnek MDAH'da en üstte sürecin planlama ve kontrol birimi görülmektedir. Bu birimin atık birikim noktaları, atıkların transfer ve işleme süreç adımları ile işlem gördükten sonra sevk edildikleri tekrar kullanım veya düzeni depolama birimleri ile iletişim bilgisi oklarla gösterilmiştir. Süreç adımlarının altındaki veri kutularına yeşil israf kalemlerine dair toplanan veri yazılmıştır. Adımlar arasındaki oklar zincirin itme sistemi ile işlediğini ve gözlükler süreçteki kontrol noktalarını belirtmektedir. Kutulardaki verilerin her bir israf kalemi bazında farklı renklerle gösterimi haritanın en altında çizilen basamaklı hat çizgileri ile ifade edilmiştir. Bu basamaklarda yazan veriler iyileştirmeye açık alanların tespiti için değerlendirilir. Örnek MDAH için üçüncü ve beşinci süreç adımlarının iyileştirmeye açık adımlar

olduğu haritada üzerlerine konan sarı yıldız işaretiyle öne çıkartılmıştır. (DAH sembolleri için Ref: Tablo 2.5)



Şekil 3.2: MDAH örneği.

### 3.3. ÖBEKLEME

Bu tez çalışmasında tersine tedarik zincirindeki kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin toplandığı atık toplama noktalarının yüksek sayıda olması durumunda atık üreten kaynakların öbeklenmesi ve toplanan ürünlerin geri kazanım/bertaraf işlemlerinin yapılması için açılacak tesislerin öbek merkezlerine kurulması önerilmiştir. Öbekleme yöntemleri öbek merkezlerinin daha önceden belirlenmemiş olması (sürekli sistem) ve önerilen öbek merkezlerine göre öbekleme yapılması (kesikli sistem) durumları için seçilmiştir. Bu bağlamda sürekli sistem öbeklemeleri için Bulanık C-Ortalamalar (BCO), Öz Düzenleyici Haritalar (ÖDH) ve Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritmaları kullanılmıştır. Kesikli sistem öbeklemeleri için ise Tek İterasyonlu Bulanık C-

Ortalamalar (Tİ-BCO) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmalar izleyen bölümlerde tanıtılmıştır.

### 3.3.1. Bulanık C-Ortalamlar (BCO) Algoritması

1973 yılında Dunn tarafından önerilen BCO Algoritması 1981’de Bezdek tarafından geliştirilmiştir. BCO Algoritması öbeklenecek elemanların iki veya daha fazla öbeğe ait olabilmesine izin verir. Bulanık mantık prensibi gereği veri uzayının her elemanı, öbeklerin her birine  $[0,1]$  arasında değişen birer üyelik değeri ile aittir. Bir elemanın tüm sınıflara olan üyelik değerleri toplamı “1” olmalıdır (Höppner ve diğ., 2000). Söz konusu eleman hangi öbek merkezine yakın ise o öbeğe ait olma üyeliği diğer öbeklere ait olma üyeliğinden daha büyük olacaktır. Amaç fonksiyonun belirlenen minimum ilerleme değerine yakınsamasıyla iterasyonlar durur ve öbekleme tamamlanır.

Veriler arasındaki uzaklıkları kullanarak iteratif bir minimizasyon sağlayan BCO algoritması, standart Öklid uzaklık formunu kullanmaktadır. Bu da hiperküresel öbekleri ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla, BCO algoritması ile sadece aynı şekil ve oryantasyona sahip öbekler tespit edilebilmektedir. Genel olarak bu öbekler dairesel şekillidir (Büyüksaatçi, 2009).

BCO algoritması C-Ortalamlar olarak anılan, veri noktalarının öbek merkezlerine olan uzaklıklarının toplamını veren amaç fonksiyonunu minimize etmek üzere çalışır (Bezdek ve Dunn, 1975);

$$J(X, U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N \mu_{ik}^m d^2(x_k, v_i)$$

$$x_k = [x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{nk}]^T \in R^n, k = 1, \dots, N$$

Öbeklenecek veri kümesi “ $x_k$ ”, her bir parametre vektöründen oluşan bir matristir. “ $k$ ”, kümelemede kullanılacak bir sonraki veri noktasını; “ $n$ ”, parametre sayısını; “ $N$ ”, toplam veri sayısını göstermektedir; “ $c$ ”, öbek sayısını, “ $v_i$ ”, öbek merkezlerini ifade

etmektedir; “ $\mu_{i,k}$ ” üyelik fonksiyonunu; “ $m$ ” bulanıklaştırma parametresini; “ $d$ ” veri noktasının öbek merkezine olan uzaklığını göstermektedir.

BCO algoritması verilerin gruplanacağı öbek sayısı belirlendikten sonra aşağıdaki adımları izleyerek sonuca ulaşır;

Adım 1: Başlangıç öbeği hesaplanır;

$$V_i^{(l)} = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m x_k}{\sum_{k=1}^N (\mu_{i,k}^{(l-1)})^m}, 1 \leq i \leq c$$

Adım 2: Her veri noktasının öbek merkezine olan uzaklığı hesaplanır;

$$D_{ikA}^2 = (x_k - v_i)^T A (x_k - v_i), \quad 1 \leq i \leq c, \quad 1 \leq k \leq N$$

Adım 3: Üyelik matrisi güncellenir;

$$\mu_{i,k}^{(l)} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c (D_{ikA} / D_{jkA})^{2/(m-1)}}$$

İterasyon işlemi  $l=1,2,..$  için  $\|U^{(l)} - U^{(l-1)}\| < \varepsilon$  durdurma kriteri sağlanana dek tekrarlanır. Burada  $\varepsilon$ , algoritmayı sona erdirecek küçük (0,001 gibi) bir sayıdır (Esnaf ve Küçükdeniz, 2009).

### 3.3.2. Öz Düzenleyici Haritalar (ÖDH) Algoritması

Öz Düzenleyici Haritalar (ÖDH), yapay sinir ağlarının genellikle yüksek boyutlu girdilerin daha düşük boyutlu çıktılar ile temsil edilmesi amacıyla kullanılan özel bir çeşididir. Bu model ilk olarak Teuvo Kohonen tarafından ortaya konulmuş olduğundan literatürde “Kohonen Haritaları” olarak da geçmektedir.

ÖDH diğer bütün yapay sinir ağları gibi iki farklı şekilde çalışmaktadır. İlk çalışma şeklinde sistem kendini eğitmektedir. ÖDH algoritması eğitimleri sırasında denetimsiz eğitim kullanılmaktadır. Bu çalışma şeklindeyken rekabetçi öğrenme (competitive

learning) kullanılır. İkinci adımında ise ağ, gelen yeni girdiyi doğru haritalamak için çalışır. Yapısal olarak ileri beslemeli ağlara örnek olabilecek olan ÖDH, çok küçük miktardaki nöronlar için c-ortalama algoritmasına benzer davranmaktadır.

ÖDH Algoritması'nın çalışma adımları aşağıda verilmiştir (Haykin,1999);

Adım 1: Ağdaki  $l$  adet nöronun ağırlık değerleri  $w_j(0)$ , her  $j$  nöronu için farklı olmak üzere rasgele olarak başlatılır ( $w_j(0), j: 1,2,3,...l$ ).

Adım 2: Giriş vektörleri  $x(i)$  alınır.

Adım 3: Haritadaki bütün değerler dolaşılır ve giriş vektörü ile dolaşılmakta olan harita değeri arasındaki mesafe öklid mesafesi olarak hesaplanır.

Adım 4: En kısa mesafeye sahip olan düğüm alınır (best matching unit: BMU);

$$i(x) = \arg \min \|x(t) - w_j\|, j: 1.2.3 \dots l$$

Adım 5: Seçilen en uygun düğüme komşu olan bütün düğümler güncellenerek giriş vektörüne yaklaştırılır;

$$w_j(t + 1) = w_j(t) + \varphi(t)h_{j,i(x(t))}(x(t) - w_j(t))$$

Adım 6:  $n < \lambda$  olduğu sürece 2. adıma dönülerek işlemler tekrar edilir.

Burada;

$t$  = şimdiki adım

$\lambda$  = hedeflenen zaman limiti

$w_j(t)$  =  $j$  nöronunun şimdiki adım ağırlık vektörü (weight vector)

$x(t)$  = hedeflenen giriş değeri

$\varphi(t)$  = zamana bağlı öğrenme limiti

$h_{j,i(x(t))}$  =  $i$  nöronundan  $j$  nöronuna gidişi belirleyen komşuluk fonksiyonu (en uygun komşudan ne kadar uzağa gidileceği)

### 3.3.3. BCO ve ÖDH Algoritmalarına Ağırlık Merkezi Algoritmasının Eklenmesi (BCO-GM ve ÖDH-GM)

BCO ve ÖDH algoritmaları ile belirlenen öbek merkezleri Esnaf ve Küçükdeniz'in çalışmalarında kullandıkları gravite (ağırlık) merkezi (GM) algoritması ile düğümlerdeki atık miktarları ve öbek merkezine uzaklıklarının çarpımını (Toplam Maliyet) enküçükleyecek şekilde tekrar hesaplanmıştır (Esnaf ve Küçükdeniz, 2009);

$V_i$ : atık miktarı,  $d_i$ : öbek merkezine uzaklık olmak üzere;

$$\text{Toplam Maliyet} = \sum_i V_i d_i$$

Önce ağırlık değerlerini gözeterek ilk merkezler bulunur;

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i X_i}{\sum_i V_i} \quad \bar{Y} = \frac{\sum_i V_i Y_i}{\sum_i V_i}$$

Daha sonra, bu merkezler kullanılarak öklit mesafesi formülü ile yeni uzaklıklar ve bu uzaklıklar ile yeni öbek merkezleri hesaplanır;

$$d_i = \sqrt{(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i X_i / d_i}{\sum_i V_i / d_i} \quad \bar{Y} = \frac{\sum_i V_i Y_i / d_i}{\sum_i V_i / d_i}$$

GM uygulaması ile bulunan yeni öbek merkezleri daha fazla atık üreten düğümlerin koordinatlarına yakınsayacak şekilde güncellenir.

### 3.3.4. Tek İterasyonlu Bulanık C-Ortalamlar (Tİ-BCO) Algoritması

Tek İterasyonlu Bulanık C-Ortalamlar (Single Iteration Fuzzy C-Means: Tİ-BCO) algoritması, Bezdek'in 1981 yılında önerdiği Bulanık C-Ortalamlar (BCO) algoritmasının özel bir türüdür ve Esnaf ve diğ. (2014) tarafından önerilmiştir. Tİ-BCO, BCO algoritmasını takip etmekle beraber, farklı olarak öbek merkezleri daha önceden belirlenmiş aday merkezler arasından seçildiği için belirli merkezlere talep

noktalarını atayarak yöntemin problemini tek iterasyonda çözmesini sağlar (Esnaf ve diğ.,2014). Bu bağlamda, BCO algoritması gibi C-Ortalamalar olarak anılan aşağıdaki amaç fonksiyonunu minimize etmek üzere çalışır (Bezdek ve Dunn, 1975);

$$J(X, U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N \mu_{ik}^m d^2(x_k, v_i)$$

$$x_k = [x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{nk}]^T \in R^n, k = 1, \dots, N$$

BCO’da olduğu gibi, öbeklenecek veri kümesi “ $x_k$ ”, her bir parametre vektöründen oluşan bir matristir. “ $k$ ”, kümelemede kullanılacak bir sonraki veri noktasını; “ $n$ ”, parametre sayısını; “ $N$ ”, toplam veri sayısını göstermektedir; “ $c$ ”, öbek sayısını, “ $v_i$ ”, öbek merkezlerini ifade etmektedir; “ $\mu_{i,k}$ ” üyelik fonksiyonunu; “ $m$ ” bulanıklaştırma parametresini; “ $d$ ” veri noktasının öbek merkezine olan uzaklığını göstermektedir. Verilerin gruplanacağı öbek sayısı belirlendikten sonra Tİ-BCO ile öbekleme aşağıdaki adımlarla uygulanır (Esnaf ve diğ.,2014);

Adım 1: Aday öbek merkezleri matrisi belirlenir;

$$V_i, 1 \leq i \leq c$$

Adım 2: Her veri noktasının öbek merkezine olan uzaklığı hesaplanır;

$$D_{ikA}^2 = (x_k - v_i)^T A (x_k - v_i), \quad 1 \leq i \leq c, \quad 1 \leq k \leq N$$

Adım 3: Üyelik matrisi hesaplanır;

$$\mu_{i,k}^{(l)} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c (D_{ikA}/D_{jkA})^{2/(m-1)}}$$

### 3.3.5. Yapay Arı Kolonisi (YAK) Algoritması

Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritması, Karaboğa tarafından bal arılarının davranışlarının incelenmesi ile geliştirilen parçacık sürü optimizasyonu temelli metasezgisel bir yöntemdir (Karaboğa ve Akay, 2009).

Arılar nektar bulmak için çeşitli kalite düzeylerinde yiyecek kaynakları bulmaya çalışırlar. Kaynağının kalitesi, yuvaya yakınlığı, nektar yoğunluğu, yuvaya yakınlığı gibi birçok etkene bağlıdır. Nektarın, önceden keşfedilmiş olan belli kaynaklardan kovana getirilmesinden sorumlu olan işçi arılar, kaynak bulduklarında gittikleri kaynağın kalitesi ve yeriyle ilgili bilgileri kovandaki diğer arılara iletirler. Diğer işçi arılar (kaşifler) ise nektarı toplanabilecek yeni yiyecek kaynaklarını aramaya devam ederler. Yiyeceği kovana getiren arı (görevli), kovandaki dans alanında yiyecek kaynağının yeri ve kalitesi hakkındaki bilgi paylaşımı yapar. Kovandaki gözcü arılar dans eden işçi arıya dokunarak kaynağın tadı ve kokusu hakkında da bilgi alır ve o kaynağa doğru yönelirler. Kaynaktaki yiyecek tükendiğinde işçi arılar yeni kaynaklar keşfetmek için eski kaynağın yakınlarında dolaşırlar (Karaboğa, 2011).

Arı kolonilerindeki bu davranışları modelleyen YAK algoritmasında başlangıçta kolonideki arıların (veri noktaları) yarısı işçi, diğer yarısı da gözcü arılar olarak belirlenir. Yiyecek kaynaklarının sayısı ile işçi arıların sayısı aynıdır ve ilk adımda işçi arılar rasgele yiyecek kaynaklarına (çözümler) atanır. Daha sonra her iterasyonda işçi arı kendi kaynağına yakın çevrede (arama uzayı) başka bir kaynak bularak kalitesini (uygunluk değeri) inceler. Yeni kaynağın kalitesi eskisinden daha iyi ise bu kaynağa geçer, aksi halde eski kaynağında kalır ve bu çözüm saklanır. Bu durumda geliştirilememe sayacı bir arttırılmaktadır. Aksi halde yeni çözüm saklanmaktadır ve geliştirilememe sayacı sıfırlanmaktadır. Bütün gözcü arılar yiyecek kaynaklarına dağılıncaya kadar bu işlemler devam etmektedir. Ayrıca geliştirilememe sayacı kontrol edilerek, bir kaynağın tükenip tükenmediğine bakılmaktadır. Eğer yiyecek kaynağı tükenmişse kaynağın görevli arısının bu kaynağı bırakıp yeni kaynak araması gerekmektedir. Bu şekilde görevli arı kaşif arı olmaktadır ve bu arı için gelişigüzel çözüm arama süreci başlamaktadır. Algoritmanın durdurma kriteri sağlanıncaya kadar yiyecek kaynakları görevli arı, kaşif arı ve gözcü arı süreçlerinden geçirilerek daha iyisi bulunmaya çalışılmaktadır (Karaboğa, 2005; Akyol ve Alataş, 2012).



YAK Algoritmasının uygulama adımları aşağıda şekilde ifade edilmiştir (Esnaf ve diğ.2014, Akyol ve Alataş, 2012);

- $j=1, \dots, D$  , rasgele seçilen boyut
  - $v_{ij}$  , yeni aday kaynağın lokasyonu
  - $x_{ij}$  , mevcut besin kaynağının lokasyonu
  - $x_{min}^j$  ,  $j$  boyutunun minimum sınır değeri
  - $x_{maks}^j$  ,  $j$  boyutunun maksimum sınır değeri
  - $\Phi_{ij} \in [-1,1]$  , olasılık dağılımı ile belirlenen rassallık faktörü
  - $k$  , kümelemede kullanılacak bir sonraki veri noktası, rasgele seçilen komşu ( $i \neq k$ )
  - $x_{kj}$  ,  $j$  boyutunda rasgele seçilen  $k$  komşu kaynağın lokasyonu
  - $i \neq k, k \in 1, \dots, SN$
  - $fitness(i)$  ,  $i$  çözümünün uygunluk değeri (kaynağın kalitesi)
  - $SN$  , görevli arı sayısı
- olmak üzere;

Adım 1:  $x_{ij}, i=1, \dots, N, j=1, \dots, M$  çözümlerine rasgele başlangıç değerleri atanır ve geliştirilemeye sayacı sıfırlanır;

$$x_i^j = x_{min}^j + rand[0,1](x_{maks}^j - x_{min}^j)$$

Adım 2:  $i=1, \dots, N$  görevli arı için  $k$  ( $i \neq k$ ) komşuları içinden yeni aday kaynak ( $v_{ij}$ ) üretilir ve uygunluk değeri  $-fitness(i)$ - hesaplanır;

$$v_{ij} = x_{ij} + \Phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj})$$

Adım 3: Bulunan kaynağın uygunluk değeri gözcü arıların yeni kaynak bulma olasılığını belirler;

$$P_i = \frac{fitness(i)}{\sum_{n=1}^{SN} fitness(n)}$$

Tüm gözcü arılar kaynaklara atanana kadar adım 2 ve 3 tekrarlanır.

Karaboğa (2005) tarafından önerilen ve daha sonra Karaboğa ve Baştürk (2008) tarafından geliştirilen YAK algoritmasının diğer algoritmalar ile performansını kıyaslayan çalışmalar yapılmıştır (Sadriya ve diğ., 2014; Zhang ve diğ., 2010; Zou ve diğ., 2010; Pham ve diğ., 2007). Öbekleme problemlerinde YAK algoritması öbek merkezlerinden öbeğe ait noktaların uzaklıklarını enküçüklemek olarak tanımlanan uyumluluk fonksiyonunun en iyi sonucu vereceği noktayı bulmak amacıyla çalışır;

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m z_{ij} d(X_j, P_i)$$

$$d(X_j, P_i) = \sqrt{(x_j - a_i)^2 + (y_j - b_i)^2}$$

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } j = \operatorname{argmin} d(X_k, P_i) \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Burada,

$m$  , belirlenecek öbek sayısı

$n$  , nokta sayısı

$a_i$  ,  $i$  noktasının yatay eksenindeki konumu ( $i=1, \dots, n$ )

$b_i$  ,  $i$  noktasının dikey eksenindeki konumu ( $i=1, \dots, n$ )

$P_i$  ,  $i$  noktasının sabit konumu ( $a_i, b_i$ )

$z_{ij}$  ,  $i$  noktasının  $j$  öbek merkezine atanma durumu  $\{0,1\}$

$x_j$  ,  $j$  öbek merkezinin yatay eksenindeki konumu ( $j=1, \dots, m$ )

$y_j$  ,  $j$  öbek merkezinin dikey eksenindeki konumu ( $j=1, \dots, m$ )

$X_j$  ,  $j$  öbek merkezinin değişken konumu ( $x_j, y_j$ )

$d(X_j, P_i)$  ,  $i$  noktası ile öbek merkezi arasındaki uzaklık

olmak üzere, öbekleme algoritması aşağıdaki adımları izler (Karaboğa ve Öztürk, 2011);

Adım 1: Algoritmanın “arı sayısı”, “yiyecek limiti”, “iterasyon limiti” ve “boyut sayısı” parametreleri belirlenir (Boyut sayısı =kurulacak öbek sayısı  $\times$  2).

Adım 2: Besin kaynaklarının başlangıç konumları rasgele belirlenir.

Adım 3: İterasyon limitine ulaşılan kadar aşağıdaki adımlar tekrarlanır;

- İşçi arıların tarama hareketleri yapılır ve her harekette uyumluluk değeri hesaplanır.
- Gözcü arıların tarama hareketleri yapılır ve her harekette uyumluluk değeri hesaplanır.
- İzci arıların tarama hareketleri yapılır ve her harekette uyumluluk değeri hesaplanır.

Adım 4: Bilinen en iyi çözüm vektöründen öbek merkezleri elde edilir.

Adım 5: Her nokta kendisine en yakın öbek merkezine atanır.

### 3.4. MATEMATİKSEL MODELLEME

Çalışma kapsamında “atama” ve “rotalama” alt başlıkları altında iki tür karma tamsayılı doğrusal programlama modeli sunulmaktadır. İlk başlık atıkların biriktirildiği noktalardan atıkları toplayacak ve transfer edecek araçların öbeklere en uygun atamasını gerçekleştirecek olan atama modelleridir. Bu modeller öbeklere yapılacak en uygun atama ile araçların atıl kapasitelerini enküçüklenmesini amaçlamaktadır ve tüm araçların servis vermesi veya minimum sayıda aracın öbeklere atanması tercihleri bağlamında iki durum için ayrı olarak geliştirilmiştir. Böylece ilk atama modeli ile servis kabiliyeti artırılırken, ikinci model işletim maliyetlerini azaltılmaktadır. Araç atama modelinin çıktıları rotalama modelinde girdi olarak kullanılmaktadır. Atama modelinin tasarımını oluşturan varsayımlar şöyle sıralanabilir;

- Atanacak araçların sayı ve kapasiteleri bilinmektedir.
- Araçlar özdeş değildir, her bir aracın diğerinden farklı bir kapasitesi olabilir.
- Öbeklerdeki toplam atık miktarları bilinmektedir.
- Toplam araç kapasitesi toplam atık miktarını karşılamaktadır.
- Her araç sadece bir öbeğe atanabilir.
- Atamalar sonrası araçlarda atıl kapasite kalabilir.

İkinci alt başlık altında öbek içinde atıkların toplanması için araçların dolaşacakları noktaların en uygun dolaşma sırasını bulmak amacıyla yazılan rotalama modeli

bulunmaktadır. Rotalar şehir karayolları haritaları ile hesaplanan gerçek uzaklık değerleri kullanılarak bulunur. Rotalama modeli araçların toplam dolaştıkları yolu enküçükleyerek mesafeye bağlı olarak oluşan CO<sub>2</sub> salımının eniyilenmesini amaçlamaktadır. Rotalama modelinin tasarımını oluşturan varsayımlar şöyle sıralanabilir;

- Rotalanacak araçların sayı ve kapasiteleri bilinmektedir.
- Araçlar özdeş değildir, her bir aracın diğerinden farklı bir kapasitesi olabilir.
- Atık noktalarında biriken atık miktarları bilinmektedir.
- Rotalar garaj düğümünden başlar ve atık işleme tesisi düğümünde sonlanır.
- Her atık noktasındaki talep sadece bir araç tarafından karşılanır.
- Her atık noktasına sadece bir kez uğranır ve tüm atık toplanır.
- Tüm rotalar belirlenen zaman sınırı içinde tamamlanır.
- Rotalarda toplanan yük araç kapasitesini aşamaz.
- Araç hızları sabittir.
- Atık toplama süresi sabittir.
- Atık noktaları arasındaki uzaklıklar simetrik değildir.

Modeller sonuçlarının doğrulanması amacıyla, GAMS yazılımı ile kodlanarak, örnek problemler yazılımın dal-sınır algoritması kullanan CPLEX çözücüsüyle çalıştırılmıştır. İzleyen bölümlerde matematiksel formülasyonları verilen modellerin kodları ve örnek problemlerle yapılan doğrulama sonuçları Ek 1 ve Ek 2’de raporlanmıştır.

### 3.4.1. Araç Atama Modeli

#### 3.4.1.1. Modelin İndisleri

$i$  : öbek indisi ( $i=1, \dots, I$ )

$k$  : araç indisi ( $k=1, \dots, K$ )

#### 3.4.1.2. Modelin Parametreleri

$cw_i$  :  $i$  öbeğindeki toplam atık miktarı (kg)

$q_k$  :  $k$  aracının taşıma kapasitesi (kg)

### 3.4.1.3. Modelin Karar Değişkenleri

$x_{ik}$  :1, eğer  $k$  aracı  $i$  öbeğine atandıysa; 0, aksi halde.

$s_i$  :  $i$  öbeğindeki atamalar sonrası fazla kapasite

### 3.4.1.4. Modelin Formülasyonu

A. Tüm araçların öbeklere dağıtıldığı, servis kabiliyetini arttıran model;

Amaç fonksiyonu:

$$\min z = \sum_{i=1}^I \left( \sum_{k=1}^K (x_{ik} q_k) - c w_i \right) \quad (1)$$

Araç atamaları sonrası atıl araç kapasitesini enküçükler.

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K x_{ik} = K \quad (2)$$

Tüm araçlar öbeklere atanmalıdır.

$$c w_i \leq \sum_{k=1}^K q_k x_{ik} \quad \forall i \quad (3)$$

Öbekteki tüm atık, atanmış araçlar tarafından toplanabilmelidir.

$$\sum_{i=1}^I x_{ik} = 1 \quad \forall k \quad (4)$$

Bir araç bir öbeğe mutlaka atanır.

$$s_i = \sum_{k=1}^K x_{ik} q_k - c w_i \quad \forall i \quad (5)$$

Atıl kapasitenin hesaplanması

$$s_i \geq 0 \quad \forall i \quad (6)$$

Atıl kapasite pozitif olmalıdır.

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall k \quad (7)$$

Atama değişkeni 0 ya da 1 değerini alabilir.

B. Minimum sayıda aracın öbeklere atandığı, işletim maliyetlerini azaltan model;

Amaç fonksiyonu:

$$\min z = \sum_{i=1}^I \left( \sum_{k=1}^K (x_{ik} q_k) - c w_i \right) \quad (1)$$

Araç atamaları sonrası atıl araç kapasitesini enküçükler.

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K x_{ik} \leq K \quad (2)$$

Atanan araçların sayısı toplam araç sayısını geçemez.

$$c w_i \leq \sum_{k=1}^K q_k x_{ik} \quad \forall i \quad (3)$$

Öbekteki tüm atık, atanan araçlar tarafından toplanabilmelidir.

$$\sum_{i=1}^I x_{ik} \leq 1 \quad \forall k \quad (4)$$

Bir araç gerek duyulması halinde sadece bir öbeğe atanabilir.

$$s_i = \sum_{k=1}^K x_{ik} q_k - cw_i \quad \forall i \quad (5)$$

Atıl kapasitenin hesaplanması

$$s_i \geq 0 \quad \forall i \quad (6)$$

Atıl kapasite pozitif olmalıdır.

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall k \quad (7)$$

Atama değişkeni 0 ya da 1 değerini alabilir.

### 3.4.2. Araç Rotalama Modeli

#### 3.4.2.1. Modelin İndisleri

$i, j$ : düğüm indisi ( $i=1, \dots, I$ )

$k$ : araç indisi ( $k=1, \dots, K$ )

$g$ : gün indisi ( $g=1, \dots, 7$ )

#### 3.4.2.2. Modelin Parametreleri

$q_k$  : araç kapasitesi (kg)

$qh_{ig}$  : her  $i$  düğümünde haftanın  $g$  gününde toplanan atık miktarı (kg)

$d_{ij}$  :  $i$  ve  $j$  düğümleri arasındaki uzaklık (km)

$TS$  : günlük zaman sınırı (dk)

$v$  : ortalama araç sürati (km/dk)

$wt$  : atık toplama süresi (dk/kg)

$M$  : büyük bir sayı

$$M = \max_{i,j} \left\{ TS + wt qh_{ig} + \frac{d_{ij}}{v} \right\}$$

#### 3.4.2.3. Modelin Karar Değişkenleri

$x_{ijk}$  : 1, eğer  $j$  düğümü  $i$  düğümünden sonra  $k$  aracı tarafından ziyaret ediliyorsa;  
0, aksi halde.

$T_{ik}$  :  $k$  aracının  $i$  düğümüne varış zamanı

$UC_k$  :  $k$  aracının kullanılmamış kapasitesi

$I = IC \cup IY$  tüm düğümler

$IC = \{0, \dots, n\}$  garaj (0) ve atık üreten düğümler kümesi

$IY = \{n+1\}$  geri dönüşüm tesis düğümleri kümesi

#### 3.4.2.4. Modelin Formülasyonu

Amaç fonksiyonu:

$$\min z = \left( \sum_k \sum_{\substack{i \in IC \\ i > 0}} d_{0i} x_{0ik} + \sum_k \sum_{\substack{i \in IC \\ i > 0}} \sum_{\substack{j \in IC \\ j > 0 \\ i \neq j}} d_{ij} x_{ijk} + \sum_{\substack{i \in IY \\ i > 0}} d_{ji} \sum_k \sum_{\substack{j \in IC \\ j > 0}} x_{jik} \right) \quad (1)$$

Araçların dolaştığı toplam yolun minimizasyonu: Garajdan ilk atık düğümüne gidiş + atık düğümleri arası dolaşım + geri dönüşüm tesisine gidiş

Kısıtlar:

$$\sum_{\substack{j \in IC \\ i \neq j}} x_{jik} = 1 \quad \forall i \in IC, i > 0, qh_{ig} > 0 \quad (2)$$

Atık miktarı pozitif olan her atık düğümüne sadece bir giriş olmalıdır.

$$\sum_k \sum_{\substack{j \in IC \\ j > 0 \\ i \neq j}} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in IC, i > 0, qh_{ig} > 0 \quad (3)$$

Atık miktarı pozitif olan her atık düğümünden sadece bir çıkış olmalıdır.

$$\sum_k \sum_{\substack{j \in IC \\ j > 0 \\ i \neq j}} x_{jik} = 0 \quad \forall i \in IC, i > 0, qh_{ig} = 0 \quad (4)$$

Atık miktarı sıfır olan düğüme giriş olmamalıdır.



$$\sum_k \sum_{\substack{j \in IC \\ j > 0 \\ i \neq j}} x_{ijk} = 0 \quad \forall i \in IC, i > 0, qh_{ig} = 0 \quad (5)$$

Atık miktarı sıfır olan düğümden çıkış olmamalıdır.

$$\sum_{\substack{i \in IC \\ i > 0}} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall j \in IY, \quad \forall k \quad (6)$$

Bir araç geri dönüşüm tesisi düğüme sadece bir kez girmelidir.

$$\sum_{\substack{i \in IC \\ i > 0}} x_{jik} = 0 \quad \forall j \in IY, \quad \forall k \quad (7)$$

Bir araç geri dönüşüm tesisi düğümünden çıkamaz.

$$\sum_k x_{0jk} = 0 \quad \forall j \in IY \quad (8)$$

Garajdan geri dönüşüm tesisi düğümlerine giriş yoktur.

$$\sum_k x_{0jk} \leq 1 \quad \forall j \in IC, \quad j > 0 \quad (9)$$

Garajdan atık düğümlerine en fazla bir giriş olabilir.

$$\sum_k \sum_{\substack{j \in IC \\ j > 0}} x_{0jk} \leq K \quad (10)$$

Garajdan çıkan araç sayısı kısıtı

$$\sum_k \sum_{\substack{i \in IC \\ i > 0}} x_{ijk} \leq K \quad \forall j \in IY \quad (11)$$

Geri dönüşüm tesisi düğüme giren araç sayısı kısıtı

$$\sum_{\substack{j \in IC \\ i \neq j}} x_{jik} = \sum_{\substack{j \in I \\ j > 0 \\ i \neq j}} x_{ijk} \quad \forall i \in IC, \quad \forall k, \quad i > 0 \quad (12)$$

Düğümlere giriş ve çıkışların dengelenmesi kısıtı

$$\sum_{\substack{i \in I \\ i \neq j}} \sum_{\substack{j \in I \\ i \neq j}} qh_{ig} x_{ijk} + UC_k = q_k \quad \forall k \quad (13)$$

Araç kapasitesi kısıtı; atık düğümlerinden toplanan atıklar araç kapasitesini geçmemelidir.

$$T_{jk} \geq T_{ik} + (wt qh_{ig} + (\frac{d_{ij}}{v}))x_{ijk} - (1 - x_{ijk})M \quad \forall k, \forall i, j \in I, \quad j > 0, i \neq j \quad (14)$$

Bir düğüme varış zamanı üzerindeki alt sınır kısıtı

$$T_{ik} + wt qh_{ig} + (d_{i0}/v) \leq TS \quad \forall i \in IY, \quad \forall k \quad (15)$$

Maksimum tur süresi kısıtı

$$T_{0k} = 0 \quad \forall k \quad (16)$$

Başlangıç zamanı kısıtı

$$T_{ik} \geq 0 \quad \forall k, \forall i \quad (17)$$

$k$  aracının  $i$  düğüme varış zamanının pozitif olmalıdır.

$$UC_k \geq 0 \quad \forall k \quad (18)$$

$k$  aracının kullanılmamış kapasitesi pozitif olmalıdır.

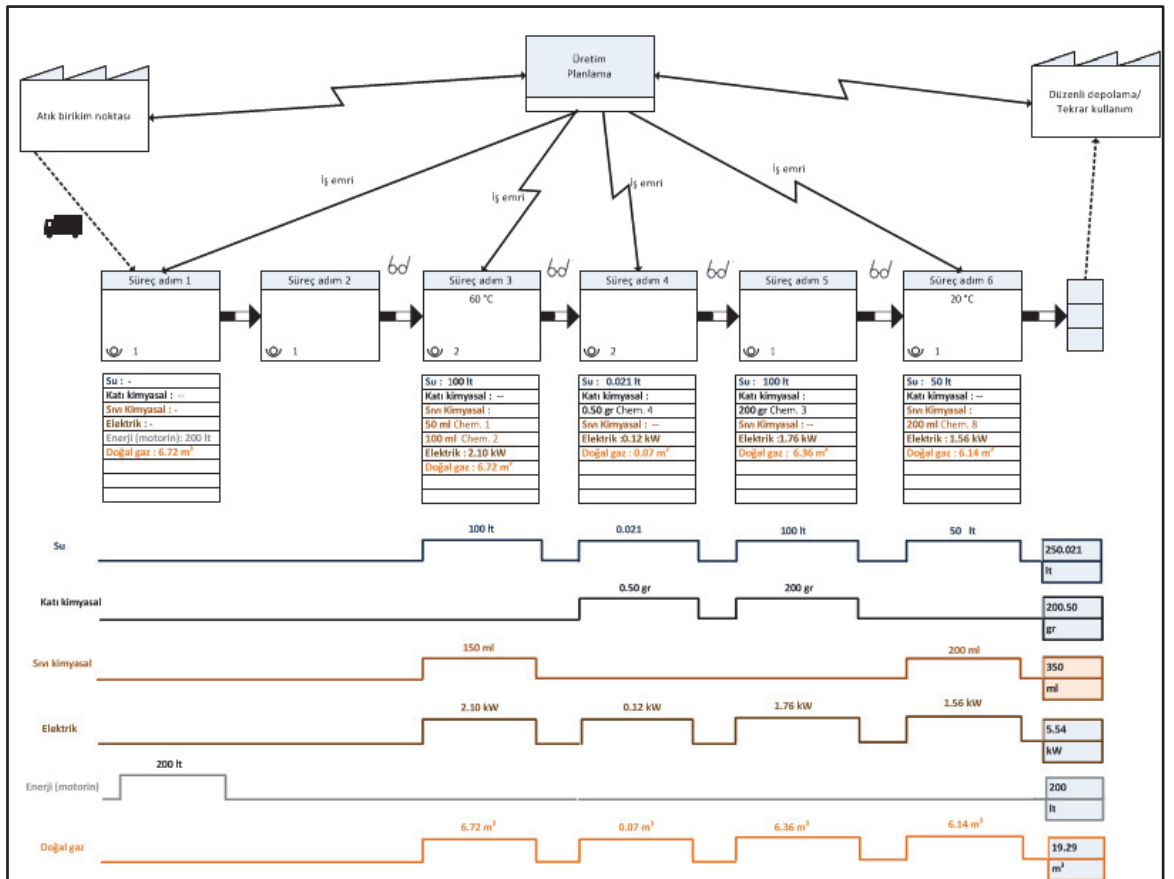
$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k, \forall i, \forall j \quad (19)$$

Değişken 0 ya da 1 değerini alabilir.

### 3.5. GELECEK DURUM DEĞER AKIŞ HARİTASI

Rotalama modelinin çıktıları ile süreçte önerilen iyileştirmeler gelecek durum değer akış haritası (GDAH)'na yansıtılır. Bu harita Bölüm 3.2, Şekil 3.2'de verilen MDAH'da yıldız şeklinde işaretlenen iyileştirmeye açık alanların uygulandığı, böylece Y TZ israf kalemlerinin daha az miktarlar olarak gözüktüğü verileri gösterir. Ayrıca yapılan süreç ekleme, süreç adımlarında veya malzeme ve haberleşme akışındaki değişiklikler görsel olarak sunulur.

Şekil 3.3'de verilen örnek GDAH'da, Şekil 3.2'deki örnek MDAH'da gösterilen yıldızlı adımlardaki iyileştirilmiş değerler verilmektedir. Bu bağlamda üçüncü ve beşinci süreç adımlarındaki su kullanımları azalmıştır. Ayrıca beşinci süreç adımındaki kimyasal kullanımının da 100 mililitre azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.3: GDAH örneği.

### 3.6. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Yapılan iyileştirme sonrası sistemin Y TZ'deki israf kalemlerini gösteren gelecek durum değer akış haritası (GDAH) süreç için geçerli olan tüm Y TZ'deki israf kalemlerinin performans ölçütleri bağlamında mevcut durum haritasındaki (MDAH) değerlerle karşılaştırılır;

$$\text{Y TZ israf miktarındaki değişim (\%)} = \frac{MDAH_{israf} - GDAH_{israf}}{MDAH_{israf}}$$

Yukarıdaki formül ile hesaplanan ve yüzdelik oran cinsinden elde edilen israf kalemindeki değişim, söz konusu kalemdeki artış veya azalmayı ifade eder.

Hesaplanan değer negatif (-) bir değer çıkması GDAH'daki miktarın MDAH'a göre artışını ve istenmeyen bir durumu gösterirken, pozitif (+) değer başarılı bir iyileştirmeyi ifade eder ve arzu edilen bir durumdur.

### 3.7. UYGULAMA ALANLARI

Önerilen metodoloji, atıkların merkezi bir birim tarafından toplandığı ve işlendiği, çok sayıda atık biriktirme noktasına sahip tüm TTZ'lerde uygulanabilir. Toplanan atıkların gördüğü işlem geridönüşüm veya bertaraf olabilir. Bu bağlamda TTZ'deki toplanan ve işlenen atık türleri aşağıdakilerle sınırlı olmamakla birlikte şöyle sıralanabilir;

- tıbbi atıklar
- katı atıklar
- tehlikeli atıklar
- ambalaj atıkları
- atık yağlar
- atık pil ve akümülatörler
- bitkisel atık yağlar
- hafriyat ve inşaat atıkları
- PCB ve PCT'li atıklar
- ömrünü tamamlamış lastikler
- ömrünü tamamlamış araçlar
- atık elektrikli ve elektronik eşyalar

#### 4. UYGULAMA VE BULGULAR

Bu bölümde İstanbul ilinin yirmi yatak ve üzeri büyüklükteki hastanelerinden toplanan tıbbi atıkların hastanelerden alınmasıyla başlayarak, çevresel etkileri bertaraf edildikten sonra düzenli depolanmasıyla biten tersine tedarik zinciri süreçleri, önerilen metodolojiyle iyileştirilmek amaçlı incelenmektedir.

İstanbul'da tıbbi atıklar, şehrin coğrafi yapısından kaynaklanan ulaşım zorlukları nedeniyle Avrupa ve Asya yakalarında farklı araç filoları ile toplanırlar. Tıbbi atıkların toplanması, transferi ve enfeksiyöz özelliklerinin bertaraf edilerek düzenli olarak depolanması faaliyetleri İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı olarak faaliyet gösteren İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş. (İSTAÇ) tarafından yürütülmektedir.

Çalışma kapsamında analiz ve iyileştirme önerileri iki yaka için ayrı olarak çalışılmıştır. Önce YTZ'deki israf kalemlerinin gösterilmesi amacıyla sürecin süregelen işleyişine dair veri toplanarak Asya ve Avrupa yakaları için MDAH çizilmiştir. Daha sonra atıkların transfer ve bertarafı süreçlerinin iyileştirilmesi için İstanbul'un her iki yakasında merkezi sterilizasyon tesisleri kurulması önerilmiştir. Asya yakasında kurulacak sterilizasyon tesislerinin öbeklenen hastanelerin öbek merkezilerine kurulması önerilirken, Avrupa yakası için sterilizasyon tesisi yeri olarak bu yakadaki katı atık aktarma istasyonlarının kullanılması önerilmiştir. Bu bağlamda Avrupa yakası için hastanelerin öbeklemeleri seçilen öbek merkezine bağlı olarak yapılır. Böylece hem sürekli hem de kesikli sistem durumları için öbekleme algoritmaları kullanılmıştır. Amaca uygun olarak seçilen öbekleme algoritmalarının (BCO-GM, ÖDH-GM, YAK ve Tİ-BCO) performansları karşılaştırılarak, en iyi sonucu veren algoritma ile Asya ve Avrupa yakalarındaki hastaneler öbeklenmiş, sterilizasyon tesislerinin yerleri belirlenmiştir.

Öbekleme sonuçları optimizasyon sürecinin ikinci adımında önerilen matematiksel modellere girdi sağlamaktadır. İlk model ile İSTAÇ'a ait tıbbi atık toplama araçlarının öbeklere atanması yapılmış, ikinci model araçların optimum rotalarının bulunması için atıklar toplanırken kat edilen mesafe sonucu oluşan CO<sub>2</sub> salımının minimize edilmesi amacıyla çalıştırılmıştır. Çalışmanın son adımında, modelin çıktıları GDAH ile haritalanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İzleyen bölümlerde önce ülkemizde uygulanan tıbbi atıkların kontrolü yönetmeliği bağlamında, sürece ilişkin tanımlar ve genel bilgi verilmiş, daha sonra metodoloji uygulanmıştır.

#### 4.1. TIBBİ ATIKLARIN KONTROLÜ

Bu bölüm 22.07.2005 tarih ve 25883 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinden özetlenmiştir.

##### 4.1.1. Tanımlar

Tıbbi Atık: enfeksiyöz, patolojik ve kesici delici atıklar.

Uluslararası Biyotehlike Amblemi: Tıbbi atık torbaları veya kapları ile kesici-delici atık kapları, bunların taşınmasında kullanılan konteyner ve araçlar ile geçici depolama birimlerinin üzerlerinde bulundurulması gereken amblem (Şekil 4.1),



Şekil 4.1: Uluslararası biyotehlike amblemi

Kontaminasyon: Bir enfeksiyöz etkenin herhangi bir eşyaya, yüzeye veya kişiye bulaşması,

Enfeksiyöz Atık: Enfeksiyon yapıcı etkenleri taşıdığı bilinen veya taşınması muhtemel başta kan ve kan ürünleri olmak üzere her türlü vücut sıvıları ile insan dokuları, organları, anatomik parçalar, otopsi materyali, plasenta, fetüs ve diğer patolojik materyal; bu tür materyal ile bulaşmış eldiven, örtü, çarşaf, bandaj, flaster, tamponlar, eküvyon ve benzeri atıklar; hemodiyaliz ünitesi ve karantina altındaki hastaların vücut çıkartıları; bakteri ve virüs tutucu hava filtreleri; enfeksiyöz ajanların laboratuvar kültürleri ve kültür stokları; araştırma amacı ile kullanılan enfekte deney hayvanlarının leşleri ile enfekte hayvanlara ve çıkartılarına temas etmiş her türlü malzeme, veterinerlik hizmetlerinden kaynaklanan atıklar,

Patolojik Atık: Cerrahi girişim, otopsi veya anatomi çalışması sonucu ortaya çıkan dokular, organlar, vücut parçaları, insan fetusu ve hayvan cesetleri,

Kesici-Delici Atık: Şırınga, enjektör ve diğer tüm deri altı girişim iğneleri, lanset, bisturi, bıçak, serum seti iğnesi, cerrahi suture iğneleri, biyopsi iğneleri, intraket, kırık cam, ampul, lam-lamel, kırılmış cam tüp ve petri kapları gibi batma, delme, sıyrık ve yaralanmalara neden olabilecek atıklar,

Evsel Nitelikli Atık: mutfak, bahçe ve idari birimlerden kaynaklanan atıklar olmak üzere kontamine olmamış atıklar,

Ambalaj Atığı: kontamine olmamış, tekrar kullanılabilir, geri dönüştürülebilir ve geri kazanılabilir plastik, metal, cam ve kağıt-karton ambalajların atıkları,

Tehlikeli Atık: genotoksik, farmasötik ve kimyasal atıklar ile ağır metal içeren atıklar ve basınçlı kaplar,

Farmasötik Atık: Kullanma süresi dolmuş veya artık kullanılmayan, ambalajı bozulmuş, dökülmüş ve kontamine olmuş ilaçlar, aşular, serumlar ve diğer farmasötik ürünler ve bunların artıklarını ihtiva eden kullanılmış eldivenler, hortumlar, şişeler ve kutular,

Genotoksik Atık: Hücre DNA'sı üzerinde mutasyon yapıcı, kanserojen veya insan veya hayvanda düşüğe neden olabilen türden farmasötik ve kimyasal maddeleri, kanser tedavisinde kullanılan sitotoksik (antineoplastik) ürünleri ve radyoaktif materyali ihtiva eden atıklar ile bu tür ajanlarla tedavi gören hastaların idrar ve dışkı gibi vücut çıkartıları,

Kimyasal Atık: tedavi, tanı veya deneysel araştırmalar gibi tıbbi alanlarda kullanılan ve insan ve çevre sağlığı için çeşitli etkilerle zararlı olabilen kimyasal maddelerin atıkları,

Ağır Metal İçeren Atıklar: tedavi, tanı veya deneysel araştırmalar gibi tıbbi alanlarda kullanılan termometre, tansiyon ölçme aleti ve radyasyondan korunma amaçlı paneller gibi alet ve ekipmanların içinde veya bünyesinde bulunan cıva, kadmiyum, kurşun içeren atıklar,

Nihai Bertaraf: Tıbbi atıkların çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde ilgili mevzuatlarda öngörülen her türlü önlemin alındığı tesislerde yakılması veya düzenli depolanması suretiyle yok edilmesini veya zararsız hale getirilmesini,

Düzenli Depolama Tesisi: Tıbbi atıkların düzenli depolama yoluyla bertaraf edildiği tesisleri,

Yakma Tesisi: Ortaya çıkan yanma ısısını yeniden kazanabilen veya kazanamayan ve atıkların termal arıtımına adanmış olan her türlü sabit veya seyyar teknik birim veya ekipmanı,

Sterilizasyon: Bakteri sporları dahil her türlü mikrobiyal yaşamın fiziksel, kimyasal, mekanik metotlar veya radyasyon (irradiation) yoluyla tamamen yok edilmesi veya bu mikroorganizmaların seviyesinin % 99,9999 oranında azaltılması.

#### **4.1.2. Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıkların Sınıflandırılması**

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde Tablo 4.1'de verildiği gibi sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıklar sınıflandırılmış ve tanımlanmıştır.



Tablo 4.1: Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıklar (Tıbbi atıkların kontr.yönetmeliği, 2005).

SAĞLIK KURULUŞLARINDAN KAYNAKLANAN ATIKLARIN SINIFLANDIRILMASI					
EVSEL NİTELİKLİ ATIKLAR		TIBBİ ATIKLAR		TEHLİKELİ ATIKLAR	RADYOAKTİF ATIKLAR
<b>A: Genel Atıklar</b>	<b>B: Ambalaj Atıkları</b>	<b>C: Enfeksiyöz Atıklar</b>	<b>D: Patolojik Atıklar</b>	<b>E: Kesici Delici Atıklar</b>	<b>F: Tehlikeli Atıklar</b>
Sağlıklı insanların bulunduğu kısımlar, hasta olmayanın nuayene edildiği bölümler, ilk yardım alanları, idari birimler, temizlik hizmetleri, mutfaqlar, ambar ve atölyelerden gelen atıklar: B, C, D, E, F ve G gruplarında anılanlar hariç, tıbbi merkezlerden kaynaklanan tüm atıklar.	Tüm idari birimler, mutfak, ambar, atölye v.s den kaynaklanan tekrar kullanılabilir, geri kazanılabilir atıklar: - kağıt - karton - mukavva - plastik - cam - metal v.b.	Enfeksiyöz ajanların yayılımını önlemek için taşıması ve imhası özel uygulama gerektiren atıklar: <b>Başlıca kaynakları;</b> I. Mikrobiyolojik laboratuvar atıkları - Kültür ve stoklar - İnfeksiyöz vücut sıvıları - Serolojik atıklar - Diğer kontamine laboratuvar atıkları (lam-lamel, pipet, petri v.b) II. Kan kan ürünleri ve bunlarla kontamine olmuş nesnelere III. Kullanılmış ameliyat giysileri (kumaş, örtük ve eldiven v.b) IV. Diyaliz atıkları (atık su ve ekipmanlar) V. Karantina atıkları VI. Bakteri ve virüs içeren hava filtreleri, VII Enfekte deney hayvanı leşleri, organ parçaları, kani ve bunlarla temas eden tüm nesnelere	Anatomik atık dokular, organ ve vücut parçaları ile ameliyat, otopsi v.b. tıbbi müdahale esnasında ortaya çıkan vücut sıvıları: - Ameliyathaneler, morg, otopsi, adli tıp gibi yerlerden kaynaklanan vücut parçaları, organik parçalar, plaseenta, kesik uzuvlar v.b (insani patolojik atıklar) - Biyolojik deneylerde kullanılan kobay leşleri	Batma, delme sıyrık ve yaralanmalara neden olabilecek atıklar: - enjektör - iğnesi, - iğne içeren diğer kesiciler - bistüri - lam-lamel - cam pastör pipeti - kırılmış diğer cam v.b	Fiziksel veya kimyasal özelliklerinden dolayı ya da yasal nedenler dolayısıyla özel işleme tabi olacak atıklar - Tehlikeli kimyasallar - Sitotoksik ve sitostatik ilaçlar - Amalgam atıkları - Genotoksik ve sitotoksik atıklar - Farmaşötik atıklar - Ağır metal içeren atıklar - Basınçlı kaplar
					<b>G: Radyoaktif Atıklar</b> Türkiye Atom Enerjisi Kurumu mevzuatı hükümlerine göre toplama uzaklaştırılır.

#### 4.1.3. Tıbbi Atıkların Toplanması ve Taşınması

Sağlık kuruluşlarında atıklar sınıflarına göre Tablo 4.2’de verilen farklı renk ve özelliklerdeki torba veya konteynerlerde biriktirilirler.

**Tablo 4.2:** Sağlık kuruluşlarında atıkların biriktirilmesi.

<b>TIBBİ ATIKLAR_Kesici-delici alet hariç (Kırmızı çöp poşetine atılır)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• IV kataterler</li> <li>• Foley sonda</li> <li>• Nazogastrik sonda</li> <li>• Trakeostomi kanülü</li> <li>• Gaita, idrar, balgam kapları</li> <li>• İzolasyon uygulanan hastaların atıkları</li> <li>• İnsan patolojik atıkları</li> <li>• Enjektörlerin plastik kısımları</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontamine olmuş eldiven, önlük, vb.</li> <li>• Kontamine olmuş lab. atıkları</li> <li>• Serum seti</li> <li>• Kan ve kan ürünleri</li> <li>• Sekresyon ve çıkartılar</li> <li>• Morgda oluşan enfekte atıklar</li> <li>• Diyaliz atıkları</li> </ul>
<b>TIBBİ ATIKLAR_Kesici-delici alet (Kesici-delici alet kutusuna atılır)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enjektör iğnesi</li> <li>• İğne içeren diğer kesiciler</li> <li>• İntraket</li> <li>• İlaç ampülleri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bistüri</li> <li>• Lam-lamel-lanset</li> <li>• Cam laboratuvar tüpleri</li> </ul>
<b>GERİ DÖNÜŞÜM – AMBALAJ ATIKLARI (Mavi çöp poşetine atılır)</b>	
Kontamine olmamış;	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kağıt ve tıbbi malzeme ambalajı</li> <li>• Plastik</li> <li>• Metal</li> <li>• Flakonlar</li> <li>• Cam serum şişesi ve plastik serum torbası (içi boşaltılır, set kısmı ayrılır)</li> </ul>	
<b>EVSEL ATIKLAR (Siyah çöp poşetine atılır)</b>	
Tıbbi atık geri dönüşüm grubuna girmeyen;	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hasta, doktor, hemşire odası, idari büro, mutfak, atölye atıkları</li> </ul>	
<b>PİL ATIKLARI (Atık pil kutusuna atılır)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Her türlü piller</li> </ul>	
<b>İLAÇ VE KİT ATIKLARI</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kullanım süreleri dolmuş ilaç ve kitler</li> </ul> <p>Ayrı bir kapta toplanarak eczaneye iade edilir.</p>	
<b>TEHLİKELİ ATIKLAR</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basınçlı kutular,</li> <li>• Ağır metal içeren atıklar (elektrik lambaları vb.),</li> <li>• Yazıcı tonerleri ve kartuşlar</li> </ul> <p>Ayrı bir yerde toplanarak Çevre Yönetim Birimine teslim edilir.</p>	

Tıbbi atıklar, oluşumları sırasında kaynağında diğer atıklar ile karıştırılmadan ayrı olarak biriktirilir. Tıbbi atıklar hiçbir suretle evsel atıklar, ambalaj atıkları ve tehlikeli atıklar ile karıştırılmaz, yırtılmaya, delinmeye, patlamaya ve taşımaya dayanıklı; orijinal orta yoğunluklu polietilen hammaddeden sızdırmaz, çift taban dikişli ve körüksüz olarak üretilen, çift kat kalınlığı 100 mikron olan, en az 10 kilogram kaldırma kapasiteli, üzerinde görülebilecek büyüklükte ve her iki yüzünde “Uluslararası Biyotehlike” amblemi ile “DİKKAT TIBBİ ATIK” ibaresini taşıyan kırmızı renkli plastik torbalar kullanılır (Şekil 4.2). Torbalar en fazla  $\frac{3}{4}$  oranında doldurulur, ağızları sıkıca bağlanır ve gerekli görüldüğü hallerde her bir torba yine aynı özelliklere sahip diğer bir torbaya konularak kesin sızdırmazlık sağlanır. Bu torbalar hiçbir şekilde geri kazanılmaz ve tekrar kullanılmaz. Tıbbi atık torbalarının içeriği hiçbir suretle sıkıştırılmaz, torbasından çıkarılmaz, boşaltılmaz ve başka bir kaba aktarılmaz.



Şekil 4.2: Tıbbi atık torbası.

Tıbbi atıkların basınçlı buhar ile sterilizasyon işlemine tabi tutulması durumunda atıklar otoklav torbaları ile otoklavlanabilir kesici-delici tıbbi atık kaplarına konurlar. Otoklav torbalarının yukarıda belirtilen teknik özelliklerin yanı sıra 1400C'a kadar nemli-basınçlı ısıya dayanıklı ve buhar geçirgenliğine haiz olması zorunludur. Sıvı tıbbi atıklar da uygun emici maddeler ile yoğunlaştırılarak yukarıda belirtilen torbalara konulur.

Kesici ve delici özelliği olan atıklar diğer tıbbi atıklardan ayrı olarak delinmeye, yırtılmaya, kırılmaya ve patlamaya dayanıklı, su geçirmez ve sızdırmaz, açılması ve karıştırılması mümkün olmayan, üzerinde “Uluslararası Biyotehlike” amblemi ile “DİKKAT! KESİCİ ve DELİCİ TIBBİ ATIK” ibaresi taşıyan plastik veya aynı

özelliklere sahip lamine kartondan yapılmış kutu veya konteynerler içinde toplanır (Şekil 4.3). Bu biriktirme kapları, en fazla  $\frac{3}{4}$  oranında doldurulur, ağızları kapatılır ve kırmızı plastik torbalara konur. Kesici-delici atık kapları dolduktan sonra kesinlikle sıkıştırılmaz, açılmaz, boşaltılmaz ve geri kazanılmaz.



**Şekil 4.3:** Kesici-delici tıbbi atık kabı.

Tıbbi atıkların geçici atık depoları ve konteynerler ile sağlık kuruluşlarından alınarak bertaraf tesisine taşınmasından büyükşehirlerde büyükşehir belediyeleri, diğer yerlerde ise belediyeler ile yetkilerini devrettiği kişi ve kuruluşlar sorumludur. Tıbbi atıkları taşımakla görevlendirilen temizlik personeli çalışma sırasında eldiven, koruyucu gözlük, maske kullanır; çizme ve özel koruyucu turuncu renkli elbise giyer. Taşıma işleminde kullanılan özel giysi ve ekipmanlar ayrı bir yerde muhafaza edilir. Bunların temizlenmesi belediyece veya belediyenin görevlendireceği kuruluşça yapılır.

Tıbbi atıkların, emniyetli bir şekilde, etrafa yayılmadan ve sızıntı suları akıtılmadan nihai bertaraf sahasına getirilmesi, taşınması sırasında transfer istasyonlarının kullanılmaması, taşıma araçlarının günde en az bir kere temizlenmesi ve dezenfekte edilmesi, konulduğu kırmızı torbaların patlaması veya başka bir nedenle etrafa yayılması durumlarında derhal temizlenmesi ve dezenfekte edilmesi, toplanması ve taşınması için kullanılan araçların başka işlerde kullanılmaması, zorunludur.

Bu araçlarda, atıkların yüklendiği kısmın tamamen kapalı yapılması, sıkıştırma mekanizmasının bulunmaması, şoför mahalli ile atık yükleme kısmı arasında boşluk bulunması, atık yükleme kısmının kaza halinde zarar görmemesi için sağlam yapılması ve iç yüzeyinin paslanmaz, kolaylıkla temizlenebilen ve dezenfekte edilebilen düzgün yüzeyli olması, dik köşeler içermemesi, kesişen yüzeylerin yumuşak dönüşlerle birbirine birleşmesi gerekir. Aracın sağ, sol ve arka yüzeylerinde görülebilecek uygun büyüklükte ve siyah renkli “Uluslararası Biyotehlike” amblemi ile siyah harfler ile

yazılmış “DİKKAT! TIBBİ ATIK” ibaresinin bulunur ve dış yüzeyinin turuncu renge boyanır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: Tıbbi atık taşıma aracı ve personeli.

Tıbbi atık torbaları doğrudan tıbbi atık taşıma aracına yüklenebileceği gibi, tekerlekli/kapaklı plastik veya metal konteynerler içinde de atık taşıma aracına yüklenebilirler (Şekil 4.5). Taşımanın bu şekilde yapılması durumunda konteynerler günde en az bir kez temizlenerek dezenfekte edilir.



Şekil 4.5: Tıbbi atık konteynerleri.

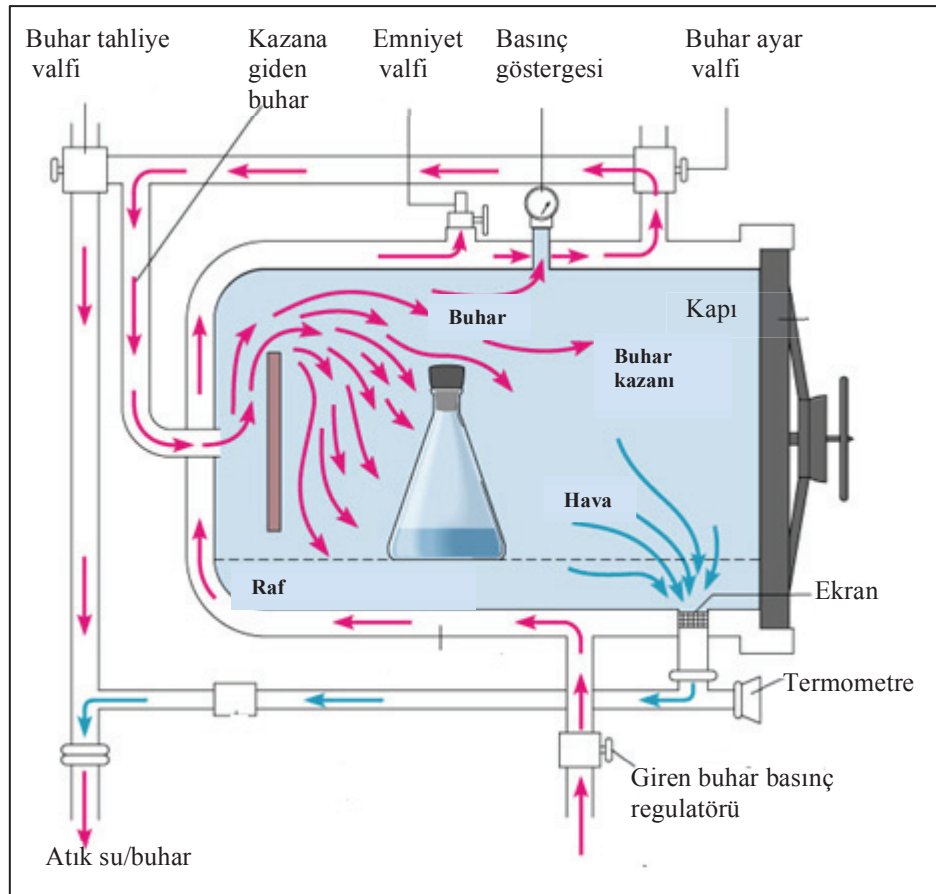
Tıbbi atıkların ünitelerden alınması sırasında; atıkların ünite tarafından taşıyıcıya verildiğinin, taşıyıcı tarafından teslim alındığının ve taşıyıcı tarafından da bertaraf tesisine verildiğinin belgelenmesi amacıyla ünite ile taşıyıcı/bertaraf eden kurum/kuruluş arasında tıbbi atık alındı belgesi/makbuzu düzenlenir.

#### 4.1.4. Tıbbi Atıkların Bertaraf Edilmesi

Tıbbi atıkların sterilizasyon işlemine tabi tutularak zararsız hale getirilmesi, yakılması veya depolanması suretiyle bertaraf edilmesi sağlanır. Bu işlemlerin



erozyon bölgelerinde kurulmasına ve işletilmesine izin verilmez. Yer seçiminde, seçilecek yerin jeolojik, hidrojeolojik, jeoteknik özellikleri, yer altı su seviyesi ve yer altı suyu akış yönleri, mevcut ve planlanan meskun bölge ile diğer yapılaşmalar, deprem kuşakları ve tektonik koruma bölgeleri ile diğer zemin hareketleri, hakim rüzgar yönü, trafik durumu dikkate alınır. En yakın yerleşme alanına uzaklığı 1000 metreden az olamaz. Enfeksiyöz atıklar ile kesici-delici atıklar, sterilizasyon işlemine tabi tutularak zararsız hale getirilebilirler. Zararsız hale getirilen atıklar, evsel atık depolama alanlarında depolanarak bertaraf edilebilirler. Sterilizasyon işlemine tabi tutulan enfeksiyöz atıkların zararsız hale getirilip getirilmediği kimyasal ve biyolojik indikatörler kullanılarak test edilir. Ayrıca, akredite olmuş bir laboratuvar tarafından altı ayda bir yapılacak testler ile belediyeler veya yetkilerini devrettiği kuruluşlarca yapılan sterilizasyon işleminin geçerliliği kontrol edilir. Şekil 4.7’de sterilizasyon ünitesini yapısı şematik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 4.7:** Tıbbi atık sterilizasyon ünitesi şematik gösterimi.

## 4.2. VERİ TOPLAMA VE ANALİZ

İstanbul ilinde Anadolu ve Asya yakalarında farklı araç filoları ile toplanan tıbbi atıkların transferi ve enfeksiyöz özelliklerinin bertaraf edilerek düzenli olarak depolanması faaliyetleri İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı olarak faaliyet gösteren İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş. (İSTAÇ) tarafından yürütülmektedir. İSTAÇ, şehrin her iki yakasında yirmi yatak ve üzeri kapasiteye sahip hastanelerden tıbbi atık toplamaktadır. Diğer tıbbi atıklar ise yerel belediyeler tarafından toplanarak Avrupa yakasında, bertaraf edilmek üzere Göktürk-Odayeri'ndeki yakma tesisinde İSTAÇ'a teslim edilmektedir. İSTAÇ tarafından toplanan tıbbi atıklar ise Göktürk-Odayeri'ndeki sterilizasyon tesisinde evsel atık niteliği kazandırıldıktan sonra, aynı bölgedeki yerleşime uzak alanda toprak altında düzenli olarak depolanmaktadırlar. Tez çalışması kapsamında, yöntemin bu ilk aşamasında atık toplama ve bertaraf süreci analiz edilerek oluşan israf kalemleri belirlenir. Bu süreçte oluşan YTZ'deki israf kalemleri Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.3:** Tıbbi atıkların toplanması ve bertarafı sürecindeki YTZ israf kalemleri.

TÜR	GİRDİ	ÇIKTI
<b>HAMMADDE</b>	Süreçte kullanılan kimyasal, kireç vb.	
<b>SU</b>	Süreçte kullanılan su	
<b>ENERJİ</b>	Transfer için kullanılan motorin, Süreçte kullanılan motorin Süreçte kullanılan elektrik	
<b>YAN ÜRÜN</b>		Düzenli depolanan zararlı atıklar; kül, kimyasal Düzenli depolanan steril atıklar; evsel atık niteliğindeki işlenmiş tıbbi atık
<b>GAZ</b>		CO <sub>2</sub> , propan, metan vb. zehirli gaz salımı



Seçilen tersine tedarik zincirinde, tıbbi atıkların hastanelerden toplanması süreç adımlarında araçların kullandığı motorin başlıca Y TZ israf kalemidir. Motorin kullanımına bağlı olarak oluşan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazı salımı ise çıktı kalemleri içindedir. Atıkların bertaraf edilmesi için sterilizasyon yönteminin kullanılması durumunda sistem su, kimyasal ve elektrik kullanmaktadır. Yakma yöntemi tercih edildiğinde sistemin sarfi elektrik enerjisidir ve çıktı olarak CO<sub>2</sub> yanında çeşitli sera gazları salımı oluşur. Bu yöntemde ayrıca küllerin torbalanması aşamasında kireç kullanılır. Her iki yöntem sonunda oluşan yan ürünler düzenli depolama alanlarında gömülür.

Bir günlük periyod için çizilmesi planlanan DAH için veri toplama aşamasında derlenen veriler aşağıda sıralanmıştır;

1. Sürecin planlama ve kontrol birimi: İSTAÇ tüm sürecin planlanması, uygulanması ve kontrolünden sorumludur.
2. Kullanılan haberleşme yöntemleri: İSTAÇ hastanelerin ilgili birimleri, yakma tesisi ve sterilizasyon tesis şeflikleri ile atık miktarı, toplama periyodu gibi konularda elektronik haberleşme ile iletişim içindedir.
3. Kullanılan formlar, raporlama yöntemleri: Çalışma kapsamında kullanılan formlar şöyledir;
  - i. Hastanelerle karşılıklı belirlenmiş ve hastanelerin haftalık ziyaret planlarını gösteren ‘hastane ziyaret çizelgesi’ bulunur.
  - ii. Araçlara ‘günlük ziyaret çizelgesi’ verilir.
  - iii. Hastanelerden atıklar ‘atık teslim formu’ ile alınır.
  - iv. Araçlar her akşam ‘kilometre verileri’ni kaydeder.
  - v. Tesislerde ‘günlük işlem ve sarf bilgileri’ elektronik ortamda saklanmaktadır.
4. Atık biriktiren noktalar: Asya ve Avrupa yakalarında hizmet verilen yirmi yatak üzeri hastanelerin koordinat verileri listelenmiştir (Ek 3 ve Ek 4).
5. Atık biriktiren noktalardaki atık miktarları: Asya ve Avrupa yakaları için listelenmiştir (Ek 3ve Ek 4).

6. Atıkların toplanma periyodu: Hastanelerin 'haftalık ziyaret çizelgesi' ile temin edilmiştir.
7. Atıkların toplanmasında kullanılan araçların kapasiteleri: İSTAÇ yetkililerinden alınmıştır (Tablo 4.4 ve Tablo 4.5).
8. Atıkların toplanmasında kullanılan araçların enerji sarfı: İSTAÇ yetkililerinden alınmıştır (Tablo 4.4 ve Tablo 4.5).
9. Atıkların toplanmasında kullanılan araçların kat ettikleri mesafeler ve buna bağlı CO<sub>2</sub> salımı: Günlük kilometre verileri raporlarından alınmıştır. CO<sub>2</sub> salımı değerlerinin hesaplanması için kullanılan katsayılar Sera Gazları Protokolü- CO<sub>2</sub> Salımı Hesaplama Yazılımı - The Greenhouse Gas Protocol – Mobile Combustion CO<sub>2</sub> Emissions Calculation Tool (June 2003, Version 1.2) - kullanılarak bulunmuştur. (Tablo 4.4 ve Tablo 4.5)

**Tablo 4.4:** Asya yakası araç bilgileri (12.03.2014 itibarıyla).

	<b>Araç kapasitesi (kg)</b>	<b>Katedilen mesafe (km/gün)</b>	<b>Motorin sarfı katsayısı (lt/km)</b>	<b>Motorin sarfı (lt/gün)</b>	<b>CO<sub>2</sub> salımı katsayısı<sup>1</sup> (kg/km)</b>	<b>CO<sub>2</sub> salımı miktarı (kg/gün)</b>
1	2500	124	0,1799	22,31	0,432	53,57
2	2500	118	0,1799	21,23	0,432	50,98
3	2500	111	0,1799	19,97	0,432	47,95
4	3000	122	0,2056	25,08	0,493	60,15
5	3000	136	0,2056	27,96	0,493	67,05
6	2000	97	0,1542	14,96	0,370	35,89
7	2000	126	0,1542	19,43	0,370	46,62
	<b>TOPLAM:</b>	834		150,94		362,21

<sup>1</sup> CO<sub>2</sub> salımı değerlerinin hesaplanması için kullanılan katsayılar Sera Gazları Protokolü- CO<sub>2</sub> Salımı Hesaplama Yazılımı - The Greenhouse Gas Protocol – Mobile Combustion CO<sub>2</sub> Emissions Calculation Tool (June 2003, Version 1.2) - kullanılarak bulunmuştur. (<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools>)

**Tablo 4.5:** Avrupa yakası araç bilgileri (12.03.2014 itibarıyla).

	<b>Araç kapasitesi (kg)</b>	<b>Katedilen mesafe (km/gün)</b>	<b>Motorin sarfı katsayısı (lt/km)</b>	<b>Motorin sarfı (lt/gün)</b>	<b>CO<sub>2</sub> salımı katsayısı<sup>1</sup> (kg/km)</b>	<b>CO<sub>2</sub> salımı miktarı (kg/gün)</b>
1	1500	72	0,1285	9,25	0,308	22,18
2	1500	65	0,1285	8,35	0,308	20,02
3	1500	77	0,1285	9,89	0,308	23,72
4	2500	88	0,1799	15,83	0,432	38,02
5	2500	156	0,1799	28,06	0,432	67,39
6	2500	60	0,1799	10,79	0,432	25,92
7	2500	82	0,1799	14,75	0,432	35,42
8	2000	75	0,1542	11,57	0,370	27,75
9	2000	88	0,1542	13,57	0,370	32,56
10	3000	95	0,2056	19,53	0,493	46,84
11	3000	82	0,2056	16,86	0,493	40,43
TOPLAM:		940		158,47		380,25

10. Geri kazanım/bertaraf süreci adımları: MDAH'larında gösterilen adımlar yakma ve sterilizasyon şefliklerinden görüşmelerle alınmıştır.

Yakma tesisinde gerçekleşen süreç adımları sırasıyla; atıkların yüklenmesi, tartma ve itme işlemlerinden sonra fırına aktarılması, atıkların 1000°C'de döner fırında yakılması, ilk yanma odasından çıkan küller için soğutma ve boşaltma, ilk yanmadan çıkan zararlı gazların ikinci yanma odasında 1200°C'de yakılması, püskürtme kulesinde gazların söndürülmesi ve bacadan filtrelenerek atmosfere verilmesi işlemlerinden oluşur (Şekil 4.6).

Sterilizasyon tesisinde gerçekleşen süreç adımları sırasıyla; atıkların yüklenmesi, tartma işlemlerinden sonra otoklav ünitelerine aktarılması, 140°C sıcaklık ve 3.5 bar basınçta işleme tabi tutulması, soğutma, boşaltma ve otoklavdan çıkan atıkların parçalanarak vakumlanmasının ardından düzenli depolamaya sevk edilecekleri konteynerlere aktarılmasıdır. Şekil 4.8 tesisteki üç adet sterilizasyon (otoklav) ünitesini göstermektedir.



**Şekil 4.8:** Sterilizasyon üniteleri.

11. Geri kazanım/bertaraf süreci için geçerli Y TZ israf kalemleri: Süreç adımları görüşülürken MDAH'larında gösterilen her bir adımdaki israf kalemi belirlenmiştir.
12. Y TZ israf kalemlerinin miktarları veya hesaplamak için gerekli veri: Yakma ve sterilizasyon tesislerinin günlük veya bir döngülük sarfları (Tablo 4.6 ve Tablo 4.7) tesis şefliklerinden alınarak, 12.03.2014 için geçerli sarflar hesaplanmıştır.

**Tablo 4.6:** Sterilizasyon ünitesi işlem ve sarf bilgileri (1 ünite için)

Yükleme ağırlığı	Döngü süresi	Su sarfı	Kimyasal sarfı	Elektrik sarfı
1500 kg/döngü	45 dak.	1,1176 m <sup>3</sup> /döngü	41,18 kg/döngü	1,65 kW/döngü

Sterilizasyon tesisinde Tablo 4.6'de bilgileri verilen ünitelerden üç adet bulunur. 12.03.2014 tarihinde bertaraf edilmek üzere sterilizasyona tabi tutulan toplam 39,500 kilogram tıbbi atık için aşağıdaki sarflar hesaplanmıştır;

$$39.500 \text{ kg atık} / 1500 \text{ kg/döngü} = 27 \text{ döngü}$$

$$1,1176 \text{ m}^3/\text{döngü} \times 27 \text{ döngü} = 30,18 \text{ m}^3 \text{ su}$$

$$1,65 \text{ kW/döngü} \times 27 \text{ döngü} = 44,55 \text{ kW elektrik}$$

$$41,18 \text{ kg/döngü} \times 27 \text{ döngü} = 1111,86 \text{ kg kimyasal}$$

Sterilizasyondan çıkan atıklar % 20 oranda küçülür. 31.600 kilogram steril atığın düzenli depolamaya taşınması için 4,11 litre motorin kullandığı tespit edilmiş ve buna bağlı CO<sub>2</sub> salımının 9,86 kilogram olduğu hesaplanmıştır;

$$10 \text{ sefer} \times 2 \text{ km} \times 0,2056 \text{ lt/km} = 4,11 \text{ lt motorin}$$

$$10 \text{ sefer} \times 2 \text{ km} \times 0,493 \text{ kg/km} = 9,86 \text{ kg CO}_2$$

**Tablo 4.7:** Yakma tesisi işlem ve sarf bilgileri (tüm tesis için)

Yükleme ağırlığı	Döngü süresi	Su sarfı	Kimyasal sarfı	Elektrik sarfı
24.000 kg/gün	24 saat	103 lt/gün	790 kg/gün	3876 kW/gün

Yakma tesisi devreye alma sırasında çok fazla enerji tüketir ve açma-kapatma maliyetleri yüksektir. Bu yüzden yirmi dört saat aralıksız çalışarak günde 3876 kilovat elektrik ve 103 litre motorin tüketir. 12.03.2014 tarihinde bertaraf edilmek üzere yakılan 21.870 kilogram atık için tesisin bir günlük sarfı geçerli sayılmıştır.

Yakma işleminde 5 kilogram CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazı salımı oluşur. Oluşan zehirli gazların zararlı etkilerinin giderilmesinde günlük 695 kilogram kireç ve 65 kilogram Aktif C kimyasalı kullanılır. Yanma sonrası % 80 ağırlık kaybeden atıklar römorklarla düzenli depolamaya sevk edilir. Bu sevkiyat için römorkların günlük 12 litre motorin kullandığı tespit edilmiş ve buna bağlı CO<sub>2</sub> salımının 4 kilogram olduğu hesaplanmıştır.

13. Geri kazanım/bertaraf tesisindeki stok miktarları: Tesislerde çıkan bertaraf işleminden geçmiş atıklar beklemeden düzenli depolama alanlarına sevk edilmektedir.
14. Düzenli depolamaya /yeniden kullanıma sevk edilen stok miktarları: Yakma tesisinden çıkan 3600 kilogram çamurlu kül ile baca gazlarının etkisizleştirilmesi için kullanılan 760 kilogram kireç (Big Bag denen torbalarda), sterilizasyon tesisinden çıkan 31.600 kilogram evsel atık niteliği kazandırılmış ürünler düzenli depolama alanlarına gömülürler.

Veri toplama ve analiz aşamasında sürecin adımları, haberleşme akışı ve yeşil israf kalemlerinin büyüklükleri analiz edilerek iyileştirmeye açık alanlar tespit edilmiştir. Bu

veri ve iyileştirme önerileri izleyen bölümlerdeki mevcut durum değer akış haritalarında gösterilmiştir.

### **4.3. MEVCUT DURUM DEĞER AKIŞ HARİTALARI**

Çalışmadaki değer akış haritaları sistemdeki Y TZ israf kalemlerini göstermek üzere çizilmiştir. Bu bakımdan süreç bilgi kutularında gösterilen girdi ve çıktılar sadece Y TZ israf kalemleri ile ilişkili olan girdi/çıkıtlardır. Süreçler arası transfer edilen ancak çevreyle etkileşime girmeyen kalemler haritalarda gösterilmemiştir.

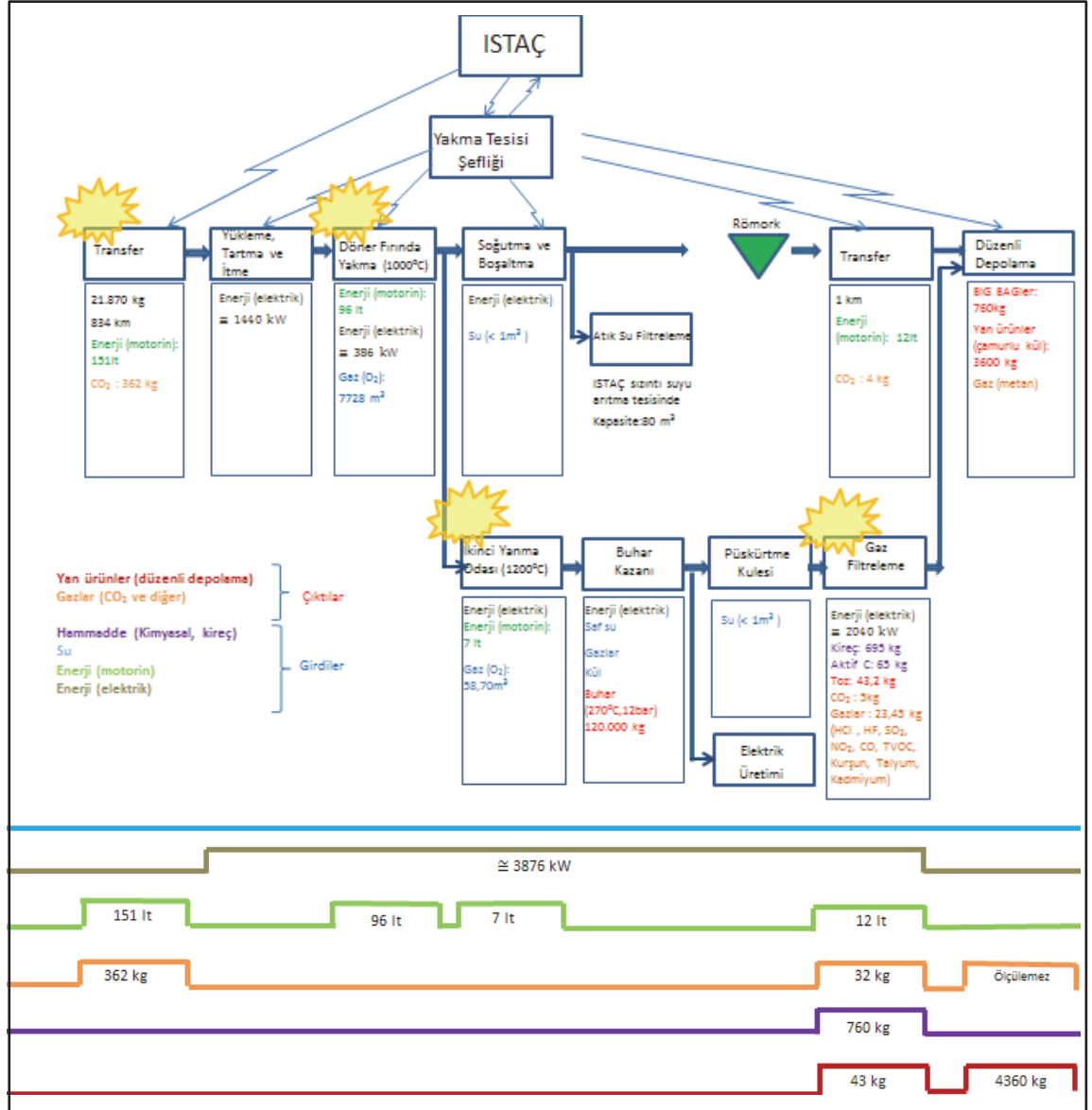
İki ana başlık altında toplanan israflar için, girdi kalemleri olarak işlemlerde kullanılan kimyasallar, su, yakıt ve elektrik enerjisi; çıktı kalemleri olarak çevreye salınan toksik gazlar, düzenli depolama alanına gömülen tıbbi atık ile beraberinde kullanılan kimyasallar alınmıştır. Her israf kalemi için haritaları okuma kolaylığı açısından farklı bir renk kullanılmıştır.

Mevcut durum değer akış haritalarında (MDAH) gösterilen Y TZ israf kalemleri İSTAÇ yetkililerinden 12 Mart 2014 tarihindeki tüketim bilgileri alınarak hesaplanmıştır.

#### **4.3.1. Asya Yakası Mevcut Durum Değer Akış Haritası**

Asya yakasında İSTAÇ tarafından toplanan atıklar Göktürk-Odayeri'ndeki günlük 24 ton atık yakma kapasitesine sahip tesiste işlem den geçirilmekte ve tesise 2 kilometre uzaklıktaki alanda düzenli depolanmaktadır.

Şekil 4.9, İstanbul Asya yakasından 12 Mart 2014 (Çarşamba) tarihinde 21.870 kilogram tıbbi atığın İSTAÇ kamyonları ile toplanarak başlayan, Avrupa yakasındaki yakma tesisine transferinin ardından burada düzenli depolanması ile biten tersine tedarik zincirinin haritasıdır.



Şekil 4.9: İstanbul Asya yakası MDAH.

Asya yakası MDAH, 21.870 kilogram tıbbi atığın transfer ve bertaraf sürecinde toplam 266 litre motorin tüketimi ile 394 kilogram CO<sub>2</sub> ve diğer zehirli gaz salımı gerçekleştiğini göstermektedir. Sürecin sonunda 43 kilogram toz bacadan atmosfere püskürmektedir. Ayrıca düzenli depolama alanında depolanan atıklar ölçülemeyen miktarda metan gazı üretir. 760 kilogram kimyasal kullanılan süreçte, atıklar 3600 kilograma kadar küçülmekte ve toplam 4360 kilogram kimyasal ve kül çıktı olarak römorklarla düzenli depolama alanlarına transfer edilerek gömülmektedir. Sistemde külleri soğutmak için kullanılan su sarfı bir metreküpten az olduğu için haritada gösterilmemiştir. 3876 kilovat elektrik enerjisi tüketilmektedir, ancak bu miktarın tamamı tesisin kendi bünyesinde üretilmektedir.

Asya MDAH incelendiğinde, Asya yakasında kurulu bir bertaraf tesisi olmaması sebebiyle Avrupa yakasına transfer edilen yüksek miktardaki tıbbi atığın, uzun bir transfer süreci geçirmesinden dolayı yüksek CO<sub>2</sub> salımına sebep olduğu görülmektedir. Bunun yanında, tehlikeli atıkların boğaz köprüsü de dahil olmak üzere şehir içi güzergâhta dolaşmasının yarattığı riskler açısından transfer süreci zincirdeki iyileştirmeye açık alan olarak tespit edilmiştir. Bu bölüm haritada yıldız konularak belirginleştirilmiştir. Bununla beraber yakarak bertaraf enerji tüketimi ve buna bağlı sera gazı salımı açısından yüksek miktarda YZ israf çıktı kalemi oluşturmaktadır. GDAH için bertarafın Asya yakasında kurulacak tesislerde sterilizasyon ile yapılması seçeneği incelenecek, transfer süreci ise araç rotalama çalışması ile daha az yol katedecek ve neticesinde daha az CO<sub>2</sub> salımı olacak şekilde iyileştirilecektir.

#### 4.3.2. Avrupa Yakası Mevcut Durum Değer Akış Haritası

Avrupa yakasından İSTAÇ tarafından toplanan tıbbi atıklar ile yerel belediyeler tarafından her iki yakadan toplanan atıklar Şekil 4.10'daki fotoğrafta görülen Göktürk-Odayeri'ndeki sterilizasyon tesisine getirilir. Bu tesise gelen günlük ortalama tıbbi atık miktarı 50-60 ton civarındadır ki tesisin kapasitesi bu atığı işlemek için yeterlidir.

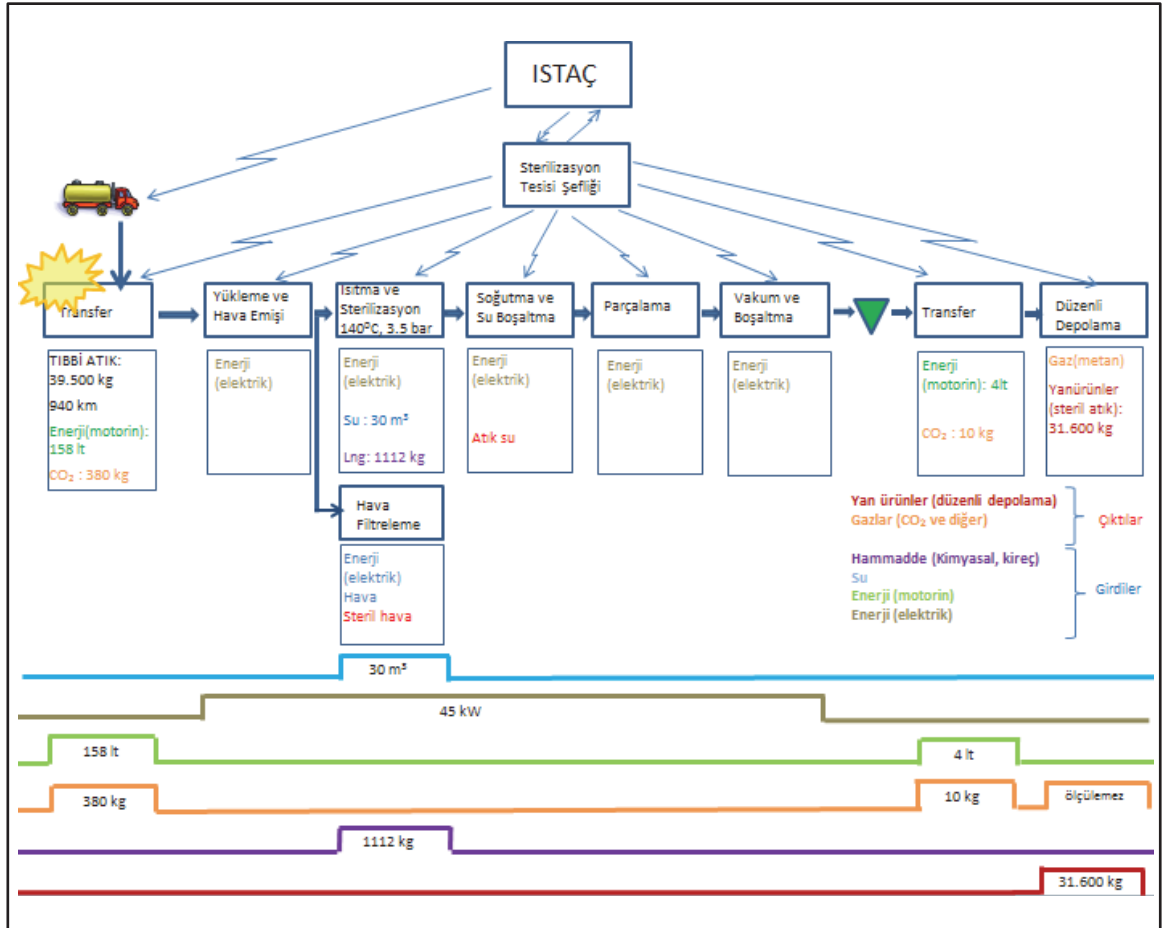


Şekil 4.10: İSTAÇ Kemerburgaz sterilizasyon tesisi.



12 Mart 2014 tarihinde sterilizasyon tesisine toplam 54.330 kilogram atık gelmiştir. Bu miktar İSTAÇ kamyonlarının Avrupa yakasından topladıkları atığın yanı sıra, her iki yakadan yerel belediyeler tarafından toplanan ve transfer edilen miktardır. Bu çalışma kapsamına sadece İSTAÇ tarafından toplanan atıklar dahil edildiğinden Şekil 4.11’de, 39.500 kilogram atık için çizilen MDAH görülmektedir.

Avrupa yakası MDAH, 39.500 kilogram tıbbi atığın transfer ve bertaraf sürecinde 158 litre motorin tüketimi ile 380 kilogram CO<sub>2</sub> salımı gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca işlem sonrası düzenli depolama alanında depolanan 31.600 kilogram atığın da ölçülemeyen miktarda metan gazı üreteceği ifade edilebilir. Bu işlemler için sistemde 30 metreküp su, 1112 kilogram kimyasal ve 45 kilovat elektrik enerjisi tüketilmektedir.



Şekil 4.11: İstanbul Avrupa yakası MDAH.

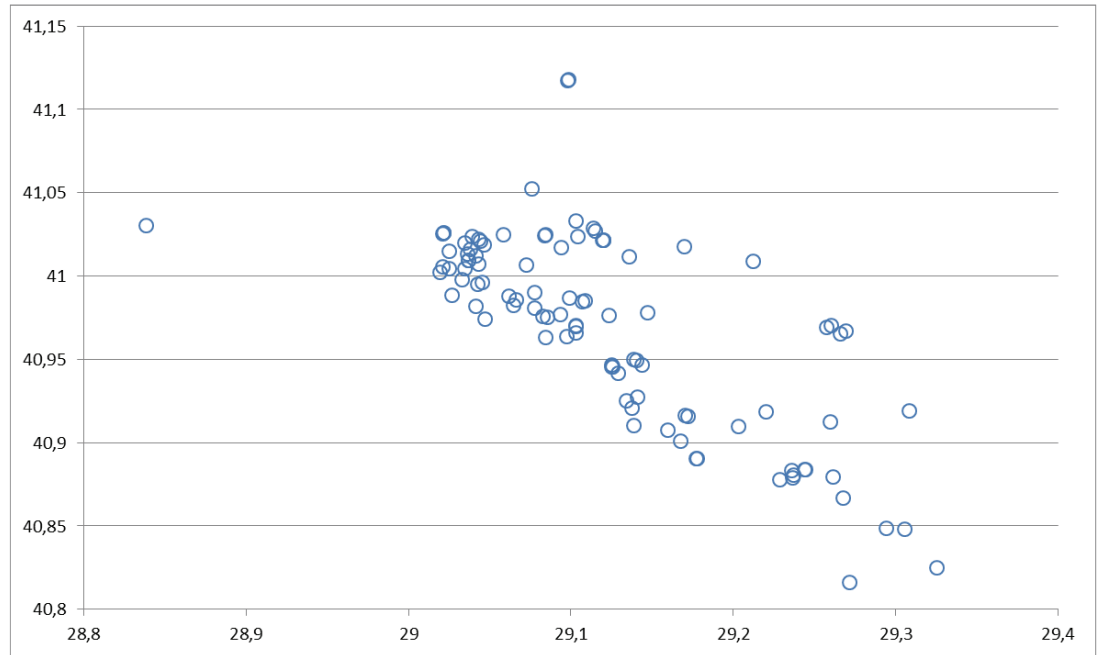
Avrupa MDAH incelendiğinde, sürecin iyileştirilmesi için alınması gereken en önemli aksiyonun transfer sürecine dair olduğu ifade edilebilir. Yaklaşık kırk ton atık işleme

girmeden önce 940 kilometrelik yol dolaşmakta ve buna bağlı olarak da 153 litre motorin sarfı ve 380 kilogram CO<sub>2</sub> salımı oluşmaktadır. Bu süreç adımı haritada yıldız konularak belirginleştirilmiştir.

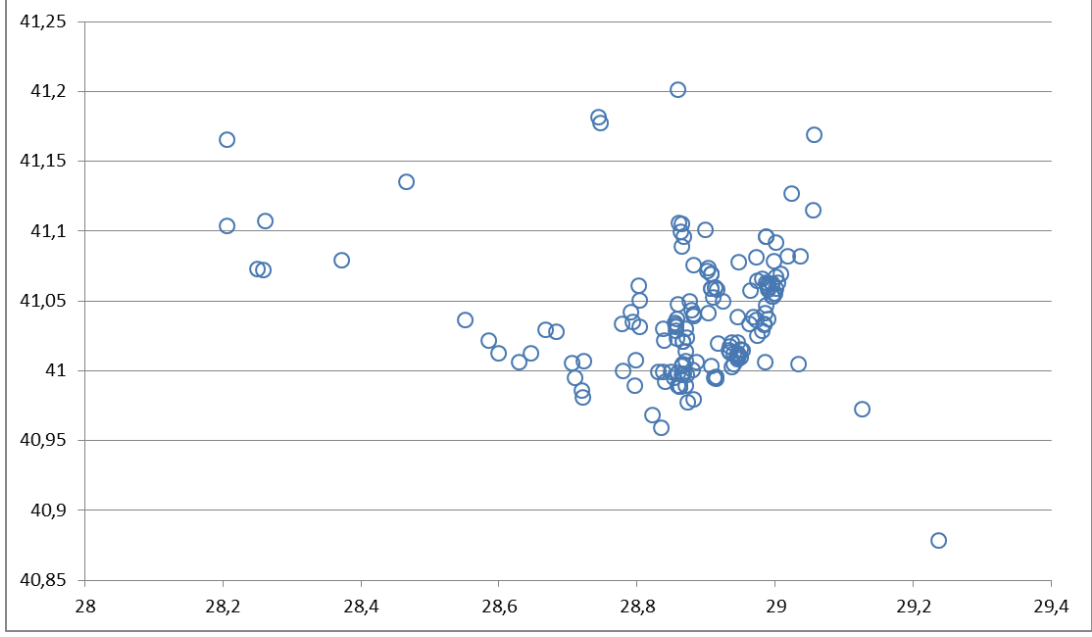
MDAH'larda tespit edildiği üzere, Asya ve Avrupa yakalarında iyileştirmeye açık ortak süreç transfer sürecidir. Tıbbi atıklar yoğun nüfus ve trafiğe sahip şehrin içinde uzun yol kat etmektedir. Süreç optimizasyonu için, izleyen bölümlerde Asya ve Avrupa yakası hastaneleri öbeklenerek, merkezi sterilizasyon tesislerinin yerleri belirlenecektir. Daha sonra araçların öbekler içinde atık toplama amaçlı rotalanması yapılacaktır. Sonuçlar ve sistemdeki iyileşme Asya ve Avrupa yakaları için ayrı çizilen GDAHlar ile görsel olarak ifade edilecektir.

#### 4.4. ÖBEKLEME İLE STERİLİZASYON TESİSLERİNİN YERLERİNİN BELİRLENMESİ

İSTAÇ tarafından tıbbi atık toplama yirmi yatak üzeri Asya ve Avrupa yakası hastanelerinin koordinat izdüşümleri Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'de gösterildiği üzere dağılmaktadır.



Şekil 4.12: Asya yakası hastanelerinin koordinatları.



**Şekil 4.13:** Avrupa yakası hastanelerinin koordinatları.

Bu bölümde farklı öbikleme algoritmaları en düşük maliyetli çözümü üreten algoritmayı bulmak amacıyla koordinatlar ve hastanelerin haftalık tıbbi atık miktarları verisi ile çalıştırılmıştır. Seçilen algoritmaların karşılaştırmalı performans sonuçları izleyen bölümlerde verilmiştir. Algoritmalar çalıştırılırken belirlenen öbek sayıları İSTAÇ yetkililerinin yönlendirmesi bağlamında, şehir içinde kurulacak sterilizasyon tesisi sayısının fazla olması durumunda yerel halkın tepki gösterebileceği düşüncesiyle, en fazla dört öbek olacak şekilde belirlenmiştir. Hastanelerin öbek merkezlerine uzaklıkları ile atık miktarlarının çarpımının toplamından oluşan toplam maliyet değerleri için en iyi sonucu veren algoritma sterilizasyon tesislerinin yerinin belirlenmesi için kullanılacaktır.

#### 4.4.1. Bulanık C-Ortalamalar Algoritması (BCO) ile Öbekler

Belirlenen çeşitli öbek sayıları için Balasko ve diğ. tarafından MATLAB yazılımı için geliştirilen BCO fonksiyonu kullanılarak bir öbikleme algoritması kodlanmıştır. Daha sonra Asya ve Avrupa yakası hastaneleri 8,00 GB RAM ve her biri 3,20 GHz işlemcili çift çekirdekli bir bilgisayarda ayrı ayrı öbekenmiştir. Saniyeler bazında sonuca ulaşılan yöntemde bulanıklaştırma parametresi " $\mu=2$ " olarak alınmıştır. Öbikleme sonuçları Tablo 4.8, Tablo 4.9'da ve dağılım grafiği şeklindeki görünümleri izleyen sayfalarda verilmiştir.

**Tablo 4.8:** Asya yakası BCO öbekleme algoritması sonuçları.

<b>ASYA (99 hastane)</b>			
<b>ÖBEK MERKEZLERİ</b>	<b>ÖBEK ELEMEN SAYISI</b>	<b>ATIK MİKTARI (kg/hafta)</b>	<b>TOPLAM MALİYET (kmxkg)</b>
2 ÖBEK			5218,98
29,22644 40,90431	31	22.790	
29,07102 41,00213	68	86.303	
3 ÖBEK			4274,05
29,25024 40,89186	22	9800	
29,04606 41,01124	41	67.310	
29,12312 40,96711	36	31.983	
4 ÖBEK			3311,48
29,25835 40,88536	19	8100	
29,03765 41,01007	30	52.360	
29,10373 41,00537	30	30.340	
29,14758 40,93259	20	18.293	

**Tablo 4.9:** Avrupa yakası BCO öbekleme algoritması sonuçları.

<b>AVRUPA (158 hastane)</b>			
<b>ÖBEK MERKEZLERİ</b>	<b>ÖBEK ELEMEN SAYISI</b>	<b>ATIK MİKTARI (kg/hafta)</b>	<b>TOPLAM MALİYET (kmxkg)</b>
2 ÖBEK			13.170,80
28,91274 41,03509	145	168.505	
28,43528 41,07222	13	10.810	
3 ÖBEK			9645,64
28,96981 41,04772	77	98.235	
28,30968 41,09618	8	4510	
28,83856 41,01911	73	76.570	
4 ÖBEK			7851,68
28,68214 41,01827	14	11.870	
28,26598 41,10127	7	3710	
28,86881 41,02042	75	81.240	
28,98206 41,05186	62	82.495	

#### 4.4.2. Öz Düzenleyici Haritalar (ÖDH) ile Öbekler

ÖDH algoritması ile öbekleme için Alhoniemi ve diğerleri tarafından MATLAB yazılımı için geliştirilen ÖDH Toolbox fonksiyonları ile öbekleme algoritması yazılmıştır. ÖDH algoritması her tekrarda öğrenen bir yapıda olması sebebiyle en küçük hata değerini veren çözümün koordinat değerlerine göre toplam maliyet hesaplanmıştır. 8,00 GB RAM ve her biri 3,20 GHz işlemcili çift çekirdekli bir bilgisayarda çalıştırılan algoritmanın parametreleri, “*epoch=1000*”, “*verbose=0*” olarak alınmıştır ve her bir döngü saniyeler bazında gerçekleşmiştir. Elde edilen öbekleme sonuçları ve hastanelerin öbek merkezlerine uzaklıkları ile atık miktarlarının çarpımının toplamından oluşan toplam maliyet değerleri, Asya yakası için Tablo 4.10’da, Avrupa yakası için Tablo 4.11’de listelenmiştir. Öbeklerin dağılım grafiği şeklindeki görünümleri izleyen sayfalarda verilmiştir.

**Tablo 4.10:** Asya yakası ÖDH öbekleme algoritması sonuçları.

ASYA (99 hastane)			
ÖDH			
ÖBEK MERKEZLERİ	ÖBEK ELEMAN SAYISI	ATIK MİKTARI (kg/hafta)	TOPLAM MALİYET (kmxkg)
2 ÖBEK			5242,74
29,22286 40,9052	32	24.028	
29,07381 41,0017	67	85.065	
3 ÖBEK			4217,40
29,23929 40,8971	26	18.290	
29,04088 41,0158	36	58.910	
29,11847 40,9779	37	31.263	
4 ÖBEK			3208,63
29,2629 40,8944	19	8100	
29,0295 41,0091	28	42.560	
29,0997 41,0062	32	40.140	
29,1534 40,9310	20	18.293	

**Tablo 4.11:** Avrupa yakası ÖDH öbekleme algoritması sonuçları.

AVRUPA (158 hastane)			
ÖDH			
ÖBEK MERKEZLERİ	ÖBEK ELEMEN SAYISI	ATIK MİKTARI (kg/hafta)	TOPLAM MALİYET (kmxkg)
2 ÖBEK			13.224,10
28,9081 41,03520	145	168.505	
28,4385 41,06586	13	10.810	
3 ÖBEK			10.076,50
28,96861 41,04478	79	99.935	
28,32131 41,09686	8	4510	
28,82074 41,02320	71	74.870	
4 ÖBEK			8072,20
28,67399 41,03431	14	11.870	
28,28894 41,10531	7	3710	
28,86463 41,02652	75	81.240	
28,98487 41,04445	62	82.495	

#### 4.4.3. BCO ve ÖDH Algoritmalarına Ağırlık Merkezi Algoritmasının Eklenmesi ile Öbekler (BCO-GM ve ÖDH-GM)

Bu adımda BCO ve ÖDH algoritmaları ile belirlenen öbek merkezleri Esnaf ve Küçükdeniz'in çalışmalarında kullandıkları gravite (ağırlık) merkezi (GM) algoritması ile hastanelerin atık miktarları ve öbek merkezine uzaklıklarının çarpımını (Toplam Maliyet) en küçükleyecek şekilde tekrar hesaplanmıştır (Esnaf ve Küçükdeniz, 2009).

BCO-GM ve ÖDH-GM algoritmaları ile öbek merkezlerinin en fazla atık alınan hastaneye yaklaştırılması amaçlanmıştır. Tablo 4.12, 4-13, 4-14 ve 4-15'de özetlenen sonuçlar bu yöntem ile sterilizasyon tesislerinin yüksek miktarda atık üreten hastaneler bünyesinde kurulmasını ve bu atıkların transferinin azaltılmasını sağlar.

**Tablo 4.12:** Asya yakası BCO-GM öbeleme algoritması sonuçları.

ASYA (99 hastane)			
BCO-GM			
ÖBEK MERKEZLERİ	ÖBEK ELEMAN SAYISI	ATIK MİKTARI (kg/hafta)	TOPLAM MALİYET (kmxkg)
			4450,41
29,17229 40,91585	41	27.193	
29,05015 41,00367	58	81.900	
			4120,65
29,24536 40,91028	22	9800	
29,03763 41,008546	42	67.680	
29,12923 40,95037	35	31.913	
			2997,83
29,26007 40,91226	19	8100	
29,03412 41,00684	28	42.560	
29,09521 41,00028	33	40.240	
29,17044 40,91635	19	18.193	

**Tablo 4.13:** Asya yakası ÖDH-GM öbeleme algoritması sonuçları.

ASYA (99 hastane)			
ÖDH-GM			
ÖBEK MERKEZLERİ	ÖBEK ELEMAN SAYISI	ATIK MİKTARI (kg/hafta)	TOPLAM MALİYET (kmxkg)
			4443,40
29,17229 40,9158	41	27.193	
29,04845 41,0045	58	81.900	
			3510,04
29,17263 40,9157	33	24.128	
29,03685 41,0091	32	46.410	
29,10111 40,9789	34	38.555	
			2873,91
29,26007 40,9122	19	8100	
29,02771 41,0068	26	41.110	
29,07988 40,9909	34	41.590	
29,17044 40,9163	20	18.293	

**Tablo 4.14:** Avrupa yakası BCO-GM öbeleme algoritması sonuçları.

<b>AVRUPA (158 hastane)</b>			
<b>BCO-GM</b>			
<b>ÖBEK MERKEZLERİ</b>	<b>ÖBEK ELEMEN SAYISI</b>	<b>ATIK MİKTARI (kg/hafta)</b>	<b>TOPLAM MALİYET (kmxkg)</b>
			11.869,90
28,92382 41,01938	137	163.735	
28,60031 41,02192	21	15.580	
			8794,33
28,94643 41,02449	79	99.935	
28,26175 41,09738	8	4510	
28,85855 40,99871	71	74.870	
			7129,32
28,64598 41,01246	14	11.870	
28,25392 41,09865	7	3710	
28,95548 41,02731	74	95.535	
28,86622 41,00496	63	68.200	

**Tablo 4.15:** Avrupa yakası ÖDH-GM öbeleme algoritması sonuçları.

<b>AVRUPA (158 hastane)</b>			
<b>ÖDH-GM</b>			
<b>ÖBEK MERKEZLERİ</b>	<b>ÖBEK ELEMEN SAYISI</b>	<b>ATIK MİKTARI (kg/hafta)</b>	<b>TOPLAM MALİYET (kmxkg)</b>
			11.869,9
28,92382 41,01938	137	163.735	
28,6003 41,02192	21	15.580	
			8791,96
28,94527 41,0233	79	99.935	
28,26175 41,0973	8	4510	
28,85741 40,9991	71	74.870	
			7129,32
28,64598 41,01246	14	11.870	
28,25392 41,09865	7	3710	
28,95548 41,02731	74	95.535	
28,86622 41,00496	63	68.200	



#### 4.4.4. Yapay Arı Kolonisi (YAK) Algoritması ile Asya Yakası Öbekleri

YAK algoritması için Bölüm 3.3.5’de adımları verilmiş olan Karaboğa ve Öztürk (2011)’ün öbektleme algoritması uyarlanmıştır. Bu bağlamda,  $m$  aday tesis yeri için  $n$  sayıda görevli arı kaynaklara gönderilir. Arıların dolaştığı kaynaklar ise seçilen tesislere bağlanan öbek elemanlarıdır. 8.00 GB RAM ve her biri 3.20 GHz işlemcili çift çekirdekli bir bilgisayarda çalıştırılan algoritmanın Asya ve Avrupa yakası hastanelerinin öbektlenmesine adaptasyonunda aşağıdaki parametre değerleri kullanılmıştır;

$$\text{Arı sayısı} = 20$$

$$\text{Kaşif arı sayısı} = 1$$

$$\text{Yiyecek limiti} = 200$$

$$\text{İterasyon limiti} = 2500$$

Uygunluk değeri  $-fitness(i)$ - diğer algoritmalarla paralel olarak, merkez ile atanan hastaneler arasındaki uzaklık değerleri olarak tanımlanmıştır ve saniyeler bazında zamanlamayla çözümler üretilmiştir. Tablo 4.16 ve Tablo 4.17, iki, üç ve dört adet öbek seçimi durumundaki sonuçları göstermektedir. Toplam maliyet değerleri YAK algoritmasının daha önce uygulanan algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır.

**Tablo 4.16:** Asya yakası YAK öbektleme algoritması sonuçları.

ASYA (99 hastane)			
ÖBEK MERKEZLERİ	ÖBEK ELEMAN SAYISI	ATIK MİKTARI (kg/hafta)	TOPLAM MALİYET (kmxkg)
2 ÖBEK			4436,79
29,1720 40,9160	41	27.193	
29,07102 41,0021	58	81.900	
3 ÖBEK			3288,72
29,1720 40,9160	39	28.210	
29,0072 41,0070	26	42.695	
29,0780 40,9900	34	38.188	
4 ÖBEK			2757,15
29,0750 40,9850	19	26.578	
29,0270 41,0070	26	41.140	
29,1030 41,0033	15	16.135	
29,1720 40,9160	39	25.240	

**Tablo 4.17:** Avrupa yakası YAK öbeleme algoritması sonuçları.

<b>AVRUPA (158 hastane)</b>			
<b>ÖBEK MERKEZLERİ</b>	<b>ÖBEK ELEMAN SAYISI</b>	<b>ATIK MİKTARI (kg/hafta)</b>	<b>TOPLAM MALİYET (kmxkg)</b>
2 ÖBEK			10.762,55
28,8540 41,0000	79	79.380	
28,9450 41,0230	79	99.935	
3 ÖBEK			8208,41
28,6460 41,0120	21	15.580	
28,8590 40,9990	58	63.800	
28,9450 41,0230	79	99.935	
4 ÖBEK			6206,27
28,8590 40,9990	57	63.450	
28,9340 41,0170	38	59.505	
28,6460 41,0120	21	15.580	
28,9900 41,0580	42	40.780	

#### 4.4.5. Tek İterasyonlu Bulanık C-Ortalamalar (Tİ-BCO) Algoritması ile Avrupa Yakası Öbekleri

Tezin bu bölümünde Avrupa yakasındaki sterilizasyon tesislerinin daha önceden belirlenen tesis yerlerine kurulması (kesikli sistem) durumundaki öbekler incelenmiştir. İSTAÇ ile yapılan görüşmelerde Avrupa yakası için sterilizasyon tesislerinin katı atık istasyonlarına kurulabileceği tartışılarak bu durum için Tİ-BCO algoritması çalıştırılmıştır.

Avrupa yakası hastane verisi ile uygulanan Tİ-BCO öbeleme için Esnaf ve diğ. (2014) tarafından MATLAB yazılımı için geliştirilen kod kullanılmış ve bulanıklaştırma parametresi 2, durdurma kriteri  $10^{-6}$  olarak alınmıştır. Belirlenen öbek merkezleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin kullandığı 4 katı atık aktarma istasyonlarının koordinatları Tablo 4.18'de verilmiştir.

Tablo 4.19, Tİ-BCO algoritması ile bulunan sonuçları göstermektedir. Üç ve dört merkezli öbekler daha önceki sonuçlara benzer öbekler üretmiştir. Toplam maliyet değerlerinin ise en iyi sonucu veren YAK algoritmasına uzak olduğu görülmektedir.

Ancak, Tİ-BCO daha önceden belirlenen öbek merkezlerine atama yaptığı için diğer algoritma sonuçlarıyla kıyaslanmamalıdır.

**Tablo 4.18:** Avrupa yakası katı atık aktarma istasyonları ve koordinatları.

Yeri	Koordinatlar	
	Enlem	Boylam
<b>Silivri (S)</b>	28,2905	41,0894
<b>Yenibosna (YB)</b>	28,8242	40,9972
<b>Halkalı (H)</b>	28,7607	41,0436
<b>Baruthane (B)</b>	28,9686	41,0492

**Tablo 4.19:** Avrupa Yakası Tİ- BCO öbekleme algoritması sonuçları.

AVRUPA (158 hastane)			
ÖBEK MERKEZLERİ	ÖBEK ELEMAN SAYISI	ATIK MIKTARI (kg/hafta)	TOPLAM MALİYET (kmxkg)
<b>2 ÖBEK</b>			11.630,16
28,8242 40,9972(YB)	78	79.030	
28,9686 41,0492(B)	80	100.285	
<b>3 ÖBEK</b>			9820,94
28,2905 41,0894(S)	8	4510	
28,8242 40,9972(YB)	70	74.520	
28,9686 41,0492(B)	80	100.285	
<b>4 ÖBEK</b>			9052,57
28,2905 41,0894(S)	7	3710	
28,8242 40,9972(YB)	52	55.270	
28,7607 41,0436(H)	19	16.250	
28,9686 41,0492(B)	80	100.285	

#### 4.4.6. Karşılaştırmalı Sonuçlar ve En İyi Öbekler

Tüm öbeklemeler için hastanelerin öbek merkezlerine uzaklıkları ile atık miktarlarının çarpımının toplamından oluşan toplam maliyet değerleri izleyen sayfalardaki tablolarda özetlenmiştir. Tablo 4.20, Asya yakası için, Tablo 4.22 Avrupa yakası için öbeleme sonuçları için toplam maliyet değerlerini göstermektedir. Her iki yakada da en küçük maliyet değerini veren YAK algoritmasının diğer algoritmalara göre maliyet üstünlüğünün kıyaslanması ise aşağıdaki formülle hesaplanarak Tablo 4.21 ve Tablo 4.23’de verilmiştir.

$$\% \Delta = \left( \frac{H - M}{H} \right) \times 100$$

Burada;

% Δ: Fark yüzdesi

*M* : Maliyet performansı en iyi algoritma (YAK) ile elde edilen toplam maliyet değeri

*H* : Kıyaslanan algoritmanın toplam maliyet değeri

**Tablo 4.20:** Asya yakası öbeleme sonuçları için toplam maliyetler.

<b>ASYA YAKASI (Sürekli)</b>					
	<b>BCO</b>	<b>BCO-GM</b>	<b>ÖDH</b>	<b>ÖDH-GM</b>	<b>YAK</b>
<b>2 öbek</b>	5734,24	4869,05	5985,51	4935,73	4436,79
<b>3 öbek</b>	4686,05	4482,46	5243,00	4443,40	3288,72
<b>4 öbek</b>	4276,35	4120,79	4217,92	3510,04	2757,15

**Tablo 4.21:** Asya yakası öbeleme sonuçları için toplam maliyetlerin kıyaslanması.

<b>ASYA YAKASI (Sürekli)</b>					
	<b>BCO</b>	<b>BCO-GM</b>	<b>ÖDH</b>	<b>ÖDH-GM</b>	<b>YAK</b>
<b>2 öbek</b>	22,63 %	8,88 %	25,87 %	10,11 %	-
<b>3 öbek</b>	29,82 %	26,63 %	37,27 %	25,99 %	-
<b>4 öbek</b>	35,53 %	33,09 %	34,63 %	21,45 %	-

**Tablo 4.22:** Avrupa yakası öbikleme sonuçları için toplam maliyetler.

<b>AVRUPA YAKASI (Sürekli)</b>					
	<b>BCO</b>	<b>BCO-GM</b>	<b>ÖDH</b>	<b>ÖDH-GM</b>	<b>YAK</b>
<b>2 öbek</b>	13.170,80	11.869,90	13.224,10	11.869,9	10.762,55
<b>3 öbek</b>	9645,64	8794,33	10.076,50	8791,96	8208,41
<b>4 öbek</b>	7851,68	7129,32	8072,20	7129,32	6206,27

**Tablo 4.23:** Avrupa yakası öbikleme sonuçları için toplam maliyetlerin kıyaslanması.

<b>AVRUPA YAKASI (Sürekli)</b>					
	<b>BCO</b>	<b>BCO-GM</b>	<b>ÖDH</b>	<b>ÖDH-GM</b>	<b>YAK</b>
<b>2 öbek</b>	18,28 %	9,33 %	18,61 %	9,33 %	-
<b>3 öbek</b>	14,90 %	6,66 %	18,54 %	6,64 %	-
<b>4 öbek</b>	20,96 %	12,95 %	23,12 %	12,95 %	-

Yukarıda özetlenen karşılaştırmalı sonuçlara göre, YAK algoritmasının en iyi maliyet değerlerini verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Asya yakası öbekleri için en iyi sonuç BCO'ya karşı % 35,53 daha iyi maliyet değeri ile dörtlü öbikleme performansında görülmüştür. Avrupa yakasında ise, yine dörtlü öbikleme sonuçlarında YAK algoritması öbikleme ile BCO'ya göre % 20,96 daha iyi toplam maliyet değerine ulaşılmıştır. Tezin devam eden bölümlerinde Asya yakası araç atama ve rotalama modellerinde girdi olarak bu algoritma sonuçlarının kullanılması uygun bulunmuştur.

Tİ-BCO algoritması öbek merkezlerinin yerlerinin bilindiği kesikli durumlar için geliştirildiğinden ve optimum çözümü verdiği bilindiğinden Tİ-BCO ile elde edilen sonuçlar diğer algoritmalarla karşılaştırılmamıştır. Bu bakımdan maliyet değerleri Tablo 4.24'de ayrı olarak gösterilmiştir. Avrupa yakasında sterilizasyon tesislerinin mevcut katı atık aktarma istasyonlarında kurulması durumunu inceleyebilmek amacıyla Avrupa yakası için tezin devam eden bölümlerinde girdi olarak Tİ-BCO algoritması sonuçlarının kullanılmasına karar verilmiştir.

**Tablo 4.24:** Avrupa yakası Tİ-BCO öbekleme sonuçları için toplam maliyetler.

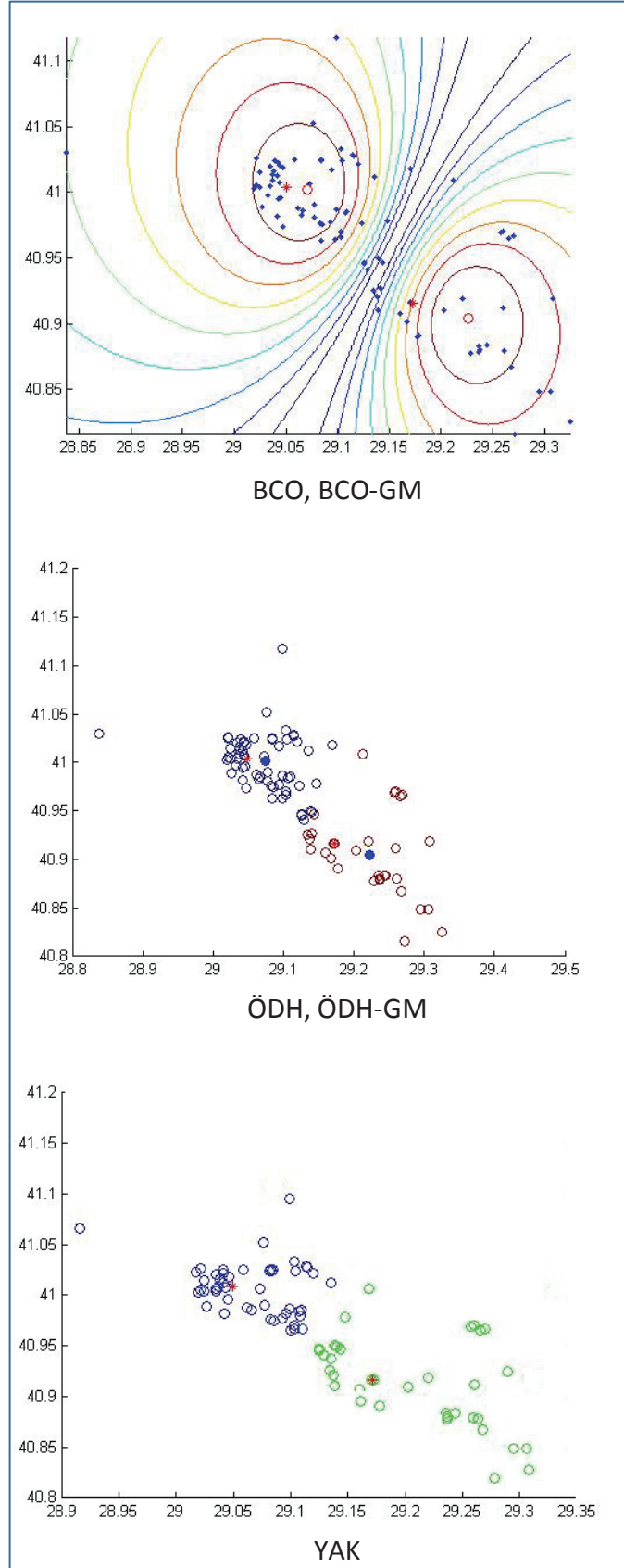
<b>AVRUPA YAKASI (Kesikli)</b>	
<b>2 öbek</b>	11.630,16
<b>3 öbek</b>	9820,94
<b>4 öbek</b>	9052,57

İzleyen sayfalardaki şekiller (Şekil 4.14 – Şekil 4.19), BCO, ÖDH, BCO-GM, ÖDH-GM ve YAK algoritmalarının öbekleme sonuçlarını görsel olarak göstermektedir.

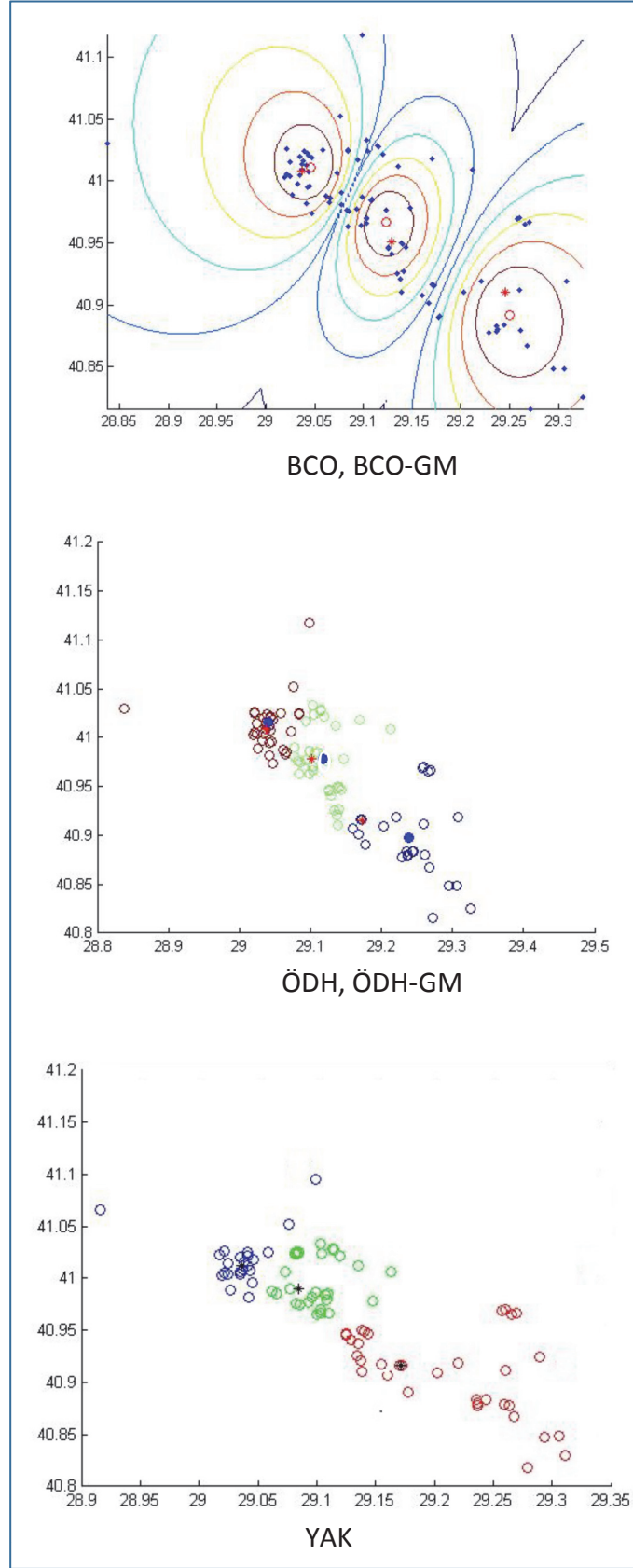
İlk sıradaki BCO ve BCO-GM algoritmaları için, mavi noktalar hastaneleri, kırmızı daireler, BCO ile tespit edilen öbek merkezlerini, kırmızı yıldızlar ise BCO-GM ile tespit edilen öbek merkezlerini ifade eder.

İkinci sırada verilen ÖDH ve ÖDH-GM algoritmaları için, renkli daireler, her renk ait olunan öbeği temsil edecek şekilde hastaneleri, mavi içi dolu daireler, ÖDH ile tespit edilen öbek merkezlerini ve kırmızı yıldızlar ÖDH-GM ile tespit edilen öbek merkezlerini göstermektedir.

Üçüncü sıradaki YAK algoritmasına ait diyagramlarda ise renkli daireler farklı öbeklere ait hastaneleri ve siyah yıldızlar öbek merkezlerini ifade etmektedir.

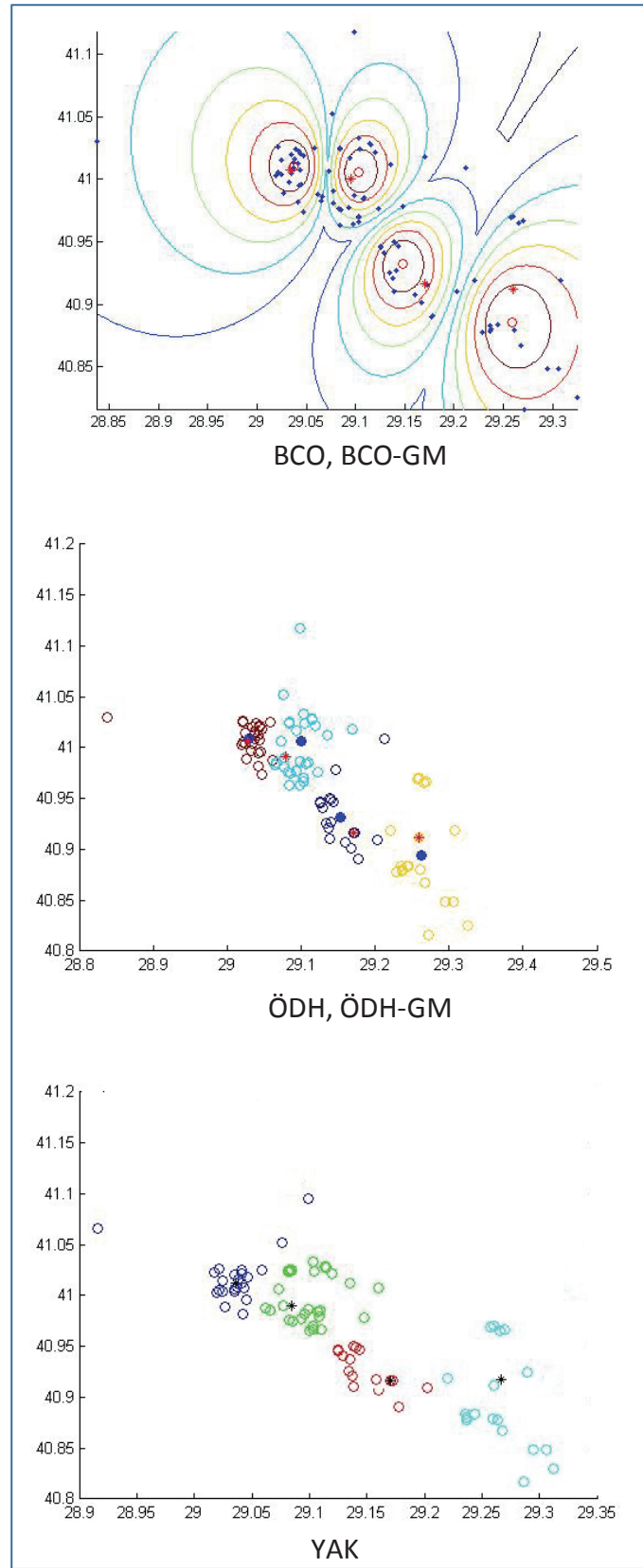


**Şekil 4.14:** Asya yakası hastanelerinin 2'li öbek dağılımı.

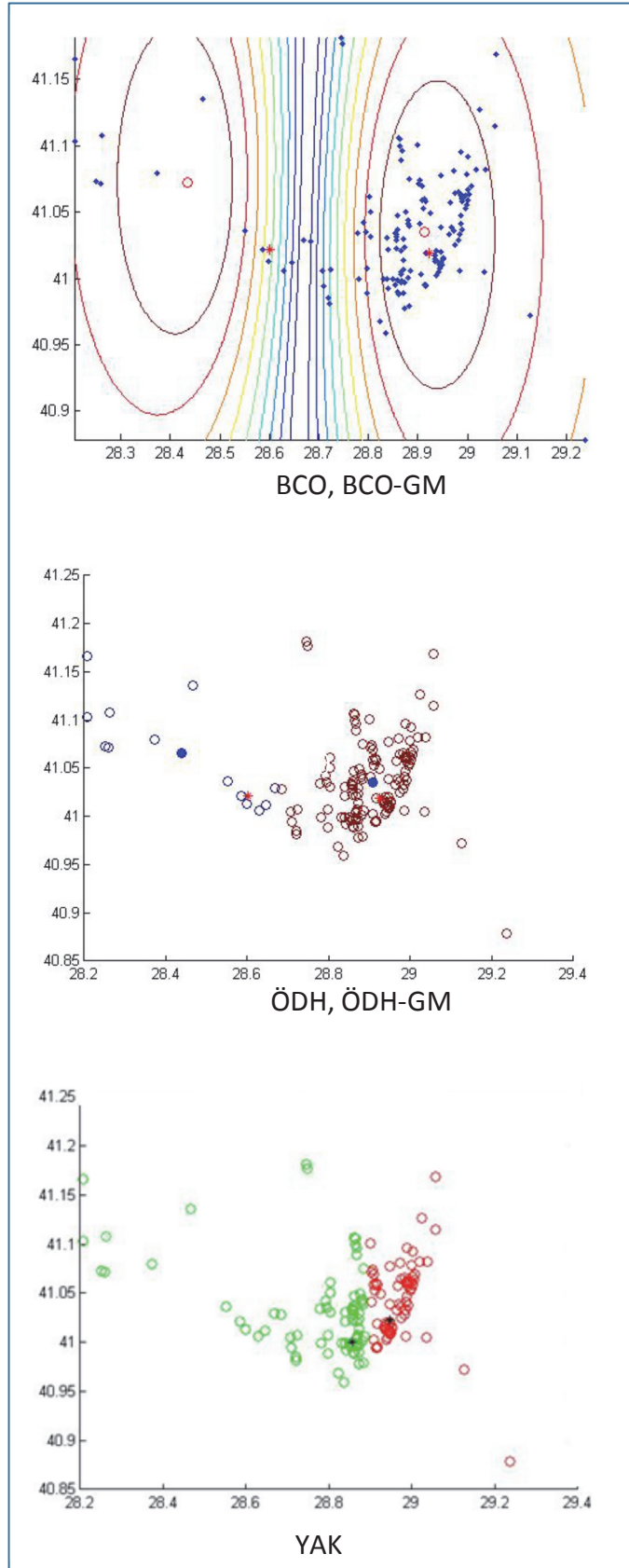


Şekil 4.15: Asya yakası hastanelerinin 3'lü öbek dağılımı

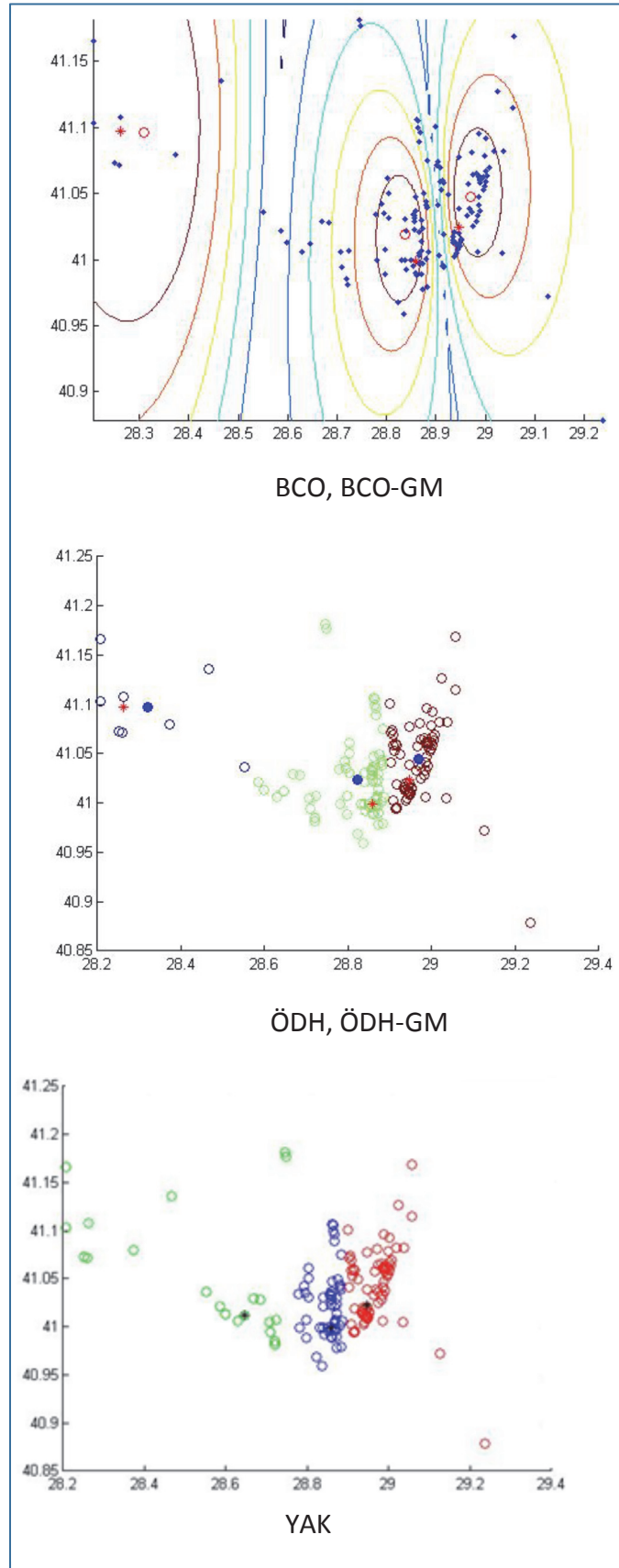




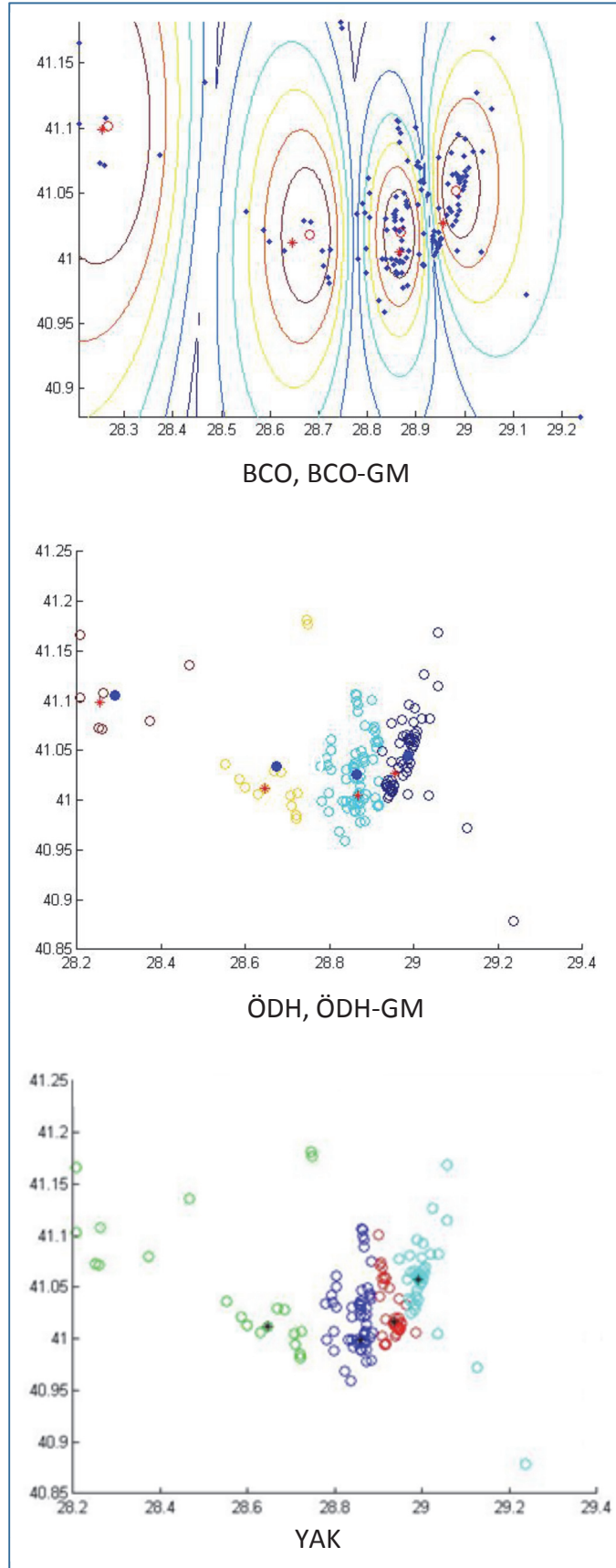
**Şekil 4.16:** Asya yakası hastanelerinin 4'ü öbek dağılımı.



Şekil 4.17: Avrupa yakası hastanelerinin 2'li öbek dağılımı.



Şekil 4.18: Avrupa yakası hastanelerinin 3'lü öbek dağılımı.



Şekil 4.19: Avrupa yakası hastanelerinin 4'lü öbek dağılımı.

#### 4.5. MATEMATİKSEL MODELLEME İLE ARAÇLARIN ÖBEKLERE ATANMASI VE ROTALANMASI

Metodoloji bölümünde önerilen modeller Mart 2014’de güncellenen hastane, atık miktarları ve toplama araçları verisiyle çalıştırılmıştır. Önceki bölümde test edilen ve geçerliliği belirlenen algoritmalar ile önce güncellenen veri kullanılarak hastaneler modele girdi sağlamak üzere yeniden öbeklenmiştir. Bu aşamada İSTAÇ yetkilileri ile alternatif öbek sayıları değerlendirilerek, Asya ve Avrupa yakaları için üçer adet merkezi sterilizasyon ünitesi kurulması senaryosunun değerlendirilmesine karar verilmiştir. Böylece öbekleme algoritmaları “c=3” adet öbek seçilerek uygulanmıştır. Öbekleme sonuçları matematiksel modellerin başlıca girdisidir. Modellerde kullanılan diğer girdiler ve modellerin çıktıları aşağıdaki alt bölümlerde verilmiştir.

##### 4.5.1. Araç Atama Modelinin Girdileri

Araç atama modeli tıbbi atık toplama araçlarının belirlenen öbeklere araçlarda kalacak atıl kapasiteyi minimum kılacak şekilde atanmasını sağlar. Metodoloji bölümünde minimum sayıda aracın öbeklere atanması veya tüm araçların servis vermesi tercihleri bağlamında iki durum için iki ayrı model önerilmişti. Firmadan gelen her öbeğe en az bir maksimum kapasiteli araç atanması talebi üzerine A modeli olarak belirtilen birinci modele bu talebi karşılayacak olan kısıt (8) ile en yüksek araç kapasitesini tanımlayan  $q_{\max}$  parametresi eklenmiş ve iki model üç farklı durum için de çalıştırılmıştır. Yeni parametre ve kısıtın eklenmesiyle oluşan modelin (Model A-qmaks) amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıda verilmiştir;

Model A-qmaks: Tüm araçların öbeklere dağıtıldığı, servis kabiliyetini arttıran ve her öbeğe en yüksek kapasiteye sahip araçlardan en az bir tane atanan model;

Modelin İndisleri

$i$  : öbek indisi ( $i=1, \dots, I$ )

$k$  : araç indisi ( $k=1, \dots, K$ )

Modelin Parametreleri

$cw_i$  :  $i$  öbeğindeki toplam atık miktarı (kg)

$q_k$  :  $k$  aracının taşıma kapasitesi (kg)

$q_{max}$  : en yüksek araç kapasitesi (kg)

### Modelin Karar Değişkenleri

$x_{ik}$  : 1, eğer  $k$  aracı  $i$  öbeğine atandıysa; 0, aksi halde.

$s_i$  :  $i$  öbeğindeki atamalar sonrası fazla kapasite

Amaç fonksiyonu:

$$\min z = \sum_{i=1}^I \left( \sum_{k=1}^K (x_{ik} q_k) - c w_i \right) \quad (1)$$

Araç atamaları sonrası atıl araç kapasitesini enküçükler.

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K x_{ik} = K \quad (2)$$

Tüm araçlar öbeklere atanmalıdır.

$$c w_i \leq \sum_{k=1}^K q_k x_{ik} \quad \forall i \quad (3)$$

Öbekteki tüm atık, atanan araçlar tarafından toplanabilmelidir.

$$\sum_{i=1}^I x_{ik} = 1 \quad \forall k \quad (4)$$

Bir araç bir öbeğe mutlaka atanır.

$$s_i = \sum_{k=1}^K x_{ik} q_k - c w_i \quad \forall i \quad (5)$$

Atıl kapasitenin hesaplanması

$$s_i \geq 0 \quad \forall i \quad (6)$$

Atıl kapasite pozitif olmalıdır.

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall k \quad (7)$$

Atama değişkeni 0 ya da 1 değerini alabilir.

$$\sum_{k=1:q_k=q_{max}}^K x_{ik} q_k \geq q_{max} \quad \forall i \quad (8)$$

Her öbeğe en yüksek kapasiteye sahip araçlardan en az bir tane atanması

#### 4.5.1.1. Araçlar ve Taşıma Kapasiteleri ( $q_k$ )

Mart 2014 tarihi itibarıyla İSTAÇ'ın elinde toplam 18 araç bulunmaktadır. Ancak, İSTAÇ yılsonu itibarıyla filosuna katacağı 15 araçla birlikte toplam 33 araç ile hizmet vermeye başlayacaktır (Tablo 4.25). Modele girdi olarak Tablo 4.26'da verilen 33 araç girilmiştir. Bu durumda toplam atık toplama kapasitesi tek seferde 79.500 kg'dır ve her iki yakadan toplanan toplam haftalık atık miktarı 370.336 kg (yaklaşık 62.000 kg/gün) için yeterli bir kapasitedir.

**Tablo 4.25:** İSTAÇ araç filosu.

MEVCUT ARAÇLAR		
ARAÇ KAPASİTE (kg/sefer)	Adet	Toplam kapasite
3000	4	12.000
2000	4	8000
2500	7	17.500
1500	3	4500
		42.000
YENİ ARAÇLAR		
ARAÇ KAPASİTE (kg/sefer)	Adet	Toplam kapasite
3000	10	30.000
1500	5	7500
		37.500

**Tablo 4.26:** Model araç girdileri ( $q_i$ ).

ARAÇ NO	KG/ARAÇ	ARAÇ NO	KG/ARAÇ	ARAÇ NO	KG/ARAÇ
1	2500	12	2500	23	3000
2	2500	13	2500	24	3000
3	2500	14	2500	25	3000
4	3000	15	2000	26	3000
5	3000	16	2000	27	3000
6	2000	17	3000	28	3000
7	2000	18	3000	29	1500
8	1500	19	3000	30	1500
9	1500	20	3000	31	1500
10	1500	21	3000	32	1500
11	2500	22	3000	33	1500

#### 4.5.1.2. Öbeklerin Günlük Atık Miktarları ( $cw_i$ )

Hastanelerden toplanan atık miktarı hafta içinde uğranan günlere göre değişmektedir. Tablo 4.27’de gösterilen atık miktarlarının her öbek için bulunan maksimum değeri atama modelinde öbek atık miktarı olarak kullanılmıştır. Böylece öbeklere atanan araçların kapasitesi haftanın her günü toplanacak atık miktarını karşılayacaktır.

**Tablo 4.27:** Öbeklerden toplanan tıbbi atıkların günlere dağılımı.

	ASYA 1	ASYA 2	ASYA 3	AVRUPA 1	AVRUPA 2	AVRUPA 3
Pazartesi	6270 kg	8650 kg	<b>8700 kg</b>	1750 kg	20.548 kg	20.771 kg
Salı	<b>7330 kg</b>	10.150 kg	6380 kg	100 kg	17.897 kg	<b>24.459 kg</b>
Çarşamba	6805 kg	8415 kg	6650 kg	1500 kg	20.555 kg	17.445 kg
Perşembe	6550 kg	9480 kg	8670 kg	0	<b>20.671 kg</b>	22.782 kg
Cuma	6455 kg	<b>10.650 kg</b>	6840 kg	<b>2700 kg</b>	18.213 kg	20.230 kg
Cumartesi	3275 kg	5050 kg	3900 kg	0	12.945 kg	8650 kg
Pazar	0	0	0	0	4610 kg	6200 kg



#### 4.5.2. Araç Atama Modelinin Çıktıları

İki ayrı durum için çalıştırılan araç atama modelinin altı öbeğe atadığı 33 aracın GAMS yazılımı CPLEX çözücüsü kullanılarak dağılımı yapılmıştır. Bu sonuca göre minimum sayıda aracın öbeklere atanması durumunda bir adet 1500 kilogramlık ile bir adet de 2000 kilogramlık araç hiçbir öbeğe atanmamış ve toplam atıl kapasite 4990 kilogram olarak bulunmuştur. Bu modelin sonuçları Tablo 4.28’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.28:** Atama modeli çıktıları (Model B. Minimum sayıda aracın kullanılması durumu).

Öbek no	Atanan araçlar	Toplam araç kapasitesi	Atık miktarı (günlük maksimum)	Atıl kapasite
AVRUPA1	1 adet 3000 kg	3000 kg	2700 kg	300 kg
AVRUPA2	5 adet 2500 kg 2 adet 2000 kg 3 adet 1500 kg	21.000 kg	20.671 kg	329 kg
AVRUPA3	7 adet 3000 kg 1 adet 2000 kg 1 adet 1500 kg	24.500 kg	24.459 kg	41 kg
ASYA1	2 adet 3000 kg 1 adet 1500 kg	7500 kg	7330 kg	170 kg
ASYA2	2 adet 3000 kg 2 adet 2500 kg	11.000 kg	10.650 kg	350 kg
ASYA3	2 adet 3000 kg 2 adet 1500 kg	9000 kg	8700 kg	300 kg
Atanmayan	1 adet 2000 kg 1 adet 1500 kg	3500 kg	-	3500 kg
TOPLAM:				4990 kg

Servis kabiliyetini maksimize eden tüm araçların atanması durumunda ise atıl kapasite yine 4990 kilogram olarak gerçekleşmektedir. Bu modelin doğrusal programlama (DP) çözümü Tablo 4.29’da verilmiştir. Ayrıca Excel çözücü eklentisinin Genetik Algoritmaları (GA) esas alan “Açılım” (Evolutionary) seçeneği kullanılarak aynı atıl kapasite değeri farklı bir çözüm alternatifi ile bulunmuş ve Tablo 4.30’da gösterilmiştir.

**Tablo 4.29:**Atama modeli çıktıları (Model A. Tüm araçların kullanılması durumu-DP).

Öbek no	Atanan araçlar	Toplam araç kapasitesi	Atık miktarı (günlük maksimum)	Atıl kapasite
AVRUPA1	1 adet 2500 kg 1adet 1500 kg	4000 kg	2700	1300 kg
AVRUPA2	6 adet 3000 kg 2 adet 2500 kg	23.000 kg	20.671 kg	2329 kg
AVRUPA3	4 adet 3000 kg 3 adet 2500 kg 2 adet 2000 kg 1 adet 1500 kg	25.000 kg	24.459 kg	541 kg
ASYA1	1 adet 3000 kg 3 adet 1500 kg	7500 kg	7330 kg	170 kg
ASYA2	1 adet 3000 kg 1 adet 2500 kg 2 adet 2000 kg 1 adet 1500 kg	11.000 kg	10.650 kg	350 kg
ASYA3	2 adet 3000 kg 2 adet 1500 kg	9000 kg	8700 kg	300 kg
TOPLAM:				4990 kg

**Tablo 4.30:** Atama modeli çıktıları (Model A. Tüm araçların kullanılması durumu-Excel çözücü GA -açılım-).

Öbek no	Atanan araçlar	Toplam araç kapasitesi	Atık miktarı (günlük maksimum)	Atıl kapasite
AVRUPA1	1 adet 2000 kg 1adet 1500 kg	3500 kg	2700	800 kg
AVRUPA2	6 adet 3000 kg 2 adet 2500 kg	23.000 kg	20.671 kg	2329 kg
AVRUPA3	5 adet 3000 kg 2 adet 2000 kg 4 adet 1500 kg	25.000 kg	24.459 kg	541 kg
ASYA1	1 adet 3000 kg 1 adet 2500 kg 1 adet 2000 kg	7500 kg	7330 kg	170 kg
ASYA2	4 adet 2500 kg 1 adet 1500 kg	11.500 kg	10.650 kg	850 kg
ASYA3	2 adet 3000 kg 2 adet 1500 kg	9000 kg	8700 kg	300 kg
TOPLAM:				4990 kg

Firma servis kabiliyetini tüm araçları kullanırken aynı zamanda her öbeğe en az bir adet maksimum kapasiteli araç atayarak maksimum kılmak istediğinde Model A-qmaks çalıştırılmıştır. Bu model DP ve Excel çözücüsü GA ile çözüldüğünde sırasıyla Tablo 4.31 ve Tablo 4.32'deki sonuçlar elde edilir.

**Tablo 4.31:** Atama modeli çıktıları (Model A-qmax. Tüm araçların kullanılması ve her öbeğe en az bir maksimum kapasiteli araç atama durumu-DP).

Öbek no	Atanan araçlar	Toplam araç kapasitesi	Atık miktarı (günlük maksimum)	Atıl kapasite
AVRUPA1	1 adet 3000 kg	3000 kg	2700	300 kg
AVRUPA2	2 adet 3000 kg 4 adet 2000 kg 5 adet 1500 kg	21.500 kg	20.671 kg	829 kg
AVRUPA3	2 adet 3000 kg 6 adet 2500 kg 3 adet 1500 kg	25.500 kg	24.459 kg	1041 kg
ASYA1	1 adet 2500 kg 2 adet 3000 kg	8500 kg	7330 kg	1170 kg
ASYA2	4 adet 3000 kg	12.000 kg	10.650 kg	1350 kg
ASYA3	3 adet 3000 kg	9000 kg	8700 kg	300 kg
TOPLAM:				4990 kg

**Tablo 4.32:** Atama modeli çıktıları (Model A-qmax. Tüm araçların kullanılması ve her öbeğe en az bir maksimum kapasiteli araç atama durumu -Excel çözücü GA-açılım-).

Öbek no	Atanan araçlar	Toplam araç kapasitesi	Atık miktarı (günlük maksimum)	Atıl kapasite
AVRUPA1	1 adet 3000 kg	3000 kg	2700	300 kg
AVRUPA2	1 adet 3000 kg 4 adet 2500 kg 2 adet 2000 kg 4 adet 1500 kg	23.000 kg	20.671 kg	2329 kg
AVRUPA3	6 adet 3000 kg 1 adet 2500 kg 2 adet 2000 kg 1 adet 1500 kg	26.000 kg	24.459 kg	1541 kg
ASYA1	2 adet 3000 kg 1 adet 1500 kg	7500 kg	7330 kg	170 kg
ASYA2	2 adet 3000 kg 2 adet 2500 kg	11.000 kg	10.650 kg	350 kg
ASYA3	2 adet 3000 kg 2 adet 1500 kg	9000 kg	8700 kg	300 kg
TOPLAM:				4990 kg

Farklı durumlar ve çözümler ile aynı atıl kapasiteyi veren A modelinin alternatif optimum sonuçları ortalama kapasite kullanım oranları açısından karşılaştırılmıştır. Model çıktılarına göre hesaplanan ortalama kapasite kullanım oranları ise karşılaştırmalı olarak Tablo 4.33’de verilmiştir.

**Tablo 4.33:** Atama modellerinin kapasite kullanım oranları

	Tablo 4.29	Tablo 4.30	Tablo 4.31	Tablo 4.32
Öbek no	Model A DP	Model A GA	Model A-qmax DP	Model A-qmax GA
Avrupa 1	67,50	77,14	<b>90,00</b>	<b>90,00</b>
Avrupa 2	89,87	89,87	<b>96,14</b>	89,87
Avrupa 3	<b>97,84</b>	<b>97,84</b>	95,92	94,07
Asya 1	<b>97,73</b>	<b>97,73</b>	86,24	<b>97,73</b>
Asya 2	<b>96,82</b>	92,61	88,75	<b>96,82</b>
Asya 3	<b>96,67</b>	<b>96,67</b>	<b>96,67</b>	<b>96,67</b>
Ortalama Kapasite Kullanım Oranı (%)	91,07	91,98	92,29	<b>94,19</b>

Bulunan alternatif optimum çözümler değerlendirildiğinde, atık toplama faaliyetlerinde servis kabiliyetinin en yüksek olması amacıyla tüm araç filosunu kullanan, her öbeğe en az bir maksimum kapasiteli araç atayan ve ortalama kapasite kullanım oranını en büyükleyen A-qmax modelinin Excel çözümleri GA çözümü tercih edilmiştir.

Bu durumda atıl kapasite diğer çözümlerle aynı olup diğer tüm araçların atandığı modeller ile kıyaslandığında bu çözümün ortalama kapasite kullanım oranı maksimumdur. Çalışmanın devamında istenen üç kriterin aynı anda sağlandığı Tablo 4.32’de çıktıları gösterilen araç atama sonucu kullanılmıştır.

### 4.5.3. Araç Rotalama Modelinin Girdileri

Araç rotalama modeli, araç atama modeli ile öbeklere dağıtılan atık toplama araçlarının öbek içindeki en kısa mesafeyi dolaşacak şekilde rotalanmasını sağlamaktadır.

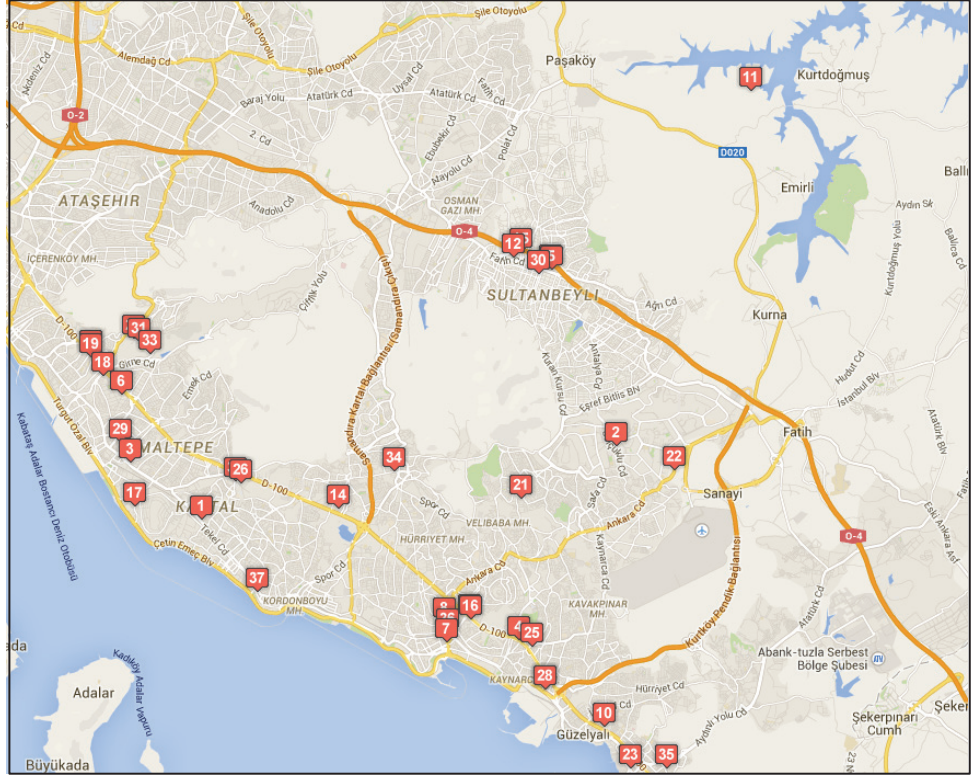
#### 4.5.3.1. Öbekler ( $I$ ) ve sistemdeki atık miktarları ( $qh_i$ )

Mart 2014 itibarıyla, Asya yakasında faaliyet gösteren yirmi yatak üzeri hastane sayısı 90'dır. Bu hastaneler YAK algoritması ile üç öbek halinde kümelendiklerinde Tablo 4.34'de görülen sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre ilk öbekte toplam otuz yedi hastane vardır ve haftalık 36.685 kilogram atık toplanacaktır. Diğer öbekler için hastane sayıları sırasıyla yirmi beş ve yirmi sekiz, toplanacak atık miktarları ise haftada 52.695 ve 41,140 kilogram olarak hesaplanmıştır.

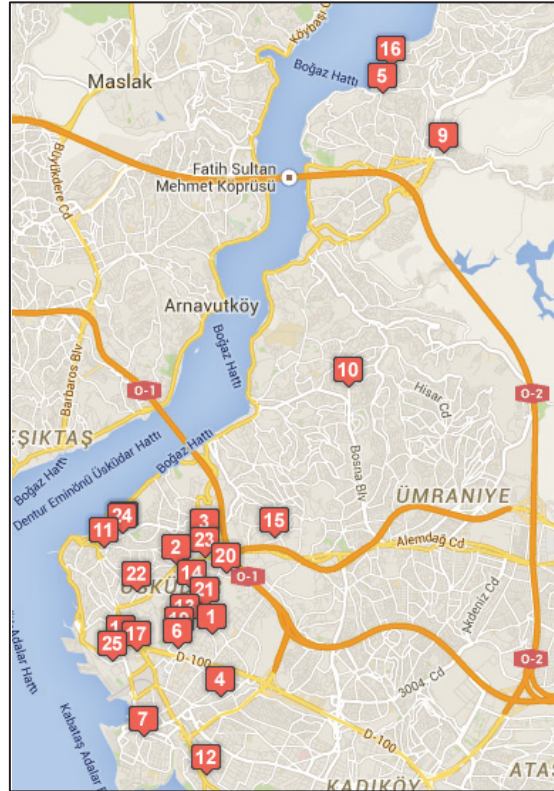
Hastanelerin harita üzerindeki dağılımları Şekil 4.20, 4-21 ve 4-22'de görülmektedir. Tabloda numaraları verilmiş hastanelerin isimleri ve haftalık atık miktarları ( $qh_i$ ) Ek 3'de listelenmiştir.

**Tablo 4.34:** Asya yakası öbekleri (YAK algoritması sonuçları).

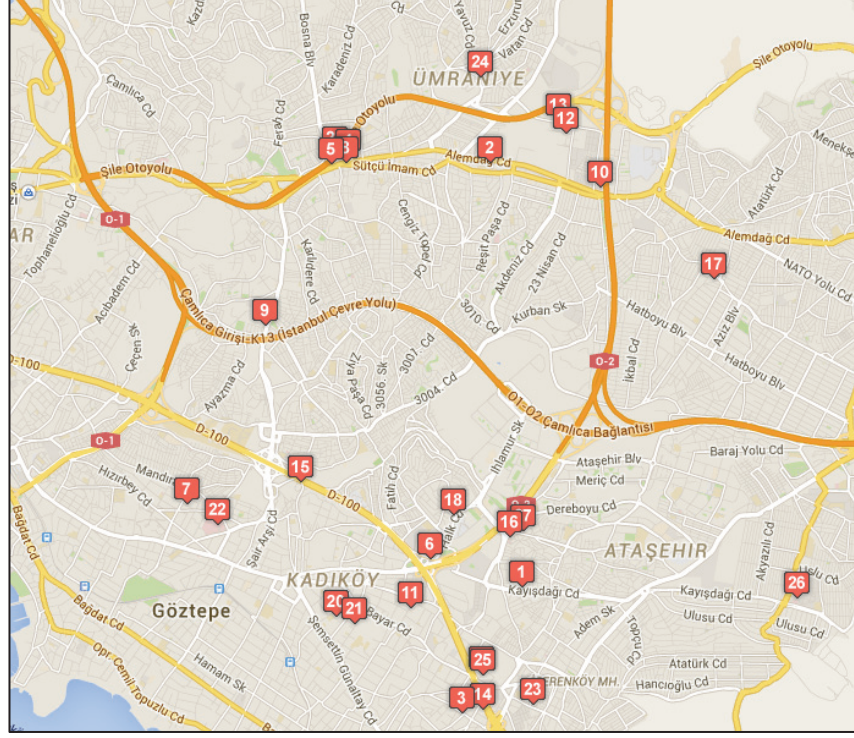
	Öbek Merkezleri	Öbek Eleman sayısı	Hastane no	Atık miktarı (kg/hafta)
$I_1$	29,172285 40,915848 (Hastane no: 63; Kartal Eğitim ve Araştırma Hast.)	37	11,15,16,17,19,20,21,25,28,29,31,33,34,35,36,37,38,42,46,47,50,51,54,55,61,63,66,67,70,71,76,77,79,80,81,84,86	36.685
$I_2$	29,04666 41,018523 (Hastane no: 65; MÜ Pendik Hastanesi)	25	1,2,5,7,10,12,13,23,24,30,41,43,44,49,53,58,59,60,64,65,68,69,72,85,87	52.395
$I_3$	29,066211 40,985768 (Hastane no: 75; Göztepe Eğitim ve Araştırma Hast.)	28	3,4,6,8,9,14,18,22,26,27,32,39,40,45,48,52,56,57,62,73,74,75,78,82,83,88,89,90	41.140
				130.220



Şekil 4.20: Asya yakası öbek 1 hastaneleri (37 hastane).



Şekil 4.21: Asya yakası öbek 2 hastaneleri (25 hastane).

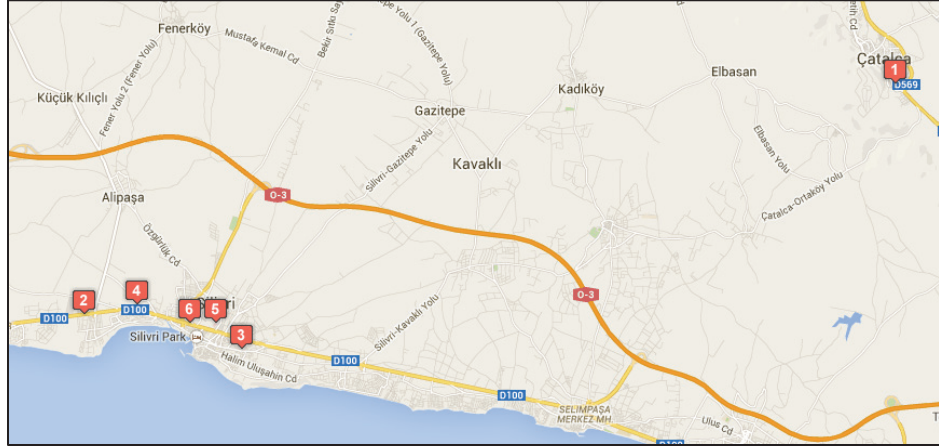


Şekil 4.22: Asya yakası öbek 3 hastaneleri (28 hastane).

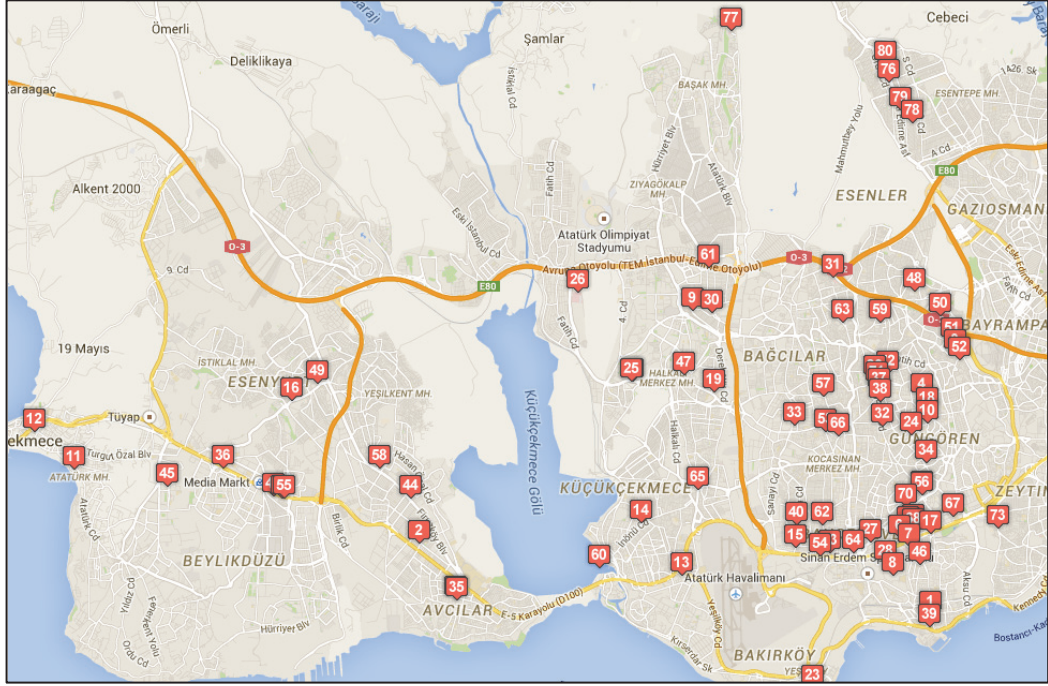
Avrupa yakasında faaliyet gösteren yirmi yatak üzeri hastane sayısı 162'dir. Bu hastanelerden toplanacak atıkların aynı yakadaki mevcut katı atık aktarma istasyonlarına kurulacak sterilizasyon tesislerinde evsel atık niteliği kazandırılmaları durumu incelenmiştir. Bu bağlamda, öbek merkezlerinin yeri belli olduğundan Tİ-BCO algoritması ile veri üç öbeğe bölünmüştür. Sonuçlar Tablo 4.35'de, tabloda numaraları verilmiş hastanelerin isimleri ve haftalık atık miktarları ( $qh_i$ ) Ek 4'de listelenmiştir. Hastanelerin harita üzerindeki dağılımları Şekil 4.23, 4-24 ve 4-25'de görülmektedir.

**Tablo 4.35:** Avrupa yakası öbekleri (Tİ-BCO algoritması sonuçları).

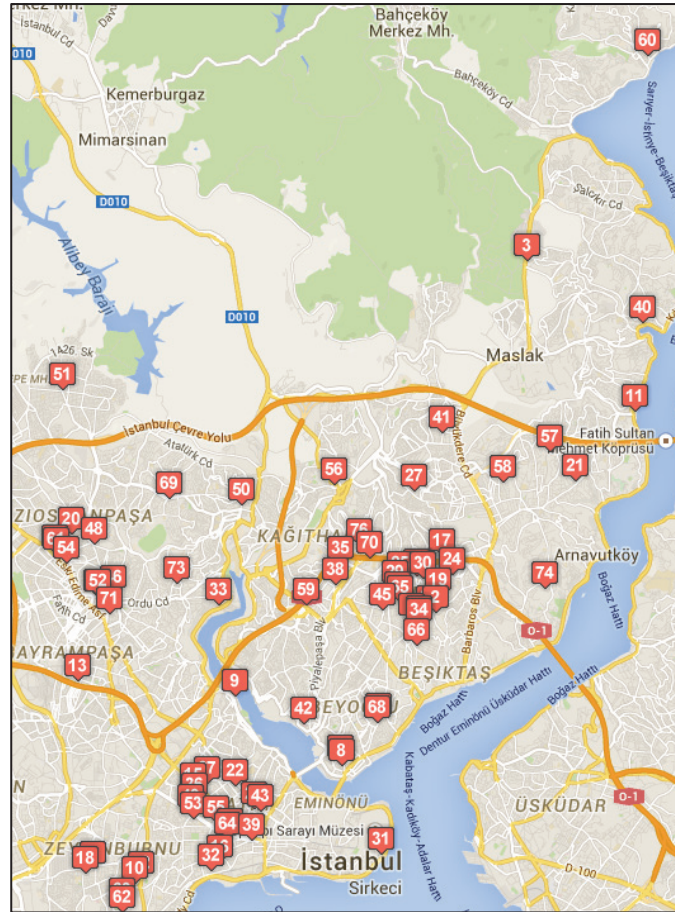
	ÖBEK MERKEZLERİ	ÖBEK ELEMAN SAYISI	HASTANE NO	Atık miktarı (kg/hafta)
$I_1$	28,2905 41,0894 (Silivri)	6	32,125,126,137,138,139	6050
$I_2$	28,8242 40,9972 (Yenibosna)	80	2,7,8,9,13,14,15,16,17,18,22,23 25,29,30,35,37,39,40,41,49,50, 52,53,55,56,58,59,60,64,65,66, 71,72,74,77,80,81,83,84,85,86, 87,88,90,92,93,94,95,96,99,101 104,105,106,107,108,112,113, 114,117,118,119,120,121,123, 127,128,129,130,132,134,136, 145,149,152,154,156,157,161	115.439
$I_3$	28,9686 41,0492 (Baruthane)	76	1,3,4,5,6,10,11,12,19,20,21,24, 26,27,28,31,33,34,36,38,42,43, 44,45,46,47,48,51,54,57,61,62 63,67,68,69,70,73,75,76,78,79, 82,89,91,97,98,100,102,103,109 110,111,115,116,122,124,131, 133,135,140,141,142,143,144, 146,147,148,150,151,153, 155,158,159,160,162	120.537
				242.026

**Şekil 4.23:** Avrupa yakası öbek 1 hastaneleri (6 hastane).





Şekil 4.24: Avrupa yakası öbek 2 hastaneleri (80 hastane).



Şekil 4.25: Avrupa yakası öbek 3 hastaneleri (76 hastane).

#### 4.5.3.2.Hastaneler Arası Uzaklıklar ( $d_{ij}$ )

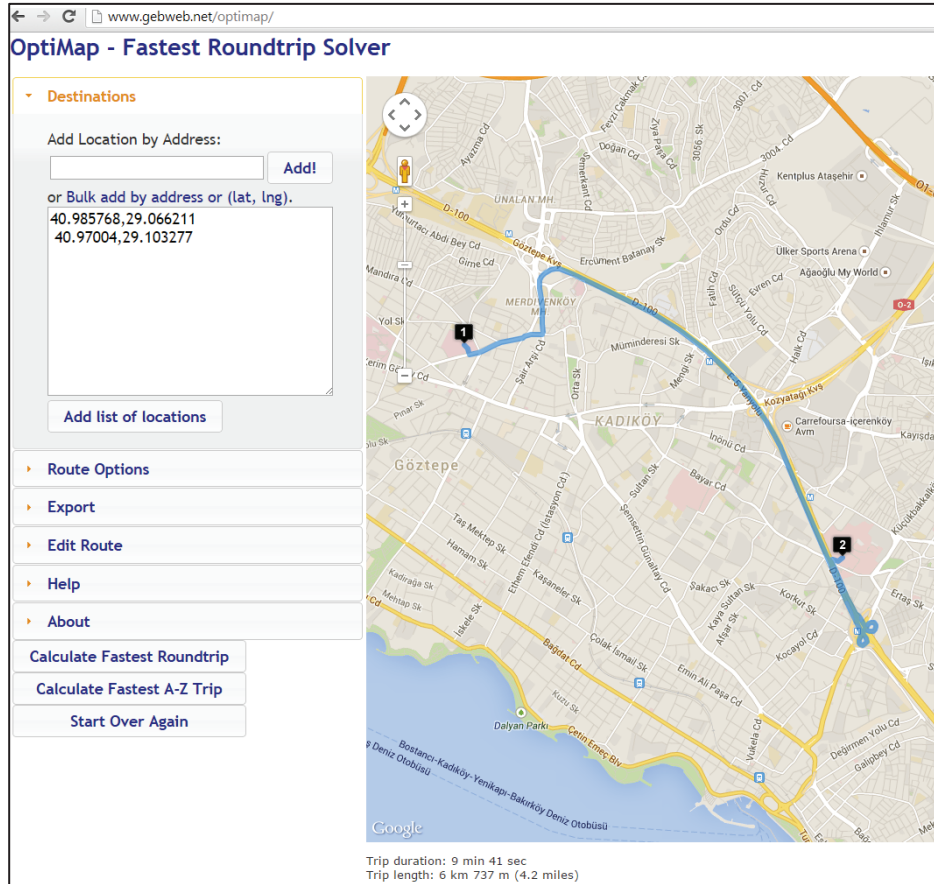
Her öbek için düğümler arası uzaklıklar GoogleMaps destekli olarak çalışan bir web sayfası (<http://www.gebweb.net/optimap>) kullanılarak hesap edilmiştir. Şekil 4.26’da Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi’nden Fatih Sultan Mehmet Eğitim ve Araştırma Hastanesi’ne gidiş rotası ve uzaklığının hesaplanması için örnek bir ekran görüntüsü verilmiştir. Uygulamanın adımları şöyledir;

Adım 1: Aralarındaki uzaklık hesaplanacak düğümlerin koordinat verisi girilir ve “Add list of locations” sekmesine basılır.

Adım 2: “Edit Route” sekmesinden tercih edilen rota özellikleri belirlenir (ücretli yol kullanımı vb.).

Adım 3: “Calculate Fastest A-Z Trip” sekmesi ile ilk girilen düğümden ikinci düğüme olan uzaklık hesaplanır.

Adım 4: Yeni bir hesaplama için “Start Over Again” sekmesine basılır.



Şekil 4.26: Hastaneler arası uzaklık hesaplama uygulaması ekran görünümü.

#### 4.5.3.3. Araç Tür ve Kapasiteleri ( $q_k$ )

Bölüm 4.5.1’de belirtildiği üzere, İSTAÇ yetkilileri servis kabiliyetinin en yüksek olması amacıyla tüm araç filosunu ve her öbekte en az bir adet maksimum kapasiteli araç kullanmayı tercih etmektedirler. Bu bakımdan Bölüm 4.5.2, Tablo 4.32’de verilen ortalama kapasite kullanım oranını maksimum kılan atama sonuçları rotalama modelinde girdi olarak kullanılmıştır. Rotalama modelinde öbeklerde dolaşan araçlar ve ait oldukları öbekler Tablo 4.36’da verilmiştir.

**Tablo 4.36:** Öbeklere ait araçlar ve kapasiteleri.

Öbek no	Atanan araçlar	Toplam araç kapasitesi
AVRUPA1	1 adet 3000 kg	3000 kg
AVRUPA2	1 adet 3000 kg 4 adet 2500 kg 2 adet 2000 kg 4 adet 1500 kg	23.000 kg
AVRUPA3	6 adet 3000 kg 1 adet 2500 kg 2 adet 2000 kg 1 adet 1500 kg	26.000 kg
ASYA1	2 adet 3000 kg 1 adet 1500 kg	7500 kg
ASYA2	2 adet 3000 kg 2 adet 2500 kg	11.000 kg
ASYA3	2 adet 3000 kg 2 adet 1500 kg	9000 kg

#### 4.5.3.4. Günlük Zaman Sınırı ( $TS$ )

Araç şoförleri günde 8 saat çalışmaktadırlar. Bu zamanın 6 saati atık toplamaya, diğer 2 saat ise molalar ve araçların temizlenmesine ayrılır. Böylece atık toplama yapacak araç rotalama modelinin günlük zaman sınırı;

$$TS = 360 \text{ dakikadır.}$$

#### 4.5.3.5. Ortalama Araç Sürati ( $v$ )

Mevcut durum haritalarında araçların gün içinde kat ettikleri toplam mesafe ile vardiya süresi karşılaştırılarak, ortalama araç sürati;

$v=60$  km/sa olarak belirlenmiştir.

#### 4.5.3.6. Atık Toplama Süresi ( $w_t$ )

Atık toplama elemanları ile görüşülerek 1 kg atık için ortalama toplama süresi;

$w_t= 0,1$  dak/kg olarak tanımlanmıştır.

#### 4.5.4. Araç Rotalama Modelinin Çıktıları

Araç rotalama modeli Asya ve Avrupa yakalarındaki toplam altı öbek ve haftanın her günü için ayrı olmak üzere, 8,00 GB RAM ve her biri 3,20 GHz işlemcili çift çekirdekli bir bilgisayarda, maksimum 1,5 saatlik bir döngü süresi kısıtı verilerek, toplam otuz yedi kez çalıştırılmıştır. (Asya’da Pazar günleri, Avrupa 1’de ise Cumartesi ve Pazar günleri atık toplanan hastane bulunmamaktadır).

Modelin çıktıları her aracın sırasıyla hangi hastanelere uğradığını gösteren rotasını, aracın topladığı atık miktarını ve atıl kapasitesini, rotayı ne kadar sürede tamamladığını ve atıl süresini, dolaştığı mesafeyi vermektedir. Rotadaki hastanelere ait bilgi Ek 3 ve Ek 4’deki hastane listelerinden görülebilir.

Araçların tür ve kapasitelerine göre değişen yakıt sarfları ve CO<sub>2</sub> salımları Tablo 4.37’deki verilerle hesaplanmıştır. CO<sub>2</sub> emisyonu için kullanılan katsayılar İSTAÇ’dan alınan araçların kilometre başına düşen ortalama yakıt sarf bilgileri ile Sera Gazları Protokolü- CO<sub>2</sub> Emisyonu Hesaplama Yazılımı - The Greenhouse Gas Protocol – Mobile Combustion CO<sub>2</sub> Emissions Calculation Tool (June 2003, Version 1.2) - kullanılarak bulunmuştur (<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools>).

**Tablo 4.37:** Araçların türlerine göre yakıt sarf ve CO<sub>2</sub> emisyon değerleri.

Araç kapasitesi	Yakıt sarfi	CO <sub>2</sub> salımı
1500 kg	0,1285lt/km	0,308 kg/km
2000 kg	0,1542 lt/km	0,370 kg/km
2500 kg	0,1799 lt/km	0,432 kg/km
3000 kg	0,2056 lt/km	0,493 kg/km

#### 4.5.4.1. Asya Yakası Öbeklerinin Rotalama Sonuçları

Asya yakasının birinci öbeğinde üç aracın 37 hastaneyi dolaşacak şekilde bulunan günlük rotaları ve rotalarına dair sarf, yük, süre ve CO<sub>2</sub> salımı değerleri Tablo 4.38’de gösterilmiştir. Sıfır (0) ve otuz sekiz (38) nolu düğümler sırasıyla araçların çıktığı garaj düğümü ile sterilizasyon düğümleridir. Yirmi altı (26) numaralı hastanenin sterilizasyon tesisinin kurulu olduğu hastane olması sebebiyle, Pazartesi gününe ait rotanın kat edilen toplam mesafesi sıfır (0) olarak gözükmemektedir.

**Tablo 4.38:** Asya yakası öbek 1 rotalama sonuçları.

AS1 PAZARTESİ							
Araçlar	Rotalar	Toplam yük (kg)	Atıl kapasite (kg)	Atıl süre (dak)	Dolaşılan mesafe (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	Yakıt sarfi (lt)
k1 (3000kg)	0-37-36-8-23-35-4-2-28-16-20-27-31-3-38	2590	410	16,92	84,08	41,45	17,29
k2 (3000kg)	0-17-33-21-6-29-1-38	2780	220	7,31	74,69	36,82	15,36
k3 (1500kg)	0-26-38	900	600	270,00	0,00	0,00	0,00
AS1 SALI							
k1	0-9-19-26-34-38	2900	100	1,59	68,41	33,73	14,02
k2	0-15-12-5-13-30-22-38	3000	0	15,88	44,12	21,75	9,04
k3	0-25-11-32-10-14-18	1430	70	9,97	207,03	63,77	26,60
AS1 ÇARŞAMBA							
k1	0-26-34-29-3-1-38	2705	295	80,49	9,01	4,44	1,85
k2	0-33-31-27-16-20-2-7-23-8-37-38	2640	360	11,57	84,43	41,62	17,31
k3	0-17-18-21-6-38	1460	40	142,97	71,03	21,88	9,13
AS1 PERŞEMBE							
k1	0-26-17-25-19-38	2400	600	5,36	114,64	56,52	23,50
k2	0-9-11-28-15-12-30-5-13-38	2800	200	13,76	66,24	32,66	13,58
k3	0-14-36-4-35-32-22-38	1350	150	81,51	143,49	44,19	18,44
AS1 CUMA							
k1	0-17-31-27-20-16-2-7-10-23-24-8-37-38	2640	360	10,21	85,79	42,29	17,59
k2	0-29-6-21-33-18-3-1-34-38	2715	285	16,15	72,35	35,67	14,83
k3	0-26-38	1100	400	250,00	0,01	0,00	0,00
AS1 CUMARTESİ							
k1	0-26-17-38	1950	1050	155,77	9,23	4,55	1,89
k2	0-32-28-25-38	1325	1675	4,91	222,59	109,74	45,63
k3	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00

Benzer şekilde ikinci öbekteki yirmi (20) nolu hastane sterilizasyon tesisinin kurulduğu düğümdür. Yirmi beş (25) hastaneli bu öbekte, Sıfır (0) ve yirmi altı (26) nolu düğümler sırasıyla araçların çıktığı garaj düğümü ile sterilizasyon düğümleridir. Bu öbeğe ait sonuçlar Tablo 4.39’da görülmektedir.

**Tablo 4.39:** Asya yakası öbek 2 rotalama sonuçları.

AS2 PAZARTESİ							
Araçlar	Rotalar	Toplam yük (kg)	Atıl kapasite (kg)	Atıl süre (dak)	Dolaşılan mesafe (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	Yakıt sarfi (lt)
k1(2500kg)	0-3-19-26	1100	1400	225,97	24,03	10,38	4,32
k2(2500kg)	0-20-26	2350	650	125,00	0,01	0,00	0,00
k3(3000kg)	0-7-12-23-15-17-26	2400	600	25,05	94,95	46,81	19,52
k4(3000kg)	0-1-22-18-14-26	2800	200	21,67	58,33	28,76	11,99
AS2 SALI							
k1	0-20-26	2100	400	150,00	0,01	0,00	0,00
k2	0-9-17-24-6-13-21-26	2450	50	7,98	107,02	46,23	19,25
k3	0-1-218-11-25-26	3000	0	0,73	59,27	29,22	12,19
k4	0-3-19-16-4-26	2600	400	41,54	58,46	28,82	12,02
AS2 ÇARŞAMBA							
k1	0-23-14-17-9-26	2365	135	18,06	105,44	45,55	18,97
k2	0-20-26	1400	1100	220,00	0,01	0,00	0,00
k3	0-1-6-22-18-25-7-26	2950	50	2,55	62,45	30,79	12,84
k4	0--19-12-8-26	1700	1300	136,19	53,81	26,53	11,06
AS2 PERŞEMBE							
k1	0-20-26	2000	500	160,00	0,01	0,00	0,00
k2	0-9-17-24-11-2-21-13-6-26	2300	200	22,72	107,28	46,34	19,30
k3	0-1-18-22-25-26	2950	50	6,64	58,36	28,77	12,00
k4	0-3-19-16-4-26	2230	770	78,54	58,46	28,82	12,02
AS2 CUMA							
k1	0-23-18-14-26	2450	50	55,05	59,95	25,90	10,79
k2	0-8-10-9-5-17-26	2400	100	13,41	106,59	46,05	19,18
k3	0-12-1-6-22-25-7-3-26	2900	100	3,17	66,84	32,95	13,74
k4	0-19-20-26	2900	100	46,09	23,91	11,79	4,92
AS2 CUMARTESİ							
k1	x	0	2500	360,00	0,00	0,00	0,00
k2	0-3-19-9-17-20-26	2425	75	14,47	103,03	44,51	18,54
k3	0-1-6-2-22-18-25-26	2625	375	36,82	60,68	29,92	12,48
k4	x	0	3000	360,00	0,00	0,00	0,00

Üçüncü öbekte toplam yirmi sekiz (28) hastane rotalanmıştır. Bu düğümde sterilizasyon tesisi yirmi iki (22) nolu hastanededir. Sıfır (0) araçların çıktığı garaj düğümü ve yirmi dokuz (29) nolu düğüm ise sterilizasyon tesisinin yeridir. Üçüncü öbeğin sonuçları Tablo 4.40’da verilmiştir.

**Tablo 4.40:** Asya yakası öbek 3 rotalama sonuçları.

AS3_PAZARTESİ							
Araçlar	Rotalar	Toplam yük (kg)	Atıl kapasite (kg)	Atıl süre (dak)	Dolaşılan mesafe (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	Yakıt sarfi (lt)
k1(1500kg)	0-23-19-1-29	1290	210	225,45	5,55	1,71	0,99
k2(3000kg)	0-15-22-29	2950	50	61,18	3,82	1,88	0,79
k3(3000kg)	0-21-6-16-17-28-10-12-24-8-5-29	2960	40	31,26	32,74	16,14	6,73
k4(1500kg)	0-25-3-11-14-20-29	1500	0	198,25	11,75	3,62	2,10
AS3_SALI							
k1	0-25-11-3-19-29	1250	250	228,34	6,66	2,05	1,19
k2	0-15-22-29	2350	650	121,18	3,82	1,88	0,79
k3	0-7-27-4-24-13-12-28-18-19	2780	220	50,50	31,50	15,53	6,48
k4	x		1500	360,00	0,00	0,00	0,00
AS3_ÇARŞAMBA							
k1	0-22-29	1200	300	240,00	0,01	0,00	0,00
k2	0-10-12-24-9-15-29	2950	50	45,81	19,19	9,46	3,95
k3	0-16-26-25-11-3-19-1-29	2500	500	92,23	17,77	8,76	3,65
k4	x		1500	360,00	0,00	0,00	0,00
AS3_PERŞEMBE							
V1	0-19-29	1500	0	204,45	5,55	1,71	0,99
V2	0-17-10-28-12-2-24-13-8-7-29	2830	170	51,26	25,74	12,69	5,29
V3	0-20-27-4-15-22-29	2940	60	44,71	21,29	10,50	4,38
V4	0-14-11-25-3-23-29	1400	100	210,31	9,69	2,98	1,73
AS3_CUMA							
V1	x		1500	360,00	0,00	0,00	0,00
V2	0-22-29	2400	600	120,00	0,01	0,00	0,00
V3	0-15-9-5-24-12-16-6-18-1-29	2990	10	28,72	32,28	15,91	6,64
V4	0-25-11-3-19-29	1450	50	208,34	6,66	2,05	1,19
AS3_CUMARTESİ							
V1	0-25-11-19-29	950	550	258,34	6,66	2,05	1,19
V2	0-15-7-27-4-24-12-28-16-22-29	2950	50	31,07	33,93	16,73	6,98
V3	x		3000	360,00	0,00	0,00	0,00
V4	x		1500	360,00	0,00	0,00	0,00

Asya yakasının tüm öbekleri bir arada değerlendirildiğinde bulunan sonuçların günlük dağılımı Tablo 4.41’de özetlenmiştir. Bu tablodaki Çarşamba günü verisi GDAH çiziminde kullanılacaktır.

**Tablo 4.41:** Asya yakası birleştirilmiş rotalama sonuçları.

<b>ASYA YAKASI</b>	<b>Toplam atık (kg)</b>	<b>Toplam mesafe (km)</b>	<b>CO<sub>2</sub> salımı (kg)</b>	<b>Yakıt sarfi (lt)</b>
<b>AS Toplam_Pazartesi</b>	23.620	389,95	187,58	79,09
<b>AS Toplam_Salı</b>	23.860	586,30	242,98	101,58
<i>AS Toplam_Çarşamba</i>	<i>21.870</i>	<i>423,15</i>	<i>189,04</i>	<i>78,76</i>
<b>AS Toplam_Perşembe</b>	24.700	610,75	265,19	111,23
<b>AS Toplam_Cuma</b>	23.945	454,39	212,62	88,87
<b>AS Toplam_Cumartesi</b>	12.225	436,12	207,49	86,70
<b>TOPLAM</b>	130.220	2900,66	1304,90	546,23

Araç rotalama modeli yirmi ve üzeri sayıdaki düğüm için çalıştırıldığında literatürde öngörüldüğü gibi eniyi sonuca belirli bir uzaklık yüzdesiyle sonuç vermektedir. Bu yüzdeler amaç fonksiyonunun bulunan tamsayı değerinin, tamsayı olmayan eniyi sonuca uzaklığıdır. Modelin çalışma süresinin uzatılması durumunda eniyi sonuca ulaşılsa da, Tablo 4.42’de verilen alt sınırlara hiçbir zaman ulaşılamamaktadır. Bu bağlamda, oluşan yüzde farkların kabul edilebilirliği ve modelin çözüm süresinin önceden belirlenen sınırlarda tutulması amacıyla elde edilen üst sınır değerlerinin uygunluğu kabul edilmiştir.

#### 4.5.4.2. Avrupa Yakası Öbeklerinin Rotalama Sonuçları

Avrupa yakasına ait öbeklerin rotalama sonuçları izleyen sayfalardaki Tablo 4.43, 4-44 ve 4-45’de gösterilmektedir. Bu öbeklerde sırasıyla altı (6), seksen (80) ve yetmiş altı (76) hastane bulunmaktadır.

Asya yakasında olduğu gibi sıfır (0) düğümü araçların çıkışlarının olduğu garaj düğümünü, birinci öbek (AV1) için yedi (7), ikinci öbek (AV2) için seksen bir (81) ve üçüncü öbek (AV3) için yetmiş yedi (77) olmak üzere, hastane sayısını izleyen sıradaki düğümler sterilizasyon tesislerinin kurulduğu düğümleri göstermektedir. Bu yakada sterilizasyon tesisleri mevcut katı atık aktarma istasyonlarına kuruldukları için öbek içindeki bir hastane ile aynı düğümü paylaşmazlar.



**Tablo 4.42:** Asya yakası sonuçlarının eniyi sonuca uzaklık yüzdeleri.

Öbek_gün	Toplam atık (kg)	Toplam mesafe (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)		Eniyi sonuca uzaklık (%)
				Alt sınır	Üst sınır	
AS1_Pazartesi	6270	158,77	78,27	78,27	78,27	0,00
AS1_Salı	7330	319,56	119,24	108,31	119,24	9,17
AS1_Çarşamba	6850	164,47	67,94	65,50	67,94	3,59
AS1_Perşembe	6550	324,37	133,37	122,41	133,37	8,22
AS1_Cuma	6455	158,15	77,97	77,97	77,97	0,00
AS1_Cumartesi	3275	231,82	114,29	114,29	114,29	0,00
AS2_Pazartesi	8650	177,31	85,95	67,80	85,95	21,12
AS2_Salı	10150	224,76	104,28	74,77	104,28	28,30
AS2_Çarşamba	8415	221,11	102,87	69,95	102,87	32,00
AS2_Perşembe	9480	224,108	103,94	73,65	103,94	29,14
AS2_Cuma	10950	257,29	116,69	78,65	116,69	32,60
AS2_Cumartesi	5050	163,71	74,42	68,43	74,42	8,05
AS3_Pazartesi	8700	53,86	23,35	21,71	23,35	7,04
AS3_Salı	6380	41,99	19,46	19,46	19,46	0,00
AS3_Çarşamba	6650	36,97	18,22	18,22	18,22	0,00
AS3_Perşembe	8670	62,27	27,88	22,72	27,88	18,50
AS3_Cuma	6840	38,95	17,97	17,97	17,97	0,00
AS3_Cumartesi	3900	40,59	18,78	18,78	18,78	0,00

**Tablo 4.43:** Avrupa yakası öbek 1 rotalama sonuçları.

AV1_PAZARTESİ							
Araçlar	Rotalar	Toplam yük (kg)	Atıl kapasite (kg)	Atıl süre (dak)	Dolaşılan mesafe (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	Yakıt sarfi (lt)
k1 (3000kg)	0-4-3-1-5-7	1750	1250	123,53	61,47	30,30	12,64
AV1_SALI							
k1	0-1-7	100	2900	283,38	66,62	32,84	13,70
AV1_ÇARŞAMBA							
k1	0-4-3-5-7	1500	1500	196,02	13,99	6,90	2,88
AV1_CUMA							
k1	0-2-4-3-5-6-7	2700	300	1,00	14,82	7,31	3,05

**Tablo 4.44:** Avrupa yakası öbek 2 rotalama sonuçları.

AV2_PAZARTESİ							
Araçlar	Rotalar	Toplam yük (kg)	Atıl kapasite (kg)	Atıl süre (dak)	Dolaşılan mesafe (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	Yakıt sarfi (lt)
k1 (3000kg)	0-29-81	2800	200	56,34	23,66	11,66	4,86
k2 (2500kg)	0-51-14-15-44-1-20-76-60-81	2350	150	53,49	71,51	30,89	12,86
k3 (2000kg)	0-74-75-8-81	1990	10	145,93	15,07	5,58	2,32
k4 (1500kg)	27-13-58-54-65-81	1418	82	194,62	23,58	7,26	3,03
k5(2500kg)	0-63-23-28-81	2380	120	98,42	23,58	10,19	4,24
k6(2500kg)	0-48-61-46-41-26-49-18-81	2190	310	89,73	51,27	22,15	9,22
k7(2500kg)	0-24-37-78-34-57-4-79-81	2470	30	83,70	29,30	12,66	5,27
k8 (2000kg)	0-45-5-77-62-30-69-81	1990	10	140,15	20,85	7,71	3,22
k9 (1500kg)	0-6-39-38-42-35-81	1470	30	173,57	39,43	12,14	5,07
k10 (1500kg)	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k11 (1500kg)	0-24-37-78-34-57-4-79-81	1490	10	177,81	33,19	10,22	4,26
AV2_SALI							
k1	0-31-53-56-5-43-24-62-8-81	2910	90	33,34	35,66	17,58	7,33
k2	0-66-41-19-55-64-3-81	2310	190	74,63	54,37	23,49	9,78
k3	0-25-40-50-16-17-81	1920	80	131,24	36,76	13,60	5,67
k4	x	0	150	360,00	0,00	0,00	0,00
k5	0-35-67-2-47-11-33-81	2358	142	45,77	78,43	33,88	14,11
k6	0-12-68-32-81	2420	80	96,10	21,90	9,46	3,94
k7	0-75-9-7-81	1690	810	179,40	11,60	5,01	2,09
k8	0-74-20-10-1-69-81	1540	460	184,87	21,13	7,82	3,26
k9	0-4-70-34-81	1480	20	186,11	25,89	7,97	3,33
k10	0-22-72-73-59-36-81	1269	231	212,92	20,18	6,22	2,59
k11	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
AV2_ÇARŞAMBA							
k1	0-29-81	2950	50	41,34	23,66	11,66	4,86
k2	0-28-63-78-81	2460	40	90,81	23,19	10,02	4,17
k3	0-5-27-81	1950	50	148,49	16,51	6,11	2,55
k4	0-48-46-61-81	1200	300	196,67	43,33	13,35	5,57
k5	0-30-8-77-37-13-21-24-62-81	2475	25	93,42	19,08	8,24	3,43
k6	18-75-9-20-74-49-81	2340	160	111,62	14,37	6,21	2,59
k7	0-35-23-34-79-81	2220	280	115,52	22,48	9,71	4,04
k8	0-45-60-76-10-71-69-81	1980	20	146,24	15,76	5,83	2,43
k9	0-15-14-51-26-44-81	1500	0	142,83	67,17	20,69	8,63
k10	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k11	0-1-80-53-4-57-65-81	1480	20	173,56	38,44	11,84	4,94

Tablo 4.44 (devam)

AV2 PERŞEMBE							
Araçlar	Rotalar	Toplam yük (kg)	Atıl kapasite (kg)	Atıl süre (dak)	Dolaşılan mesafe (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	Yakıt sarfi (lt)
k1	0-22-29-68-33-81	3000	0	35,05	24,95	12,30	5,13
k2	0-40-25-3-64-19-81	2430	70	69,07	47,93	20,71	8,62
k3	0-54-38-39-6-67-2-36-81	1951	49	100,61	64,29	23,79	9,91
k4	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k5	0-73-43-12-11-34-35-24-81	2490	10	64,50	46,50	20,09	8,37
k6	0-75-9-8-81	2470	30	101,13	11,87	5,13	2,14
k7	0-59-42-5-53-26-1-81	2500	0	67,41	42,59	18,40	7,66
k8	0-66-50-55-41-81	1990	10	110,18	50,82	18,80	7,84
k9	0-32-16-72-81	1250	250	210,96	24,04	7,40	3,09
k10	0-7-10-20-74-52-81	1180	320	221,78	20,22	6,23	2,60
k11	0-63-23-4-58-56-70-81	1410	90	194,38	24,62	7,58	3,16
AV2_CUMA							
k1	0-29-65-78-62-81	2970	30	29,14	33,86	16,69	6,96
k2	0-34-5-21-13-81	2453	47	90,77	23,93	10,34	4,31
k3	0-45-60-49-18-81	870	1130	267,06	5,94	2,20	0,92
k4	0-20-9-76-81	1450	50	201,13	13,87	4,27	1,78
k5	0-61-51-14-15-46-48-44-26-81	2400	100	47,30	72,70	31,41	13,08
k6	0-32-28-81	2250	250	119,33	15,67	6,77	2,82
k7	0-30-77-8-71-69-81	2405	95	107,41	12,09	5,22	2,17
k8	0-58-57-4-80-1-10-75-81	2000	0	126,02	33,98	12,57	5,24
k9	0-24-37-27-53-35-23-79-81	1415	85	184,63	33,87	10,43	4,35
k10	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k11	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
AV2_CUMARTESİ							
k1	0-73-70-34-12-68-33-72-81	2900	100	42,18	27,82	13,72	5,72
k2	0-5-74-24-62-81	2470	30	92,59	20,41	8,82	3,67
k3	0-8-81	1200	800	230,45	9,55	3,53	1,47
k4	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k5	0-40-25-41-22-81	1450	50	63,64	51,36	22,19	9,24
k6	x	0	2500	360,00	0,00	0,00	0,00
k7	0-20-9-10-81	2000	500	144,24	15,76	6,81	2,84
k8	0-66-64-55-19-50-16-26-81	1925	75	118,54	48,96	18,12	7,55
k9	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k10	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k11	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00

**Tablo 4.44 (devam)**

AV2 PAZAR							
Araçlar	Rotalar	Toplam yük (kg)	Atıl kapasite (kg)	Atıl süre (dak)	Dolaşılan mesafe (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	Yakıt sarfi (lt)
k1	0-3-46-10-9-20-74-81	2940	60	10,59	55,41	27,32	11,39
k2	x	0	2500	360,00	0,00	0,00	0,00
k3	x	0	2000	360,00	0,00	0,00	0,00
k4	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k5	x	0	2500	360,00	0,00	0,00	0,00
k6	x	0	2500	360,00	0,00	0,00	0,00
k7	x	0	2500	360,00	0,00	0,00	0,00
k8	0-8-69-81	1670	330	183,43	9,57	3,54	1,48
k9	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k10	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k11	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00

**Tablo 4.45: Avrupa yakası öbek 3 rotalama sonuçları.**

AV3 PAZARTESİ							
Araçlar	Rotalar	Toplam yük (kg)	Atıl kapasite (kg)	Atıl süre (dak)	Dolaşılan mesafe (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	Yakıt sarfi (lt)
k1 (2500kg)	0-66-37-1-34-5-19-15-21-5-25-58-77	2475	25	9,58	102,92	44,46	18,52
k2(2000kg)	0-63-62-47-26-77	1819	181	152,28	25,82	9,55	3,98
k3(3000kg)	0-32-36-77	2950	50	48,24	16,76	8,26	3,45
k4(3000kg)	0-17-74-2-65-24-77	2630	370	81,48	15,52	7,65	3,19
k5(3000kg)	0-42-64-49-6-18-59-38-44-77	2702	298	54,73	35,07	17,29	7,21
k6(3000kg)	0-28-67-9-68-54-46-51-77	2640	360	59,92	36,08	17,79	7,42
k7(3000kg)	0-7-35-56-41-76-77	2670	330	77,29	15,72	7,75	3,23
k8(3000kg)	0-72-43-11-71-30-16-4-77	2885	115	30,50	41,00	20,21	8,43
k9(1500kg)	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k10(2000kg)	x	0	2000	360,00	0,00	0,00	0,00
AV3 SALI							
k1	0-12-44-24-65-29-77	2480	20	102,36	9,64	4,16	1,73
k2	0-34-74-15-53-26-73-77	2000	0	74,28	85,72	31,72	13,22
k3	0-45-5-2-10-77	2985	15	30,50	31,01	15,29	6,38
k4	0-38-35-75-77	2700	300	82,40	7,60	3,75	1,56
k5	0-76-40-3-60-50-70-77	2900	100	20,19	49,81	24,56	10,24
k6	0-52-20-48-68-72-31-43-62-67-77	2894	106	19,09	51,51	25,39	10,59
k7	0-36-23-77	2460	540	100,08	13,92	6,86	2,86
k8	0-69-46-61-13-33-77	1535	1465	179,61	26,89	13,26	5,53
k9	0-64-32-11-39-14-8-77	1475	25	189,12	23,38	7,20	3,00
k10	0-16-77	1800	200	168,15	11,85	4,38	1,83
k11(1500kg)	0-55-22-28-77	1230	270	220,31	16,69	5,14	2,14

Tablo 4.45 (devam)

AV3_ÇARŞAMBA							
Araçlar	Rotalar	Toplam yük (kg)	Atıl kapasite (kg)	Atıl süre (dak)	Dolaşılan mesafé (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	Yakıt sarfi (lt)
k1	0-15-21-57-77	2250	250	39,80	95,20	41,13	17,13
k2	x	0	2000	360,00	0,00	0,00	0,00
k3	0-64-10-6-72-43-18-62-9-77	2700	300	59,10	30,90	15,23	6,35
k4	0-37-5-25-3-56-41-27-77	2935	65	30,45	36,05	17,77	7,41
k5	0-24-7-38-77	2600	400	92,27	7,73	3,81	1,59
k6	0-4-2-74-34-44-35-65-77	2470	530	98,01	14,99	7,39	3,08
k7	0-26-68-46-54-48-20-77	2140	860	124,51	21,49	10,59	4,42
k8	0-36-32-28-77	2350	650	107,97	17,03	8,40	3,50
k9	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k10	x	0	2000	360,00	0,00	0,00	0,00
AV3_PERŞEMBE							
k1	0-15-2-34-5-1-75-77	2225	275	44,11	93,39	40,34	16,80
k2	0-71-11-32-77	1920	80	147,79	20,21	7,48	3,12
k3	0-65-77	3000	0	52,35	7,65	3,77	1,57
k4	0-45-7-44-29-19-12-58-40-3-60-17-77	2905	95	21,33	48,17	23,75	9,90
k5	0-35-24-70-77	2850	150	67,25	7,76	3,83	1,60
k6	0-47-26-52-22-67-30-16-77	2880	120	47,24	24,76	12,21	5,09
k7	0-42-36-77	2300	700	115,73	14,28	7,04	2,94
k8	0-33-73-69-20-46-61-13-43-72-28-14-77	2805	195	33,17	46,33	22,84	9,53
k9	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k10	0-64-10-63-49-77	1897	103	148,65	21,65	8,01	3,34
AV3_CUMA							
k1	0-37-34-5-15-57-77	2300	200	33,88	96,12	41,52	17,29
k2	0-28-67-9-26-77	1610	390	173,14	25,86	9,57	3,99
k3	0-14-16-59-11-66-77	2429	571	91,92	25,18	12,41	5,18
k4	0-72-43-6-10-32-77	2478	522	82,94	29,26	14,43	6,02
k5	x	0	3000	360,00	0,00	0,00	0,00
k6	0-64-18-62-63-36-77	2968	32	41,15	22,05	10,87	4,53
k7	0-76-44-24-35-77	2940	60	56,52	9,48	4,67	1,95
k8	0-48-20-51-50-56-41-38-7-77	2710	290	56,25	32,75	16,15	6,73
k9	0-8-4-74-2-77	1095	405	237,27	13,23	4,07	1,70
k10	0-68-46-54-77	1700	300	168,51	21,49	7,95	3,31
AV3_CUMARTESİ							
k1	x	0	2500	360,00	0,00	0,00	0,00
k2	x	0	2000	360,00	0,00	0,00	0,00
k3	x	0	3000	360,00	0,00	0,00	0,00
k4	x	0	3000	360,00	0,00	0,00	0,00
k5	0-64-43-32-28-34-5-77	2900	100	33,78	33,22	16,38	6,83
k6	0-7-65-77	2800	200	72,21	7,79	3,84	1,60
k7	x	0	3000	360,00	0,00	0,00	0,00
k8	0-3-24-35-77	2950	50	33,37	31,63	15,59	6,50
k9	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k10	x	0	2000	360,00	0,00	0,00	0,00

**Tablo 4.45 (devam)**

AV3_PAZAR							
Araçlar	Rotalar	Toplam yük (kg)	Atıl kapasite (kg)	Atıl süre (dak)	Dolaşılan mesafé (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	Yakıt sarfi (lt)
k1	0-15-7-65-77	2450	50	24,03	90,96	39,29	16,36
k2	0-32-36-77	1000	1000	243,24	16,76	6,20	2,58
k3	x	0	3000	360,00	0,00	0,00	0,00
k4	x	0	3000	360,00	0,00	0,00	0,00
k5	24.05.1977	2750	250	74,84	10,16	5,01	2,09
k6	x	0	3000	360,00	0,00	0,00	0,00
k7	x	0	3000	360,00	0,00	0,00	0,00
k8	x	0	3000	360,00	0,00	0,00	0,00
k9	x	0	1500	360,00	0,00	0,00	0,00
k10	x	0	2000	360,00	0,00	0,00	0,00

Avrupa yakasının tüm öbekleri bir arada değerlendirildiğinde bulunan sonuçların günlük dağılımı Tablo 4.46'da özetlenmiştir. Bu tablodaki Çarşamba günü verisi GDAH çiziminde kullanılacaktır.

**Tablo 4.46:** Avrupa yakası birleştirilmiş rotalama sonuçları.

AVRUPA YAKASI	Toplam atık (kg)	Toplam mesafe (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	Yakıt sarfi (lt)
<b>AVToplam_Pazartesi</b>	43.069	681,80	293,74	122,43
<b>AVToplam_Salı</b>	42.456	700,56	307,81	128,31
<b>AVToplam_Çarşamba</b>	39.500	521,37	214,88	89,57
<b>AVToplam_Perşembe</b>	43.453	642,03	269,69	112,40
<b>AVToplam_Cuma</b>	41.143	536,15	228,86	95,38
<b>AVToplam_Cumartesi</b>	21.595	246,50	108,99	45,42
<b>AVToplam_Pazar</b>	10.810	182,86	81,36	33,90
<b>TOPLAM</b>	242.026	3511,27	1505,33	627,41

Avrupa yakası için bulunan sonuçlarda da Asya yakasında olduğu gibi en iyiye belirli uzaklıkta değerlere ulaşılmıştır. Modelin çalışma süresinin uzatılması durumunda eniyi sonuca ulaşılsa da, Tablo 4.47'de verilen alt sınırların tamsayı olmayan değerlerle elde edilmesi sebebiyle bu değerlere hiçbir zaman ulaşamamaktadır. Bu yakadaki fark yüzdelерinin Asya yakasına kıyasla göreceli olarak daha yüksek olmasının öbeklerin daha büyük olmasından kaynaklandığı ifade edilebilir. Bu bağlamda, Avrupa yakası için tabloda verilen yüzde farkların kabul edilebilirliği ve modelin çözüm süresinin önceden

belirlenen sınırlarda tutulması amacıyla elde edilen üst sınır değerlerinin uygunluğu kabul edilmiştir.

**Tablo 4.47:** Avrupa yakası sonuçlarının eniyi sonuca uzaklık yüzdeleri

Öbek_gün	Toplam atık(kg)	Toplam mesafe (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)		Eniyi sonuca uzaklık (%)
				Alt sınır	Üst sınır	
AV1_Pazartesi	1750	61,47	30,30	30,30	30,30	0,00
AV1_Salı	100	66,62	32,84	32,84	32,84	0,00
AV1_Çarşamba	1500	13,99	6,90	6,90	6,90	0,00
AV1_Perşembe	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AV1_Cuma	2700	14,82	7,30	7,30	7,30	0,00
AV1_Cumartesi	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AV2_Pazartesi	20549	331,45	130,47	88,05	130,47	32,51
AV2_Salı	17899	305,92	125,03	92,13	125,03	26,31
AV2_Çarşamba	20558	284,00	103,66	72,94	103,66	29,64
AV2_Perşembe	20675	357,83	140,43	106,33	140,43	24,28
AV2_Cuma	18218	245,91	99,90	73,62	99,90	26,31
AV2_Cumartesi	11951	173,86	73,18	73,18	73,18	24,40
AV2_Pazar	4617	64,91	30,86	30,86	30,86	0,00
AV3_Pazartesi	20772	288,90	132,97	99,17	132,97	25,42
AV3_Salı	24461	328,00	141,71	102,95	141,71	27,35
AV3_Çarşamba	17448	223,40	104,32	85,53	104,32	18,01
AV3_Perşembe	22786	284,19	129,27	102,08	129,27	21,03
AV3_Cuma	20235	275,44	121,65	90,82	121,65	25,34
AV3_Cumartesi	8656	75,65	35,81	33,96	35,81	5,16
AV3_Pazar	6207	117,88	50,50	50,50	50,50	0,00

#### 4.6. GELECEK DURUM DEĞER AKIŞ HARİTALARI

Mevcut durum haritalarının bir Çarşamba günü için çizilmesi nedeniyle gelecek durum haritalarının Çarşamba günü için çizilmesi tercih edilmiştir. Bu amaçla izleyen bölümlerde verilen gelecek durum değer akış haritaları 12.03.2014 Çarşamba günü için oluşan tıbbi atık miktarlarının toplanması, transferi ve evsel atık niteliği kazandırılması süreçlerinde yapılan iyileştirmeleri göstermektedir. Söz konusu tarihte İstanbul ilinin her iki yakasından İSTAÇ ve belediyeler tarafından toplanan tıbbi atık miktarları Tablo 4.48'de görüldüğü gibidir.

**Tablo 4.48:** 12.03.2014 tarihinde toplanan tıbbi atık miktarları.

	Ortalama Toplam Atık (12.03.2014)	Yakılan Miktar	Sterilize Edilen Miktar
Asya Yakası	21.870 kg/gün (İSTAÇ)	21.870 kg/gün	-
Avrupa Yakası	39.500 kg/gün (İSTAÇ) 23.105 kg/gün (yerel belediyelerden)	-	62.605 kg/gün

Gelecek durum haritalarında, Asya yakasında toplanan 21.870 kilogram atığın (Avrupa'ya transferi yerine) aynı yakada kurulan tesislerde sterilizasyon işlemi gördükten sonra Asya yakasındaki Şile-Kömürcüoda'daki düzenli depolama alanına gönderilmesi; Avrupa yakası için ise İSTAÇ tarafından toplanan 39.500 kilogramlık miktarın katı atık istasyonlarında kurulan tesislerde evsel atık niteliği kazandırıldıktan sonra Göktürk'deki düzenli depolama alanına transferi durumundaki YTZ israf kalemleri gösterilmektedir. Yerel belediyeler tarafından toplanarak Göktürk'e götürülen 23.105 kg atık bu çalışmanın kapsamına alınmamıştır.

#### 4.6.1. Asya Yakası Gelecek Durum Değer Akış Haritası

12.03.2014 tarihinde Asya yakasındaki üç ayrı öbekteki yirmi yatak ve üzeri 90 hastaneden toplanan toplam 21.870 kilogram tıbbi atığın, öbek merkezlerinde kurulan sterilizasyon ünitelerinde evsel atık niteliği kazandırıldıktan sonra düzenli depolamaya gönderilmesi süreci Şekil 4.27'deki GDAH'da gösterilmektedir.

Haritada gösterilen değerler ortalama modelinin çıktılarını gösteren Tablo 4.41'deki Çarşamba günü sarf ve CO<sub>2</sub> salımı verisi ile Tablo 4.49'da özetlenen sterilizasyon ve depolama adımları sarflarından oluşmaktadır. Tablo 4.49'daki değerlerin birinci öbek için hesaplanması tablonun altında verilmiştir.

GDAH'da gözlemlenecek başlıca iyileştirme İSTAÇ tarafından toplanan atıkların direkt olarak Kemerburgaz'a götürülerek yakılmasının ardından depolanması yerine, hastanelerden toplandıktan sonra sterilize edilerek transfer edilmesidir. Böylece yirmi tondan fazla atığın boğaz köprüsünü geçmesi engellenmektedir. Merkezi sterilizasyon tesislerinde evsel atık niteliği kazandırılan atıklar tek seferde Asya yakasındaki düzenli



depolama alanı Kömürcüoda'ya nakledilerek CO<sub>2</sub> salımının azaltılması sağlanmaktadır. Diğer taraftan iyileştirme sonucu sterilizasyon tesisinin yama tesisine kıyasla daha fazla olan su sarfından dolayı bu Y TZ israf kaleminde artış görülmektedir. Mevcut ve gelecek durumların yüzdelik değerlerle karşılaştırmaları Bölüm 4.7.1'de tartışılmıştır.

**Tablo 4.49:** Asya yakası sterilizasyon ve depolama adımları GDAH verisi.

ÖBEK NO	Sterilizasyon			
	Toplam tıbbi atık (kg)	Su (m <sup>3</sup> )	Elektrik (kW)	Kimyasal (kg)
ASYA 1	6805	5,59	8,25	205,90
ASYA 2	8415	6,71	9,90	247,10
ASYA 3	6650	5,59	8,25	205,90
<b>Toplam</b>	<b>21.870</b>	<b>17,89</b>	<b>26,40</b>	<b>658,90</b>
	Düzenli Depolamaya Transfer			
	Toplam evsel atık (kg)	Transfer uzaklığı (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	Yakıt sarfı* (lt)
ASYA 1	5445	46,51	40,46	15,63
ASYA 2	6732	45,54	39,62	15,30
ASYA 3	5320	49,08	42,70	16,49
<b>Toplam</b>	<b>17.496</b>	<b>141,13</b>	<b>122,78</b>	<b>47,42</b>

ASYA 1 için Tablo 4.46'da gösterilen değerler, Tablo 4.6'daki sterilizasyon ünitesi sarf bilgileri kullanılarak ve Çarşamba günü değerleri esas alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

6850kg atık için;

$$\frac{6850 \text{ kg}}{1500 \text{ kg/dönü}} \cong 5 \text{ dönü}$$

\* Evsel atık niteliğindeki sterilizasyon çıktılarının transfer sarfları; Yakıt: 0.336lt/km; CO<sub>2</sub>: 0.870kg /km

Su sarfı;

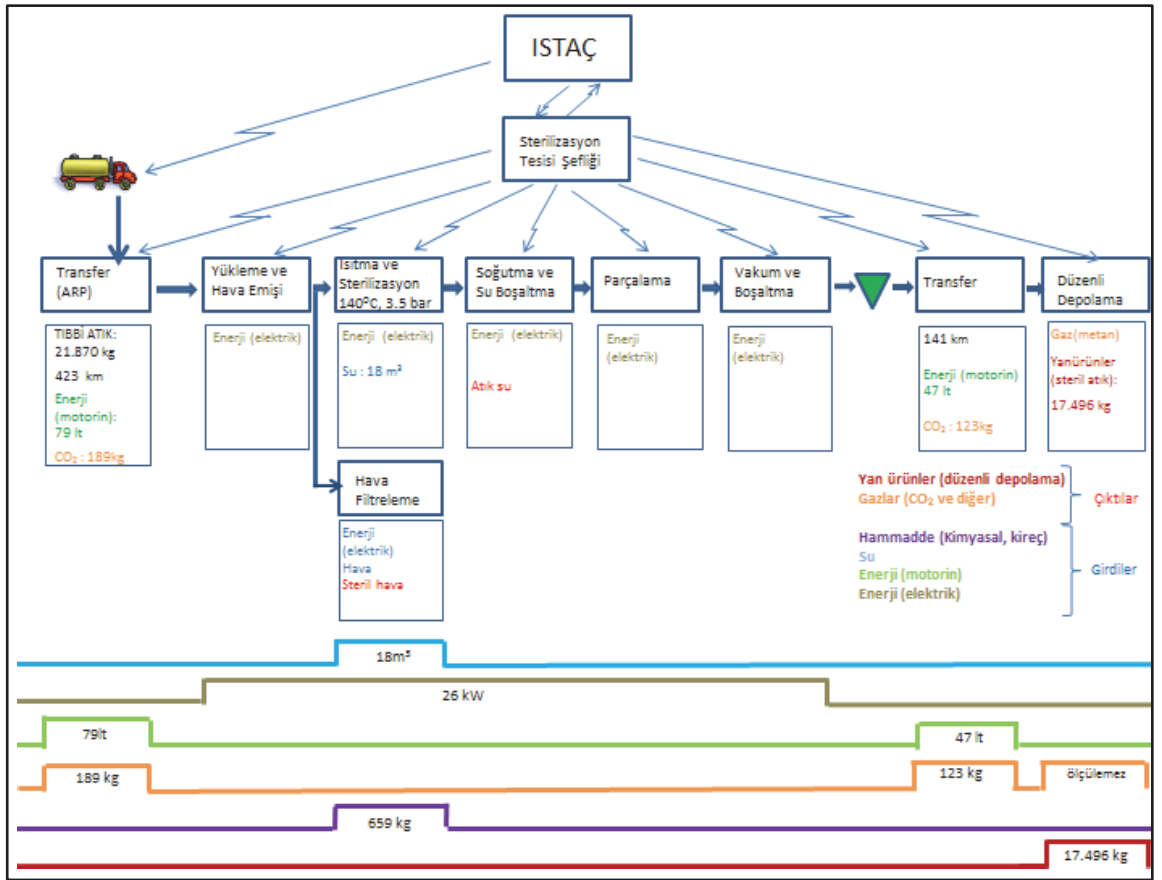
$$5 \times 1,1176 \text{ m}^3/\text{döngü} = 5,59 \text{ m}^3$$

Elektrik sarfı;

$$5 \times 1,65 \text{ kW}/\text{döngü} = 8,25 \text{ kW}$$

Kimyasal sarfı;

$$5 \times 41,18 \text{ kg}/\text{döngü} = 205,9 \text{ kg}$$



Şekil 4.27: İstanbul Asya yakası GDAH.

#### 4.6.2. Avrupa Yakası Gelecek Durum Değer Akış Haritası

Avrupa yakası için önerilen yeni sistemde Göktürk'e kadar transfer edilen tıbbi atıklar katı atık aktarma istasyonlarında kurulan sterilizasyon tesislerinde işlem görmekte ve burada evsel atık niteliği kazanan atıklar büyük katı atık aktarma araçları ile tek seferde Göktürk'e düzenli depolamaya sevk edilmektedir. Üç öbek için kurulan birer

sterilizasyon ünitesinin sarfları ve düzenli depolamaya transfer sürecindeki Y TZ israf kalemleri Tablo 4.50’de görülebilir. Tablonun altında ikinci öbek için hesaplamaların açıklaması verilmiştir.

**Tablo 4.50:** Avrupa sterilizasyon ve depolama adımları GDAH verisi.

ÖBEK NO	Sterilizasyon			
	Toplam tıbbi atık (kg)	Su (m <sup>3</sup> )	Elektrik (kW)	Kimyasal (kg)
AVRUPA1	1500	1,12	1,65	41,18
AVRUPA 2	20.555	15,64	23,1	576,52
AVRUPA 3	17.445	13,41	19,8	494,16
<b>Toplam</b>	<b>39.500</b>	<b>30,18</b>	<b>44,55</b>	<b>1111,86</b>
	Düzenli Depolamaya Transfer			
	Toplam evsel atık (kg)	Transfer uzaklığı (km)	CO <sub>2</sub> salımı (kg)	Yakıt sarfı* (lt)
AVRUPA1	1200	91,40	79,52	30,71
AVRUPA 2	16.446	38,14	33,18	12,82
AVRUPA 3	13.958	23,34	20,31	7,84
<b>Toplam</b>	<b>31.605</b>	<b>152,88</b>	<b>133,01</b>	<b>51,37</b>

AVRUPA 2 için Tablo 4.46’de gösterilen değerler, Tablo 4.6’daki sterilizasyon ünitesi sarf bilgileri kullanılarak ve Çarşamba günü esas alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

20,558kg atık için;

$$\frac{20.558 \text{ kg}}{1500 \text{ kg/döngü}} \cong 14 \text{ döngü}$$

Su sarfı;

$$14 \times 1,1176 \text{ m}^3/\text{döngü} = 15,64 \text{ m}^3$$

\* Evsel atık niteliğindeki sterilizasyon çıktılarının transfer sarfları; Yakıt: 0.336lt/km; CO<sub>2</sub>: 0.870kg /km

Elektrik sarfı;

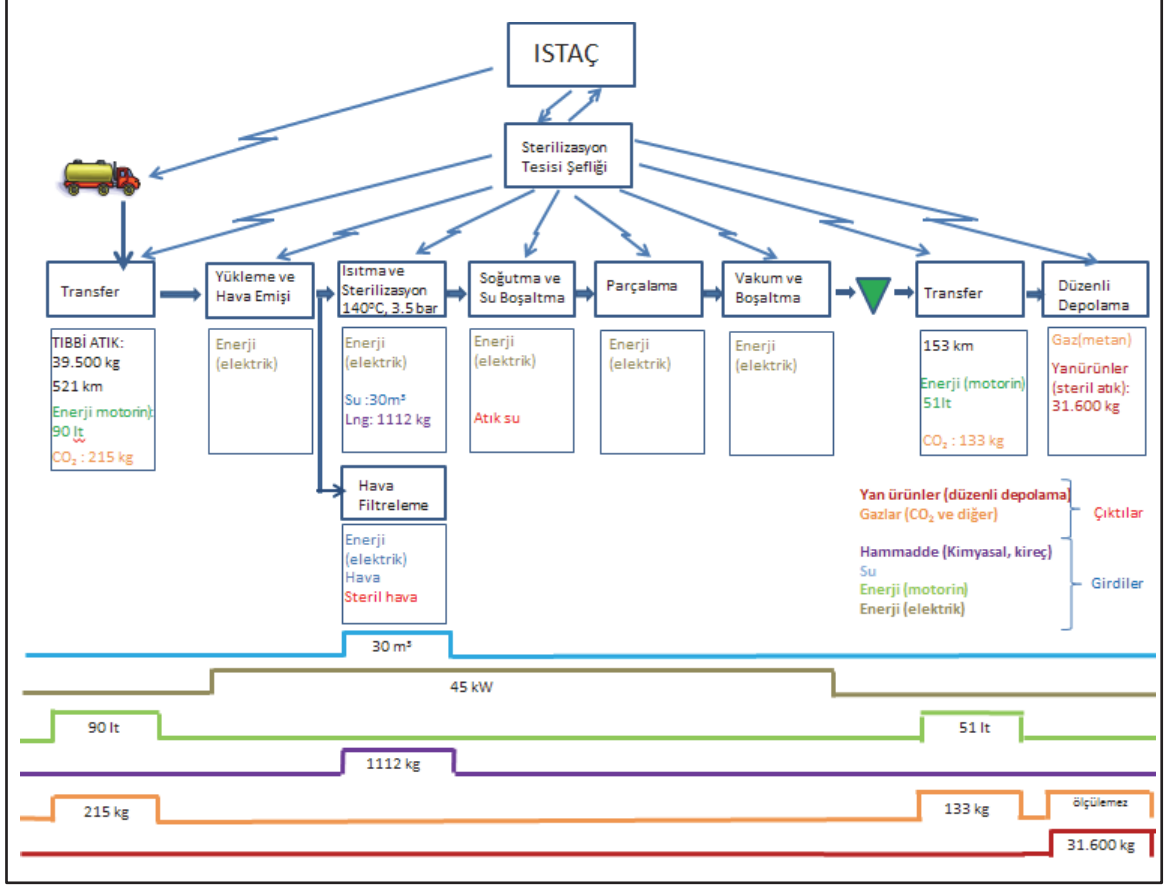
$$14 \times 1,65 \text{ kW/dönü} = 23,10 \text{ kW}$$

Kimyasal sarfı;

$$14 \times 41,18 \text{ kg/dönü} = 576,52 \text{ kg}$$

12.03.2014 tarihinde Avrupa yakasındaki üç ayrı öbekteki yirmi yatak ve üzeri 162 hastaneden toplanan toplam 39.500 kilogram tıbbi atığın, kurulan sterilizasyon ünitelerinde evsel atık niteliği kazandırıldıktan sonra düzenli depolamaya gönderilmesi süreci Şekil 4.28'deki GDAH'da gösterilmektedir. Haritada gösterilen değerler rotalama modelini çıktılarını gösteren Tablo 4.43'deki Çarşamba günü sarf ve CO<sub>2</sub> salımı verisi ile Tablo 4.47'de özetlenen sterilizasyon ve depolama adımları sarflarından oluşmaktadır. Tablo 4.46'daki değerlerin birinci öbek için hesaplanması tablonun altında verilmiştir

GDAH'da gözlemlenecek başlıca iyileştirme şehir içi transfer sürecindeki atıkların kamyonlarda kat ettikleri mesafenin azalmış olmasıdır. Bununla beraber aktarma istasyonlarından düzenli depolamaya gönderilen evsel nitelik kazanmış atıkların tek seferde transfer edilebilmesi durumunda mevcut sisteme kıyasla CO<sub>2</sub> salımında kazanç sağlanmaktadır. Optimizasyon sonrası süreçteki toplam kat edilen mesafenin 572 kilometre, toplam CO<sub>2</sub> salımının 348 kilogram olarak gerçekleşeceği görülmektedir. Kimyasal tüketiminin değişmediği sistemde 30 metreküp su ve 45 kilovat elektrik sarfı öngörülmektedir. Mevcut ve gelecek durumların yüzdelerle karşılaştırmaları Bölüm 4.7.2'de tartışılmıştır.



Şekil 4.28: İstanbul Avrupa yakası GDAH.

#### 4.7. MEVCUT VE GELECEK DURUM DEĞER AKIŞ HARİTALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde optimizasyon sonrası süreçteki Y TZ'deki israf kalemlerinin değerlerini gösteren GDAH ile metodolojinin ilk adımında çizilen MDAH değerleri karşılaştırılarak iyileştirme sonrası değişim oranları ile metodolojinin uygulamadaki sonuçları Asya ve Avrupa yakaları için ayrı bölümler altında tartışılmıştır.

##### 4.7.1. Asya Yakası İçin MDAH ve GDAH Karşılaştırılması

Tablo 4.51'de Asya yakası haritaları kullanılarak karşılaştırmalı olarak özetlenen Y TZ israf kalemleri, tablonun devamında sürecin Y TZ'deki yeşil israf performansındaki değişim yüzdeleri halinde gösterilmektedir. Bu oranlar girdi kalemleri ve çıktı kalemleri için ayrı ayrı hesaplanmış ve yorumlanmıştır.

**Tablo 4.51:** Asya yakası için MDAH ve GDAH değerleri.

YTZ ISRAF KALEMLERİ		MDAH	GDAH
Toplanan Tıbbi Atık		21.870 kg	21.870 kg
GİRDİLER	Kimyasal kullanımı	760 kg	659 kg
	Enerji (motorin) kullanımı	266 lt	126 lt
	Su kullanımı	yaklaşık 1 m <sup>3</sup>	18 m <sup>3</sup>
	Enerji (elektrik) kullanımı	(3876 kW)	26 kW
ÇIKTILAR	Düzenli depolanan yan ürünler (kül, kimyasal vb.)	3600 kg kül 760 kg kireç	659 kg
	Düzenli depolanan yan ürünler (steril atık)	-	17.496 kg
	CO <sub>2</sub> salımı	394 kg	312 kg
	Diğer gaz (CH <sub>4</sub> , HCl, HF, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, TVOC, Kurşun, Talyum, Kadmiyum) salımı	Ölçülemez	Ölçülemez

Girdi olarak kullanılan YTZ israf kalemlerindeki değişim;

$$\text{Kimyasal kullanımı (\%)} = \frac{MDAH_{kimyasal} - GDAH_{kimyasal}}{MDAH_{kimyasal}}$$

$$= \frac{760 - 659}{760} = 0,133$$

%13,3 azalmıştır.

$$\text{Enerji (motorin) kullanımı (\%)} = \frac{MDAH_{motorin} - GDAH_{motorin}}{MDAH_{motorin}}$$

$$= \frac{266 - 126}{266} = 0,526$$

%52,6 azalmıştır.

$$\text{Su kullanımı (\%)} = \frac{MDAH_{su} - GDAH_{su}}{MDAH_{su}}$$

$$= \frac{1 - 18}{1} = -17$$

%1700 artmıştır.

$$\text{Elektrik kullanımı (\%)} = \frac{MDAH_{elektrik} - GDAH_{elektrik}}{MDAH_{elektrik}}$$

$$= \frac{3876 - 26}{3876} = 0,993$$

%99,3 azalmıştır.

(Ancak sterilizasyon tesisi kendi elektriğini üretmektedir. Bu bağlamda elektrik tüketiminde dışarı bağımlılığın olduğu ifade edilebilir.)

Girdi başlığı altındaki Y TZ israf kalemleri incelendiğinde, kimyasal ve motorin kullanımında azalma, su ve elektrik kullanımında artma olarak görülmektedir. Motorin kullanımındaki azalma % 52,6 oranla kayda değer bir ölçüdedir. Açık ki atıkların Avrupa yakasına transfer edilmeyerek Asya yakasında işlem görmeleri büyük oranda motorin kullanımını tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca yakma tesisinin motorin sarfının da GDAH'da olmaması bu azalmada etkilidir.

Bununla beraber sisteme yeni ilave edilen sterilizasyon üniteleri su sarflarında % 1700 oranında artışa sebep olmuş gibi gözükse de yaklaşık 17 metreküp olarak gerçekleşen bu sarfin kabul edilebilir bir değer olduğu söylenebilir.

Elektrik kullanımı % 99,3 oranında azalmış gözükmele beraber gerçekte sterilizasyon tesisinin yakma tesisi gibi kendi elektriğini üretememesi bağlamında 26 kilovat değerinde elektriğin satın alınması gerekecektir.

Çıktı olarak üretilen Y TZ israf kalemlerindeki değişim;

$$\begin{aligned} \text{Depolanan yan ürünler (kül, kimyasal) (\%)} &= \frac{MDAH_{\text{yan ürün k.}} - GDAH_{\text{yan ürün k.}}}{MDAH_{\text{yan ürün k.}}} \\ &= \frac{4360 - 659}{4360} = 0,849 \end{aligned}$$

% 84,9 azalmıştır.

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ salımı (\%)} &= \frac{MDAH_{\text{CO}_2} - GDAH_{\text{CO}_2}}{MDAH_{\text{CO}_2}} \\ &= \frac{394 - 312}{394} = 0,208 \end{aligned}$$

% 20,8 azalmıştır.

Çıktı başlığı altındaki Y TZ israf kalemleri incelendiğinde; düzenli depolanan kimyasal ve kül gibi toksik yan ürünlerin % 84,9 oranında azaltıldığı görülmektedir. Ancak, mevcut durumda depolanan 3600 kg yanmış atık yerine 17.496 kg evsel nitelikte atık depolanmaktadır. Bu miktar toprakta daha fazla hacim kaplamakla beraber evsel atık niteliğinde olduğu için çevresel zararı kimyasallarla kıyaslanmayacak kadar azdır.

Optimizasyon sonrası CO<sub>2</sub> salımında % 20,8 oranında bir iyileştirme gerçekleştirilmiştir. Bu azalma öncelikle araçların daha az yol kat etmelerinden daha sonra da yakma nedeniyle oluşan gazların yarattığı salımın GDAH'da geçerli olmamasındandır.

#### 4.7.2. Avrupa Yakası İçin MDAH ve GDAH Karşılaştırılması

Avrupa yakası GDAH'da Göktürk'deki üç sterilizasyon ünitesi yerine üç öbekte birer sterilizasyon ünitesi kurulması durumu değerlendirilmektedir. Bu bağlamda bertaraf



sürecine dair Y TZ israf kalemlerinde değişiklik olmamıştır. Bununla beraber, transfer sürecinin optimizasyonu neticesinde motorin kullanımını ve buna bağlı olarak oluşan CO<sub>2</sub> salımındaki değişikliklerin önemli boyutlarda olduğu ifade edilebilir.

Tablo 4.52’de Avrupa yakası haritaları kullanılarak Y TZ israf kalemleri karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir. Tablonun devamında sürecin Y TZ israf performansındaki değişim yüzdeleri sadece değişiklik gösteren girdi ve çıktı kalemleri için ayrı ayrı hesaplanmış ve yorumlanmıştır.

**Tablo 4.52:** Avrupa yakası için MDAH ve GDAH değerleri.

<b>Y TZ ISRAF KALEMLERİ</b>		<b>MDAH</b>	<b>GDAH</b>
<b>Toplanan Tıbbi Atık</b>		39.500 kg	39.500 kg
<b>GİRDİLER</b>	Kimyasal kullanımı	1112 kg	1112 kg
	Enerji (motorin) kullanımı	162 lt	141 lt
	Su kullanımı	30 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup>
	Enerji (elektrik) kullanımı	45 kW	45 kW
<b>ÇIKTILAR</b>	Düzenli depolanan yan ürünler (kül, kimyasal vb.)	1112 kg	1112 kg
	Düzenli depolanan yan ürünler (steril atık)	31.600 kg	31.600 kg
	CO <sub>2</sub> salımı	390 kg	348 kg
	Diğer gaz (CH <sub>4</sub> , HCl, HF, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, TVOC, Kurşun, Talyum, Kadmiyum) salımı	Ölçülemez	Ölçülemez

Girdi olarak kullanılan Y TZ israf kalemlerindeki değişim;

$$\begin{aligned} \text{Enerji (motorin) kullanımı (\%)} &= \frac{MDAH_{motorin} - GDAH_{motorin}}{MDAH_{motorin}} \\ &= \frac{162 - 141}{162} = 0,1296 \end{aligned}$$

% 12,96 azalmıştır.

Avrupa yakası atık toplama sürecinin optimizasyonu sisteme günlük % 12,96 oranında motorin tasarrufu sağlamıştır. Bu kazanç tıbbi atık toplama araçlarının sadece öbek içinde dolaşmasından ve işlem gören atıkların katı atık aktarma araçları ile tek seferde depolanmaya aktarılmasından kaynaklanmaktadır. Böylece Avrupa yakasında hizmet veren araçların her birinin yaklaşık 45 kilometrelik bir yolu gitmeleri önlenmiştir.

Çıktı olarak üretilen Y TZ israf kalemlerindeki değişim;

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ salımı (\%)} &= \frac{MDAH_{CO_2} - GDAH_{CO_2}}{MDAH_{CO_2}} \\ &= \frac{390 - 348}{390} = 0,108 \end{aligned}$$

% 10,8 azalmıştır.

Araçların kat ettikleri mesafelerdeki azalma CO<sub>2</sub> salımına % 10,8 oranında azalma olarak yansımıştır. Buradaki azalmanın aynı oranda olmaması evsel atık niteliği kazandırılan atıkları transfer eden katı atık kamyonlarının büyük hacimli ve yüksek emisyon katsayısına sahip olmasıdır.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tersine Tedarik Zinciri Yönetimi (TTZY) ürünün ömrünü tamamlaması sebebiyle ıskartaya ayrılması ve bertaraf edilmesi, yeniden değerlendirilmesi veya geri kazanımı gibi farklı sebeplerle kaynağına dönüşünü yönetir. Üreticisine dönen ürünler tamir etme, düşük kalite olarak satma, parça alma, yeniden üretim veya geri dönüştürme gibi işlemlerle değerlendirilebilir ve bu işlemler sadece ekonomik değil, ekolojik kazanımlar sağlanmasına da hizmet eder.

Küresel ısınma ve dünya kaynaklarının azalması sorunları, hükümetleri çeşitli önlemler almaya sevk ederken, tüketicilerin de çevreyle ilgili konularda gün geçtikçe bilinçlenmesi, çevreye daha az zarar veren ürünlere yönelmeleri, organizasyonların doğal kaynaklardan yararlanma ve çevreye verilen zararlara dair duyarlılık geliştirmeleri sonuçlarını doğurmuştur. Böylece yeşil tedarik zinciri yönetimi (YTZY) olarak adlandırılan tedarik zinciri yönetiminde çevreye duyarlı uygulamaları ve sonuçlarını inceleyen akademik çalışmalar da artış göstermiştir.

TTZY, temel motivasyonlarından birinin ekolojik kazanımlar olması bakımından YTZY ile ortak faaliyet alanlarını kapsamaktadır. Diğer yandan Yalın Üretim prensipleri ve yöntemleri de tedarik zinciri boyunca israfı azaltmayı amaçlamaları bağlamında TTZY ve YTZY faaliyetlerini desteklemektedir. Yalın Üretim felsefesinde, süreçteki değer katmayan işlemler, gereksiz malzeme hareketleri, gereksiz işgücü hareketleri, gereksiz stoklar, hatalar, uzun hazırlık süreleri ve gereğinden fazla üretim, israf olarak adlandırılır. Bu yedi israf türü ortadan kaldırılmaya çalışılarak üretim sisteminin iyileştirilmesi hedeflenir ki sonuçta sağlanacak kaynak tasarrufunun ekolojik çevreye yansıtacağı olumlu etkileri aşikardır. Yalın Üretim, yedi ana başlık altında topladığı israf kalemlerini azaltmak amacındayken, YTZY’de sekiz başlık altında gruplanan çevresel israfların - su, elektrik, gaz, yeryüzü, emisyon, kullanılmış ürün, hammadde, yan ürün - azaltılması hedeflenir.

Son yıllarda TTZ'deki iyileştirmelerin çevresel kazanımlarını inceleyen çalışmaların çoğalmakta olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda yeşil tasarım, tersine lojistik ve şebeke tasarımı alanlarında çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların büyük bölümü birinci yaşam döngüsünü tamamlamış ürünlerin, geri kazanım ve tekrar kullanım seçeneklerinin sistemin amaçlarına uygunluğunun değerlendirilmesi üzerinedir. Bununla beraber ekonomik ömrünü tamamlamış ürünlerin orijinal kaynaklarına dönmediği durumlarda, genellikle merkezi idari birimlerin sorumluluğundaki atık yönetimi faaliyetlerinin YTZ'deki yeşil israf kalemleri açısından iyileştirilmesine yönelik çalışmalar halen sınırlı sayıdadır.

Özellikle yoğun nüfuslu şehirlerde oluşan atıkların toplanması, transferi, geri kazanımı ve bertaraf edilmesi süreçlerinin yönetimi oldukça karmaşıktır ve dikkat gerektirmektedir. Bu tez çalışması kapsamında bu tür TTZ'nin yeşil yönetim bakışıyla yalınlaştırılması için bir metodoloji geliştirilerek, atıkların yeniden kullanımı veya kullanılamaz durumdakilerin düzenli depolanması öncesi tabi oldukları geri kazanım / bertaraf süreçleri ile atık işleme tesislerine olan transfer süreçlerinin, Yalın Üretim metodlarından Değer Akış Haritalama (DAH) yöntemiyle analiz edilerek iyileştirilmesine yönelik bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen metodoloji, İstanbul ilinin Asya ve Avrupa yakalarındaki tıbbi atık birikim noktalarında (yirmi yatak ve üzeri hastanelerde) oluşan tıbbi atıkların toplanması, transferi ve bertaraf edilmesi adımlarından oluşan tersine tedarik zinciri sürecine uygulanmıştır.

Öncelikle çizilen MDAH ile sürecin iyileştirmeye açık alanları tespit edilmiştir. Bu bağlamda, çok sayıda atık biriktirme noktasından toplanan atıklar için toplama ve geri kazanım / bertaraf süreçlerinin optimizasyonu için şehrin çeşitli yerlerine merkezi atık işleme tesisleri kurulması önerisi değerlendirilmiştir. Bu adımda tesis yerlerini belirlemek için BCO, ÖDH, BCO-GM, ÖDH-GM ve YAK öbekleme algoritmalarının uzaklık ve atık miktarı verisi kullanılarak hesaplanan maliyet performansları test edilmiştir. Sonuçlar, YAK algoritmasının hesaplanan maliyet değerleri bağlamında tüm (ikili, üçlü, dörtlü) öbeklemeler için diğer algoritmalarından daha iyi performansı olduğunu göstermektedir. Asya yakası öbekleri için en iyi sonuç BCO'ya karşı % 35,53 daha iyi maliyet değeri ile dörtlü öbekleme performansında görülmüştür. Avrupa yakasında ise, yine dörtlü öbekleme sonuçlarında YAK algoritması öbeklemesi ile

BCO'ya göre % 20,96 daha iyi toplam maliyet değerine ulaşılmıştır. Böylece, YAK algoritması tesis yeri önceden bilinmeyen (sürekli sistem) durumlarda kullanılacak algoritma olarak belirlenmiştir. Tesis yerlerinin önceden belirli olması (kesikli sistem) durumlarında, BCO'nin özel bir türü olan Tİ-BCO algoritması kullanılmıştır. Tİ-BCO, BCO algoritmasını takip etmekle beraber, farklı olarak öbek merkezleri daha önceden belirlendiği için öbek merkezlerine aday noktaları atayarak yöntemi tek iterasyonda tamamlamaktadır. Uygulama aşamasında Asya yakası için YAK, Avrupa yakası için Tİ-BCO algoritmaları kullanılarak tıbbi atıkların bertaraf edileceği tesis yerleri belirlenmiştir.

Öbeklemeyi izleyen adımda, atıkları toplayacak heterojen araç filosunun belirlenen öbeklere araçların atıl kapasitelerini en küçükleyecek şekilde dağıtılması için iki atama modeli (Model A ve Model B) yazılmıştır. Uygulama esnekliği sağlamak amacıyla Model A, servis kabiliyetini maksimize edecek şekilde tüm araçların atanmasını gerçekleştirirken, Model B, araç işletim maliyetlerini azaltmak amacıyla en az sayıda aracı öbeklere atamaktadır. Uygulama aşamasında sürekli artan atık miktarları sebebiyle, servis kabiliyetini arttıran tüm araçların atanması modeli tercih edilmiş, ayrıca her öbeğe maksimum kapasiteli araçlardan en az bir tane atanması ve ortalama kapasite kullanım oranının maksimize edilmesi istenmiştir. Bu nedenle A modeline yeni bir kısıt eklenerek, tüm farklı durumlar için çözümler kıyaslanmış ve kapasite kullanım oranı en yüksek çözüm tercih edilmiştir.

Atama modelinin çıktısı, atık noktalarından tesislere gelecek araçların karbondioksit (CO<sub>2</sub>) salımını azaltmak amacıyla, dolaşacakları toplam mesafeyi en küçükleyecek rotaların belirlenmesi için yazılan ARP modelinde girdi olarak kullanılmaktadır. Geliştirilen karma tamsayı matematiksel model GAMS yazılımı ile kodlanarak, dal-sınır algoritması kullanan CPLEX çözücüsüyle çalıştırılmıştır. Yüksek sayıda atık noktasının bulunması nedeniyle rotalama problemi polinom zamanda çözülemeyen NP-Zor bir niteliğe sahip olmaktadır. Bu sebeple model, belirlenen öbekler ve haftanın günleri için tek tek çalıştırılmıştır. Böylece hem çözüm süresi kısaltılmış, hem de uygulamadaki değişken talep yapısının sistemin tümüne etki etmeden adapte edilebilmesi sağlanmıştır.

Metodolojinin son adımı, önerilen iyileştirmeler sonrası durumu gösteren GDAH'ın çizilmesi ile mevcut ve gelecek durumların süreç için belirlenmiş YTZ'deki israf kalemlerinin performans göstergeleri açısından karşılaştırılmasıdır. Asya yakası MDAH ve GDAH karşılaştırmaları, optimizasyon sonrası elektrik kullanımında % 99,3; motorin kullanımında % 52,6; kimyasal kullanımında % 13,3; depolanan kül ve kimyasal türü zararlı yan ürünlerde % 84,9 ve CO<sub>2</sub> salımında % 20,8 azalma sağlandığını göstermektedir. Diğer taraftan, yakma tesisinin sterilizasyona çevirilmesi sebebiyle su kullanımı 17 metreküp artmıştır. Sterilizasyonun yakma ile bertaraf yönteminde olduğu gibi atık hacmini küçültmemesinden dolayı ise, depolanan zararsız yan ürün hacmi yakma sonrası depolanan kül ve kimyasal hacminden fazla gerçekleşmiştir. Avrupa yakası için atık bertaraf işleminin türü değiştirilmemiş, sadece şehir dışındaki büyük tesis yerine şehir içinde üç ayrı tesis kurulması değerlendirilmiştir. Böylece araçların katedecekleri mesafelerin optimizasyonu ile motorin kullanımında % 12,96 ve buna bağlı CO<sub>2</sub> salımında % 10,8 tasarruf sağlanmıştır. Sonuç olarak, İstanbul ili bir günlük tıbbi atık verisi için yapılan uygulamada, atık bertaraf tesislerinin merkezileştirilmesi ve araçların optimum rotalarının belirlenmesi ile optimize edilen süreçteki YTZ'deki israf kalemlerinde kayda değer ölçüde azalmalar sağlandığı ifade edilebilir.

Bu tez çalışmasındaki metodoloji sadece tıbbi atıklar için değil, atık biriktirme noktaları yüksek sayıda olan ve çok sayıda başlık altındaki (katı atık, tehlikeli atık, tıbbi atık, ambalaj atığı, atık yağ, atık pil ve akümülatör, bitkisel atık yağ, hafriyat ve inşaat atığı, PCB ve PCT'li atıklar, ömrünü tamamlamış lastikler, ömrünü tamamlamış araçlar, atık elektrikli ve elektronik eşya gibi) tüm atık toplama ve işleme/bertaraf süreçlerine uygulanabilir. Bu katkının yanında, Yalın Üretim felsefesinin ve DAH metodunun TTZY'ne entegrasyonunu sağlayan literatüre yeni bir çalışma eklenmiştir. Bu bağlamda DAH'nın bir TTZ'de YTZ'deki israf kalemleri temel alınarak çizilmesi bakımından, literatürdeki sayılı çalışmalardan olmaya adaydır. Ayrıca, DAH yöntemini, TTZ'de tesis yeri seçimi, araç atama ve araç rotalama problemlerine entegre eden ilk çalışmadır. Böylece DAH'ın, TTZ'de kapsamlı bir süreç optimizasyonu uygulaması içinde kullanıldığı öncü bir çalışma olmuştur. Ayrıca, DAH, Tİ-BCO ve YAK öbekleme algoritmaları ilk kez sağlık yönetimi alanına uygulanarak akademik katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın devamında ve çalışmanın geliştirilmesi için gelecekte yapılabilecek akademik çalışmalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Tıbbi atık yönetiminde sterilizasyon uygulamasına geçmek isteyen illerde metodoloji uygulanabilir.
- Metodolojinin tıbbi atık dışındaki diğer atık türleri için uygulaması yapılabilir.
- Metodoloji haftanın tüm günlerine uygulanarak, bütün haftayı ifade eden YTZ'deki israf kalemlerinin değişim değerleri hesaplanabilir.
- Ayrı başlıklar altında gösterilen israf kalemlerinin değişim değerlerinin birarada gösterildiği bir YTZ israf indeksi geliştirilebilir.
- Rotalama problemi için matematiksel model yerine daha kısa sürede çözüm veren metasezgisel bir algoritma kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir.
- Rotalama modeli, araç atama modelinin farklı optimum atamaları ile çalıştırılarak sonuçlar kıyaslanabilir.
- Kullanıcılara yönelik bir arayüz geliştirilerek atık yönetimi faaliyetleri sürdüren işletmelerde metodolojinin günlük kullanımı sağlanabilir.
- Bu çalışma kapsamında İstanbul ilinde oluşan tıbbi atık miktarının çok yüksek olduğu, ancak toplanan atıkların % 60'ının tıbbi atık sınıfında olmadığı tespit edilmiştir. Atıkların kaynağında azaltılabilmesi varsayımı ile %60 daha az atık oluşması senaryosu için metodoloji uygulanarak sonuçlar kıyaslanabilir.
- Atık hiyerarşisi bağlamında ilk adım önleme, ikinci adım ise kaynağında azaltmadır. Bu bakımdan son olarak atıkların oluştukları yerlerde ayrıştırılmasının sağlanmasına dair çalışmaların yapılmasında fayda görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Agrawal, S., Singh, R.K. ve Murtaza, K., 2015, A literature review and perspectives in reverse logistics, *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 76–92.
- Aguezzoul, A., 2014, Third-party logistics selection problem: A literature review on criteria and methods, *Omega*, 49, 69-78.
- Aksen, D., Kaya, O., Salman, F.S. ve Akça, Y., 2012, Selective and periodic inventory routing problem for waste vegetable oil collection, *Optimization Letters*, 6(6), 1063-1080.
- Aksen, D., Özyurt, Z. ve Aras, N., 2007, Open vehicle routing problem with driver nodes and time deadlines, *Journal of Operational Research Society*, 58(9), 1223-1334.
- Akyol, S. ve Alataş, B., 2012, Güncel sürü zekası optimizasyon algoritmaları, *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 1*, 36-50.
- Alagöz, A. ve Kocasoy, G. , 2008, Improvement and modification of the routing system for the health-care waste collection and transportation in İstanbul, *Waste Management* , 28, 1461-1471.
- Alhoniemi, E., Himberg, J., Parviainen, J. ve Vesanto, J., SOM Toolbox 2.0, A Software for MATLAB Implementing SOM Algorithm.
- Alumur, S. ve Kara, B.Y., 2007, A new model for the hazardous waste location-routing problem, *Computers and Operations Research*, 34(5), 1406-1423.
- Anbuudayasankar, S.P., Ganesh, K., Koh, S.C. ve Ducq, Y., 2012, Modified savings heuristics and genetic algorithm for bi-objective vehicle routing problem with forced backhauls, *Expert Systems with Applications*, 39(3), 2296–2305.
- Angelelli, E. ve Speranza, M.G., 2002, The application of a vehicle routing model to a waste-collection problem: two case studies, *Journal of the Operational Research Society*, 53, 944-52.
- Apaydın, Ö. ve Gönüllü, M.T., 2008, Emission control with route optimization in solid waste collection process: A case study, *Sadhana*, 33(2), 71-82.
- Apaydın, Ö. ve Gönüllü, M.T., 2007, Route optimization for solid waste collection: trabzon (turkey) case study, *Global Nest Journal*, 9(1), 6-11.
- Aras, N., Aksen, D. ve Tanuğur, A., 2008, Locating collection centers for incentive dependent returns under a pick-up policy with capacited vehicles, *European Journal of Operational Research*, 191(3), 1223-1240.



- Aras, N., Aksen, D. ve Tekin, M.T., 2011, Selective multi-depot vehicle routing problem with pricing, *Transportation Research Part C*, 19(5), 866-884.
- Archetti, C., A. Hertz ve M. G. Speranza, 2006, A tabu search algorithm for the split delivery vehicle routing problem, *Transportation Science*, 40(1), 64–73.
- Armağan, B. ve Demir, İ., 2005, Eysel katı atık toplama sisteminin CBS tabanlı modellenmesi, *İTÜ Dergisi Mühendislik*, 4(3), 119-125.
- Atık yönetimi yönetmeliği, 2015, TC. Şehircilik ve Çevre Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Resmi Gazete Tarihi: 02.04.2015 Resmi Gazete Sayısı: 29314, <http://www.csb.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=sayfa&Tur=webmenu&Id=266> [Ziyaret tarihi: 14 Nisan 2015].
- Ayoub, N., Martins, R., Wang, K., Seki, H. ve Naka, Y., 2007, Two levels decision system for efficient planning and implementation of bioenergy production, *Energy Conversion and Management*, 48(3), 709–723.
- Bagchi, P.K. ve Skjoett-Larsen, T., 2005, Supply chain integration: a European survey, *International Logistics Management*, 16(2), 275–294.
- Baker, B. M. ve Ayechev, M. A., 2003, A genetic algorithm for the vehicle routing problem, *Computers and Operational Research*, 30, 787-800.
- Balasko, B., Abonyi, J. ve Feil, B., 2005, Fuzzy clustering and data analysis toolbox for MATLAB. <http://www.fmt.vein.hu/softcomp/fclusttoolbox>.
- Baldacci, R., Hadjiconstantinou, E. ve Maniezzo, V., 2002, A new method for solving capacitated location problems based on a set partitioning approach, *Computers and Operations Research*, 29, 365–386.
- Baldacci, R. ve Mingozzi, A., 2009, A unified exact method for solving different classes of vehicle routing problems, *Mathematical Programming*, 120, 347–380.
- Bektaş, T. ve Laporte, G., 2011, The pollution-routing problem, *Transportation Research Part B*, 45, 1232–1250.
- Bell, J. E. ve McMullen, P. R., 2004, Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem, *Advanced Engineering Informatics*, 18(1), 41-48.
- Beltrami, E. J. ve Bodin, L. D., 1974, Networks and vehicle routing for municipal waste collection, *Networks*, 4, 65–94.
- Benjamin, A. M. ve Beasley, J. E., 2010, Metaheuristics for the waste collection vehicle routing problem with time windows, driver rest period and multiple disposal facilities, *Computers and Operations Research*, 37, 2270-2280.
- Benjamin, A. ve Beasley, J., 2012, Metaheuristics with disposal facility positioning for waste collection VRP with time windows, *Optimization Letters*, 40, 230-243.
- Bezdek, J.C. ve Dunn, J.C., 1975, Optimal fuzzy partitions: A heuristic for estimating the parameters in a mixture of normal distributions, *IEEE Transactions on Computers*, C-24(8), 835-838.

- Bing, X., Keizer, M., Bloemhof-Ruwaard, J. ve Van der Vorst, J., 2014, Vehicle routing for the eco-efficient collection of household plastic waste, *Waste management*, 34(4), 719-729.
- Birgün, S. ve Gülen, K.G., 2008, Kobilerde israfı önleme ve anahtar değer akışı, *5.Kobiler ve Verimlilik Kongresi*, İKÜ, İstanbul.
- Birgün, S., Gülen, K.G. ve Özkan, K., 2006, Yalın üretime geçiş sürecinde değer akışı haritalama tekniğinin kullanılması: İmalat sektöründe bir uygulama, *İTİCU Fen Bilimleri Dergisi*, 5(9), 47-59.
- Bjorndal, M.H., A.Caprara, A., Cowling, P.I.,F., DellaCroce, Lourenço, H., Malucelli, F., Orman, A.J., Pisinger, D., Rego, C. ve Salazar, J.J., 1995, Some thoughts on combinatorial optimization, *European Journal of Operational Research*, 83(2), 253-270.
- Blackburn, J.D. Guide, V.D.R., Souza, G., ve Wassenhove, L.N., 2004, Reverse supply chains for commercial returns, *California Management Review*, 46(2), 6-22.
- Blumberg, D.F., 2005, *Introduction to Management of Reverse Logistics and Closed Loop Supply Chain Processes*, CRC Press, USA.
- Bullnheimer, B., R. Hartl ve C. Strauss, 1999, An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem, *Annals of Operations Research*, 89, 319–328.
- Buhrkal, K., Larsen, A. ve Ropke, S., 2012, The waste collection vehicle routing problem with time windows in a city logistics content, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 39, 241-254.
- Büyükozan, G. ve Vardaloğlu, Z., 2008, Yeşil tedarik zinciri yönetimi, *Lojistik dergisi*, 8, 66-73.
- Büyüksaatçi, S., 2009, *Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.
- Büyüksaatçi, S. ve Esnaf, Ş., 2014, Carbon emission based optimisation approach for the facility location problem, *TOJSAT : The Online Journal of Science and Technology*, 4(1), 9-20.
- Büyüksaatçi, S., Esnaf, Ş. ve Küçükdeniz, T., 2008, Geri dönüşüm tesislerinin yerinin Gustafson-Kessel algoritması-konveks programlama melez modeli tabanlı simülasyon ile belirlenmesi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(13), 1-20.
- Caballero, R., Gonzalez, M., Guerrero, F. M., Molina, J. ve Parolera, C., 2007, Solving a multiobjective location routing problem with a metaheuristic based on tabu search, Application to a real case in Andalusia, *European Journal of Operational Research*, 177, 1751-1763.
- Cai, X., Chen, J., Xiao, Y., Xu, X. ve Yu G., 2013, Fresh-product supply chain management with logistics outsourcing, *Omega*, 41(4), 752-765.

- Cappanera, P., Gallo, G. ve Maffioli F., 2004, Discrete facility location and routing of obnoxious activities, *Discrete Applied Mathematics*, 133, 3-28.
- Carter, C. R. ve Ellram, L. M, 1998, Reverse logistics: A review of the literature and framework for future investigation, *Journal of Business Logistics*, 19(1), 85-102.
- Caruso, C., Colorni, C. ve Paruccini, M., 1993, The regional urban solid waste management system: a modeling approach, *European Journal of Operational Research*, 70, 16–30.
- CEFIC, ECTA, 2011, Guidelines for measuring and managing CO<sub>2</sub> emission from freight transport operations, Issue 1, March 2011.
- Chan F.T.S. ve Qi H.F., 2003, An innovative performance measurement method for supply chain management , *Supply Chain Management*, 8(3), 209-223.
- Chan F.T.S., Nayak, A., Raj, R., Chong, A.Y-L. ve Manoj, T., 2014, An innovative supply chain performance measurement system incorporating Research and Development (R&D) and marketing policy; *Computers and Industrial Engineering*, 69, 64-70.
- Chapman, K. ve Ellinger, A.E., 2009, Constructing impact factors to measure the influence of supply chain management and logistics journals, *Journal of Business Logistics*, 30(2), 197–211.
- Charkha, P.G. ve Jaju, S.B., 2014, Supply chain performance measurement system: an overview, *International Journal of Business Performance Supply Chain Modelling*, 6 (1), 40-60.
- Chen, I.J., Paulraj, A. ve Lado, A.A., 2004, Strategic purchasing, supply management, and firm performance, *Journal of Operations Management*, 22, 505–523.
- Chepoi, V. ve Dumitrescu, D., 1999, Fuzzy clustering with structural constraints, *Fuzzy Sets and Systems*, 105(1), 91–97.
- Chiou, Y.C., Chen, H.C., Yu, H.C. ve Yeha, C.Y., 2012, Consideration factors of reverse logistics implementation – a case study of Taiwan’s electronics industry, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 40, 375–81.
- Chopra, S. ve Meindl, P. 2010, *Supply chain management, strategy, planning and operation*, Pearson, USA.
- Ćirović, G., Pamučar, D. ve Božanić, D., 2014, Green logistic vehicle routing problem: Routing light delivery vehicles in urban areas using a neuro-fuzzy model, *Expert Systems with Applications*, 41(9), 4245-4258.
- Correia, I. ve Captivo, M.E., 2006, Bounds for the single source modular capacitated plant location problem, *Computers and Operations Research*, 33, 2991-3003.
- Crevier, B., Cordeau, J. F. ve Laporte, G., 2007, The multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes, *European Journal of Operational Research*, 176, 756-773.

- Daskin, M.S., 1995, *Network and discrete location: Models, algorithms, and applications*, John Wiley and Sons, USA.
- Daugherty, P.J., Chen, H., Mattioda, D.D. ve Grawe, S.J., 2009, Marketing/logistics relationships: influence on capabilities and performance, *Journal of Business Logistics*, 30(1), 1–18.
- Delibasis, K., Mouravliansky, N., Matsopoulos, G.K., Nikita, K.S. ve Marsh, A., 1999, MR functional cardiac imaging: segmentation, measurement and www based visualization of 4D data, *Future Generation Computer Systems*, 15 (2),185-193.
- Diabat, A., Abdallah, T., Al-Refaie, A., Svetinovic, D. ve Govindan, K., 2013, Strategic closed-loop facility location problem with carbon market trading, *Engineering Management, IEEE Transactions*, 60(2), 398-408.
- Domagala, T. ve Wolniak R., 2013, Reverse supply chain, *Management Systems in Production Engineering*, 4(12), 3-7.
- Dowlatshahi, S. , 2000, Developing a theory of reverse logistics, *Interfaces*, 30(3),143–155.
- Du, K.L., 2010, Clustering: A neural network approach, *Neural Networks*, 23(1), 89-107.
- Eiselt, H.A. ve Laporte, G., 1995, *Facility Location: A Survey of Application and Methods*, Springer, USA.
- Eksiöğlü, B., Vural, A.V. ve Reisman, A., 2009, The vehicle routing problem: A taxonomic review, *Computers & Industrial Engineering*, 57, 1472–1483.
- Eng, T.Y., 2005, The influence of a firm's cross-functional orientation on supply chain performance, *Journal of Supply Chain Management*, 41(4), 4–16.
- EPA, 2007, *The Lean and Energy Toolkit: Achieving Process Excellence Using Less Energy*, United States Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/innovation/lean/toolkit/LeanEnergyToolkit.pdf>. [Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2011].
- Esnaf, Ş., Kalkancı, C. ve Küçükdeniz, T., 2007, Kapasite kısıtlı yer seçimi ve atama probleminin çözümü için bulanık öbeleme esaslı yöntem önerisi ve bir uygulama, *Üniversite Sanayi İşbirliği Sempozyumu*, Sakarya, Tukiye.
- Esnaf, Ş., Küçükdeniz, T. ve Büyüksaatçi, S., 2008, Fuzzy c-means and center of gravity combined model for a capacitated planar multiple facility location problem, *International Conference on Multivariate Statistical Modeling and High Dimensional Data Mining*, 19-23 Haziran, Kayseri.
- Esnaf, Ş. ve Küçükdeniz, T., 2009, A Fuzzy clustering based hybrid method for a multi facility location problem, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(2), 259-265.
- Esnaf Ş. ve Küçükdeniz T., 2013, Solving uncapacitated planar multi-facility location problems by a revised weighted fuzzy c-means clustering algorithm, *Journal Of Multiple-Valued Logic And Soft Computing*, 21, 147-164.

- Esnaf, Ş., Küçükdeniz, T. ve Tunçbilek, N., 2014, Fuzzy c-means algorithm with fixed cluster centers for uncapacitated facility location problems: Turkish case study, *Supply Chain Management Under Fuzziness, Studies in Fuzziness and Soft Computing*, (Kahraman C., Öztaysi B., Eds.), Springer-Verlag, Heidelberg, 489-516.
- Erdoğan, S., ve Miller-Hooks, E., 2012, A green vehicle routing problem, *Transportation Research Part E*, 48, 100–114.
- Erol, İ., Velioglu, M.N., Şerifoğlu, F.S., Büyüközkan, G., Aras, N., Çakar, N.G. ve Korugan, A., 2010, Exploring reverse supply chain management practices in Turkey, *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(1), 43 – 54.
- EU, 2006, *Waste Framework Directive*, Directive 2006/12/EC, European Parliament and of the Council, European Commission, Brussels, Belgium
- Faniran, O.O. ve Caban, G., 1993, Minimizing waste on construction project sites. Engineering, *Construction and Architectural Management*, 5(2), 182-188.
- Faulin, J., Juan, A., Lera, F. ve Grasman, S., 2011, Solving the capacitated vehicle routing problem with environmental criteria based on real estimations in road transportation: A case study, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 20, 323–334.
- Faulkner, W. ve Badurdeen, F., 2014, Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance, *Journal of Cleaner Production*, 85, 8-18.
- Faulkner, W., Templeton, W., Gullett, D. ve Badurdeen, F., 2012, Visualizing sustainability performance of manufacturing systems using Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM), *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 3-6 Temmuz, İstanbul.
- Fearne, A. ve Norton, A., 2009, *Sustainable value stream mapping in the food industry*. In: Waldron, Keith, ed. *Handbook of Waste Management and Co-Product Recovery in Food Processing*, Woodhead Publishing, Cambridge, <https://kar.kent.ac.uk/id/eprint/24446>, [Ziyaret tarihi: 14 Nisan 2014].
- Figliozzi, M., 2010, Vehicle routing problem for emissions minimization, *Transportation Research Record*, 2197, 1–7.
- Franca, P. M., Sosa, N. M. ve Pureza, V., 1999, An adaptive tabu search algorithm for the capacitated clustering problem, *International Transactions in Operational Research*, 6, 665–678.
- Garg, K., Kannan, D. , Diabat, A. ve Jha, P.C., 2015, A Multi-criteria optimization approach to manage environmental issues in closed loop supply chain network design, *Journal of Cleaner Production*, doi:10.1016/j.jclepro.2015.02.075.

- Gergin, Z. ve Esnaf, Ş., 2013, Comparing the performance of different artificial intelligence based clustering algorithms in healthcare waste disposal location, *4th International Conference on Risk Analysis and Crisis Response*, 27-29 Ağustos 2013, 161-167, İstanbul.
- Germain, R., Claycomb, C. ve Droge, C., 2008, Supply chain variability, organizational structure, and performance: the moderating effect of demand unpredictability, *Journal of Operations Management*, 26, 557–570.
- Gomes, M.I., Barbosa-Povoa, A.P. ve Novais, A.Q., 2011, Modelling a recovery network for WEEE: A case study in Portugal, *Waste Management*, 31(7), 1645–1660.
- Gomes, H., Ribeiro, A. B. ve Lobo, V., 2007, Locating model for CCA-treated wood waste remediation units using GIS and clustering methods, *Environmental Modelling and Software*, 22, 1788-1795.
- Govindan, K., Soleimani, H. ve Kannan D., 2015, Reverse logistics and closed loop supply chain: A comprehensive review to explore the future, *European Journal of Operational Research*, 240(3), 603-626.
- Granzow, M., Berrar, D., Dubitzky, W., Schuster, A., Azuaje, F. ve Eils, R., 2001, Tumor classification by gene expression profiling: comparison and validation of five clustering methods, *SIGBIO Newsletter Special Interest Group on Biomedical Computing of the ACM*, 21(1), 16-22.
- Guide, Jr VDR, Jayaraman, V., Srivasta, R. ve Benton, W.C., 2000, Supply-chain management for recoverable manufacturing systems, *Interfaces*, 30(3), 125-142.
- Güleş, H.K., Paksoy, T., Bülbül ve H., Özceylan, 2012, *Tedarik Zinciri Yönetimi-Stratejik Planlama, Modelleme ve Optimizasyon*, Gazi Kitabevi, İstanbul.
- Güner, A.D. ve Şevkli, M., 2008, A discrete particle swarm optimization algorithm for uncapacitated facility location problem, *Journal of Artificial Evolution and Applications(2008)*, 1-9, doi:10.1155/2008/861512.
- Günasekaran, A., Patel, C. ve McGaughey, R.E., 2004, A framework for supply chain performance measurement, *International Journal of Production Economics*, 87, 333–347.
- Han, J. ve Kamber, M., 2006, *Data mining: concepts and techniques*, Elsevier, USA, ISBN: 1-55860-901-6.
- Hauge, K., Larsen, J., Lusby, R.M. ve Krappe, E., 2014, A hybrid column generation approach for an industrial waste collection routing problem, *Computers and Industrial Engineering*, 71, 10–20
- Haykin, S., 1999, *Neural networks*, Pearson & Prentice Hall, USA.

- Hines, P., Lamming, R., Jones, D., Cousins, P. ve Rich, N., 2000, *Value Stream Management: The Strategy and Excellence in the Supply Chain*, Prentice Hall, USA.
- Hines, P. ve Rich, N., 1997a, The seven value stream mapping tools, *International Journal of Operations and Production Management*, 17(1), 46-64.
- Hines, P. ve Rich, N., 1997b, Supply-chain management and time-based competition: the role of the supplier association, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 27(3), 210-225.
- Hoff, A., Andersson H, Christiansen, M., Hasle, G. ve Løkketangen, A, 2010, Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing, *Computers and Operations Research*, 37, 2041–2061.
- Höppner, F., Klawonn, F., Kruse, R. ve Runkler, T., 2000, *Fuzzy cluster analysis*, John Wiley&Sons, Chichester.
- Hsieh, K. ve Tien F., 2004, Self-organizing feature maps for solving location-allocation problems with rectilinear distances, *Computers and Operations Research*, 31, 1017-1031.
- Hsu, C., Kannan, V.R., Tan, K.C. ve Leong, G.K., 2008, Information sharing, buyer–supplier relationships, and firm performance, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 38 (4), 296–310.
- Islam, D.Z., Meier, J.F., Aditjandra, P.T., Zunder, T.H. ve Pace, G., 2013, Logistics and supply chain management, *Research in Transportation Economics*, 41(1), 3-16.
- Jabali, O., Van Woensel, T. ve de Kok, A., 2012, Analysis of travel times and CO<sub>2</sub> emissions in time-dependent vehicle routing, *Production and Operations Management*, 21(6), 1060–1074.
- Jayal, A.D., Badurdeen, F., O.W. Dillon Jr. ve Jawahir, I.S., 2010, Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process and system levels, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2(3),144–152.
- Jayaraman, V., Patterson, R.A. ve Rolland, E., 2003, The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures, *European Journal of Operational Research*, 150, 128–149.
- Jindal, A. ve Sangwan, K.S., 2013, Development of an interpretive structural model of drivers for reverse logistics implementation in Indian industry, *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, 5(4):325–42.
- Jones, D. ve Womack, J., 2009, *Seeing the whole, mapping the extended value stream*, Lean Enterprise Institute, USA.

- Kannan, D., Diabat, A., Alrefaei, M., Govindan, K. ve Yong, G., 2012, A carbon footprint based reverse logistics network design model, *Resources, Conservation and Recycling*, 67, 75–79.
- Kara, S., Rugrungruang, F. ve Kaebernick, H., 2007a, Simulation modelling of reverse logistics networks, *International Journal of Production Economics*, 106, 61-69.
- Kara, I., Kara, B.Y. ve Yetis, M.K., 2007b, Energy minimizing vehicle routing problem, *Combinatorial Optimization and Applications, Lecture Notes in Computer Science*, 4616, 62–71.
- Karaboğa, D., 2011, *Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları*, Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Karaboğa, D., 2005, An idea based on honey bee swarm for numerical optimization, *Technical Report TR06, Computer Engineering Department, Engineering Faculty, Erciyes University*.
- Karaboğa, D. ve Akay, B., 2009, A survey: algorithms simulating bee swarm intelligence, *Artificial Intelligence Review*, 31(1-4), 61-85.
- Karaboga, D., ve Basturk, B., 2008, On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm, *Applied Soft Computing*, 8(1), 687–697.
- Karaboğa, D. ve Öztürk, C., 2011, A novel clustering approach: Artificial Bee Colony (ABC) algorithm, *Applied Soft Computing*, 11, 652-657.
- Karabulut, M. ve İbrikçi, T., 2011, Assessment of clustering algorithms for unsupervised transcription factor binding site discovery, *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11160-11166.
- Kashan, M.H., Nahavandi, N. ve Kashan, A.H., 2012, DisABC: A new artificial bee colony algorithm for binary optimization, *Applied Soft Computing Journal*, 12(1), 342-352.
- Kek, A., Cheu, R. ve Meng, Q., 2008, Distance-constrained capacitated vehicle routing problems with flexible assignment of start and end depots, *Mathematical and Computer Modelling*, 47(1–2), 140–152.
- Kılıç, H.S., Cebeci, U. ve Ayhan, M.B., 2015, Reverse logistics system design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) in Turkey, *Resources, Conservation and Recycling*, 95, Pages 120–132.
- Kırca, O. ve Erkip, N., 1988, Selecting transfer station locations for large solid waste systems, *European Journal of Operational Research*, 35, 339-349.
- Kiang, M.Y. ve Fisher, D.M., 2008, Selecting the right MBA schools- An application of self-organizing map networks. *Expert Systems with Applications*, 35(3), 946-955.
- Kim, B., Kim, S. ve Sahoo, S., 2006, Waste collection vehicle routing problem with time windows, *Computers and Operations Research*, 33, 3624-3642.



- Kohonen, T., 2001, *Self Organizing Maps*, Springer, USA, ISBN: 3-540-67921-9
- Kopczak, L.R., 1997, Logistics partnership and supply chain restructuring: survey results from the US computer industry, *Production and Operations Management*, 6(3), 226-247.
- Kulcar, T., 1996, Optimizing solid waste collection in Brussels, *European Journal of Operational Research*, 90, 26–44.
- Kuo, Y. ve Wang, C. C., 2011, Optimizing the VRP by minimizing fuel consumption, *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 22(4), 440–450.
- Kurdve, M., Romvall, K., Bellgran, M. ve Torstensson, E., 2011, A systematic approach for identifying lean and green improvements related to packaging material in assembly. *4th Swedish Production Symposium*, SPS11, 3-5 Mayıs, Lund, İsveç.
- Kytojoki, J., Nuortio, T., Niska, H., Braysy, O. ve Gendreau, M., 2007, An efficient variable neighborhood search heuristic for very large scale vehicle routing problems, *Computers and Operations Research*, 34, 2743-57.
- Küçükdeniz, T., Baray, A., Ecerkale, K ve Esnaf, Ş., 2012, Integrated use of fuzzy-c means and convex programming for capacited multi-facility location problem, *Expert Systems with Applications*, 39(4), 4306-4314.
- Laporte, G., 1992, The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms, *European Journal of Operational Research*, 59, 345-358.
- Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J. ve Semet, F., 2000, Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem, *International Transactions in Operation Research*, 7, 285-300.
- Laporte, G., Nobert, Y. ve Arpin, D., 1984, Optimal solutions to capacitated multidepot vehicle routing problems, *Congressus Numerantium*, 44, 283–292.
- Lin, C., Choy, K.L., Ho, G.T.S., Chung, S.H. ve Lam, H.Y., Survey of green VRP problem: past and future trends, *Expert Systems with Applications*, 41, 1118-1138.
- Lin, H-Y., Chen, G-H., Lee, P-H. ve Lin, C-H., 2010, An interactive optimization system for the location of supplementary recycling depots, *Resources, Conservation and Recycling*, 54(10), 615–622.
- List, G. F. ve Mirchandani, P.B., 1991, An integrated network planar multiobjective model for routing and siting for hazardous materials and wastes, *Transportation Science*, 25, 146–156.
- Lo, S.M. ve Power, D., 2010, An empirical investigation of the relationship between product nature and supply chain strategy, *Supply Chain Management*, 15(2), 139–153.

- Lou, K. ve Wang, L., 2013, Optimal lot-sizing policy for a manufacturer with defective items in a supply chain with up-stream and down-stream trade credits , *Computers and Industrial Engineering*, 66(4), 1125–1130.
- Lu Z., Bostel, N. ve Dejax, P., 2005, The simple plant location problem with reverse flows, *Supply Chain Optimisation Applied Optimization*, 94, 2005, 151-166.
- Lu Z. ve Bostel, N., 2007, A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities, *Computers and Operations Research*, 34, 299–323.
- Lynch, D.F., Keller, S.B. ve Ozment, J.,2000,The effects of logistics capabilities and strategy on firm performance, *Journal of Business Logistics*, 21(2),47–67.
- McAuley, J., 1972, Machine Grouping for Efficient Production, *The Production Engineer*, 52, 53-57.
- Mangan, J., Lalwani, C. ve Butcher, T., 2008, *Global Logistics And Supply Chain Management*, John Wiley&Sons, USA.
- Mason, R., Simons, D., Peckham, C. ve Wakeman, T., 2002, Wise moves modelling report: life cycle modelling CO<sub>2</sub> emissions for lettuce, apples and cherries. UK Ulaştırma Bakanlığı, İngiltere.
- Mazzeo, S. ve I. Loiseau, 2004, An ant colony algorithm for the capacitated vehicle routing, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 18(1), 181–186.
- Min, H., Ko, C.S. ve Ko, H.J., 2006a, The spatial and temporal consolidation of returned products in a closed-loop supply chain network, *Computers and Industrial Engineering*, 51, 309–320
- Min, H., Ko, C.S. ve Ko, H.J., 2006b, A genetic algorithm approach to developing the multiechelon reverse logistics network for product returns, *Omega*, 34, 56–69.
- Miranda, P.A., Blazquez, C.A., Vergara, R. ve Weitzler, S., 2015, A novel methodology for designing a household waste collection system for insular zones, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation*,77, 227–247.
- Modares, A., Somhom, S. ve Enkawa, T., 1999, A self-organizing neural network approach for multiple traveling salesman and vehicle routing problems, *International Transactions in Operational Research*, 6(6), 591-606.
- Mohrechi, K. ve Hatamlou, A., 2015, Locating optimal places for emergency medical centers using artificial bee colony algorithm, *Journal of Advances in Computer Research Quarterly*, 6(1), 115-124.
- Murphy, P., 1986, A preliminary study of transportation and warehousing aspect of reverse distribution, *Transportation Journal*, 25(4),12-24.
- Murphy, P. ve Poist, R., 2003, Green perspectives and practices: A comparative logistics study, *International Journal of Supply Chain Management*, 8(2), 122–131.

- Nagy, G. ve Salhi, S., 2007, Location-routing: Issues, models and methods, *European Journal of Operational Research*, 177, 649-672.
- Nagy, G. ve Salhi, S., 2005, Heuristic algorithms for single and multiple depotvehicle routing problems with pickups and deliveries, *European Journal of Operational Research*, 162, 126–141.
- Nash, M. ve Poling, S.R., 2008, *Mapping The Total Value Stream*, Productivity Press, Taylor&Francis Group, USA.
- Negresios, M. ve Palhano, A., 2006, The capacitated centered clustering problem, *Computers and Operations Research*, 33, 1639–1663
- Nema, A. K. ve Gupta, S. K. , 1999, Optimization of regional hazardous waste management systems: an improved formulation, *Waste Management*, 19, 441-451.
- Nuortio, T., Kytöjoki, J., Niska, H. ve Braysy, O., 2006, Improved route planning and scheduling of waste collection and transport, *Expert Systems with Applications* , 30, 223-32.
- Nuriyev, U.G. ve Sadıgova, H.G., 2002, Hesaplanabilirlik, *Matematik Dünyası*, 11, 12-16.
- Ohno, T., 1988, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press, Portland, USA.
- Osman, I. H., 1993, Meta strategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem, *Annals of Operations Research*, 41(1-4), 421–451.
- Paju, M., Heilala, J., Hentula, M., Hekkla, A., Johansson, B., Leong, S. ve Lyons, K.W., 2010, eds.; Framework and indicators for a sustainable manufacturing mapping methodology, *2010 Winter Simulation Conference* , 5-8 Aralık, Baltimore.
- Park, Y-B. ve Hong, S-C., 2003, A performance evaluation of vehicle routing heuristics in a stochastic environment, *International Journal of Industrial Engineering: Theory Applications and Practice*, 10(4), 435–441.
- Pham, D.T., Otri, S., Afify, A., Mahmuddin, M. ve Al-Jabbouli, H., 2007, Data clustering using the bees algorithm, *40th CIRP International Manufacturing Systems Seminar*, 30 Mayıs – 1 Haziran, Liverpool, İngiltere.
- Pradenas, L., Oportus, B. ve Parada, V., 2013, Mitigation of greenhouse gas emissions in VRP with backhauling, *Expert Systems with Applications*, 40, 2985-2991.
- Prahinski, C. ve Benton, W.C., 2004, Supplier evaluations: communication strategies to improve supplier performance, *Journal of Operations Management*, 22, 39–62.
- Prahinski, C. ve Kocabaşoğlu, C., 2006, Empirical research opportunities in reverse supply chains, *Omega*, 34(6), 519-532.
- Rahman, M., Radwan, A. E., Upchurch, J. ve Kuby, M., 1992, Modeling spatial impacts of siting a NIMBY facility, *Transportation Research Record*, 1359, 133-140.

- Rahman, S. ve Subramanian, N., 2012, Factors for implementing end-of-life computer recycling operations in reverse supply chains, *International Journal of Production Economics*, 140(1), 239–48.
- Ramos, T.R.P., Gomes, M.I. ve Barbosa-Póvoa, A.P., 2014, Economic and environmental concerns in planning recyclable waste collection systems, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 62, 34–54.
- Ramos, T.R.P., Gomes, M.I. ve Barbosa-Póvoa, A.P., 2013, Planning waste oil collection systems, *Waste Management*, 33(8), 1691-1703.
- Ramos, T. ve Oliveira, R., 2011, Delimitation of service areas in reverse logistics networks with multiple depots, *Journal of the Operational Research Society*, 62, 1198–1210.
- Ravi, V., Shankar, R. ve Tiwari, M.K., 2005, Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach, *Computers and Industrial Engineering*, 48(2), 327–56.
- Rodrigues, A.M., Stank, T.P. ve Lynch, D.F., 2004, Linking strategy, structure, process, and performance in integrated logistics, *Journal of Business Logistics*, 25(2), 65–94.
- Rogers, D.S. ve Tibben-Lembke, R., 2001, An examination of reverse logistics practices, *Journal of Business Logistics*, 22(2), 129-147.
- Rother, M. ve Shook, J., 1998, *Learning to See*, The Lean Enterprise Institute, USA.
- Sadrnia, A, Soltani, H.R., Zulkifli, N., Ismail, N. ve Ariffin M.K.A., 2014, A review of nature-based algorithms applications in green supply chain problems, *International Journal of Engineering and Technology*, 6(3), 204-211.
- Saez, D., Cortes, C. E. ve Nunez, A., 2008, Hybrid adaptive predictive control for the multi-vehicle dynamic pick-up and delivery problem based on genetic algorithms and fuzzy clustering, *Computers and Operations Research*, 35, 3412–3438.
- Sahoo, S., Kim, S., Kim, B., Kraas, B. ve Popov JR., A., 2005, Routing optimization for waste management, *Interfaces*, 35(1), 24-36.
- Salema, M.I.G, Barbosa-Póvoa, A.P. ve Novais, A.Q., 2006, A warehouse-based design model for reverse logistics, *Journal of the Operational Research Society*, 57, 615–629.
- Salema, M.I.G., Barbosa- Póvoa, A.P. ve Novais, A.Q., 2007, An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty, *European Journal of Operational Research*, 179(3), 1063-1077.
- Samanlioğlu, F., 2013, A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem, *European Journal of Operational Research*, 226(2), 332–340.

- Santibañez-Aguilar, J.J., Ponce-Ortega, M., González-Campos, J.B., Serna-González, M. ve El-Halwagi, M.M., 2013, Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste, *Waste Management*, 33(12), 2607-2622.
- Sasikumar, K. ve Kannan, G., 2009, Issues in reverse supply chain, part III: classification and simple analysis, *International Journal of Sustainable Engineering*, 2(1), 2–27.
- Saunders, M.J., 1998, The comparative analysis of supply chains and implications for the development of strategies, *Seventh International IPSERA Conference*, London, 469-477.
- Sheu, J-B., Chen, Y-H. ve Lan, L.W., 2005, A novel model for quick response to disaster relief distribution, *Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 2454 – 2462.
- Scheuerer, S. ve Wendolsky, R., 2006, A scatter search heuristic for the capacitated clustering problem, *European Journal of Operational Research*, 169(2): 533-547.
- Shih, L. ve Chang, H., 2001, A routing and scheduling system for infectious waste collection, *Environmental Modeling and Assesment* , 6, 261-269.
- Simons, D., Mason, R. ve Nieuwenhuis,P., 2008, Lean and green supply chain mapping: adapting a lean management tool to the needs of industrial ecology, *Progress in Industrial Ecology Journal*, 5(4), 302-324.
- Simons, D. ve Mason, R., 2002, Environmental and transport supply chain evaluation with sustainable value stream mapping, *Logistics Research Network Conference Proceedings*, Birmingham, İngiltere.
- Simpson, D.F. ve Power, D.J., 2005, Use the supply relationship to develop lean and green suppliers, *Supply Chain Management: An International Journal*, 10(1), 60-68.
- Smith, L. ve Ball, P., 2012, Steps towards sustainable manufacturing through modelling material, energy and waste flows, *International Journal of Production Economics*, 140, 227-238.
- Son, L.H., 2014, Optimizing municipal solid waste collection using chaotic particle swarm optimization in GIS based environments: A case study at Danang city, Vietnam, *Expert Systems with Applications*, 41(18), 8062–8074.
- Sparks, D. ve Bauderdean, F., 2014, combining sustainable value stream mapping and simulation to assess supply chain performance, *2014 Industrial and Systems Engineering Research Conference*, 31 Mayıs- 3 Haziran, Montréal, Canada, 132-141.
- Srivastava, S., 2007, Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review, *International Journal of Management Reviews*, 9(1), 53-80.
- Srivastava, S., 2008, Network design for reverse logistics, *Omega*, 36(4), 535-548.

- Sundarakani, B., Souza, R., Goh, M., Wagner, S.M. ve Manikandan, S., 2010, Modelling carbon footprints across the supply chain, *International Journal of Production Economics*, 128, 43-50.
- Sule, D.R., 2001, *Logistics of Facility Location and Allocation*, Marcel Dekker, USA.
- Süral, H. ve Bookbinder, J.H., 2003, The single-vehicle routing problem with unrestricted backhauls, *Networks*, 41(3), 127–136.
- Talbi, E.G., 2009, *Metaheuristic: from design to implementation*, Wiley, USA, ISBN: 978-0-470-27858-1
- Tan, K.C., Kannan, V.J., Handfeld, R.B. ve Ghosh, S., 1999, Supply chainmanagement: an empirical study of its impact on firm performance, *International Journal of Operations and Production Management*, 19 (10), 1034-1052.
- Tan, P-N., Steinbach, M. ve Kumar, V., 2005, *Introduction to data mining*, Pearson & Addison Wesley, USA, ISBN-0-321-32136-7.
- Tapping, D., Luyster, T. ve Shuker, T., 2002, *Value Stream Management*, Productivity Press, New York.
- Tasan, A.S. ve Gen, M., 2012, A genetic algorithm based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries, *Computers and Industrial Engineering*, 62(3), 755-761.
- Tavakkoli, R. ve Shayan, E., 1998, Facilities layout design by genetic algorithms, *Computers and Industrial Engineering*, 35(3-4), 527-530.
- Teixeira, J., Antunes, A.P. ve de Souza, J.P., 2004, Recyclable waste collection planning—a case study, *European Journal of Operational Research*, 158, 543–554.
- Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 2005, TC. Şehircilik ve Çevre Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Resmi Gazete Tarihi: 22.07.2005 Resmi G. Sayısı: 25883, <http://www.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/TibbiAtiklar%C3%84%C2%B1nKontroluYonetmeli.pdf> [Ziyaret tarihi: 14 Nisan 2015].
- Toth, P. ve Vigo, D., 2002, *The vehicle routing problem*, Society for Industrial and Applied Mathematics, USA, ISBN:0-89871-498-2
- Toth, P. ve Vigo, D., 1999, A heuristic algorithm for the symmetric and asymmetric vehicle routing problem with backhauls, *European Journal of Operational Research*, 113, 528–543.
- Torki, A., Somhon, S. ve Enkawa, T., 1997, A competitive neural network algorithm for solving vehicle routingproblem, *Computers and Industrial Engineering*, 33(3–4), 473-476.
- Torres, A. ve Gati, A., 2009, Environmental Value Stream Mapping EVSM as sustainability management tool, *Portland International Center for Management of Engineering and Technology Conference 2009*, 2-6 Ağustos, Portland, 1689-1698.

- Tunçbilek, N., Taşgetiren, F. ve Esnaf, Ş., 2012, Artificial Bee Colony optimization algorithm for uncapacitated facility location problems, *Journal of Economic and Social Research*, 14, 1-24.
- Tung, D.V. ve Pinnoi, A., 2000, Vehicle routing-scheduling for waste collection in Hanoi, *European Journal Of Operational Research*, 125(3), 449-468.
- US-EPA, 2003, *Lean Manufacturing and the Environment: Research on Advanced Manufacturing Systems and the Environment and Recommendations for Leveraging Better Environmental Performance*, Report No: EPA100-R-03-005, Ekim 2003, <http://www.epa.gov/lean/environment/pdf/leanreport.pdf>, [Ziyaret tarihi: 14.04.2015].
- Van Breedam, A., 1995, Improvement heuristics for the vehicle routing problem based on simulated annealing, *European Journal of Operational Research*, 86(3), 480–490.
- Vickery, S.K., Jayaram, J., Droge, C. ve Calantone, R., 2003, The effect of an integrative supply chain strategy on customer service and financial performance: an analysis of direct versus indirect relationships *Journal of Operations Management*, 21, 523–539.
- Vincent, C., 2009, Back in circulation, *Quality Progress*, 42(3), 16-23.
- Wadhwa, S., Madaan, J. ve Chan, F.T.S., 2009, Flexible decision modeling of reverse logistics system: A value adding MCDM approach for alternative selection, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25(2), 460–469.
- Wang, Z., Yao, D-Q. ve Huang, P., 2007, A new location-inventory policy with reverse logistics applied to B2C e-markets of China, *International Journal of Production Economics*, 107, 350–363.
- Wills, B., 2009, *Green Intentions*, Productivity Press, USA, ISBN: 978-1-4200-8961-5.
- Womack, J. ve Jones, D., 2003, *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*, Simon&Schuster, USA.
- Zografos, K.G. ve Androutsopoulos, K. N., 2004, A heuristic algorithm for solving hazardous materials distribution problems, *European Journal of Operational Research*, 152, 507–519.
- Zalik, K.R., 2006, Fuzzy C-means Clustering and Facility Location Problems, *10th IASTED Conference Artificial Intelligence and Soft Computing*, 28–30 Augustos 2006, İspanya.
- Zhang, J. ve Chen, J., 2013, Supplier selection and procurement decisions with uncertain demand, fixed selection costs and quantity discounts, *Computers and Operations Research*, 40(11), 2703-2710.

- Zhang, S. Z. ve Lee, C.K.M., 2013, Optimization of facility location problem in reverse logistics network using artificial bee colony algorithm, *Proceedings of the 2013 IEEE*, 14-19 Nisan, Turin, İtalya.
- Zhang, C., Ouyang, D. ve Ning J., 2010, An artificial bee colony approach for clustering, *Expert Systems with Applications*, 37, 4761–4767.
- Zou, W., Zhu, Y., Chen, H. ve Sui, X., 2010, A clustering approach using cooperative artificial bee colony algorithm, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Article ID 459796, 1-15.



## EKLER

### EK 1. ARAÇ ATAMA MODELİ GAMS KODU VE ÖRNEK PROBLEM İLE MODELİN DOĞRULANMASI

#### A. Tüm araçların öbeklere dağıldığı, servis kabiliyetini arttıran model;

##### SETS

I all clusters /1\*3/  
 k vehicles /1\*10/ ;

##### PARAMETERS

cw(I) total waste amount of cluster I (kg)  
 / 1 1320  
 2 6200  
 3 8900 /  
 q(k) capacity of vehicle k  
 /1 2500  
 2 2500  
 3 2500  
 4 3000  
 5 3000  
 6 2000  
 7 2000  
 8 1500  
 9 1500  
 10 1500/ ;

##### VARIABLES

X(I,k) binary variable indicating if vehicle k is assigned to cluster i  
 S(I) slack capacity in a cluster  
 Z total slack of assigned vehicles;

##### BINARY VARIABLE X;

##### EQUATIONS

objfn defines objective function  
 constraint1 ensures that the number of assigned vehicles equals to the number of vehicles  
 constraint2(I) all the load in the cluster could be collected by the assigned vehicles  
 constraint3(k) vehicle k can only be assigned to one cluster  
 constraint4(I) slack capacity calculation ;  
 objfn.. z =e= sum (I, sum (k, X(I,k)\*q(k))-cw(I));  
 constraint1.. sum((I,k), X(I,k)) =e= card(K) ;  
 constraint2(I).. cw(I) =l= sum( k, q(k)\*X(I,k));  
 constraint3(k).. sum( I, X(I,k)) =e= 1;  
 constraint4(I).. S(I)=e= sum (k, X(I,k)\*q(k)) - cw(I);

```

MODEL MODEL_Vehicleassignment /ALL/;
OPTIONS DECIMALS = 2, LIMROW = 20, LIMCOL = 20, SOLPRINT = OFF,
SYSOUT = OFF,
ITERLIM = 1.e9, OPTCR=0.001, RESLIM = 7200;
MODEL_Vehicleassignment.optfile = 1;
SOLVE MODEL_Vehicleassignment using MIP minimizing Z;
DISPLAY Z.L,X.L,S.L;

```

### Örnek problem;

Toplam araç sayısı= 10adet

Araç kapasiteleri (kg);

$$\begin{array}{ll}
 q_1 = 2500 & q_6 = 2000 \\
 q_2 = 2500 & q_7 = 2000 \\
 q_3 = 2500 & q_8 = 1500 \\
 q_4 = 3000 & q_9 = 1500 \\
 q_5 = 3000 & q_{10} = 1500
 \end{array}$$

$i$  öbeğindeki toplam atık miktarı (kg)

$$cw_1 = 1320 \text{ kg}$$

$$cw_4 = 6200 \text{ kg}$$

$$cw_6 = 8900 \text{ kg}$$

Çıktılar:

Amaç fonksiyonu değeri (Toplam atıl kapasite);

$$z = 5580 \text{ kg}$$

Atanan araç sayısı = 10 araç

Öbekler	Atanan Araç No:	Araç sayısı	Atıl kapasite (kg)
1	8(1500kg),9(1500kg), 10(1500)	3	3180
2	1(2500), 2(2500kg), 3(2500)	3	1300
3	4(3000kg), 5(3000kg), 6(2000), 7(2000kg)	4	1100
<b>TOPLAM:</b>		<b>10</b>	<b>5580</b>

**Çıktı dosyası;**

Proven optimal solution.

MIP Solution: 5580.000000 (13 iterations, 0 nodes)

Final Solve: 5580.000000 (0 iterations)

Best possible: 5580.000000

Absolute gap: 0.000000

Relative gap: 0.000000

\*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT  
 0 INFEASIBLE  
 0 UNBOUNDED

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 05/09/15 14:50:13 Page 6  
 General Algebraic Modeling System  
 Execution

---- 48 VARIABLE Z.L = 5580.00 total slack of assigned vehicles

---- 48 VARIABLE X.L binary variable indicating if vehicle k is assigned to  
 cluster i

	1	2	3	4	5	6
2	1.00	1.00	1.00			
3				1.00	1.00	1.00

+ 7 8 9 10

1		1.00	1.00	1.00
3	1.00			

---- 48 VARIABLE S.L slack capacity in a cluster

1 3180.00, 2 1300.00, 3 1100.00

EXECUTION TIME = 0.016 SECONDS

**B. Minimum sayıda aracın öbeklere atandığı, işletim maliyetlerini azaltan model;**

SETS

I all clusters /1\*3/  
k vehicles /1\*10/ ;

PARAMETERS

cw(I) total waste amount of cluster I (kg)

/ 1 1320  
2 6200  
3 8900 /

q(k) capacity of vehicle k

/1 2500  
2 2500  
3 2500  
4 3000  
5 3000  
6 2000  
7 2000  
8 1500  
9 1500  
10 1500/ ;

VARIABLES

X(I,k) binary variable indicating if vehicle k is assigned to cluster i  
S(I) slack capacity in a cluster  
Z total slack of assigned vehicles;

BINARY VARIABLE X;

EQUATIONS

objfn defines objective function  
constraint1 ensures that the number of assigned vehicles cannot exceed the number of vehicles  
constraint2(I) all the load in the cluster could be collected by the assigned vehicles  
constraint3(k) vehicle k can only be assigned to one cluster  
constraint4(I) slack capacity calculation

objfn.. z =e= sum (I, sum (k, X(I,k)\*q(k))-cw(I));

constraint1.. sum((I,k), X(I,k)) =l= card(K) ;

constraint2(I).. cw(I) =l= sum( k, q(k)\*X(I,k));

constraint3(k).. sum( I, X(I,k)) =l= 1;

constraint4(I).. S(I)=e= sum (k, X(I,k)\*q(k)) - cw(I);

MODEL MODEL\_Vehicleassignment /ALL/;

OPTIONS DECIMALS = 2, LIMROW = 20, LIMCOL = 20, SOLPRINT = OFF,  
SYSOUT = OFF,

ITERLIM = 1.e9, OPTCR=0.001, RESLIM = 7200;

MODEL\_Vehicleassignment.optfile = 1;

SOLVE MODEL\_Vehicleassignment using MIP minimizing Z;

DISPLAY Z.L,X.L,S.L;

**Örnek problem;**

Toplam araç sayısı= 10adet

Araç kapasiteleri (kg);

$$q_1 = 2500 \quad q_6 = 2000$$

$$q_2 = 2500 \quad q_7 = 2000$$

$$q_3 = 2500 \quad q_8 = 1500$$

$$q_4 = 3000 \quad q_9 = 1500$$

$$q_5 = 3000 \quad q_{10} = 1500$$

$i$  öbeğindeki toplam atık miktarı (kg)

$$cw_1 = 1320 \text{ kg}$$

$$cw_4 = 6200 \text{ kg}$$

$$cw_6 = 8900 \text{ kg}$$

Çıktılar:

Amaç fonksiyonu değeri (Toplam atıl kapasite);

$$z = 580 \text{ kg}$$

Atanmayan araçlar; Araç no 1(2500kg) ve Araç no 3(2500kg)

Atanan araç sayısı = 8 araç

Öbekler	Atanan Araç No:	Araç sayısı	Atıl kapasite (kg)
1	9(1500kg)	1	180
2	5(3000kg), 7(2000kg), 8(1500kg)	5	300
3	2(2500kg), 4(3000kg) 6(2000), 10(1500)	4	100
<b>TOPLAM:</b>		<b>10</b>	<b>580</b>

**Çıktı dosyası;**

Proven optimal solution.

MIP Solution: 580.000000 (10 iterations, 0 nodes)

Final Solve: 580.000000 (0 iterations)

Best possible: 580.000000

Absolute gap: 0.000000

Relative gap: 0.000000

\*\*\*\* REPORT SUMMARY : 0 NONOPT

0 INFEASIBLE

0 UNBOUNDED

GAMS Rev 235 WIN-VS8 23.5.1 x86/MS Windows

05/09/15 15:00:10 Page 6

General Algebraic Modeling System

Execution

---- 48 VARIABLE Z.L = 580.00 total slack of assigned vehicles

---- 48 VARIABLE X.L binary variable indicating if vehicle k is assigned to

cluster i

	2	4	5	6	7	8
2			1.00		1.00	1.00
3	1.00	1.00		1.00		

+ 9 10

1 1.00

3 1.00

---- 48 VARIABLE S.L slack capacity in a cluster

1 180.00, 2 300.00, 3 100.00

EXECUTION TIME = 0.031 SECONDS

## EK 2. ARAÇ ROTALAMA MODELİ GAMS KODU VE ÖRNEK PROBLEM İLE MODELİN DOĞRULANMASI

### SETS

I index of all nodes /0\*38/  
 IC(I) index of all hospital nodes AND the garage /0\*37/  
 IY(I) index of sterilization nodes /38/  
 K index of all vehicles /1\*3/  
 G days of a week /1\*7/;

ALIAS(I, J);

ALIAS(IC, IC2, IC3);

### SCALARS

TS daily time limit (min) / 360 /  
 v speed of vehicles (km per min) / 1.0 /  
 wt collection time per kg (min) / 0.1 /  
 TotWaste max amount of waste in the system  
 BigM a very big number (small enough so as not to cause scaling problem)  
 LatestReturnTime the latest return time of a vehicle to the garage  
 numlandfill number of sterilization facilities  
 myvecid vehicle ID number  
 myvecload vehicle load  
 deptime vehicle departure time from IC or arrival time to IY

numlandfill = CARD(IY);

### PARAMETERS

Q(k) vehicle capacity (kg)  
 /1 3000  
 2 3000  
 3 1500/

table qh\_weekly(i,G)

\$ondelim

\$include AS1\_weekly.csv

\$offdelim;

parameter qh(I) amount of waste to be collected at node i (kg);

qh(I)=qh\_weekly(i,'5');

TABLE dist(I,J) the distances between nodes i and j (km)

\$ondelim

\$include AS1\_dist.csv

\$offdelim ;

display dist;

parameter TotWaste;

TotWaste=sum(IC,qh(IC));

### VARIABLES

$X(I,J,k)$  binary variable indicating if node  $j$  is visited immediately after node  $i$  by vehicle  $k$   
 $Z$  total distance  
 $T(I,k)$  arrival time of nodes by vehicle  $k$   
 $F(I,J,k)$  the flow of waste from node  $i$  to node  $j$  carried by vehicle  $k$   
 $UC(K)$  Unused capacity of vehicle  $k$ ;  
 BINARY VARIABLE  $X$ ;  
 POSITIVE VARIABLE  $A,F,T,UC$ ;;  
 $BIGM = SMAX((I, J), TS + wt * qh(I) + (dist(I,J)/v));$

## EQUATIONS

OBJECTIVE Define objective function  
 ENTERALL(IC) To ensure that exactly one arc (one arc and one vehicle) enters to each supply node  
 EXITALL(IC) To ensure that exactly one arc exits from each supply node  
 ENTERALL\_DEMANDZERO(IC) Dont enter to zero demand node  
 EXITALL\_DEMANDZERO(IC) Dont exit from zero demand node  
 ENTERALL\_STER(IY,K) One vehicle enters to the sterilization node only once  
 EXITALL\_STER(IY,K) No vehicle exits from the sterilization node  
 GARAGE\_TO\_STER(IY) No arc (no arc and no vehicle) between garage and the sterilization  
 GARAGE\_TO\_HOSP(IC)  
 START number of vehicles LEAVING GARAGE  
 FINISH(IY) number of vehicles entering ster.  
 ENTERLEAVE\_IC(IC,K) balance between incoming and outgoing arcs at any given supply node  
 CAPACITY(K) vehicle capacity constraint  
 LBOUND(I,J,k) constraint that defines the lowerbound for arrival time of a node  
 DEADLINE(IY,K) maximum tour duration constraint applicable to each vehicle route written for each sterilization node ;

OBJECTIVE..  $Z =E=$  (SUM(k, (SUM(IC\$(ORD(IC) GT 1), DIST('0',IC)\*X('0',IC,k)))) + SUM(k, SUM(IC\$(ORD(IC) GT 1), SUM(IS\$(ORD(I) GT 1 AND ORD(I) NE ORD(IC)), dist(IC,I)\*X(IC,I,k)))) + SUM(IY, dist(IC,IY)\*SUM (k, SUM(IC\$(ORD(IC) GT 1), X(IC,IY,k)))));

ENTERALL(IC)\$ (ORD(IC) GT 1 AND qh(IC) GT 0).. SUM((K,IC2)\$ (ORD(IC2) NE ORD(IC)), X(IC2,IC,k)) =E= 1;  
 EXITALL(IC)\$ (ORD(IC) GT 1 AND qh(IC) GT 0).. SUM((K,J)\$ (ORD(J) GT 1 AND ORD(J) NE ORD(IC)), X(IC,J,k)) =E= 1;  
 ENTERALL\_DEMANDZERO(IC)\$ (ORD(IC) GT 1 AND qh(IC) EQ 0).. SUM((K,IC2)\$ (ORD(IC2) NE ORD(IC)), X(IC2,IC,k)) =E= 0;  
 EXITALL\_DEMANDZERO(IC)\$ (ORD(IC) GT 1 AND qh(IC) EQ 0).. SUM((K,J)\$ (ORD(J) GT 1 AND ORD(J) NE ORD(IC)), X(IC,J,k)) =E= 0;  
 ENTERALL\_STER(IY,k).. SUM(IC\$(ORD(IC) GT 1), X(IC,IY,k)) =L= 1;  
 EXITALL\_STER(IY,k).. SUM(IC\$(ORD(IC) GT 1), X(IY,IC,k)) =E= 0;  
 GARAGE\_TO\_STER(IY).. SUM(K, X("0",IY,k)) =E= 0;



```

GARAGE_TO_HOSP(IC)$ (ORD(IC) GT 1).. SUM(K, X("0",IC,k)) =L= 1;
START.. SUM((IC,K)$ (ORD(IC) GT 1), X("0",IC,k)) =L= card(k);
FINISH(IY).. SUM((IC,K)$ (ORD(IC) GT 1), X(IC,IY,k)) =L= card(k);
ENTERLEAVE_IC(IC,K)$ (ORD(IC) GT 1).. SUM(IC2$(ORD(IC2) NE ORD(IC)),
X(IC2,IC,k)) =E= SUM(J$(ORD(J) GT 1 AND ORD(J) NE ORD(IC)), X(IC,J,k));
CAPACITY(K).. SUM((I,J)$ (ORD(I) NE ORD(J)),qh(I)*X(I,J,K))+
UC(K)=E=Q(K);
LBOUND(I,J,k)$ (ORD(J) GT 1 AND ORD(I) NE ORD(J)).. T(J,k) =G= T(I,k) + (wt
* qh(I) + (dist(I,J)/v))*X(I,J,k) - (1-X(I,J,k))* BIGM;
DEADLINE(IY,K).. T(IY,k) + wt * qh(IY) + (dist(IY,'0')/v) =L= TS;
T.FX('0',k)=0;

```

```

MODEL GG_VRP /ALL/ ;
OPTIONS DECIMALS = 2, LIMROW = 15, LIMCOL = 5, SOLPRINT = OFF,
SYSOUT = OFF,
MIP=CPLEX,
ITERLIM = 1.e9,
OPTCR=0.001,
RESLIM = 2000;
GG_VRP.optfile = 1;
GG_VRP.scaleopt= 1;
SOLVE GG_VRP USING MIP MINIMIZING Z ;
DISPLAY Z.L,X.L, T.L;

```

```

parameter Totdis;
Totdis=(SUM(k, (SUM(IC$(ORD(IC) GT 1), DIST('0',IC)*X.l('0',IC,k)))) + SUM(k,
SUM(IC$(ORD(IC) GT 1), SUM(I$(ORD(I) GT 1 AND ORD(I) NE ORD(IC)),
dist(IC,I)*X.l(IC,I,k))))+ SUM(IY, dist(IY,"0")*SUM (k, SUM(IC$(ORD(IC) GT 1),
X.l(IC,IY,k)))));
display "Total Distance: ", Totdis;
parameter Waste(K);
Waste(K)=SUM((I,J)$ (ORD(I) NE ORD(J)),qh(I)*X.l(I,J,K));
display "Total waste collected by vehicles: ", Waste;
parameter UT(K);
UT(K)=sum(I,T.l(I,K)*X.l('0',I,K))-sum(I,dist('0',I)*X.l('0',I,K)/v);
display UC.l;
display "Total unused time for vehicles: ", UT;
parameter UT_1(K);
UT_1(K)=TS - (SUM(IC$(ORD(IC) GT 1), DIST('0',IC)*X.l('0',IC,k)) +
SUM(IC$(ORD(IC) GT 1), SUM(I$(ORD(I) GT 1 AND ORD(I) NE ORD(IC)),
dist(IC,I)*X.l(IC,I,k)))
+ SUM(IY, dist(IY,"0")* SUM(IC$(ORD(IC) GT 1), X.l(IC,IY,k))))/v -
wt*Waste(K);
display UT_1;

```

**Örnek problem;****Araç kapasiteleri;**

$$Q_1 = 3000 \text{ kg}$$

$$Q_2 = 3000 \text{ kg}$$

$$Q_3 = 1500 \text{ kg}$$

Günlük zaman sınırı:  $TS = 360 \text{ dk}$

Ortalama araç sürati:  $v = 1 \text{ km/dk}$

$i$  ve  $j$  düğümleri arasındaki uzaklık (km);

$d_{ij}$ : distAS1.csv

$i$  düğümünde toplanan atık miktarı (kg);

$qh_{ig}$ : AS1weekly.csv;  $g=5$

Atık toplama süresi;

$$wt = 0.1 \text{ dk/kg}$$

Sistemdeki maksimum atık miktarı;

$$TotWaste = \sum_{i \in IC} qh_{ig}$$

$$BigM = \max_{i,j} \left\{ TS + wt qh_{ig} + \frac{d_{ij}}{v} \right\}$$

Çıktılar:

Amaç fonksiyonu değeri (Tüm rotalar için dolaşılan mesafe);

$$z = 158.15 \text{ km}$$

Toplanan atık miktarı;  $TotWaste = 6455 \text{ kg}$

1.aracın rotası;

0(garaj) – 17 – 31 – 27 – 20 – 16 – 2 – 7 – 10 – 23 – 24 – 8 – 37 –  
38(sterilizasyon)

Toplam mesafe;

$$\sum_{\substack{i \in IC \\ i > 0}} d_{0i} X_{0i1} + \sum_{\substack{i \in IC \\ i > 0}} \sum_{\substack{j \in I \\ j > 0 \\ i \neq j}} d_{ij} X_{ij1} + \sum_{\substack{i \in IY \\ i > 0}} d_{i0} \sum_{\substack{j \in IC \\ j > 0}} X_{ji1} = 85.79 \text{ km}$$

Toplam yük ;

$$\sum_{\substack{i \in I \\ i \neq j}} \sum_{\substack{j \in I \\ i \neq j}} qh_{i3} X_{ij1} = 2640 \text{ kg}$$

Atıl kapasite;  $UC_1 = 360 \text{ kg}$

Atıl zaman;  $UT_1 = 10.21 \text{ dk}$

2.aracın rotası; 0(garaj) – 29 – 6 – 21 – 33 – 18 – 3 – 1 – 34 – 38 (sterilizasyon)

Toplam mesafe;

$$\sum_{\substack{i \in IC \\ i > 0}} d_{0i} X_{0i2} + \sum_{\substack{i \in IC \\ i > 0}} \sum_{\substack{j \in I \\ j > 0 \\ i \neq j}} d_{ij} X_{ij2} + \sum_{\substack{i \in IY \\ i > 0}} d_{i0} \sum_{\substack{j \in IC \\ j > 0}} X_{ji2} = 72.35 \text{ km}$$

Toplam yük ;

$$\sum_{\substack{i \in I \\ i \neq j}} \sum_{\substack{j \in I \\ i \neq j}} qh_{i3} X_{ij2} = 2715 \text{ kg}$$

Atıl kapasite;  $UC_2 = 285 \text{ kg}$

Atıl zaman;  $UT_2 = 16.15 \text{ dk}$

3.aracın rotası; 0(garaj) – 26 – 38 (sterilizasyon)

Toplam mesafe;

$$\sum_{\substack{i \in IC \\ i > 0}} d_{0i} X_{0i3} + \sum_{\substack{i \in IC \\ i > 0}} \sum_{\substack{j \in I \\ j > 0 \\ i \neq j}} d_{ij} X_{ij3} + \sum_{\substack{i \in IY \\ i > 0}} d_{i0} \sum_{\substack{j \in IC \\ j > 0}} X_{ji3} = 0.01 \text{ km}$$

Toplam yük ;  $\sum_{\substack{i \in I \\ i \neq j}} \sum_{\substack{j \in I \\ i \neq j}} qh_{i3} X_{ij3} = 1100 \text{ kg}$

Atıl kapasite;  $UC_3 = 400 \text{ kg}$

Atıl zaman;  $UT_3 = 250 \text{ dk}$

CO<sub>2</sub> emisyonları;

$$\varphi_1 = 85.79 \text{ km} \times 0.493 \text{ kg/km} = 42.29 \text{ kg}$$

$$\varphi_2 = 72.35 \text{ km} \times 0.493 \text{ kg/km} = 35.67 \text{ kg}$$

$$\varphi_3 = 0.01 \text{ km} \times 0.308 \text{ kg/km} = 0.003 \text{ kg}$$

Toplam CO<sub>2</sub> emisyonu = 77.97 kg

**Çıktı dosyası;**

MIP Solution: 65.136005 (7477823 iterations, 622294 nodes)  
 Final Solve: 65.136005 (0 iterations)  
 Best possible: 65.070869  
 Absolute gap: 0.065136  
 Relative gap: 0.001000  
 ---- 211 VARIABLE Z.L = 65.14 total distance  
 ---- 211 VARIABLE X.L binary variable indicating if node j is visited immediately after node i by vehicle k

	1	2	3
0.17	1.00		
0.29		1.00	
0.34			1.00
1.38		1.00	
2.7	1.00		
3.1		1.00	
6.21		1.00	
7.10	1.00		
8.37	1.00		
10.23	1.00		
16.2	1.00		
17.31	1.00		
18.3		1.00	
20.16	1.00		
21.33		1.00	
23.24	1.00		
24.8	1.00		
26.38			1.00
27.20	1.00		
29.6		1.00	
31.27	1.00		
33.18		1.00	
34.26			1.00
37.38	1.00		

---- 219 Total Distance:  
     PARAMETER Totdis = 158.15  
 ---- 225 Total waste collected by vehicles:  
 ---- 225 PARAMETER Waste  
 1 2640.00, 2 2315.00, 3 1500.00  
 ---- 231 VARIABLE UC.L Unused capacity of vehicle k  
 1 360.00, 2 685.00  
 ---- 232 Total unused time for vehicles:  
 ---- 232 PARAMETER UT  
 1 10.21, 2 56.15, 3 210.00  
 ---- 239 PARAMETER UT\_1  
 1 10.21, 2 56.15, 3 210.00

**EK.3. ASYA YAKASI HASTANELERİ ÖBEK VERİSİ**

No	ASYA ÖBEK 1	Enlem	Boylam	Atık (kg/hafta)
1	DRAGOS ŞİFA HASTANESİ	40.907302	29.15997	120
2	EMSEY HOSPİTAL KURTKÖY	40.924563	29.28996	2700
3	MALTEPE BÖLGE HASTANESİ	40.920777	29.13759	680
4	KAHRAMAN DİYALİZ MERKEZİ	40.878664	29.25963	200
5	KURTKÖY ERSOY HASTANESİ	40.966297	29.26971	1400
6	MALTEPE DEVLET HASTANESİ	40.936856	29.13498	550
7	REMEDY HOSPİTAL	40.878203	29.23674	550
8	PENDİK ŞİFA HASTANESİ	40.883101	29.23606	125
9	DELTA HOSPİTAL	40.946438	29.12516	700
10	TÜRKMED TUZLA DİYALİZ MERK.	40.858303	29.28644	250
11	SANCAKTEPE BÖLGE HASTANESİ	41.00865	29.33213	360
12	SAYGI HASTANESİ VE DOĞUMEVİ	40.969343	29.2578	740
13	ERSOY HASTANESİ	40.966711	29.26962	750
14	TÜRK MED DİYALİZ KARTAL	40.909896	29.203	550
15	SULTANBEYLİ DİYALİZ MERKEZİ	40.970559	29.26016	850
16	PENDİK HOSPİTAL	40.883775	29.2444	400
17	FATİH ÜNİVERSİTESİ SEMA UYGULAMA VE ARAŞT. HAST.	40.91031	29.13888	1970
18	KÜÇÜKYALI DİYALİZ MERKEZİ	40.941381	29.12911	300
19	MALTEPE ONUR DİYALİZ MERKEZİ	40.945556	29.12528	650
20	UĞUR DİYALİZ MERKEZİ	40.884022	29.24394	600
21	PENDİK BÖLGE HASTANESİ	40.912258	29.26008	2740
22	KURTKÖY DİYALİZ MERKEZİ	40.918969	29.30818	500
23	GİSPİR HASTANESİ	40.84836	29.29436	600
24	BOĞAZIÇI DİYALİZ MERKEZİ	40.866964	29.26777	200
25	MEDİCİNE HOSPİTAL ASYA	40.877217	29.26371	900
26	KARTAL EĞT. VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	40.915848	29.17229	7900
27	MARMARA ÜNİVERSİTESİ NÖROLOJİK BİLİMLER HAST.	40.950047	29.13882	720
28	PENDİK DEVLET HASTANESİ	40.866964	29.26777	480
29	MALTEPE ÜNİVERSİTESİ TIP FAK. MARMARA EĞT. HAST.	40.925358	29.13446	1150
30	SULTANBEYLİ DEVLET HAST.	40.965345	29.26574	1050
31	İST. MESLEK HASTALIKLARI HASTANESİ	40.94919	29.14036	45
32	İST. KARTAL YAVUZ SELİM DEVLET HASTANESİ	40.916347	29.17044	1655
33	İST. SÜREYYAPAŞA GÖĞÜS VE KALP DAMAR HAST. EĞT. HAST.	40.946495	29.14391	1550
34	İST. YAKACIK DOĞUM VE ÇOCUK HASTALIKLARI HAST.	40.918669	29.22048	1450
35	TUZLA DEVLET HASTANESİ	40.848245	29.30569	350
36	PENDİK DEVLET HAST. İSTASYON KLİNİKLERİ	40.880444	29.23716	250
37	KARTAL UMUT HASTANESİ	40.890278	29.1775	700
No	ASYA ÖBEK 2	Enlem	Boylam	Atık (kg/hafta)
1	ACIBADEM HASTANESİ	41.007302	29.0433	3200
2	ACADEMİK HOSPİTAL	41.019947	29.03456	600

3	KARTAL TÜRK KIZILAYI KAN MERKEZİ	41.02472	29.04139	2250
4	ÇAĞINER HASTANESİ	40.99603	29.04536	400
5	BEYKOZ (HAYAT?) DİYALİZ	41.10603	29.08435	250
6	İSTANBUL MEDİPOL HASTANESİ	41.004678	29.03487	1200
7	KADIKÖY ŞİFA HASTANESİ	40.988605	29.02662	500
8	MALTEPE ERSOY HASTANESİ	41.025928	29.02189	300
9	MEDİSTATE KAVACIK HASTANESİ	41.095122	29.09926	1550
10	ÇENGELKÖY MEDİVIA HAST.	41.052558	29.07614	450
11	YUNUS EMRE HASTANESİ	41.02322	29.01723	450
12	KADIKÖY FLORANCE NIGHTINGALE HAST.	40.98181	29.04179	1300
13	ATA DİYALİZ MERKEZİ	41.009309	29.03682	500
14	ÜSKÜDAR DEVLET HASTANESİ	41.01539	29.03857	1715
15	ÇAMLICA ÜNİVERSAL HASTANESİ	41.025006	29.05841	300
16	BEYKOZ DEVLET HASTANESİ	41.11101	29.08661	2130
17	DR. SİYAMİ ERSEK GÖĞÜS KALP VE DAMAR CERRAHİSİ HAST.	41.004152	29.02514	6425
18	HAYDARPAŞA NUMUNE EĞT. VE ARAŞT. HASTANESİ	41.005401	29.02123	6425
19	KOŞUYOLU KALP EĞT. VE ARAŞTIRMA HAST.	41.00694	29.03528	3850
20	MARMARA ÜNİVERSİTESİ PENDİK HASTANESİ	41.018523	29.04666	10950
21	VALİDEBAĞ DEVLET HASTANESİ	41.01223	29.04165	100
22	ZEYNEP KAMİL KADIN VE ÇOCUK HASTALIKLARI HAST.	41.015144	29.02494	3000
23	BAŞKENT ÜNİV. İST. UYGULAMA VE ARAŞT. MERKEZİ	41.021469	29.04148	1650
24	HOSPİTALTÜRK ÜSKÜDAR	41.025833	29.02167	450
25	G.A.T.A	41.002427	29.01931	2450
<b>No</b>	<b>ASYA ÖBEK 3</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Atık (kg/hafta)</b>
1	AVİCENNA ATAŞEHİR HASTANESİ	40.97915	29.10887	550
2	ATLAS HOSPİTAL	41.02411	29.10439	280
3	CENTRAL HOSPİTAL	40.96578	29.10049	1250
4	MEDİCANE HOSPİTAL ÇAMLICA	41.0249	29.08455	2550
5	HOSPİTALYUM ÇAMLICA	41.02392	29.08206	300
6	UZMAN DİYALİZ	40.982163	29.09607	400
7	ECHOMAR GÖZTEPE HASTANESİ	40.987997	29.06178	500
8	AFİYET HASTANESİ	41.024099	29.08413	900
9	TRANSMED DİYALİZ MERKEZİ	41.006816	29.07285	490
10	ÜMRANİYE ERDEM HASTANESİ	41.021444	29.11991	1300
11	ACIBADEM KOZYATAĞI HAST.	40.976885	29.0933	2250
12	HİSAR CONTİNANTAL HOSPİTAL	41.027134	29.1151	1480
13	NÖRO PSİKİYATRİ MERKEZİ	41.028559	29.11401	50
14	KOZYATAĞI DİYALİZ MERKEZİ	40.966143	29.10332	300
15	GÖZTEPE MEDİCAL PARK HAST.	40.990297	29.07774	4740
16	ATAŞEHİR MEMORİAL HASTANESİ	40.984463	29.10718	1150
17	FMC DİYALİZ MERKEZİ	41.011709	29.13579	450
18	ATAŞEHİR DİYALİZ MERKEZİ	40.98682	29.09924	550
19	İST. FATİH SULTAN MEHMET EĞT. ARAŞTIRMA HAST.	40.97004	29.10328	4300
20	İST. ERENKÖY FİZİK TEDAVİ VE REHABİLİTASYON HAST.	40.976044	29.08284	150

21	İST. ERENKÖY RUH SAĞLIĞI VE HASTALIKLARI HAST.	40.975203	29.08539	160
22	İST. GÖZTEPE EĞT. VE ARAŞTIRMA HAST.	40.985768	29.06621	8300
23	BAYINDIR HASTANESİ	40.96665	29.11048	940
24	ÜMRANİYE EĞT. VE ARAŞTIRMA HAST.	41.033115	29.10296	3250
25	YEDİTEPE ÜNİVERSİTESİ HASTANESİ	40.969757	29.10333	1800
26	KAYIŞDAĞI DARULACEZE HASTANESİ	40.977919	29.14748	50
27	ATAŞEHİR ŞİFA HASTANESİ	40.985031	29.109	950
28	ÇAMLICA ERDEM HASTANESİ	41.025081	29.08261	1750

**EK 4. AVRUPA YAKASI HASTANELERİ ÖBEK VERİSİ**

No	AVRUPA ÖBEK 1	Enlem	Boylam	Atık (kg/hafta)
1	ÇATALCA DEVLET HASTANESİ	28.4663	41.13514	350
2	ÖZEL SİLİVRİ HAYAT DİYALİZ MERKEZİ	28.20835	41.08007	560
3	ÖZEL SİLİVRİ KOLAN HASTANESİ	28.25854	41.07193	600
4	SİLİVRİ ANADOLU HASTANESİ	28.22491	41.08243	2050
5	SİLİVRİ DEVLET HASTANESİ	28.2501	41.07811	1750
6	SİLİVRİ HAYAT HASTANESİ	28.24178	41.07798	740
No	AVRUPA ÖBEK 2	Enlem	Boylam	Atık (kg/hafta)
1	ACIBADEM CAROUSEL HAST.	28.87301	40.96383	2555
2	ARNAVUTKÖY DEVLET HAST.	28.76153	41.1785	1050
3	AVCILAR HOSPİTAL	28.70931	40.99462	1830
4	AVİCENNA HOSPİTAL	28.88093	41.04077	1980
5	BAĞCILAR EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	28.87021	41.03027	7068
6	BAHAT HOSPİTAL	28.85941	41.10596	706
7	BAHÇELİEVLER DİYALİZ MERK.	28.86582	40.99798	480
8	BAHÇELİEVLER MEDİCALPARK HOSPİTAL	28.86283	40.9959	7250
9	BAKIRKÖY DEVLET (DR. SADI EĞT.) HASTANESİ	28.86596	40.99388	7750
10	BAKIRKÖY RUH SAĞ SINIR HASTALIKLARI EĞT. VE ARAŞT.	28.86089	40.987	2390
11	BAŞAKŞEHİR DEVLET HAST.	28.80899	41.11835	722
12	BATI BAHAT HOSPİTAL	28.79668	41.0509	850
13	BAYRAKTAR DİYALİZ MERKEZİ	28.87207	41.0238	340
14	BÜYÜKÇEKMECE DEVLET HAST.	28.59874	41.01264	300
15	BÜYÜKÇEKMECE KOLAN HAST.	28.58599	41.02165	900
16	DOĞAN HASTANESİ	28.79329	40.9868	900
17	DR. SADI AHMET HASTANESİ	28.78031	40.99959	70
18	ADLI TIP KURUMU	28.82978	40.99358	370
19	ESENYURT DEVLET HASTANESİ	28.66824	41.02911	1850
20	ETHİCA İNCİRLİ HASTANESİ	28.87276	40.99711	1500
21	GÜNGÖREN HASTANESİ VE DOĞUMEVİ	28.87174	41.02686	795
22	HALKALI DİYALİZ MERKEZİ	28.80374	41.03117	650
23	HOSPİTALİST BAĞCILAR	28.85496	41.03451	840
24	MEDICANA HOSPITALS HAZNEDAR	28.8701	41.0065	1575
25	IDC ULUSLAR ARASI DİYALİZ M.	28.72078	40.98128	850
26	INTERNATIONAL HOSPİTAL	28.83523	40.95961	1920
27	İLGİ HASTANESİ	28.86684	41.02095	980
28	ATAKENT ACIBADEM HASTANESİ	28.77702	41.03367	4750
29	KANUNİ SULTAN SÜL EĞİTİM VE AR. HASTANESİ	28.75994	41.05531	10480
30	İST. FİZİK TEDAVİ VE REHABİLİTASYON EĞT. VE ARŞ. HASTANESİ	28.85369	40.99503	685
31	İST. LEPRİ HASTANESİ	28.85868	40.98984	20
32	İST. MEHMET AKİF ERSOY GÖĞÜS	28.77741	41.03368	3450



	KALP DAMAR EĞT. ARAŞT. HASTANESİ			
33	İSTANBUL HOSPİTAL	28.803	41.05031	720
34	İSTANBUL MEDİPOL MEGA H.	28.84174	41.05879	5485
35	İSTANBUL SAFA HASTANESİ VE DOĞUMEVİ	28.85735	41.02279	1661
36	BAĞCILAR ŞİFA DİYALİZ MERK.	28.82948	41.02317	429
37	KOLAN HASTANESİ	28.87153	41.01398	340
38	LÜTFİYE NURİ BURAT DEVLET HASTANESİ	28.86699	41.09631	265
39	MEDİCALPARK SULTANGAZİ	28.86342	41.09928	600
40	MEDİCANA HOSPİTAL (AVCILAR)	28.72101	40.98098	2400
41	MEDİCANA INTERNATIONAL HOSPİTAL(B.DÜZÜ)	28.64641	41.01284	3500
42	MEGAMAR DİYALİZ MERKEZİ	28.85651	41.03153	250
43	MELTEM İSTANBUL DOĞUM VE ÇOCUK HASTANESİ	28.85684	41.02878	400
44	BAKIRKÖY DÜNYA GÖZ HAST.	28.87272	40.97434	420
45	NİSA HASTANESİ	28.83038	40.99928	1210
46	BEYLİKDÜZÜ MEDİLİFE HAST.	28.66244	41.00616	1950
47	AVRUPA HASTANESİ	28.74411	41.18253	150
48	BÜYÜKÇEKMECE KOÇ DİYALİZ	28.66512	41.00551	950
49	ÖZEL ATAKÖY HASTANESİ (ECHOMAR)	28.84078	40.99221	670
50	ÖZEL AVCILAR ANADOLU HAST.	28.7063	41.00555	650
51	ÖZEL BEYLİKDÜZÜ KOLAN HAST.	28.62858	41.00851	1350
52	ÖZEL ÇAMLIK HASTANESİ	28.86945	40.98953	380
53	ÖZEL ÇAPA HASTANESİ	28.93398	41.01336	1235
54	DİACARE DİYALİZ MERKEZİ	28.86765	41.05565	873
55	ESENCAN HASTANESİ	28.67666	41.03322	1200
56	ÖZEL ESENLER ENSAR HAST.	28.87602	41.04964	230
57	ÖZEL ESENLER GÜNEY HASTANESİ VE DOĞUMEVİ	28.87988	41.04367	630
58	ÖZEL ESENLER HAYAT HAST.	28.88215	41.03898	1210
59	ÖZEL GELİŞİM HASTANESİ	28.83945	41.02149	240
60	İLKE HASTANESİ	28.83757	40.99151	350
61	ÖZEL KOÇ DİYALİZ MERKEZİ	28.66591	41.00548	1100
62	ÖZEL MEDİCANA HOSPİTAL	28.87031	41.00636	1600
63	ÖZEL MEDİCİNE HOSPİTAL	28.83875	41.03016	1250
64	DOĞA HOSPİTAL	28.69636	41.01276	275
65	ÖZEL MEDİKARE BAĞCILAR DİYALİZ MERKEZİ	28.85684	41.04803	560
66	ÖZEL FMC AVCILAR 2 DİYALİZ MERKEZİ	28.76675	40.9886	500
67	ÖZEL ŞİFA DİYALİZ MERKEZİ (S.Gazi)	28.85844	41.1104	650
68	ÖZEL TEM HOSPİTAL	28.80186	41.06128	520
69	ÖZEL YENİBOSNA SAFA HAST.	28.83841	40.99918	2245
70	TEKDEN BAĞCILAR HASTANESİ	28.84491	41.04812	1110
71	REN TEK DİYALİZ MERKEZİ	28.84806	40.99224	505
72	RUMELİ HOSPİTAL	28.79841	41.00755	900
73	VİTAL HOSPİTAL	28.84341	41.02045	740
74	T.B.V. AHMET ERMİŞ HASTANESİ	28.88008	41.00122	1960
75	ACIBADEM AİLE HAST.	28.86732	40.99756	840
76	ULTRA DİYALİZ MERKEZİ	28.86757	40.99865	700

77	YAŞAM HASTANESİ	28.86489	41.00349	300
78	YENİ UFUK HASTANESİ	28.85593	41.03294	640
79	İKLİM HASTANESİ	28.85928	41.03566	840
80	SANTE PLUS HASTANESİ	28.89448	40.9983	600
No	<b>AVRUPA ÖBEK 3</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Atık (kg/hafta)</b>
1	1. ORDU GÜMÜŞSUYU ASKER HASTANESİ	28.99322	41.0541	110
2	ACIBADEM HASTANESİ FULYA	28.99945	41.05554	2630
3	ACIBADEM HASTANESİ MASLAK	29.02437	41.12742	3850
4	ALMAN HASTANESİ	28.98418	41.03347	335
5	AMERİKAN HASTANESİ	28.99514	41.05355	9050
6	AVRASYA HOSPİTAL	28.90685	41.00317	1376
7	AVRUPA (İSTANBUL) FLORANCE NIGHTINGALE	28.99611	41.06244	2280
8	AVUSTURYA SEN JORJ HAST.	28.97419	41.02427	100
9	BALAT MUSEVİ HASTANESİ	28.94533	41.03842	550
10	BALIKLI RUM HASTANESİ	28.9184	41.00008	4400
11	BALTALİMANI KEMİK HASTALIKLARI HASTANESİ	29.05348	41.09671	1380
12	KADIOĞLU HASTANESİ	28.99462	41.06292	300
13	BAYRAMPAŞA DEVLET HAST.	28.90276	41.04153	735
14	BEYOĞLU GÖZ HASTANESİ	28.97394	41.02501	386
15	BEZMİ ALEM VAKIF GUREBA EĞİTİM HASTANESİ	28.93403	41.01937	4710
16	CERRAHPAŞA TIP FAKÜLTESİ	28.94134	41.00456	5570
17	ÇEVRE HASTANESİ	29.00121	41.06725	200
18	ERKLİ DİYALİZ MERKEZİ	28.90478	41.00221	950
19	DORA HOSPİTAL	29.00032	41.05906	330
20	DUYGU HASTANESİ VE DOĞUMEVİ	28.90112	41.07159	830
21	ETİLER DÜNYA GÖZ HASTANESİ	29.03738	41.08239	330
22	FATİH DİYALİZ MERKEZİ	28.9454	41.02003	800
23	FATİH HASTANESİ VE DOĞUMEVİ	28.95056	41.0155	60
24	FLORANCE NIGHATINGALE H.	29.00406	41.06338	4950
25	FRANSIZ LAPE RUH VE SİNİR HASTALIKLARI HASTANESİ	28.98996	41.06262	250
26	GAZİOSMANPAŞA HASTANESİ	28.90811	41.05891	4060
27	GÜLTEPE AVİCENNA HASTANESİ	28.99363	41.08031	165
28	HASEKİ HASTANESİ	28.94399	41.00986	4250
29	HOSPİTALYUM ŞİŞLİ	28.98867	41.06083	405
30	İ.B.Ü. AVRUPA FLORANCE NIGHTINGALE	28.99612	41.06245	210
31	İST. DERİ TENASÜL HASTALIKLARI HASTANESİ	28.98496	41.00611	24
32	İST. EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ (SAMATYA)	28.93879	41.00278	5010
33	İST. EYÜP DEVLET HASTANESİ	28.94107	41.05714	750
34	İST. NİŞANTAŞI DİYALİZ MERK.	28.99512	41.05295	340
35	İST. OKMEYDANI EĞT. VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	28.97397	41.06555	6700
36	İST. TIP FAKÜLTESİ (ÇAPA) HAST	28.93438	41.01717	10600
37	İSTANBUL CERRAHİ HASTANESİ	28.99784	41.0556	900
38	İSTANBUL MEMORİAL HAST.	28.97255	41.06119	4150
39	UNİVERSAL AKSARAY HAST.	28.94991	41.00894	225

40	İSTİNYE DEVLET HASTANESİ	29.05558	41.11485	800
41	KAĞITHANE DEVLET HASTANESİ	29.00146	41.09229	720
42	KASIMPAŞA DENİZ HASTANESİ	28.96383	41.03271	170
43	MEDICAL PARK HOSPİTAL FATİH	28.95212	41.0148	1660
44	METROPOLİTAN FLORANCE NIGHTINGALE (BEŞİKTAŞ)	29.00399	41.06342	1875
45	OSMANOĞLU HASTANESİ	28.98537	41.05618	135
46	ÖZEL AVRUPA ŞAFAK HAST.	28.91253	41.05962	2300
47	ÖZEL BAHAT HALK HASTANESİ	28.89672	41.06788	580
48	ÖZEL BİLGE HASTANESİ	28.90737	41.06959	180
49	ÖZEL ÇAPA MEDİLİFE HAST.	28.93342	41.01486	315
50	ÖZEL EYÜP HALİÇ HOSPİTAL	28.94721	41.07758	850
51	ÖZEL GAZİ HASTANESİ	28.89859	41.10108	300
52	ÖZEL GAZİOSMANPAŞA DİYALİZ MERKEZİ	28.90828	41.05884	850
53	ÖZEL HALKALI KENT HASTANESİ	28.79398	41.03528	200
54	ÖZEL İSTANBUL ŞAFAK HAST.	28.89986	41.06563	1350
55	FINDIKZADE MEDİPOL HAST.	28.94032	41.01264	30
56	ÖZEL NİL METROPOL DİYALİZ MERKEZİ	28.97201	41.08171	840
57	ÖZEL RTS İSTANBUL AVRUPA DİYALİZ MERKEZİ	29.03036	41.08844	370
58	REN MED DİYALİZ MERKEZİ	29.01777	41.08211	380
59	RENİN DİYALİZ MERKEZİ	28.96476	41.05721	800
60	SARIYER İSMAİL AKGÜN DEVLET HASTANESİ	29.05683	41.16947	200
61	BAY PARK HOSPİTAL	28.89691	41.06739	120
62	SURP PIRGIÇ ERMENİ HAST.	28.91469	40.99419	810
63	SÜLEYMANİYE (semiha şakir) DOĞUMEVİ VE KADIN HAST. EĞT. VE ARAŞT.HAST.	28.91481	40.99578	1293
64	İ.Ü. KARDİYOLOJİ ENSTİTÜSÜ	28.94328	41.00914	610
65	ŞİŞLİ ETFAL EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	28.99001	41.05768	7550
66	NİŞANTAŞI HOSPİTAL	28.99445	41.04871	293
67	T.D.V. 29 MAYIS HASTANESİ	28.93784	41.02054	350
68	TAKSİM EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	28.98368	41.03296	2850
69	ALİBEY HOSPİTAL	28.92745	41.07873	175
70	TÜRKİYE GÖZ HASTANESİ	28.98189	41.06656	600
71	UMUT DİYALİZ MERKEZİ	28.91134	41.05536	420
72	YEDİKULE GÖĞÜS HAST. EĞT. VE ARAŞT. HASTANESİ	28.91984	41.00108	1410
73	YILDIZ ACADEMİ HASTANESİ	28.92952	41.0614	200
74	LİV HOSPİTAL	29.02926	41.06054	1700
75	ÖZEL FMC ŞİŞLİ DİYALİZ MERK.	28.98918	41.0584	850
76	ŞİŞLİ INTERNATIONAL KOLAN HASTANESİ	28.97891	41.06937	2150



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Zeynep Gergin
Uyruğu	T.C.
Doğum tarihi, Yeri	31.01.1975, Bakırköy
Telefon	0 532 365 71 24
E-mail	zgergin@gmail.com
Web adres	

### Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Doktora	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/ Endüstri Mühendisliği Doktora Pr.	2015
Yüksek Lisans	M.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü/Uluslararası Kalite Yönetimi Y.L. Pr.	2007
Lisans	İ.Ü. Mühendislik Fakültesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü	1995
Lise	İstanbul Özel Kültür Lisesi/Matematik	1991

### Makaleler / Bildiriler

Gergin Z. ve Esnaf Ş., 2013, Comparing the performance of different artificial intelligence based clustering algorithms in healthcare waste disposal location, *Proceedings of the 4th International Conference on Risk Analysis and Crisis Response*, 27-29 Ağustos 2013, 161-167, İstanbul.