



**TIBBİ ATIKLARIN GERİ KAZANIMI İÇİN TERSİNE LOJİSTİK AĞ
TASARIMI: İZMİR ÖRNEĞİ**

Senem KESİCİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2016

Senem KESİCİ tarafından hazırlanan “TIBBİ ATIKLARIN GERİ KAZANIMI İÇİN TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI: İZMİR ÖRNEĞİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof.Dr. Hadi GÖKÇEN

Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan : Yrd. Doç. Yeşim KALENDER

Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Yrd. Doç. Abdullah YILDIZBAŞI

Endüstri Mühendisliği, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 26/08/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Senem KESİCİ

26/08/2016

TIBBİ ATIKLARIN GERİ KAZANIMI İÇİN TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI: İZMİR ÖRNEĞİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Senem KESİCİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2016

ÖZET

Hammadde, yarı mamul, nihai ürün ve buna ilişkin bilgilerin tüketim noktasından üretim noktasına doğru, değer kazanımı veya uygun şekilde bertaraf edilmesini sağlamak amacıyla etkin akışını planlama, uygulama ve kontrol etme faaliyetleri olarak adlandırılan tersine lojistik, çevre sorunlarına etkin çözüm bulabilmek için ve yasal faktörlerin önem derecesinin, toplum bilincinin, çevreye olan duyarlılığın artmasıyla birlikte giderek önem kazanmaktadır. Diğer yandan atıklar içerisinde sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıklar, dinamik ve değişen bir veri tabanına sahip olması nedeniyle tahmin edilmesinin diğer atıklara göre daha zor olması, bu konuda çok fazla problem şartlarına anında cevap verebilecek matematiksel modellerle çalışılmamış olması, çevreye zararı riskinin yüksek olması, bu konuda çalışmayı daha gerekli hâle getirmektedir. Bir çok tıbbi atık tipi mevcuttur ve her bir tip atığın kendi riskleri ve uygun yok etme metodları vardır. Atık yönetimi teknolojisi geliştikçe, sağlık kurumlarınca üretilen atıkların çeşidinin artmasıyla da atıkları sınıflandırmak öncesinden daha zor hâle gelmekte ve atık yönetimi daha kompleks ve zor bir hâl almaktadır. Bunun yanında sağlık kurumlarından kaynaklanan atıkların çevreye olan risklerinden dolayı daha yakından izlenmesine ve geniş tıbbi servis sağlayıcılarını da içeren tıbbi atık ağı tasarımı önem verilmelidir. Dolayısıyla bu tezde tıbbi atıkların geri kazanımı için tersine lojistik ağ tasarımı yapılmıştır. Toplanan atıkların atık tiplerine göre işlem görüp tehlikesiz hâle getirilerek evsel atıklarla beraber nihai düzenli depo alanlarında bertaraf edildiği, minimum maliyetle optimal dağıtım kararlarının ve yeterli sayıda tesis açma kararlarının verildiği bir tersine lojistik ağ tasarımıyla ve ülkemizde tam etkin bir tıbbi atık yönetimi faaliyetlerinin yürütülememesi sebebiyle örnek ve öncü bir çalışma olması amaçlanmıştır. İzmir ili için üretilen tıbbi atıkların tersine lojistik ağ tasarımı yapılmış, literatürde yapılan çalışmalarla karşılaştırılmış ve önerilen modeller gerçek veriler yardımıyla GAMS paket programında çözülmüş, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve senaryo analizleri yapılarak İzmir ili için etkin bir atık yönetimi için önerilerde bulunulmuştur.

Bilim Kodu : 90620

Anahtar Kelimeler : Tıbbi atıklar, karışık tam sayılı programlama, tersine lojistik

Sayfa Adedi : 156

Danışman : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

REVERSE LOGISTICS NETWORK DESIGN FOR MEDICAL WASTE:

A CASE STUDY FOR İZMİR

(M. Sc. Thesis)

Senem KESİCİ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2016

ABSTRACT

Reverse logistics is raw materials, semi-finished and finished products and information in this regard starting at the consumption point and reaching the production point, the planning of an effective flow to ensure value recovery and appropriate disposal, application and controlling activities. Nowadays, reverse logistics has gained more and more importance in order to find effective solutions to environmental problems and because of an increase in the importance level of legal factors, public awareness and sensitivity to the environment. On the other hand, waste from health institutions, in comparison to other waste, has a dynamic and changing database. This is why the anticipation is harder and there are mathematical models that can respond immediately to many problems. Since it also has a higher risk of damage to the environment, this study is even more essential. There are many types of medical waste and each type has its own risks and appropriate destruction methods. As waste management technology evolves, the types of waste produced by institutions also increase. To classify those is even harder than before and waste management has become a more complex and difficult process. This is why great importance is placed on close monitoring of the risks of waste from health institutions to the environment and a medical waste network design including wide medical service providers. Therefore, this study contains a reverse logistics network for medical waste. The collected waste is treated according to type, is made safe and disposed together with household waste in the final regular storage area. This study is aimed to be exemplary and pioneering for the opening of a sufficient number of plants, which have a reverse logistics network design, with minimum costs and optimal distribution decisions in order to fulfil an effective implementation of medical waste management in our country. A design for a reverse logistics network for medical waste for the İzmir province was created. It was compared with the studies in literature and the suggested models were solved with the help of real data via the GAMS package program. The received results were evaluated and by carrying out scenario analyses, an effective waste management suggestion was created for the İzmir province.

Science Code : 90620

Key Words : Medical waste, mixed-integer programming, reverse logistics

Page Number : 156

Supervisor : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince değerli katkılarını ve desteklerini esirgemeyen, bana sabır gösteren, inanan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN'e, hiçbir zaman ne yapsam da haklarını ödeyemeyeceğim, koşulsuz sevgisini ve manevi desteğini esirgemeyen, en büyük şansım olan, her zaman bana inanan ve yanımda olan canım AİLEME, arkadaşlarım Tuğçe DÜZCE, Gözde ÖDEK ve Esra ÖZKAN AKSU'ya yine tezimde çok emeği geçen, bana yol gösteren canım arkadaşım Sema KAYAPINAR'a, İzmir'de yalnızlığımı paylaşan, her zaman yanımda olan, bana kucak açan akrabalarımın teşekkür ederim. Ayrıca tezimde veri toplama aşamasında yardımcı olan İzmir Büyükşehir Belediyesi ve Miroğlu Çevre A.Ş. çalışanlarına da teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
RESİMLERİN LİSTESİ	x
HARİTALARIN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Tıbbi Atık ve Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıklar için Literatür Taraması	5
2.2. Tersine Lojistik Ağ Tasarımı Literatür Taraması	14
2.3. Scope ve Web Of Science Veri Tabanında Tersine Lojistik Yayın İstatistikleri	19
3. TERSİNE LOJİSTİK	25
3.1. Tersine Lojistiğin Tanımı	25
3.2. Tersine Lojistiğin Önemi	26
3.3. Tersine Lojistik Ve İleri Lojistik Yönetimi	27
3.3.1. Tersine lojistiğin ileri lojistikten farkları	27
3.4. Neden Tersine Lojistik	28
3.5. Tersine Lojistik Ağ Tasarımı	30
3.6. Tersine Lojistikte Ürün Geri Kazanım Süreçleri	32

4. SAĞLIK KURULUŞLARINDAN KAYNAKLANAN ATIKLAR	37
4.1. Tıbbi Atık Kontrol Yönetmeliği Kapsam ve İçeriği	37
4.2. Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıkların İmhasının Önemi	39
4.3. Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atık Yönetimine İlişkin Genel Bilgiler..	40
4.3.1. Tıbbi atıkların yönetimine ilişkin ilkeler.....	40
4.3.2. Bakanlığın görev ve yetkileri	41
4.3.3. Mülki amirlerin görev ve yetkileri	41
4.3.4. Tıbbi atık üreticilerinin yükümlülükleri	42
4.3.5. Belediyelerin yükümlülükleri.....	43
4.4. Türkiye’de Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıkların Bertaraf Süreci	43
4.4.1. Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıkların toplanması ve taşınması...	43
4.4.2. Atıkların geçici depolanması.....	45
4.4.3. Tıbbi atıkların bertaraf alanına taşınması.....	47
4.4.4. Tıbbi atıkların bertaraf edilmesi belediyelerin sorumluluğu.....	48
4.4.5. Tıbbi atıkların bertarafı	49
4.4.6. Tıbbi atıkların bertaraf yöntemleri	50
4.5. Tıbbi Atık Yönetiminin Finansal Boyutları	54
4.6. Türkiye’de ve İzmir’de Tıbbi ve Katı Atıkların Durumu	55
4.6.1. İzmir katı atık tesisleri.....	63
4.6.2. İzmir tıbbi atık tesisleri	65
5. SAĞLIK KURULUŞLARINDAN KAYNAKLANAN ATIKLAR AĞ YAPISI İÇİN ÖNERİLEN MODEL	69
5.1. Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıklar Ağ Yapısı İçin Önerilen Model .	69
5.1.1. Sağlık kurumlarında üretilen tıbbi atıklar	70

Sayfa

5.2.2. Tıbbi atık üretim merkezlerinden büyük toplama merkezlerine sevkiyat	73
5.2.3. Büyük toplama merkezlerinden işleme merkezlerine sevkiyat.....	74
5.2.4. İşleme merkezlerinden düzenli depolama merkezine sevkiyat	75
6. MODELİN OLUŞTURULMASI.....	76
6.1. Model Parametrelerinin Belirlenmesi	77
6.1.1. İzmir’de sağlık kuruluşlarından toplanan tıbbi atık miktarları.....	78
6.1.2. Taşıma maliyetleri.....	80
6.1.3. Tesislerin kapasitelerinin belirlenmesi	81
6.1.4. Depo ve tesislerin sabit mâliyetlerinin belirlenmesi	86
6.2. Tıbbi Atıkların Tersine Lojistik Ağ Tasarımı Temel Model (Model 1)	91
6.3. Tıbbi Atıkların Tersine Lojistik Ağ Tasarımı (Model 2)	112
6.3.1. Model-2 için uygulama ve değerlendirme.....	116
6.4. Tıbbi Atıkların Tersine Lojistik Ağ Tasarımı Model (Model 3).....	125
6.4.1. Temel model (Model 3) için uygulama ve değerlendirme	129
6.5. Geliştirilen Modellerin Atık Değişim Oranlarına Göre Maliyetleri.....	135
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	137
KAYNAKLAR.....	139
EKLER	149
EK-1. Model 1, Model 2, Model 3 çözüm sonucu diyagramları	150
EK-2. Sağlık kurumlarından kaynaklanan atıkların sınıflandırılması.....	153
EK-3. Tıbbi atık kontrolü yönetmeliğine göre faaliyetleri sonucu atık oluşumuna neden olan sağlık kuruluşları.....	154
EK-4. Uzaklık matrisleri	155
ÖZGEÇMİŞ	156

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Sağlık kurumları atıkları literatür özeti	13
Çizelge 2.2. Ülkelere göre üretilen yıllık yatak başına atık miktarları.....	13
Çizelge 3.1. Tersine lojistik ve ileri lojistik arasındaki farklar	28
Çizelge 3.2. Tersine lojistik konusunda yapılan çalışmaların özet çizelgesi	31
Çizelge 4.2. Tıbbi atıklar ve kodları.....	60
Çizelge 6.1. İzmir sağlık kuruluşlarından tiplerine göre toplanan tıbbi atık miktarları .	79
Çizelge 6.2. İzmir ilçelere göre 2015 yılı toplanan tıbbi atık miktarları(gerçek veriler)	79
Çizelge 6.3. Toplama merkezleri kapasiteleri	82
Çizelge 6.4. Sterilizasyon merkezleri kapasiteleri	83
Çizelge 6.5. Yakma merkezleri kapasiteleri.....	84
Çizelge 6.6. Gömme merkezleri kapasiteleri	85
Çizelge 6.7. Düzenli depo kapasiteleri	86
Çizelge 6.8. Depo ve tesislerin sabit maliyetleri	86
Çizelge 6.9. Sterilizasyon merkezleri işlem ve sabit maliyetleri	88
Çizelge 6.10. Yakma merkezleri ülkelere göre maliyetleri.....	89
Çizelge 6.11. Yakma merkezleri sabit maliyet kalemleri	89
Çizelge 6.12. İzaydaş yakma ile bertaraf fiyatları.....	89
Çizelge 6.13. Yakma merkezleri sabit ve işlem maliyetleri.....	90
Çizelge 6.14. Gömme merkezleri sabit ve işlem maliyetleri	90
Çizelge 6.15. Model 1 toplama merkezleri atık miktarları.....	104
Çizelge 6.16. Model 1 atık üretim merkezlerinden toplama merkezlerine giden atık miktarları (yıl/ton)	105
Çizelge 6.17. Model 1 toplama merkezlerindeki toplam atık miktarları (yıl/ton)	106

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.18. Model 1 toplama merkezlerinden sterilizasyon merkezine giden atık miktarları (yıl/ton)	106
Çizelge 6.19. Model 1 toplama merkezlerinden gömme merkezine giden atık miktarları (yıl/ton)	107
Çizelge 6.20. Model 1 sterilizasyon merkezinden düzenli depolama alanına giden atık miktarları(yıl/ton)	107
Çizelge 6.21. Model 1 tıbbi atık artış ve azalış oranlarına göre açılacak olan tesisler...	111
Çizelge 6.22. Model 2 toplama merkezleri atık miktarları(yıl/ton)	119
Çizelge 6.23. Model 2 atık üretim merkezlerinden toplama merkezlerine giden atık miktarları (yıl/ton)	120
Çizelge 6.24. Model2 toplama merkezlerindeki toplam atık miktarları (yıl/ton)	121
Çizelge 6.25. Model 2 toplama merkezlerinden sterilizasyon merkezine giden atık miktarları.....	121
Çizelge 6.26. Model 2 toplama merkezlerinden gömme merkezine giden atık miktarları..	121
Çizelge 6.27. Sterilizasyon merkezlerinden düzenli depolama alanına giden atık miktarları.....	121
Çizelge 6.28. Tıbbi atık değişimlerine göre maliyetler ve açılacak olan tesisler	124
Çizelge 6.29. Model 3 tıbbi üretim merkezlerindeki atık miktarları(ton/yıl).....	130
Çizelge 6.30. Model 3 üretim merkezlerinden sterilizasyon merkezlerine taşınan atık miktarları(ton/yıl)	131
Çizelge 6.31. Model 3 sterilizasyon merkezlerindeki toplam atık miktarları(ton/yıl) ...	132
Çizelge 6.32. Depolama merkezlerindeki toplam atık miktarları(ton/yıl)	132
Çizelge 6.33. Model 3 atık değişim oranlarına göre açılacak olan tesisler	134
Çizelge 6.34. Açılacak tesisler	135

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Scope veri tabanı, tersine lojistik konusunda yapılan yayın sayıları	19
Şekil 2.2. Scope veri tabanı, tersine lojistik konusunda yapılan yayın sayıları	20
Şekil 2.3. Scope veri tabanı, tersine lojistik konusunda yapılan yayın sayıları	21
Şekil 2.4. Web of Science veri tabanında tersine lojistik başlığında yapılan yayın sayıları.....	22
Şekil 2.5. Web of Science veri tabanında tersine lojistik başlığında yapılan yayın sayıları.....	22
Şekil 2.6. Tıbbi atık ve lojistik başlığı üzerine yapılan çalışmaların alanlara göre dağılımı..	23
Şekil 2.7. Web of Science Tıbbi atık yönetimi başlığında yapılan çalışmaların ülkelere göre sayıları.....	23
Şekil 2.8. Web of science sağlık kurumlarından kaynaklanan atıkların yönetimi konusunda yapılan çalışmaların araştırma alanlarına göre dağılımı.....	24
Şekil 2.9. Sağlık kurumlarından kaynaklanan atıkların yönetimi ve lojistik alanında yapılan çalışma sayıları.....	24
Şekil 3.1. Atık yönetim hiyerarşisi.....	34
şekil 3.2. Tersine lojistik faaliyetlerinin temel akış diyagramı	35
Şekil 3.3. Tersine lojistik faaliyetler	35
Şekil 4.1. Tüik 1994-2006 yılları arasında bertaraf yöntemlerine göre atık miktarları (ton/yıl)	50
Şekil 4.2. 1994-2006 yılları arasında tıbbi atıkların gömme ile bertaraf miktarları.....	51
Şekil 4.3. Tuik, yıllara göre tıbbi atıkların düzenli depolama ile bertaraf miktarları.....	53
Şekil 4.4. Tüik verilerine göre 2008-2014 yılları tıbbi atık miktarları.....	56
Şekil 4.5. Türkiye Kamu Hastaneleri Kurumu raporu, 2013 yılına ait en fazla atık üreten 30 il	57
Şekil 4.6. Türkiye Kamu Hastaneleri Kurumu raporu, 2014 yılına ait en fazla atık üreten 30 il	57

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. 2014 ve 2015 yıllarında üretilen tıbbi atıkların karşılaştırılması	58
Şekil 4.8. Tük verilerine göre 2014 yılı, en büyük 3 ilin hastane sayıları	59
Şekil 4.9. Tük 2014, illere göre hastane tipleri dağılımları.....	59
Şekil 4.10. İzmir ili yıllara göre üretilen tıbbi atık miktarları	60
Şekil 4.11. İzmir ili Günlük ortalama 2015 yılı tıbbi atık miktarları	61
Şekil 4.12. İzmir ilçelere göre 2015 yılı toplam üretilen atık miktarları.....	61
Şekil 4.13. İzmir 2015 yılı ilçelerde toplanan kesici tıbbi atık miktarları.....	62
Şekil 4.14. İzmir 2015 yılı ilçelere göre üretilen patolojik atık miktarları.....	62
Şekil 4.15. İzmir 2015 yılı ilçelere göre üretilen enfeksiyöz atık miktarları.....	63
Şekil 5.1. Önerilen modelin (model 1,2) tersine lojistik ağ yapısı.....	70
Şekil 5.2. Tıbbi atıklar bertaraf edilme aşamaları, ağ yapısı	73
Şekil 5.3. Tıbbi atık üretim merkezlerinden toplama merkezlerine sevkıyat.....	73
Şekil 5.4. Toplama merkezlerinden işleme merkezlerine tıbbi atıkların taşınması	75
Şekil 5.5. İşleme merkezlerinden düzenli depolama merkezine taşınması	76
Şekil 6.1. Model 1-2 ağ yapısı.....	91
Şekil 6.2. 2014 yılı İzmir aylara göre tıbbi atık miktarları.....	108
Şekil 6.3. 2015 yılı İzmir aylara göre tıbbi atık miktarları.....	108
Şekil 6.4. Model 1 çözüm sonucu maliyet çizelgesi (yıl*TL).....	109
Şekil 6.5. Model 1 atık artış oranlarına göre toplam maliyetler.....	110
Şekil 6.6. Model 1,atık artış oranlarına göre taşıma maliyetleri	110
Şekil 6.7. Model 1,atık artış oranlarına göre işleme maliyetleri	111
Şekil 6.8. Model 1, atık artış oranlarına göre tesis açma maliyetleri	111
Şekil 6.9. Tıbbi atık miktarları artış ve azalış oranlarına göre her bir maliyetin karşılaştırılması.....	112

Şekil	Sayfa
Şekil 6.10. Model 2 ye göre tıbbi atık artış ve azalış oranlarına göre toplam maliyetler..	122
Şekil 6.11. Model 2 atık artış azalış oranlarına göre taşıma maliyetleri	122
Şekil 6.12. Model 2 tıbbi atık artış ve azalış oranlarına göre işleme maliyetleri	123
Şekil 6.13. Model 2 tıbbi atık artış ve azalış oranlarına göre tesis açma maliyetleri	123
Şekil 6.14. Model 2 tıbbi atık,artış oranlarına göre her bir maliyetin karşılaştırılması..	123
Şekil 6.15. Model 2 tıbbi atık değişim oranlarına göre maliyetlerin karşılaştırılması ...	124
Şekil 6.16. Model 3 çözüm sonucu maliyetler	133
Şekil 6.17. Model 3 çözümü atık değişim miktarlarına göre maliyetleri	133
Şekil 6.18. Model 3 atık artış ve azalış oranlarına göre maliyetler	133
Şekil 6.19. Model 1-2-3,toplam maliyetleri	135
Şekil 6.20. Model 1-2-3,taşıma maliyetleri	135

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 4.1. Harmandalı düzenli atık depolama tesisi	65
Harita 4.2. İzmir atık yönetim planı	66
Harita 4.3. Bölgesel planlama çerçevesinde oluşturulan bertaraf tesisi kurulması gerekten bölgeler	67



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar

Açıklamalar

AHP	Analytical Hierarchical Process
GAMS	General Algebraic Modeling System
ITZ	İleri Tedarik Zinciri
LP	Linear Programming Model
MIGP	Mixed Integer Goal Programming Model
MILP	Mixed Integer Linear Programming Model
MINLP	Mixed Integer Non-Linear Programming Model
MIP	Karma Tamsayılı Programlama
TKY	Tıbbi Atık Kontrol Yönetmeliği
TTZ	Tersine Tedarik Zinciri

1. GİRİŞ

Tersine lojistik faaliyetlerinin tüm lojistik faaliyetleri içinde önemli bir payı vardır. “Yasal düzenlemeler ve ekonomik faktörler, artan çevre bilinci, son zamanlarda tersine lojistik konusuna olan ilgiyi arttırmıştır. “Tersine lojistik konusunda en önemli ve ilgi çekici problemlerden birisi, tersine lojistik ağı tasarımıdır. Genel bir tersine lojistik sistemi toplama, sınıflandırma, ayrıştırma, yeniden işleme ve yeniden dağıtım faaliyetlerini içerir” (Demirel ve Gökçen, 2011). Tersine lojistik ağ tasarımı tesislerin yerlerinin, tesisler arası akışların miktarının, tesis sayılarının belirlenmesi kararları maliyetleri düşürmek ve çevreye olan zararın en aza indirilmesi, kaynakların etkin kullanılması açısından büyük önem taşımaktadır. Nüfusun hızla artması ve bu artışa paralel olarak tüketimin artması, yaşam stillerinin değişmesiyle beraber doğal kaynakların aşırı ve yanlış kullanılması sonucunda farklı tipte büyük miktarlarda atık, çevre sorunlarına ve kullanılabilir kaynakların hızla azalmasına sebep olmaktadır ve yaşayan canlıların da sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Bu kaynakların tüketilme hızlarının fazla olması nedeniyle çevre sorunları devam edecek ve gelecek nesillerin bu kaynakları kullanabilme olasılıkları da düşecektir. Son zamanlarda tersine lojistik, sadece kıt kaynakların kullanımı için değil bazı sosyal sorumluluklar ve çevre sağlığı açısından da gerekli olabilmektedir (Budak, 2013). Sağlık kurumlarından kaynaklanan atıklar hem çevre sağlığı açısından hem sosyal sorumluluk açısından diğer atıklara göre daha önemli bir yere sahiptir. Atıklar içinde, sağlık kurumlarından kaynaklanan tıbbi atıklar özel atık statüsündedir. Sağlık kurumlarından kaynaklanan atıklar içinde enfekte, patolojik, farmösotik, çeşitli kimyasal, radyoaktif atıklar ve kesici atıklar olduğundan bunların genel atıklardan ayrı olarak doğru şekilde toplanması ve işlem görmesi gerekmektedir. Bu tip atıklar, genel atıklara göre insan ve çevre sağlığı açısından değerlendirildiğinde tehlike riski daha fazladır, geri kazanılması zordur, bertaraf işlem maliyetleri yüksektir, bu nedenle çevreye olan riskin en aza indirilmesiyle beraber maliyetlerinin azaltılması taşıma maliyetlerini düşürmekle mümkündür. Atıkların yönetiminde taşıma maliyetlerinin düşürülmesi ise etkin bir tersine lojistik ağ tasarımıyla mümkündür.

Tehlikeli olan katı atıkların ana kaynaklarından biri hastanelerdir. Çevre için büyük bir tehlike oluşturan ve ülkemizde önemli çevre sorunlarından olan hastane atıklarının, özellikle hastane atıkları içerisindeki tıbbi atıkların, tehlikeli atıkların, radyoaktivite

atıklarının etkili yönetimi ve uygun bir şekilde bertarafı çözülmesi gereken başlıca sorunlarından biridir. Atıkların karışık toplanması ve düzensiz bir şekilde uygun olmayan depolama alanlarında biriktirilerek bertarafı durumu halk ve çevre sağlığı açısından kabul edilemez bir durumdur. Hızlı sanayileşme ve popülasyonun artmasıyla, tıbbi atıkları, diğer toksik tehlikeli atıkları içeren katı atıkların bertaraf edilmesi problemi dünyada giderek artmaktadır (Mato ve Kassenga, 1997). Hastane atıklarının %80'i genel atıklardan, %15'i patolojik ve yangı atıklardan, %1'i kesici-delici özellikteki atıklardan, %3'ü kimyasal (farmasötik) atıklardan ve %1'den daha az bir kısmı ise radyoaktif, akü ve pil vb. gibi özel atıklardan oluşmaktadır (Özerol, 2005). Büyük çoğunluğu tıbbi atıklardan oluşan bulaşıcı atıklar patojenik maddeler içerdiğinden tehlike potansiyeli fazladır. Bazı patojenik organizmalar tehlikeli olabilmektedir, çünkü tedaviye karşı direnç göstermektedirler ve yüksek patojenliğe sahip olduğundan hastalık yapabilmektedirler (Askarian, Vakili ve Kabiri, 2004). Bu atıkların uygun toplanması ve bertaraf edilmesi, doğrudan ve dolaylı olarak hem çevreye hem de insan sağlığını etkilediğinden büyük önem taşımaktadır. Atıkların kötü şekilde toplanması depolanması ve yok edilmesinden kaynaklanan, koku, sinekler, hamamböcekleri, kemirgen, parazit oluşumu gibi çevresel sıkıntılara yol açan birçok problem oluşabilmektedir. Atıkların iyi yönetilmemesi difteri, sıtma, tifo ve kolera gibi hastalıkların bulaşmasına sebep olabilmektedir (Mato ve Kassenga, 1997). Sağlık kurumlarından kaynaklanan atıklarının rastgele atılması koku ve çevre kirliliği gibi sorunlara da yol açmaktadır. Bunun yanında hastane atıkları halka büyük sağlık riskleri olan ve uygun olarak yok edilmeyen bulaşıcı atıkları da içermektedir. Özellikle kullanılan iğneler, cerrahi bıçaklar, ameliyat bıçakları ve süresi biten ilaçlar gibi malzemelerin yok edilmesine önem verilmelidir. Atık yönetim sistemi de kaynakların belirlenmesi, atıkların karakterize edilmesi, uygulamaya geçirilmesi, depolanması, taşınması ve son olarak bertaraf edilmesini içermektedir. Nüfusun, sağlık tesislerinin sayısı ve büyüklüğünün artmasıyla tıbbi ve sağlık hizmetleri atıkları yanı sıra atılabilir tıbbi atıkların kullanımı da hızla artmaktadır (Mohee, 2005). Ülkemizde her ne kadar tıbbi atıklar ile ilgili bir yönetmelik olsa da ülkemizde bu konuya yeterince önem verilmemesi ve hastane atıklarının toplanması, depolanması, taşınması ve bertarafı konusunda bilinçli bir planlama ve hareket tarzının olmaması, halkın ve personelin konuyla ilgili olarak yeterince bilinçli ve eğitilmemiş olması nedeniyle ülkemizde tıbbi atıklar hala önemli bir çevre sorunu olmaya devam etmektedir.

Bu tez kapsamında ele alınan bu problemde sağlık kurumlarından kaynaklanan tıbbi atıkların uygun şekilde bertaraf edilmesi ve geri kazanılması için tersine lojistik ağ örnekleri sunulmuştur. Problem çok ürünlü, tek periyotu, kapasite kısıtlı doğrusal karmaşık tam sayılı programlama modeli olarak geliştirilmiştir. Çalışmada örnek olarak İzmir ili ele alınmıştır. Tez çalışmasında, esas itibarıyla kavramsal çerçevenin belirlenmesinde ve yönetim modelinin geliştirilmesinde literatür taraması ile gözlem ve uzmanların görüşlerine başvurma yöntemleri kullanılmıştır. Tez konusunun özelliğinden dolayı veri toplama tekniği bağlamında kaynak taramanın yanı sıra konuyla ilgili sempozyum notları, raporları, makaleler ve tezler incelenmiştir. Buna ilaveten var olan yasal ve yönetsel çerçeve incelenmiştir. Katı Atıklar Dairesi Başkanlığı, İzmir Büyükşehir Belediyesine bağlı Çevre Sağlığı Dairesi Başkanlığı, tıbbi atıkların taşıma işini yapan özel bir firmanın yetkilileri ile ilgili görüşmeler yapılmıştır. Oluşturulan model, gerçek verilere uygulanarak, yeni bir tıbbi atık yönetim ağ tasarımı modeli ile sistem içinde oluşacak tüm maliyetleri (taşıma, işleme, tesis maliyetleri) en küçükleme amaçlanmıştır.

Yapılan tez yedi ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde tıbbi atıklarla ilgili kaynak araştırması yapılmıştır, ikinci bölümde sağlık kurumlarından kaynaklanan atıklar ve hastane atıkları ile ilgili kaynak çalışması yapılmıştır. Üçüncü bölümde tersine lojistik ağ tasarımı konusunda literatür taraması yapılmış ve tersine lojistik ağı tasarımı üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde tıbbi atık kontrolü yönetmeliği ile ilgili bilgiler verilmiştir, İzmir ili ve Türkiye'deki istatistikleri üzerine durulmuş konunun önemine değinilmiştir. Beşinci bölümde problemin tanımı yapılmış ve geliştirilen matematiksel model anlatılmıştır. Altıncı bölümde geliştirilen matematiksel modelin gerçek uygulaması İzmir ili için uygulanmış, duyarlılık analizi yapılmıştır. Son olarak yedinci bölümde sonuçlar değerlendirilerek önerilerde bulunulmuştur.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Tıbbi Atık ve Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıklar için Literatür Taraması

Cheng, Sung, Yang, Lo, Chung ve Li (2008), yaptıkları çalışmada, Tayvan'da tıbbi atık üreten 150 kuruluştan alınan verilerle istatistiksel bir analiz yapmıştır. Bu kurumlarda üretilen genel ve bulaşıcı tıbbi atık miktarını potansiyel faktörlerle istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Potansiyel faktörler olarak hastane ve klinik tipleri, ulusal sağlık sigortası tarafından ödenen geri ödemeleri, yatak sayıları, yatak doluluk oranı, bulaşıcı hastalıkların sayısı ve günlük ayakta tedavi olan sayısını almıştır. Çoklu regresyon analizi sonucu, anlamlı tahmin faktörleri yatak sayısı ve geri ödeme sigorta miktarı bulunmuştur. Bunun yanında analiz sonucu olarak Tayvan'da tıbbi atıkların ana kaynağının büyük hastaneler olduğu ortaya çıkmıştır.

Fayez, Qdais ve Rabi (2007) yaptıkları çalışmada Kuzey Jordan'da hastanelerdeki tıbbi atık yönetimini incelemişlerdir. Bu alanda tüm 21 hastane için bir araştırma yürütülmüştür ve hastane çalışma alanlarında tıbbi atıkların ayrıştırılması, içsel ve dışsal depo durumu, ulaştırma, atıkların iyileştirilmesi, bertaraf seçenekleri, çalışanların eğitim ve bilinçlilik düzeyleri vb. durumlar rapor edilmiştir. Atıkların sınıflandırma sürecinde takip edilmediğini ve sıvı tıbbi atık tutmak için uygun prosedür bulmak gerekliliğine değinmiştir. Sonuç olarak 21 hastanede yürütülen tıbbi atık yönetiminin etkili olarak yönetilmediği sonucu çıkmıştır.

Birpınar, Erdogan ve Bilgili (2008) yaptıkları çalışmada Türkiye'nin en büyük şehirlerinden İstanbul'da tıbbi atık kontrol yönetmeliği ışığında tıbbi atık yönetiminin mevcut durumunu analiz etmişlerdir. Bu çalışmada üretilen tıbbi atık miktarları, atıkların toplanması ve tıbbi atıkların geçici depolanması ile ilgili 14 soru oluşturulmuş, İstanbul'da 192 hastane ile yüz yüze görüşülmüştür. Hastanelerden toplanan tıbbi atık miktarı yaklaşık olarak günlük 22 ton olarak ve ortalama üretim miktarı yaklaşık yatak başına 0,63 kg olarak hesaplanmıştır. Geri dönüştürülebilir malzemeler %83 oranında ayrı olarak toplandığı tespit edilmiştir. Hastanelerin %25 tıbbi atık toplama için uygun olmayan toplayıcıları (container) kullanmakta olduğu rapor edilmiştir. Türkiye'nin en büyük şehri olan İstanbul'da mevcut tıbbi atık yönetim durumu analiz edilmiş ve tıbbi atık üretimi,

toplanması, depolanması, işlenmesi geri dönüşümü ve nakliye ve tıbbi atığın güvenli olarak ortadan kaldırılması gibi konularda sağlık servisleri yöneticileriyle görüşülerek araştırma yapılmıştır. Yine bu çalışmada sağlık kurumlarından kaynaklanan atıkların yönetimi ile ilgili genel bir araştırma yürütülmüştür. Mato ve Kassenga (1997), Dar Es Salaam'da katı tıbbi atıkların yönetimiyle ilgili araştırma yürütmüşlerdir. Dar es Salaam şehrinde dispanserler ve küçük hastanelerin atık yönetimi çalışmalarının sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Sağlık kuruluşlarının atık yönetimini iyileştirmek amacıyla önerilerde bulunulmuştur.

Hassantaghipour ve Mosaferi (2008), Tabriz'de yaptıkları çalışmada 25 farklı büyüklükte hastaneden, özelliklerine ve kategorilerine göre 10 hastane seçilerek üretilen tıbbi atıkların yatak başına üretilen miktarlarını araştırmış ve önceki yapılan çalışmalarla karşılaştırmışlardır. Her hastane miktar ve kalite göz önüne alınarak analiz edilmiş ve bu çalışmadaki hastanelerin tıbbi atık özellikleri arasında anlamlı farklılık gözlemlenmiştir. Sonuç olarak Tabriz şehrinde genel tıbbi atıkların özellikleri, günümüz çevre problemleri ve katı bütçe gerekliliği göz önüne alındığında tehlikeli-bulaşıcı atıkların riskini azaltmak ve atık yok etme maliyetlerini ve atık geri kazanım maliyetlerini azaltmak için, etkili yönetim, eğitim ve ayırma programlarının yürütülmesi gerektiği sonucuna varmışlardır. Hastane atık çeşitleri ve miktarları verilmiştir.

Hejrani (2013), yaptığı tez çalışmasında tıbbi atık yönetimi için yaratıcı bir tersine lojistik ağ modeli geliştirmiştir. Modelde maliyetin yanında risk faktörlerini de ele alarak, karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Bu çalışma dengeli bir şekilde hem maliyetleri hem de riskleri ele alarak tıbbi atık yönetim ağlarında en uygun dağıtım kararlarını vermeyi amaçlamıştır. Maliyetin ve risklerin minimizasyonu sağlayan genetik algoritma da geliştirilerek bu karmaşık problemin daha kısa sürede çözülmüş ve matematiksel modelle karşılaştırılmıştır. Farklı senaryo ve yaklaşımlar ile önerilen model ve algoritmanın etkinliği değerlendirilmiştir. Genel olarak literatürdeki çalışmalar daha çok hastanelerde üretilen atıkların ne kadar etkin yönetildiği, atık miktarları ile ilgili analizlerin yorumlanmasına yönelik çalışmalar iken, bu çalışma sayısal verilerle hesaplamaların yapıldığı matematiksel model geliştirilen ve genetik algoritma kullanılan ilk ve önemli çalışmalardan biridir.

Shi (2009), çalışmasında tıbbi atıkların yönetimi için hastaneler, toplama merkezleri, işleme merkezleri ve tesislerden oluşan tersine lojistik ağı için bir karışık tam sayılı model geliştirmiştir. Modelde toplama, işleme merkezlerinin sayısı ve yerlerini ve bu merkezler arasındaki akış miktarlarını belirleyerek toplam maliyetlerin (taşıma, tesis açma, işleme maliyetleri) en küçüklenmesini amaçlamıştır.

Shi, Fan, Gao ve Zhang (2009), çalışmalarında tıbbi atıkların yönetimi için hastaneler, toplama merkezleri, işleme merkezleri ve tesislerden oluşan tersine lojistik ağı tasarlayarak, karışık tam sayılı bir model geliştirmişlerdir, geliştirdikleri modeli genetik algoritma yardımıyla çözmüşlerdir. Modelde, taşıma maliyeti, açılacak toplama merkezlerinin sabit maliyeti, ve işleme merkezlerindeki işleme maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti minimum yapmak amaçlanmıştır. Modelin geçerliliğini ve etkinliğini doğrulamak için örnek bir uygulama yapılmıştır.

Oweis, Widyan ve Limoon (2005), King Hussein Tıbbi merkezinde (KHMC) mevcut tıbbi atık yönetimini incelemişlerdir. Tıbbi atık yönetimini geliştirmek için mümkün çözümler önermişlerdir, atıkları kaynağında doğru şekilde ayırmanın önemine vurgu yapmışlardır. Sonuç olarak Jordan'ın büyük hastanelerinden biri olan KHMC'de tıbbi atık yönetimi ile ilgili güncel rapor oluşturulmuştur ve tıbbi atık yönetimindeki farkındalığın ne kadar olduğu, tıbbi ve genel atıkların kaynağında ne kadar doğru şekilde kategorize edildiği, çalışanların bu konularda ne kadar eğitilmiş olduğu gibi durumlar değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Hsu, Wu ve Li (2007), yaptıkları çalışmada hastanelerin en uygun atık yok etme firmasının seçilmesi ve performanslarının değerlendirilmesini amaçlamışlardır. En uygun firmanın seçilmesi için AHP yöntemi kullanılmıştır. Bu alanda uzman kişilerin görüşleri alınarak tıbbi atık yönetimine katkıda bulunmak ve hastanelerin tıbbi atık yönetiminde bertaraf firmalarından maliyet açısından en uygun firmanın seçilmesine yardımcı olarak maliyetleri düşürmeyi amaçlamışlardır. Önerilen AHP temelli modelle öznel değerlendirmeler yerine daha kesin, belirli sonuçlarla tıbbi atık firmaları değerlendirilmiştir. En uygun firmaların seçiminin değerlendirildiği modelde sözleşme tarafının hizmet yeteneği, aranan özellikleri, ekonomik faktörler, firmaların sahip oldukları donanımlar, kriter olarak alınmıştır, Expert Choice Software programı ile duyarlılık analizleri yapılmıştır.

Alagöz ve Kocasoy (2007), yaptıkları çalışmada İstanbul ili için sağlık kurumlarından üretilen atıkların toplanması ve taşınması sistemini geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, sağlık kuruluşlarının geçici depolama alanlarından atıkların toplanması, nihai bertaraf alanlarına taşınması sırasında optimum ulaştırma rotaları belirlenmiş, mevcut durum maliyet fayda analizi ile değerlendirilmiştir.

Shih ve Chang (2001), yaptıkları çalışmada bulaşıcı atıkların toplanması için çizelgeleme ve rotalama probleminin çözümü için bir sistem geliştirmişlerdir. Periyodik araç rotalama problemi karışık tam sayılı ve dinamik programlama ile çözülmüştür.

Dursun, Karsak, Almula (2011) yaptıkları çalışmada İstanbul ili için sağlık kurumlarında üretilen atıkları işleme alternatiflerini değerlendirmek için uzman görüşleri temel alınarak bulanık ölçü prensibiyle bulanık çok kriterli grup karar verme çözümü sunmuştur. Ekonomik, teknik, çevresel ve sosyal kriterler ve alt kriterleri işleme alternatifleri için belirlenmiştir. Yakma, buhar sterilizasyonu, mikrodalga ve gömme işlemleri gibi yöntemlerden belirlenen kriterlere göre hangi yöntemin seçilmesi gerektiği grup karar destek sistemi ile değerlendirilmiştir. Çevresel kriterlere göre değerlendirildiğinde sırasıyla en iyi yöntemin buhar sterilizasyonu, mikrodalga, gömme ve yakma sonucuna varılmıştır.

Jahandideh, Asadabadi, Askarian, Movahedi ve Hossaini (2009), yaptıkları bu çalışmada sağlık kurumlarında üretilen kesici, bulaşıcı ve genel tıbbi atıkların farklı tipleri için yapay sinir ağları ve çoklu doğrusal regresyon analizi ile ne kadar tıbbi atık üretileceğinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak yapay sinir ağları ile %99 R² oranı ile iyi bir sonuç elde edilmiştir. Tahmin etmede bağımlı değişkenler olarak hastane kapasitesi, yatak doluluk oranı, hastane tipi(eğitim hastanesi, devlet hastanesi, özel hastane, üniversite hastanesi olmak üzere 4 tip) kullanılmıştır. Yapay sinir ağları çoklu regresyona göre daha iyi sonuç vermiştir.

Askarian, Hediarpour ve Assadian (2010), yaptıkları bu çalışmada, İran'ın güneyindeki en büyük hastanelerden biri olan Namazi Hastanesi'nde toplam kalite yönetimi yaklaşımıyla, etkili ve etkin bir atık yönetimi sistemini yürüterek, atıkların doğru tanımlanması ve sınıflandırılmasını sağlayarak bulaşıcı atık tehlikesini ve maliyetlerin azaltılmasını amaçlamışlardır. Hastanede üretilen uygulama yapılmadan önce günlük atık toplam ağırlığı yatak başına 6.67 kg/günlük iken tüm atıklar içerisindeki oranı da %73 iken, uygulamadan

sonra toplam ağırlık 5.92 kg a ve oran olarakta %60'a düşmüştür. Çalışma sonucunda tıbbi atıkların doğru olarak sınıflandırılmasıyla %26 tasarruf sağlanmış ve maliyetleri azaltma amacına ulaşılmıştır. Sonuç olarak atıkları doğru sınıflandırmanın önemi vurgulanmıştır. Mohamed, Ebrahim ve Thukair (2009), yaptıkları çalışmada Kingdom of Bahrain'de seçilen devlet ve özel sağlık kurumlarında tehlikeli atık yönetimiyle ilgili geniş çapta araştırmalar yapmıştır. Atık üretimi, atıkların doğru şekilde sınıflandırılması, depolanması, taşınması, işlenmesi ve bertaraf edilmesi faaliyetlerini değerlendirmişler ve önerilerde bulunmuşlardır. Bendjoudi, Abdelmalek, Addou (2008), yaptıkları çalışmada 95 hastane üzerinde atık yönetimini incelemişlerdir. Yıllık bulaşıcı atık miktarının 92 ton olduğunu, ulusal atık miktarı içerisinde %1.38 olduğunu belirtmişler ve hastanelerde tıbbi atıkların yönetiminin yetersiz olduğu sonucuna varmışlar ve önerilerde bulunmuşlardır.

Ruoyan, Lingzhong, Huijuan, Jiangjiang, Yoshihisa, Wei ve Chushi (2010), yaptıkları çalışmada, Çin'de sağlık kurumlarının farklı seviyeleri için atık yönetiminin durumu ile ilgili araştırmalar yapmışlardır. Her bir seviye sağlık kurumları, atık mevzuatına uygunluğu, atık üretim miktarları, çalışanların eğitim durumu, atıkların taşınması, sınıflandırılması, kurumların kendi içinde veya dışarda bertaraf durumu gibi faktörlere göre karşılaştırılmıştır.

Liu, Wu ve Li (2013), bu çalışmalarında, sağlık kurumlarınca üretilen atıkların bertaraf edilme metotları (yakma, sterilizasyon, mikrodalga, gömme), bulanık küme teorisi ve vikor metodu temel alarak, çok kriterleri karar verme yöntemi ile ekonomik, teknik, çevresel ve sosyal kriterlere göre karşılaştırmışlardır. Çin'in 23 milyon nüfusa sahip Şangay şehrinde, geliştirilen modelin geçerliliğini belirtmek için küçük bir örnek üzerinde uygulanmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada sırasıyla sterilizasyon, mikrodalga, yakma ve gömme metotları daha avantajlı bulunmuştur. Geng, Ren, Xue, Fujita, Xi ve Liu (2013), Çin, Shanyang şehrinde yapılan sağlık kurumlarında üretilen atık miktarlarının dağılımı, kategorize edilmesi, atık yönetiminin geliştirilmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Shanyang da tıbbi kurumların sayısı 1998 de 739 iken 2012 yılında 1771'e ulaşmıştır ve yıllık ortalama artış oranı %7 olarak hesaplanmış ve dolayısıyla bu konunun önemine dikkat çekmeye çalışılmıştır. Daha iyi tıbbi atık yönetimi için bütünlük bir atık yönetim sistemi geliştirilmesini önermişlerdir. Halkın bilinç düzeyini artırarak etkili bir finans sistemi yaratarak bütünlük bir atık yönetim sistemiyle daha iyi sonuçlar elde edebileceğini belirtmişler, önerilerde bulunmuşlardır.

Soysal, Simsek, Soysal ve Alyu (2010), Türkiye'nin en büyük 3. şehri olan İzmir'de 18 ilçeyi kapsayacak şekilde tıbbi atıklarla ilgili bu çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada araştırmalara göre, İzmir'de 2007 yılında 825 sağlık kurumundan hasta yatak başına 621 kg/yatak, 4841 ton tıbbi atık toplanmıştır. Tıbbi atıklar en fazla Karşıyaka, Konak ve Bornova alanında olmak üzere, Konak'ta 2308 ton, Karşıyaka 272 ton ve Bornova'dan 1020 ton atık toplandığı bilgisini vermişlerdir. Sağlık kurumlarının sayısı, nüfus, tıbbi atık miktarları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Tıbbi atık miktarları ile nüfus ve sağlık kurumlarının sayısı arasında pozitif korelasyon olduğu ve anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna varmışlardır. Etkili bir tıbbi atık yönetimi için tehlikeli atıkların kurumlarca ayrı toplanması ve bulaşıcı atıklar için sterilizasyon birimlerinin kurulması gerektiğini belirtmişlerdir. Üretilen tıbbi atık miktarlarının popülasyon ve yatak sayısı değişkeninin arasında anlamlı bir ilişki olduğu Spearman korelasyon analizi ile hesaplanmıştır.

Sartaj ve Aragbol (2014), yaptıkları bu çalışmada üretilen tıbbi atık miktarları ile ilgili istatistiksel analiz yapmışlar ve atıklarla ilgili genel bilgiler vermişlerdir. Bu çalışmada yürütülen araştırmalara göre genel atık oranı %59 iken üretilen tehlikeli tıbbi atık miktarı %61 olarak bulunmuştur. Çoklu regresyon analizi ile tıbbi atık miktarları, sağlık kurumunun tipine durumuna, kapasitesine, yatak sayısı, çalışan sayısı, depolama sayısı, lokasyonuna göre tahmin edilmeye çalışılmış, değişkenler arasında korelasyon analizi yapılmıştır. Silva, Hoppe, Ravenello, Mello (2004), yaptıkları bu çalışmada Eylül 2001 ve Mart 2002 tarihleri arasında Brezilya'da hastaneler, sağlık merkezleri, klinikler laboratuvarlar gibi sağlık kurumlarından üretilen atık miktarları ile ilgili araştırmalar yapmışlar, tıbbi atıklar ile ilgili genel bilgiler vermişlerdir. Literatürde başka bölgelerde üretilen atık miktarlarıyla karşılaştırma yapılmıştır.

Shinee, Gombojav, Nishimura, Hamajima, Ito (2007), yaptıkları çalışmada Mongolia'da sağlık kurumlarında üretilen atık miktarları üzerine istatistiksel analizler yapmışlardır. Ki kare test ve Mann Whitney testi ile atık üretim miktarları test edilmiştir. Devlet kurumlarında %67 genel atık, %33 tıbbi atık, özel kurumlarda ise %53 genel atık, %46 tıbbi atık üretildiği bilgisi verilmiştir. Gelişmiş ülkelerde sağlık kurumlarında üretilen atık miktarlarının, gelişmekte olan ülkelere (Türkiye, Brezilya vb.) göre daha az olduğunu bununla kaynağında sınıflandırma işleminin yeterince yapılmadığından kaynaklı olabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada bazı bulaşıcı şırıngalar üzerine yapılan araştırmalar hakkında da bilgi verilmiştir. 2000 yılında Mongolia'da bulaşıcı

enjektörlerden 21 milyon kişi hepatit B'ye, 2 milyon kişi hepatit C'ye ve 260.00 kişi HIV'e yakalandığı bilgisini vermişlerdir. Bu sonuçlara göre tıbbi atıklara gereken önemin verilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Ayika ve Emenike geliştirmekte olan ülkelerde özellikle gelir düzeyi düşük olan ülkelerde 200 yılından 2010 yılına kadar sağlık kurumları atık yönetimi üzerine yayınlanmış çalışmaların stratejik değerlendirmesini yapmışlardır.

Uysal ve Tınna (2004), Trakya bölgesindeki hastane atıklarını incelenmişler bu atıkların evsel ve ticari atıklarla birlikte atıldığını ifade etmişlerdir. Bu çalışmada yapılan araştırmalara göre, hastane atıklarının %57'si evsel tip atıklar, %36'sı patolojik atıklar, %7'si geri dönüşümlü atıklardır.

Üçüncü ve Yazıcı (2009), Trabzon'da yaptıkları bir çalışmada yataklı ve yataksız sağlık kurumlarından toplanan tıbbi atık miktarlarını incelenmişler ve yataklı kurumlarda tıbbi atıkların daha fazla olduğunu hesaplamışlardır. Dirimeşe, Varol ve Mollahaliloğlu (2006), on dört büyükşehir belediyesinde toplanan tıbbi atık miktarlarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada araştırma sonucuna göre Mersin, Erzurum, Adapazarı, Eskişehir, Konya, Bursa ve İstanbul illerinin kişi başına düşen yıllık tıbbi atık miktarı, illerin ortalaması olan 1.15 kg'dan az iken; İzmir, Ankara, Trabzon, Adana, Diyarbakır ve Kayseri illerinde kişi başına düşen yıllık tıbbi atık miktarının genel ortalamanın üzerinde olduğu görülmüştür.

Akbolat, Işık, Dede ve Çimen (2011), Sağlık çalışanlarının tıbbi atık konusunda eğitim düzeylerini tespit etmek amacıyla Sakarya ilinde kamu hastanelerinde görevli 1647 çalışana anket düzenlemişler, anket sonuçlarına göre çalışanların eğitim düzeyinin yeterli olmadığı, meslek gruplarına göre hemşirelerin bilgi düzeyinin doktorlardan yüksek olduğu görülmüştür. Güvez, Dege ve Eren (2012), Kırıkkale'de faaliyet gösteren atık sektöründeki bir toplayıcı işletmenin tıbbi atık toplama için kullandıkları araçların en uygun rotalarının belirlenmesi ve önerilen rotanın maliyetlerinin de en küçüklenmesini amaçlayan bir araç rotalama problemi çözmüşlerdir.

Caherula, Tanaka, Ashok ve Shekdar (2007), dinamik sistem tabanlı hastane atık yönetim modelini, stella paket programı ile geliştirmişlerdir. Bu çalışmada Endonezya'nın Jakarta şehri seçilmiştir. Halk sağlığı riskinin minimize edilmesi için bulaşıcı atıkların bertaraf edilmesi kadar kaynağında ayrıştırmanın önemli olduğunu belirtmişlerdir. Simülasyon sonucunda, iyi yönetilmeyen ve uygun bertaraf edilmeyen atıkların miktarı arttıkça sağlık

riskini de arttıracak ve beklenen yaşam süresini kısaltacaktır. Sheu (2007), yaptığı bu çalışmada tıbbi atık yönetiminde hem maliyeti hem de riski içeren bir model geliştirmiştir. Later el Salam (2010), yaptığı çalışmada tıbbi atıklarla başa çıkmak için Mısır, El-Beheiria da 8 hastanede bir araştırma yürütmüştür.

Sağlık kurumlarından kaynaklanan atıkların genel olarak ve sağlık kurumlarından kaynaklanan atıklar içerisindeki tıbbi atıkların incelendiği çalışmaların kaynak araştırması yapılmıştır. Yapılan kaynak araştırmasına göre yapılan çalışmalar genel olarak sağlık kurumlarından kaynaklanan atıkların kategorize edildiği, genel bilgilerin verildiği, sağlık kurumlarında etkin bir atık yönetiminin oluşturulması için önerilerin sunulduğu çalışmalardır. Bu çalışmalarda daha çok seçilen sağlık kurumlarındaki mevcut atık yönetim sistemi araştırılmış, bu atıkların doğru şekilde kaynağında sınıflandırılmasının, kategorize edilmesinin, çalışanların bilinçlendirilmesinin gerektiği ve bu atıkların çevreye olan riskinin diğer atıklardan fazla olmasından dolayı daha çok önem verilmesi gerektiğine vurgu yapılmıştır. Bunun yanında sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıklar üzerine yapılan çalışmaları, atıkların tahmin edilmesi için istatistiksel analizlerin yapıldığı, atıkların bertaraf metotları ve bertarafını sağlayan firmaların teknik, çevresel, finansal, sosyal kriterlere göre karşılaştırıldığı, atıkların minimum maliyetle tesislere ulaştırılmasını sağlamak için rotalama ve çizelgelemenin yapıldığı, atık üretim merkezlerinden bertarafına geri kazanılması sürecine kadar ki optimal tesis yer ve sayılarına karar verildiği ve karar verilen tesisler arası akış miktarlarını belirleyen tersine lojistik ağ problemini ele alan çalışmalar olarak sınıflandırabiliriz. Çizelge 2.1’de sağlık kurumlarından kaynaklanan veya sağlık kurumları içerisindeki tıbbi atıklar için yapılan literatür çalışmalarını göstermektedir.

Yapılan literatür taramasında ülkelere göre yatak başına düşen günlük kg tıbbi atık miktarları derlenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 2.2’de görülmektedir. Ülkelerin gelişmişlik düzeyi arttıkça yatak başına düşen atık miktarı da artmaktadır. Bu durum, gelişmekte olan ülkelerde atık yönetimi sisteminin etkin ve etkili olarak yürütülememesi ve atık miktarlarının eksik olarak kayıt altına alınması, atıkların kaynağında doğru olarak ayrıştırılmaması gibi sebeplerden kaynaklanabilmektedir. Çizelge 2.2’ye bakıldığında Kanada ve ABD ülkelerinde yatak başına düşen günlük kg atık miktarı yaklaşık yüzde dört civarındayken gelişmekte olan ülkelerde çok daha azdır.

Çizelge 2.1. Sağlık kurumları atıkları literatür özeti

<i>Atık Yönetimi</i>	<i>Atık Miktarları İstatistiksel Analiz</i>	<i>Çok Kriterli Karar Verme</i>	<i>Rotalama ve Çizelgeleme</i>	<i>Tersine Lojistik</i>
Fayez ve diğerleri (2007)	Cheng ve diğerleri (2008)	Hsu ve diğerleri (2007)	Alagöz ve Kocasoy (2007)	Hejrani (2013)
Bilgili ve diğerleri (2008)	Askarian ve diğerleri (2009)	Liu ve diğerleri (2013)	Güvez ve diğerleri (2012)	Shi ve diğerleri (2009)
Mato ve Kassenga (1997)	Sartaj ve Arogbal (2014)	Dursun ve diğerleri (2011)	Shih ve Chang (2001)	Budak (2013)
Hassantaghipour ve Mosaferi (2008)	Soysal ve diğerleri (2010)			
Oweis ve diğerleri (2005)	Shinee ve diğerleri (2007)			
Askarian ve diğerleri (2010)				
Mohamed ve diğerleri (2009)				
Bendjoudi ve diğerleri (2008)				
Ruoyan ve diğerleri (2008)				
Geng ve diğerleri (2013)				
Silva ve diğerleri (2004)				
Uysal ve Tınna (2004)				
Üçüncü ve Yazıcı (2009)				
Dirimeşe ve diğerleri (2006)				
El-Salam (2010)				
Akbolat ve diğerleri (2011)				
Emenike (2010)				

Çizelge 2.2. Ülkelere göre üretilen yıllık yatak başına atık miktarları

<i>Ülkeler</i>	<i>Yatak/Kg-Gün (%)</i>	<i>Çalışma Referans</i>
İran	1,04	Taghipour ve Mosaferi (2009)
Vietnam	1,42	Taghipour ve Mosaferi (2009)
Türkiye	1,53	2012 yılı sağlık bakanlığı verileri
Sırbistan	1,92	Emenike (2010)
Birleşik Krallık	3,3	Emenike (2010)
Kanada	4,1	Emenike (2010)

Çizelge 2.2. (devam) Ülkelere göre üretilen yıllık yatak başına atık miktarları

Ülkeler	Yatak/Kg-Gün (%)	Çalışma Referans
ABD	4,4	Emenike (2010)
Ürdün	0,5-2,2	Abdulla, Qdais ve Rabi (2007)
Tanzanya	0,84	Mato ve Kassenga (1997)
Hindistan	1,6	Patil ve Shekdar (2001)
İran	1,25	Askarian ve diğerleri (2004)
Tayland	1,75	Adsavakulvhai (2002)
Japonya	2,05	Tanaka ve diğerleri (2004)
İran (28 bölge ortalaması)	3,21	Sabour ve diğerleri (2007)
Ürdün		Bdour ve diğerleri (2006)
Ürdün devlet hastaneleri	3,49	Bdour ve diğerleri (2006)
Ürdün doğum hastaneleri	3,14	Bdour ve diğerleri (2006)
Jordan özel hastaneler	1,88	Bdour ve diğerleri (2006)
Çin		Ruoyan ve diğerleri (2010)
Çin üçüncü derece hastaneler	1,22	Ruoyan ve diğerleri (2010)
Çin ikinci derece hastaneler	0,77	Ruoyan ve diğerleri (2010)
Çin birinci derece hastaneler	1,17	Ruoyan ve diğerleri (2010)
Cezayir	0,7-1,22	Bendjoudi ve diğerleri (2008)

2.2. Tersine Lojistik Ağ Tasarımı Literatür Taraması

Govindan, Soleimani ve Kannan (2014), yaptıkları literatür çalışmasında, tersine lojistik ağ tasarımı yapılan 382 çalışmanın %26,4'ünün deterministik modeller, %24,6'sının ise stokastik modeller olduğunu belirtmişlerdir. Tersine lojistik ağ tasarımı deterministik model olarak en çok karışık tam sayılı doğrusal modeli geliştirilmiştir (Ilgin ve Gupta, 2010). Kroon ve Vrijens (1995), Berger ve Debaillie (1997), Fleischman (2001), Benita ve Beamon (2004), Barros, Dekker ve Scholten (2008), Shih (2001), Demirel ve Gökçen (2008), Li ve Tee (2012), Salema, Barbos-Pova ve Novais (2007), Srivastava (2008), Lu ve Bostel (2007), Enes ve Öztürk (2013), Kim, Song, Kim ve Jeong (2006), Louwers, Kip ve Peters (1999), Jayaraman ve Srivastava (1999), Jayaraman, Patterson ve Rolland (2003), Spengler, Püchert, Penkhun ve Rentz (1997), Lee ve Dong (2008), Galvez, Rakotondranaivo, Morel, Camargo ve Fick(2014), Demirel ve Gökçen (2016), Das ve Chowdhury (2012), Kim ve Lee (2013), tersine lojistik ağ tasarımı için karışık tam sayı model geliştirmişlerdir. Tersine lojistiğin ilk çalışmalarından birini Stock (1992) yapmıştır. Tersine lojistik faaliyetlerinden kaynak azaltma, geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yok etmeyi de içeren geniş bir çalışma yapmıştır.

Barros ve diğerkleri (1998), Hollanda’da kumların geri dönüşümü üzerine tesis yerleşim problemini ele almışlardır. Bu çalışmada iki aşamalı, kapasite kısıtlı, talep belirsizliği altında karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Min ve Ko (2006), ürün geri dönüşleri için tasarladıkları tersine lojistik ağında, kapasite kısıtlı, iki aşamalı, toplama noktalarının, tamir merkezlerinin yer ve sayılarının belirleyen, çok ürünlü, çok dönemli bir lojistik ağı için doğrusal olmayan karışık tam sayılı model geliştirmişlerdir. Modelin çözümü için genetik algoritma sezgiseli sunulmuştur. Shih (2001) yaptığı çalışmasında tersine lojistik ağ akışı için karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Modelde operasyonel maliyetler belirsizdir, belirsizlikler senaryolarla ifade edilmiştir.

Demirel, Gökçen, Akçayol ve Demirel (2011), yeniden imalat sistemi için çok ürün, çok aşamalı, bütünselik bir karışık tam sayılı model geliştirmişlerdir. Geliştirilen model, üretim, yeniden üretim ve tesisler arası ürün taşıma miktarlarının yanında ayrıştırma, toplama ve dağıtım tesislerinin de optimal yerlerini belirlemektedir. Çalışmada farklı geri dönüş senaryoları da üretilerek, senaryoların karşılaştırılması da yapılmıştır. Pishvae, Kianfar ve Karimi (2010), çok aşamalı bir tersine lojistik ağında açma maliyetleri ve taşıma maliyetlerini minimum yapacak karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Bu problem np hard problem olduğu için optimal çözüme yakın sonuç veren bir tavlama benzetimi algoritması da sunulmuştur. Örnek bir problem üzerinde sonuçlar karşılaştırılmıştır. Li ve Tee (2012) çalışmalarında elektronik atıkların geri kazanımı için çok ürünlü, karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Modelin amacı üretim maliyeti minimizasyonu ve tersine lojistik kısmı için kar maksimizasyonudur.

Assavapokee ve Wongthatsanekorn (2012), geri kazanım aktivitelerinin gerçekleştirildiği tersine lojistik ağı için karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Jayaraman ve Srivastava (1999) yaptıkları çalışmada dağıtım, tesis açma ve yeniden üretim kararlarının yer aldığı bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelde tesis açma, taşıma, yeniden üretim ve stok maliyetlerinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Brito ve Dekker (2002), ürünlerin dönüş nedenleri, kanuni baskılar, ticari amaç ve toplum baskısı gibi tersine lojistik uygulamalarını tetikleyen unsurlar, ürünlerin nasıl geri döndüğü, ürünlerin geri döndükleri zamanki durumu ve tersine lojistiğe dahil olan aktörler gibi konuları göz önüne alarak tersine lojistik ağ yapısını incelemişlerdir.

Fleischmann ve diğerleri (2000), yaptıkları çalışmada ürün geri alımı düşüncesiyle oluşturulan tersine lojistik ağının özellikleri belirlenmiş, üretim - dağıtım ağı ve atık imha ağlarıyla bu özellikler karşılaştırılmıştır. Lu ve Stuart (2003), elde edilen ürünlerin kazanımdan elde edilen gelirler, yüksek değerdeki çıktı malzemelerinin satışı, ekipman işleme maliyeti, envanter ve elden çıkarma maliyetlerini dikkate alarak geri dönüştürücünün karını maksimize etmeye çalışan bir model geliştirmişlerdir. Schultmann ve diğerleri (2003), yaptıkları çalışmada kullanım ömrünü tamamlayan ürün akışlarının farklı kapalı çevrim tedarik zinciri opsiyonlarını değerlendiren bir çalışma yapmışlardır.

Sheu (2007), yaptığı çalışmada zararlı atıkların iyileştirilmesi amacıyla geliştirdiği modelde, tersine lojistik maliyetlerinin ve oluşabilecek risklerin de en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Lu ve Bostel (2007), yeniden üretim aktivitelerini içeren iki aşamalı tersine ağ modeli geliştirmişlerdir. Yeniden üretim, tersine lojistik sisteminde iki aşamalı (ürün - ara merkez - yeniden üretim merkezi) lokasyon problemi sunulmuştur. Eş zamanlı ileri ve tersine lojistik sistemler için 0-1 karışık tam sayılı model önerilmiştir. Langraj sezgisel tabanlı bir algoritma geliştirilmiştir. Salema ve diğerleri (2007), yaptıkları bu çalışmada ürün taleplerinin belirsiz olduğu kapasite kısıtlı ve ürünlerin geri dönüşlerinin de düşünüldüğü çok ürünlü yerleşim dağıtım problemi için, bir tersine lojistik ağ tasarımı geliştirmişlerdir.

Srivastava (2006) yerleşim dağıtım problemi için, çok ürünlü çok aşamalı karı maksimum yapan tersine lojistik ağ modeli önermiştir. Model firmayla yapılan görüşmeler ışığında ve literatür araştırmalarına göre modellenmiştir. Modelde, müşteriden gelen ürünler toplama noktalarına ve yeniden işleme merkezlerine gitmektedir. Modelde mümkün açılacak toplama noktaları (11 lokasyon) 3 senaryoya göre (iyimser, kötümser, mümkün) olmak üzere maksimum uzaklıklar belirlenerek değerlendirilmiştir. Dönen ürünlerin kaynağının müşteriler olarak varsayılmıştır. Kumar ve Vratb (2008), Hindistan'da kâğıtların geri dönüşümü için karışık tam sayılı hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Çalışmada kaynakta ayrıştırma işleminin kalitesini arttırarak çevreye verilecek zararın minimum yapılması amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için bir yandan maliyetler artmaktadır, bu problemin çözülmesi için hem çevreye olan zararın minimum yapılması hem maliyetlerin azaltılması amaçlanmış ve hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Model çok aşamalı, çok ürünlü bir modeldir ve tesis açılmasına da karar vermektedir.

Ene ve Öztürk (2013), çok aşamalı çok periyotlu açık döngülü bir tersine tedarik zinciri ağı sunmuşlardır. Problem karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli olarak çözülmüştür. Shi, Zhanga ve Sha (2011), yaptıkları çalışmada, yeniden üretim sistemini ele alarak, çok ürünlü, kapasite kısıtlı, taleplerin belirsiz olduğu durum için, tek periyotlu doğrusal olmayan bütünleşik bir tersine lojistik ağ tasarımı geliştirmişlerdir. Langrange sezgiseli ile problem çözülmüştür. Louwers, Kip, Peters, Souren ve Flapper (1999), yaptıkları bu çalışmada yeniden kullanılan halı malzemeleri için yerleşim dağıtım modeli sunmuşlardır. Demirel ve diğerleri (2008) yaptıkları bu çalışmada, genel bütünleşik bir lojistik ağı tasarımı için kapasite kısıtlı, çok aşamalı, çok ürünlü bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Modelde ileri ve geri ağda yer alan tesislerin sayı ve yerlerinin belirlenmesi ile müşteri taleplerinin minimum maliyetle karşılanacağı dağıtım ağının tasarlanması kararlarını içermektedir. Modelin karmaşık yapısından dolayı, sezgisel yöntem ile doğrusal programlamayı birlikte kullanan genetik algoritma tabanlı melez bir çözüm yöntemi sunulmuştur.

Demirel ve Gökçen (2008), üreticilerden dağıtım merkezleriyle müşterilere gönderilen ürünlerin kullanıldıktan sonra tekrar toplama ve ayıklama merkezlerinden üreticilere geri kazandırılarak (yeniden üretim) gönderilmesini içeren bütünleşik bir tersine lojistik ağı için karışık tam sayılı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bir örnekle önerilen modelin geçerliliği doğrulanmış ve duyarlılık analizleri yapılmıştır. Dat, Linh, Chou ve Yu (2012) yaptıkları bu çalışmada, geri dönüşüm sürecinde toplam maliyeti minimum olmasını amaçlayan bir geri dönüşüm sistemi için tersine ağ modeli sunmuşlardır. Önerilen model geri dönüşüm sürecinin ayrıştırma, yenileştirme, geri dönüşüm ve bertaraf olmak üzere 4 aşamasını içermektedir.

Duyguvar (2010), yaptığı tez çalışmasında, kavramlar ve sistemin işleyişi ele alınmış, karışık tam sayılı deterministik bir model kullanılarak tersine lojistik ağ tasarımı yapmıştır. Ağ yapısına göre oluşturulan toplama merkezleri kanalıyla gerçekleştirilecek malzeme akışının daha etkin yönetilmesini sağlamak amacıyla web tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir. Taş (2009), yaptığı tez çalışmasında tehlikeli atık sınıfına dâhil olan akülerin geri dönüşüm sistemi ağ tasarım çalışması gerçekleştirilerek akü geri dönüşüm faaliyetlerinin düzenli ve sistemli bir şekilde en az maliyetle nasıl yapılabileceği konusu üzerinde çalışmıştır.

Das ve diğerleri (2012), yaptıkları bu çalışmada farklı kalite seviyelerindeki ürünlerin pazarlama ve üretilmesinde modüler ürün tasarımı ile bütünleşik bir tersine lojistik tedarik zinciri planlama süreci sunmuşlardır. Farklı kalite seviyelerinde karışık ürünleri ve geri kazanım modülleri geri dönen ürünlerin toplanmasını da ele alarak gerekli tüm planlama sürecinde kârı maksimum yapmak için karışık tam sayılı bir model formüle etmişlerdir. Bu çalışma, dönen ürünlerin(yaşam ömrünü tamamlamış, kusurlu, garanti altındakiler) geri kazanım hizmet sağlayıcılarının bir ağ kullanarak toplanan ürünlerden geri kazanım modülü ile geri dönen outletleri toplanmasını önermektedir.

Ayvaz ve diğerleri (2013), bu çalışmada belirsizlikler altında çok aşamalı, çok ürünlü, kapasite ve tesis sayısı kısıtlı iki aşamalı stokastik programlama modeli önermişlerdir. Çalışmada geliştirilen genel tersine lojistik ağ tasarım modeli Türkiye’de elektrikli ve elektronik atıkların geri dönüşümü alanında faaliyet gösteren bir tersine lojistik firmasının ağ tasarım problemi için uygulanmıştır. Tian, Jin ve Ge (2009), bu çalışmada karışık tam sayılı doğrusal olamayan programlama modeli ve kapasite kısıtları altında hurda araçlar için tersine lojistik ağ tasarımı probleminin bir algoritmik çözümünü sunmuşlardır. Hurda araçların toplama ağı için, optimal sayıda tesis bulmak için tabu arama ve kapasite kısıtlarını çözmek için Langranj sezgiseli ile hibrid bir algoritma geliştirmişlerdir. Sonuç olarak, bu çalışma, birçok üretici için yüksek çevresel koruma ve hurda araçların dönüşüm oranını artırmaya katkıda bulunmuştur.

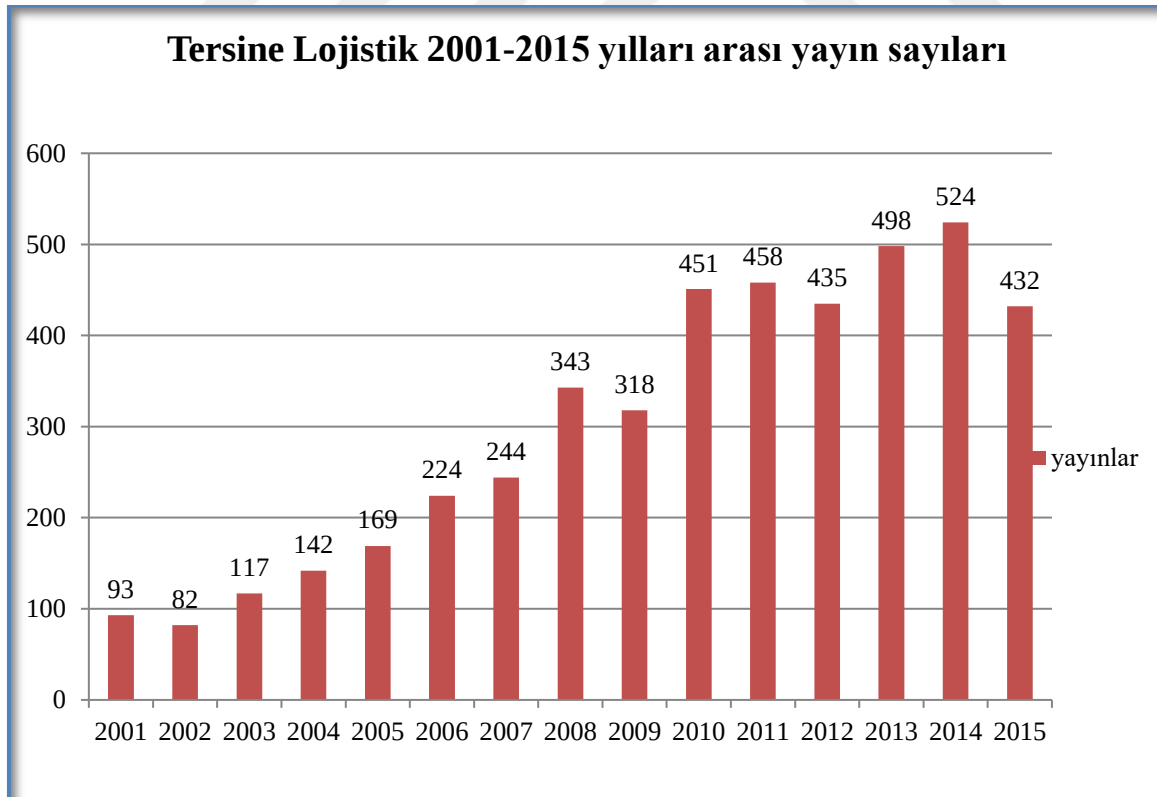
Demirel ve Gökçen (2008), yaptıkları bu çalışmada, tersine lojistik ağı tasarımı ve modellenmesi konusunda yapılmış olan çalışmalarını incelemiş, çalışmalar sınıflandırılmış ve temel özellikleri analiz edilmeye çalışılmıştır. Dowlatshahi (2005), tersine lojistik konusunda kapsamlı bir literatür çalışması yapmıştır. Teori geliştirme yaklaşımı temel alınmıştır. Tersine lojistik sistemlerde yeniden üretim ve geri dönüşüm gibi faaliyetlerin sağladığı katkılara vurgu yapılmıştır. Jayaraman, Patterson ve Rolland (2003), tersine dağıtım maliyetlerini minimum yapan bir analitik model geliştirmişlerdir. Jayaraman ve diğerleri (1996) çalışmalarında tek bir dağıtım noktasından müşterilerin taleplerinin karşılandığı bir yapı mevcutken, bu geliştirilen modelde tek bir merkez alanı olmadığı, karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Listeş ve Dekker (2005), yaptıkları bu çalışmada geri dönüşümü sağlanan kumlar için tersine lojistik ağ tasarımıyla, stokastik program temeline dayanan bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Talepler ve dönen ürünlerin miktarlarının, kalitelerinin belirsiz olduğu durum için ağ tasarımı yapmışlardır.

Barker ve Zabinsky (2010), tersine lojistik için AHP kullanarak çok kriterli karar verme modeli geliştirmişlerdir. Kannan ve diğerleri (2014), tersine lojistik ve kapalı döngülü tedarik zinciri konusunda Ocak 2007 ve Mart 2013 yılları arasında yayınlanmış 382 çalışmadan seçilen geniş bir literatür çalışması yapmıştır.

2.3. Scope ve Web of Science Veri Tabanında Tersine Lojistik Yayın İstatistikleri

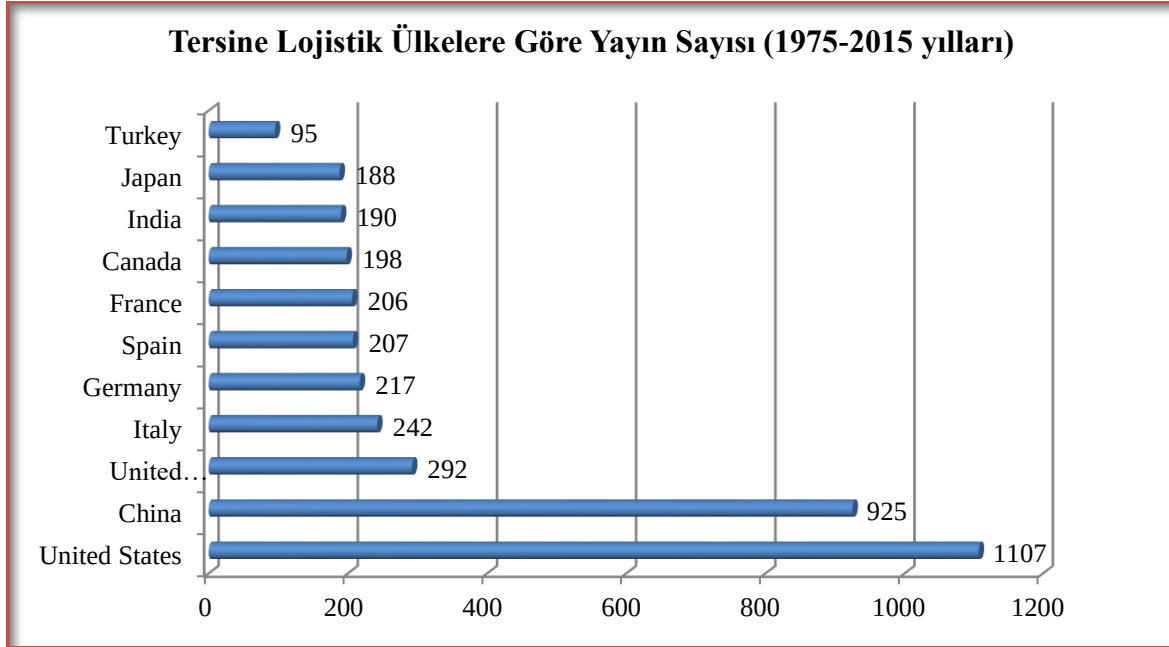
2.3.1. Scope veri tabanında, tersine Lojistik konusunda yapılan çalışma özetleri (29.03.2016)

Şekil 2.1, Scope veri tabanında araştırma sonucunu, 2001 - 2015 yıllarında tersine lojistik konusunda yapılan çalışma sayılarını göstermektedir. Genel itibariyle tersine lojistik konusunda yapılan çalışma sayısı artış göstermiştir. Tersine Lojistik konusu son zamanlarda önem kazanmıştır, 2001 yılında yapılan çalışma sayısı 93 iken 2014 yılında bu konu üzerine yapılan çalışma sayısı 524'tür.



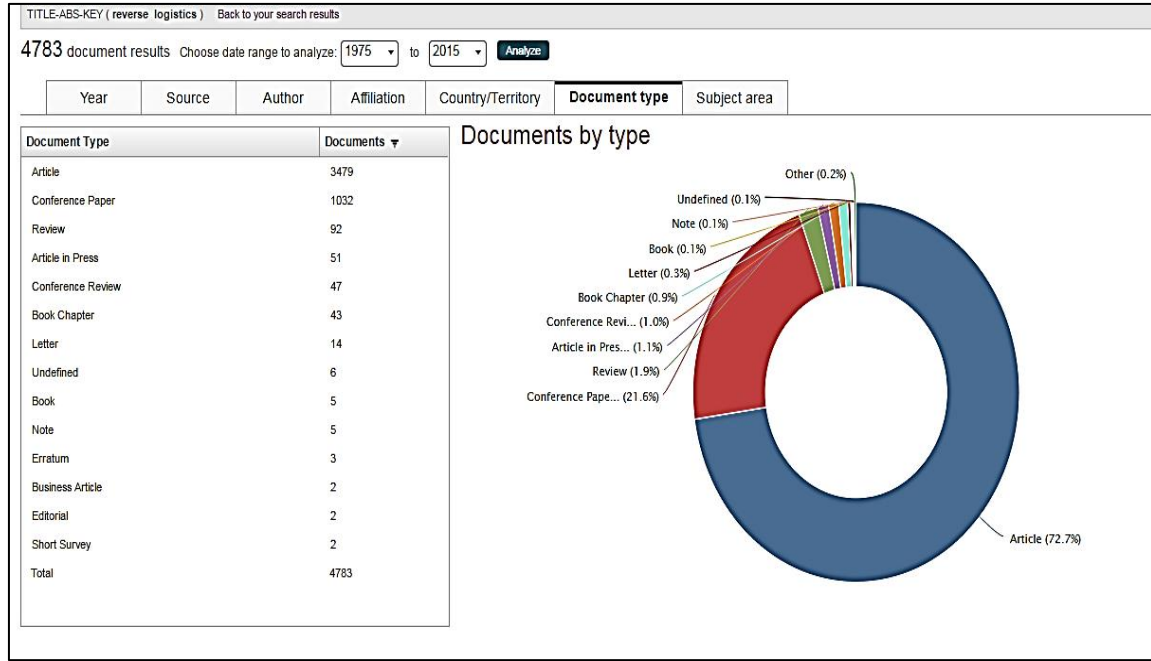
Şekil 2.1. Scope veri tabanı, 2001-2015 yıllarında tersine lojistik konusunda yapılan yayın sayıları

Tersine lojistik başlığında 1975-2015 yılları arasında yapılan çalışmaların ülkelere göre dağılımı Şekil 2.2’de görülmektedir. En fazla çalışma Amerika ve Çin’de yapılmıştır. Ülkemizde tersine lojistik konusunda yapılan çalışma sayısı 95’tir.



Şekil 2.2. Scope veri tabanı, 1975-2015 yılları arasında tersine lojistik konusunda yapılan yayın sayıları

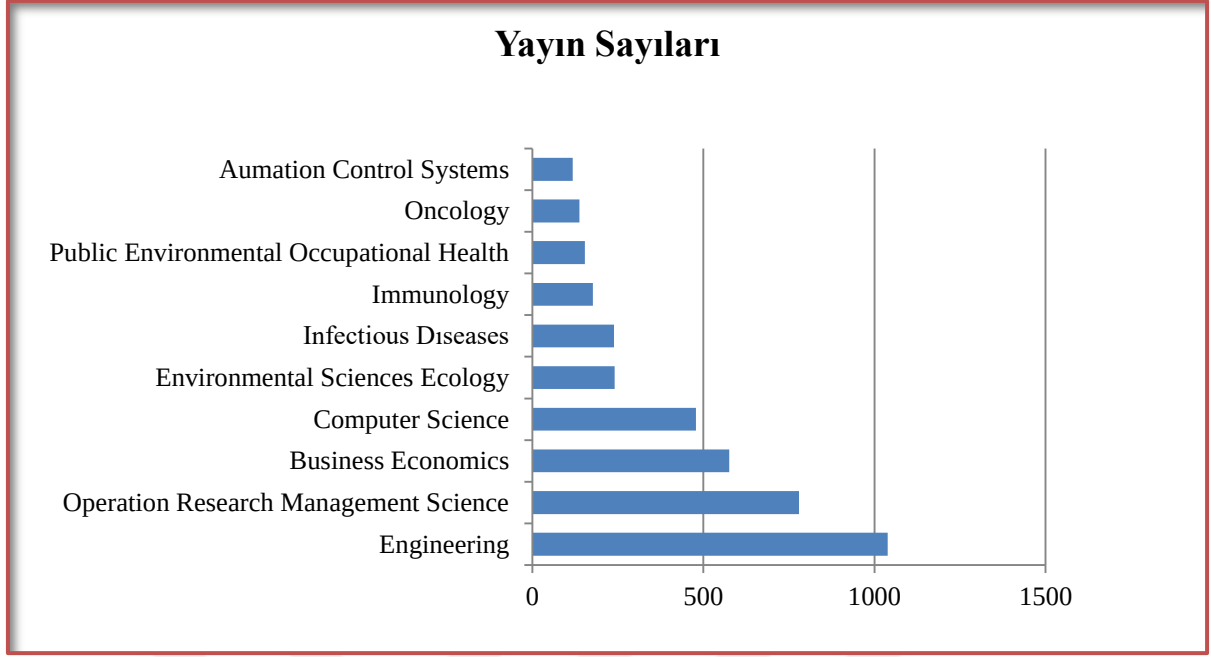
Şekil 2.2’ye göre 1975-2015 yılları arasında başlık olarak tersine lojistik konusunda en fazla çalışma, Amerika’da ve Çin’de yapılmıştır, ülkemizde ise bu konuda yapılan toplam çalışma sayısı 97’dir. Scope veri tabanında 1975 ve 2015 yılları arasında tersine lojistik konusunda yapılan çalışma tipleri Şekil 2.3’te görülmektedir. En fazla başlık olarak yayınlanmış ve konferansa gönderilen yayın sayısı 1032 ve literatür yapılan çalışma sayısı 92’dir.



Şekil 2.3. Scope veri tabanı, tersine lojistik konusunda yapılan çalışma tipleri

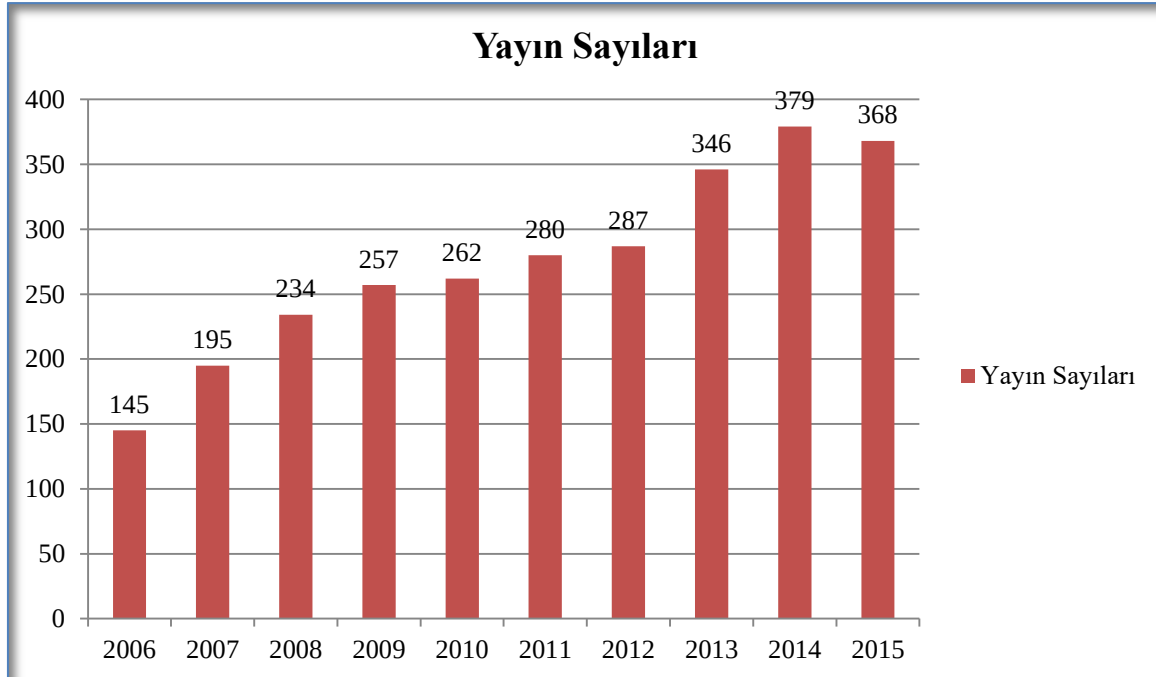
2.3.2. Web of Science veri tabanında tersine lojistik alanında yapılan çalışmaların analizi (30.01.2016)

Tersine lojistik başlığında Web of Science veri tabanında yapılan çalışma sayılarının alanlara göre dağılımı Şekil 2.4'te görülmektedir. En fazla çalışma mühendislik alanında yapılmıştır. Tersine lojistik konusunda toplamda 3376 yayın yapılmış ve 3376 yayından en fazla araştırma alanları içerisinde %30,776 oranıyla mühendislik alanı göze çarpmaktadır. Sonrasında 780 yayın sayısı yani %23,104 oranıyla yöneylem araştırması yönetim bilimi, sonrasında sırasıyla işletme ekonomisi, bilgisayar bilimleri çevresel bilimler ekolojisi, bulaşıcı hastalıklar alanında görülmektedir.



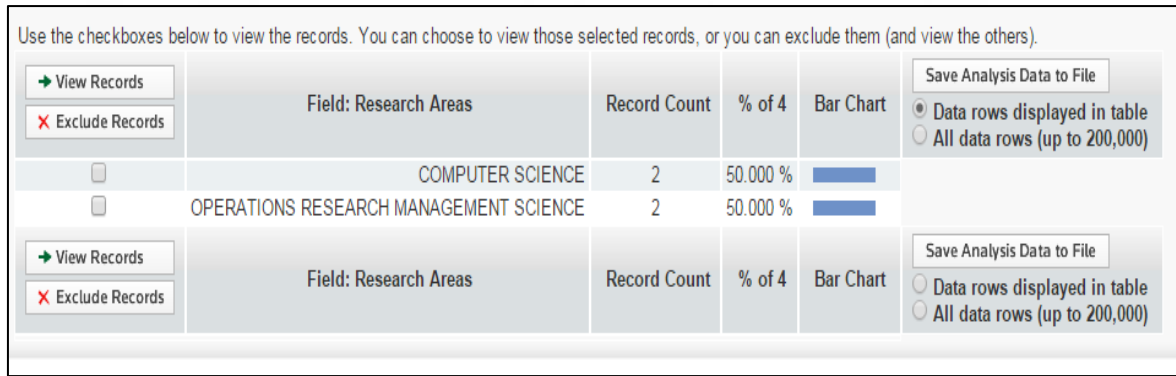
Şekil 2.4. Web of Science veri tabanında tersine lojistik başlığında yapılan yayın sayıları

2006-2015 yılları arasında Web of Science’da tersine lojistik konusunda yapılan yayın sayıları Şekil 2.5’te görülmektedir. Son zamanlarda tersine lojistik konusunda yapılan çalışma sayısının arttığı görülmektedir.



Şekil 2.5. Web of Science veri tabanında tersine lojistik başlığında yapılan yayın sayıları

Web of Science veri tabanında, tıbbi atık (medical waste) ve lojistik başlıkları arandığında 4 yayın olduğu görülmektedir. Tersine lojistik konusunda yapılan çalışma sayısı fazla iken tıbbi atık ve lojistik konusunda çok az çalışmanın olduğu görülmektedir. Tıbbi atık yönetiminin ve sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıklar çevre ve insan yaşamı için çok büyük önem arz etmektedir, ancak sağlık kurumlarından kaynaklanan atıkların, tersine lojistik faaliyetlerinden yeniden kullanım, geri dönüşüm, yeniden üretim, yeniden kazanım gibi faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinin zor olmasından dolayı daha çok genel tıbbi atık yönetimi ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Lojistik, medical waste başlığı altında 4 yayın yapılmıştır, Şekil 2.6'da görülmektedir.



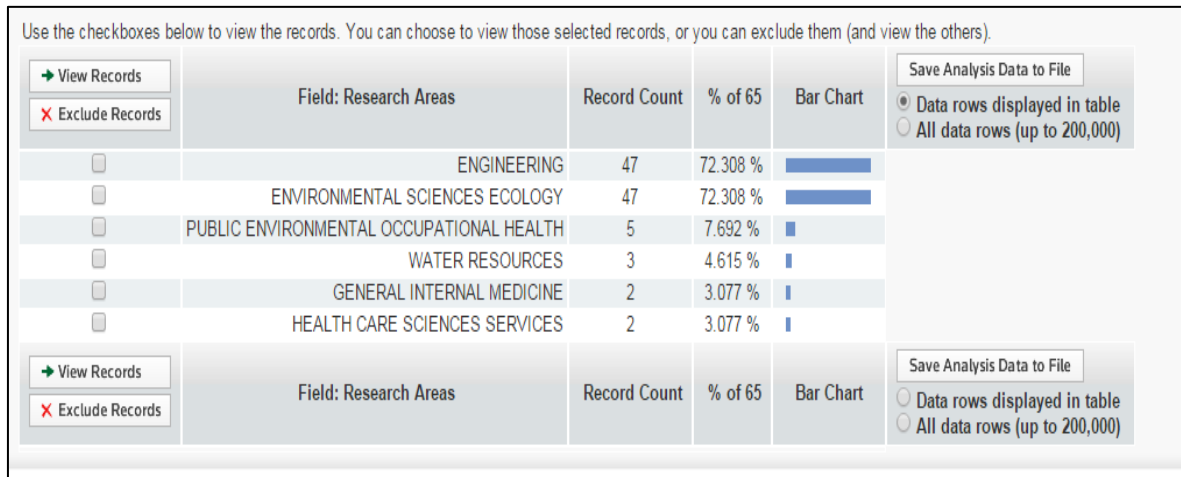
Şekil 2.6. Tıbbi atık ve lojistik başlığı üzerine yapılan çalışmaların alanlara göre dağılımı

Web of Science veri tabanında, 2015 yılına kadar, tıbbi atık yönetimi üzerine yapılan çalışma sayısı 92 tanedir. En fazla çalışma Amerika'da yapılmıştır ve ülkemizde bu konuda yapılan çalışma sayısı 6'dır (Şekil 2.7).



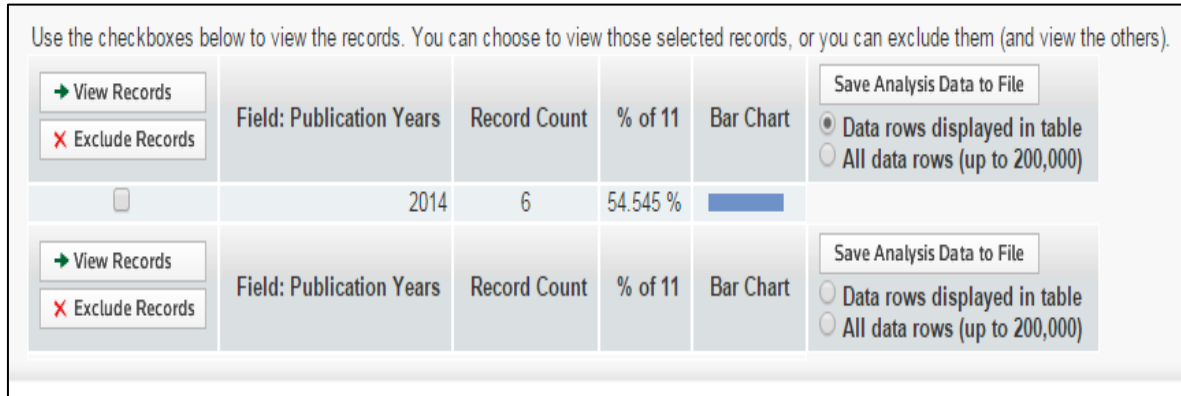
Şekil 2.7. Web of Science Tıbbi atık yönetimi başlığında yapılan çalışmaların ülkelere göre sayıları

Ülkemizde yapılan tıbbi atık yönetimi çalışmalarını Birpınar ve diğerleri (2009), Uysal ve Tınmaz (2004), Eker, Bilgili ve Sekman (2010), Akbolat ve diğerleri (2011), Ozder, Teker ve Eker (2013), Gören, Demir ve Yaman (2011) yapmışlardır. Web Of Science veri tabanında 2015 yılına kadar, başlık olarak, Sağlık Kurumlarından Kaynaklanan Atıkların Yönetimi (Healthcare management) üzerine 65 çalışma olduğu görülmektedir. En fazla çalışma bu konuda İngiltere ve İran'da yapılmıştır. En fazla çalışma da, Mühendislik ve Çevresel Bilimler Ekolojisi alanında yayınlanmıştır. Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da görülmektedir.



Şekil 2.8. Web of science sağlık kurumlarından kaynaklanan atıkların yönetimi konusunda yapılan çalışmaların araştırma alanlarına göre dağılımı

Sağlık kurumlarından kaynaklanan atıkların yönetimi ve lojistik alanında bütünleşik çalışma sayısı 11 dir. Bu konuda 2014 yılında 6 çalışma yayınlanmıştır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Sağlık kurumlarından kaynaklanan atıkların yönetimi ve lojistik alanında yapılan çalışma sayıları

3. TERSİNE LOJİSTİK

3.1. Tersine Lojistiğin Tanımı

Günümüzde çevresel düzenlemeler ve yasalar, ekonomik faktörler sebebiyle adından sıkça söz ettiren tersine lojistik kavramının literatürde çeşitli tanımları bulunmaktadır. Pek çok araştırmacı tersine lojistiği değişik özellikleri bakımından kullanım ömürlerini tamamlamış ürünlerin müşterilerden geri dönmesi olarak tanımlar. Tersine lojistik yaşam sürelerini tamamlamaları nedeniyle kullanım olanağı kalmamış ya da kalitesizlik, teknolojik yetersizlik, demode olma, ürün geri çağırma ile garanti ve satış sonrası hizmet gibi nedenlerle iade edilen ürünlerin, tüketim noktalarından toplanması, muayene edilmesi ve o ürünlere değer eklenerek ya da eklenmeden ekonomiye yeniden kazandırılması çalışmalarını kapsamaktadır (Kroon ve diğerleri, 1995; Dowlatshahi, 2000).

Stock (1992), “toplum ve iş çevresine faydalı bir kavram” olarak, 1998’de ise “ürün dönüşleri, kaynak azaltımı, geri kazanım, materyal ikamesi, materyallerin yeniden kullanımı, atıkların yok edilmesi ve yakılması, tamir ve yeniden üretimde lojistiğin rolü” olarak tanımlamıştır (Rogers, Tibben-Lembke, 2004).

Fleischmann ve diğerleri (1997), faydası tükenmiş, kullanıcı tarafından artık kullanılmayan ürünün, tekrar kullanılabilen ürüne dönüşünceye kadar kapsadığı tüm lojistik faaliyetleri içeren bir süreç olarak tanımlamışlardır.

Rogers (1999), tersine lojistiği kullanılmış ürünlerin uygun şekilde yok edilmesi ya da elde bulunmadığı durumlarda değer üretmek amacıyla toplanarak gidilebilecek nihai hedef noktadan diğer noktalara taşınması işlemi olarak tanımlamıştır.

Fleischmann ve diğerleri (2001), yaptıkları çalışmada tersine lojistiği şu şekilde ifade etmişlerdir: “*Geleneksel tedarik ağı yönünün tersine işleyen, nihai ürünlere yeniden değer katma ya da bertaraf operasyonlarını içeren planlama, uygulama ve kontrol operasyonlarının etkili ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesidir.*”

Jayaraman ve diğerleri (2003), yaptıkları çalışmada tersine lojistiği, tüketici tarafından uzun dönemli talep edilmeyen kullanılmış ürünlerin tekrar işlenerek kullanışlı hâle

getirilmesi için yapılan her türlü lojistik aktivite olarak tanımlamışlardır. Tersine dağıtım aktiviteleri kusurlu ya da çevreye zararlı tehlikeli ürünlerin (kullanılmış, hayat çevrimi sona ermiş) müşterinin elinden çıkmasını ve gerekli yerlere ulaşarak doğru biçimde değerlendirilmesini sağlama çabaları olarak ifade etmişlerdir.

Dekker ve diğerleri (2004), tersine lojistiği, lojistik yönetiminden ortaya çıkan zararlı veya zararlı olmayan atıkların bertaraf edilmesini, normal lojistik faaliyetlerinin ters akışını ele alan yapıyı ve geri dönüştürülebilen ürünlerin tersine dağıtımının uygulanması olarak tanımlamışlardır.

Dowlathshahi (2005), tersine lojistiği “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 etmesi süreci” olarak ifade etmiştir.

Chen ve diğerleri (2007), tersine lojistiği satış sonrası ürün/servis, orijinal kullanım hayatı sonunda üründen maksimum değer elde etme hedefi, düzenli taleplerin karşılanması, yeşil lojistik düşüncesi ile ilgili kapsayan tüm lojistik işlemler olarak ifade etmişlerdir.

Tanımlardan bir sonuç çıkarmak gerekirse, tersine lojistik; müşterilerden dönen, kullanılmayan ürünlerin,tekrar kullanışlı hâle getirilmesi, böylece çevreye en az zararın verilmesi ve ekonomiye katkısını sağlamak amacıyla gerçekleştirilen lojistik faaliyetlerdir.

3.2. Tersine Lojistiğin Önemi

Tersine lojistiğin önemi günümüzde giderek artmaktadır. Tersine lojistik, firmalara bir çok açıdan değer katmaktadır. Bazı sebeplerden dolayı dünyada ve ülkemizde bir çok firmada tersine lojistik faaliyetleri uygulamalarına verilen önem artmıştır. Bunun sebepleri;

- Kullanıcılardan dönen ürün oranlarının yüksek olması ve belirsiz olması,
- Iskartaya çıkarılan ürünlerin yeniden işlem süreçlerinden geçirelerek değerlerinin arttırılmasıyla piyasaya tekrar sunulabilmeleri,
- Ürün geri alımını sağlayacak yasal zorunlulukların ve mevzuatların düzenlenmesi,

- Kullanıcıların, tehlikeli atık içeren ürünlerin bertarafı ve değerlendirilmesi için sorumluluk alınması gerektiği inancıyla üreticilere yaptığı baskılar,
- Arazi kapasitelerinin limitli ve bazı bertaraf yöntemlerinin canlılara zarar riskinin fazla olması sonucunda yendien üretim, geri dönüşüm faaliyetlerinin daha fazla önem kazanması olarak söyleyebiliriz.

3.3. Tersine Lojistik ve İleri Lojistik Yönetimi

3.3.1. Tersine lojistiğin ileri lojistikten farkları

- İleri lojistikte bir noktadan çok noktaya dağıtılırken, geri dönüş çok noktadan tek noktaya doğru hareket eder.
- İleri lojistikte tahmin ve planlama yapmak daha kolaydır, tersine lojistikte ise belirsizlik durumu daha fazla olduğu için tahmin ve planlama yapmak daha zordur.
- Stok yönetimi tersine lojistikte belirsizdir, ileri lojistikte belirlidir.
- Kalite seviyeleri değişken ürünler, tersine lojistik kapsamındadır. İleri lojistikte ise ürünler genel olarak kalite seviyeleri ve standartları aynıdır.
- İleri lojistikte maliyetler tahmin edilebilir iken, tersine lojistikte maliyetler belirsizdir.
- Tersine lojistikte malzeme toplama faaliyetleri daha maliyetlidir.
- İleri lojistikte maliyetler maliyet kalemleri olarak yakından düzenli olarak takip edilebilirken,tersine lojistikte ise belirsiz durumların daha fazla olmasından dolayı kayıt sistemlerini takip edebilmek daha zordur.

Wang ve Hsu (2010), yaptıkları çalışmada ileri, tersine ve kapalı döngülü tedarik zinciri ağları arasındaki farkları detaylı şekilde maddelemişlerdir. Çizelge 3.1’de bu farklar özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Tersine lojistik ve ileri lojistik arasındaki farklar

<i>İTZ</i>	<i>TTZ / KDTZ</i>
Tahminler kolay ve deterministiktir.	Tahminler zor ve stokastiktir.
Dağıtım tek noktadan çok noktaya doğru	Dağıtım çok kaynaktan tek kaynağa doğru
Ürün yapısı standarttır.	Ürün yapısı standart değildir.
Dağıtım kanalları ve rotası bellidir.	Dağıtım kanalları ve rotası belirsiz.
Ürün fiyatlandırması standarttır.	Ürün fiyatlandırması standart değildir.
Stok yönetimi kolaydır.	Stok yönetimi karmaşıktır.
Hız önemlidir.	Hız önemli bir faktör değildir.

3.4. Neden Tersine Lojistik

Uzun zaman tedarik zinciri sadece ileri yönlü, yani ham maddeden nihai kullanıcıya doğru olan faaliyetlerle ilgilenmiştir. Son zamanlarda ise ürünlerin çeşitliliğinin artması, ekonomik sebepler, yasal zorunluluklar, üretim maliyetlerinin artması, kullanıcıların çevreye olan duyarlılığının artması, ürün kullanım ömürlerinin kısalması gibi sebeplerden dolayı tedarik zincirlerinde firmalar açısından ürünlerin tüketiciden üreticiye geri dönüş hareketleri yani ters yönlü akışları daha önemli hale gelmiştir.

Fleischmann ve diğerleri (2001), yaptıkları çalışmada kullanıcılardan üreticiye, ters yönlü akışın nedenlerini sınıflara ayırmıştır. Bunlar;

- Hayat çevrimini tamamlayan ürünlerin geri iadesi,
- Alınan borçlar karşılığında kullanılmadan gönderilen ticari dönüşler,
- Garanti kapsamında olan kusurlu ürün geri dönüşü, ıskarta ve yan ürün geri dönüşleri,
- Konteynır, geri dönüşümlü paket ve artıklarını içeren paketleme malzemeleri dönüşleridir.

Rito ve diğerleri (2002), ise tersine lojistik faaliyetlerinin neden uygulandığını ürün göndericileri ve kullanılmış ürün alıcıları tarafından iadeler olmak üzere sınıflandırmışlardır. Tersine lojistik ağlarında, ürün geri dönüşleri; üretim geri dönüşleri, dağıtım geri dönüşleri, tüketici geri dönüşleri olmak üzere üç gruba ayrılır. Bu geri dönüşlerin nedenlerini Brito ve diğerleri (2002) şöyle sıralamıştır;

- *Üreticiden geri dönenler:* Ürünlerin üretimi esnasında kalite kontrol aşamasında ayrılan hatalı parçalar, fazla üretim miktarları, artık hammadde geri dönüşleri, kalite kontrolden geçmemiş yarı mamuller üreticiler tarafından iade edilmektedir.
- *Dağıtıcıdan geri dönenler:* Ürünlerin dağıtımı esnasında geri gönderilen ürün veya parçalardır. Dağıtıcıdan geri dönen ürünlere, satılmayan ürünler, taşımalar sırasında kullanılan palet, konteyner ve kutular gibi fonksiyonel iadeler, mevsimsel trende sahip olan ürünlerin stok ayarlamaları esnasındaki iadeler, hatalı ve bozuk parçalar örnek olarak verilebilir.
- *Tüketiciden geri dönenler:* Ürünlerin kullanıcılara ulaştıktan sonra kullanıcıların çeşitli sebeplerden dolayı geri göndermesinden oluşmaktadır. Garanti kapsamında olan ürünlerin iadesi, yedek parça değişimi için iadeler ve kullanımı son bulmuş olan ürünlerin iadesi örnek olarak verilebilir.

Kullanılmış ürün alıcıları tarafından olan geri dönüşler ekonomik faktörler, yasal faktörler, çevresel faktörlerden dolayı olabilmektedir.

- *Ekonomik faktörler:* Tersine lojistik uygulamalarıyla firmalar maliyet giderlerini azaltabilmektedirler, bu da ekonomiye büyük katkı sağlamaktadır. Örneğin günümüzde bir çok firma geri kazanım yöntemlerinden biri olan yeniden üretim işlemiyle hammadde ihtiyaçlarını geri dönüştürülen ürünlerden elde ederek maliyetlerini azaltmaktadır.
- *Yasal faktörler:* Nüfusun artması atık miktarlarının da artmasına diğer yandan arazi kapasitelerinin, doğal kaynakların azalmasına sebep olmuştur. Dolayısıyla bir çok ülkede firmalar ürettikleri ürünlerin geri kazanımı konusunda yasal yaptırımlar uygulanmaya zorlanmaktadır. Günümüzde birçok ülkede firmalar yönetmelikler ile, kendi atıklarının bertarafından sorumlu tutulmaktadır. Bunun yanında üreticiler, tüketicilerden belirli miktarda kullanılmış ürün toplamak zorunda bırakılmaktadır.
- *Çevresel faktörler:* Doğal kaynakların azalması, çevre kirliliğinin artması, ürünlerin tersine lojistik faaliyetlerini zorunluluk haline getirmektedir. Tersine lojistik faaliyetlerinin uygulanmasıyla doğaya verilecek olan zararlarında önüne geçilecek, doğal dengenin korunması sağlanacaktır. Son zamanlarda insanların da çevreye olan duyarlılığının bilincinin de artmasıyla firmalar ürünlerin geri kazanılmasına önem vermeye, daha fazla çevresel ve sosyal sorumluluk almaya çabalamaktadırlar. Örneğin

geri kazanımla atık malzemelerin ham madde olarak kullanılması, etkin tersine lojistik ağ tasarımıyla kaynakların etkin kullanılması, çevre kirliliğinin engellenmesine katkı sağlamaktadır.

3.5. Tersine Lojistik Ağ Tasarımı

Bir tersine tedarik zinciri, kullanılmış ürünlerin tüketicilerden toplanması, yeniden değerlendirilmesi ve bertaraf edilmesi gibi işlemlerin yer aldığı tersine akışlı bir yapı iken, ileri ve tersine zincirlerin kombinasyonlarına döngülü tedarik zincirleri adı verilir (Alumur ve diğerleri, 2012). Eğer, kullanıcılardan toplanan ürünler tekrardan mevcut ileri lojistik ağına dâhil ediliyor ise bu döngü kapalı bir döngüdür ve kapalı döngülü tedarik zinciri (KPDZ) ağı olarak adlandırılır. Eğer kullanılmış ürünler başka bir ileri lojistik ağ yapısına dahil edilmiş ise bu döngü açık bir döngü olup, açık döngü tedarik zinciri (ADTZ) olarak adlandırılır.

Tersine lojistik ağı tasarımı ve modellenmesiyle ilgili yapılmış olan çalışmalar iki kategoride sınıflandırılabilir. Bunlardan ilki sadece tersine akışın ele alındığı bağımsız modeller, ileri ve geri akışın birlikte ele alındığı bütünleşik modeller olarak ayrılmaktadır (Demirel ve diğerleri, 2008).

Etkin bir dağıtım ağının oluşturulabilmesi için bazı özelliklerin değerlendirilmesi gerekmektedir (Fleischmann ve diğerleri, 1997);

- Tersine dağıtım kanalında rol alan aktörler kimlerdir?
- Tersine dağıtım kanalında hangi fonksiyon nerede yerine getirilecektir? Ağ tasarımı aşamasında, olası fonksiyonlar olan ürün testi, sınıflandırma, ayrıştırma, nakliye ve ürün işleminin nerede yapılacağı belirlenmelidir.
- Aynı elemanlar kullanılıyor olsa bile, iki dağıtımda farklı fonksiyonlar gerçekleştirileceğinden bunların entegrasyonunda rotalama düzeyinde karmaşıklıklar olacaktır. İleri ve tersine lojistikte ele alınması gereken konulardan biri de, iki akışın bütünleştirilip bütünleştirilmemesidir (Demirel ve diğerleri, 2008).

Tersine lojistik ağ tasarımı yapılan bazı çalışmalar aşağıda Çizelge 3.2’de verilmiştir. Tersine lojistik ağ tasarımında daha çok karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir ve genelde ağ tasarımı bütünlük olarak tasarlanmıştır.

Çizelge 3.2. Tersine lojistik konusunda yapılan çalışmaların özet çizelgesi

No	Yazar	Ağ yapısı	Amaç Fonksiyonu	Geri Kazanım Opsiyonu	Model / Çözüm Yöntemi
1	Barros ve diğerleri (1988)	Tersine Lojistik	Maliyet Minimizasyonu	Geri Dönüşüm (Sand Recycling)	MILP / Sezgisel
2	Fleischmann ve diğerleri (1997)	Bütünlük	Genel Ağ Tasarımı	Yeniden İmalat	Optimal
3	Shih (2001)	Tersine Lojistik	Maliyet Minimizasyonu	Geri Dönüşüm (Recycling)	MILP / Sezgisel
4	Demirel ve diğerleri (2008)	Bütünlük	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden İmalat (Recovery)	MILP / Optimal
5	Pishvaeve ve diğerleri (2010)	Tersine Lojistik	Maliyet Minimizasyonu		MILP / Sezgisel
6	Li ve diğerleri (2012)	Bütünlük	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden İmalat	MILP / Optimal
7	Salema ve diğerleri (2006)	Bütünlük	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden İmalat	Optimal
8	Srivastava ve diğerleri (2006)	Tersine Lojistik	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden İmalat, Tamir Etme	MILP / Optimal
9	Kumar ve diğerleri (2008)	Tersine Lojistik	Maliyet Minimizasyonu	Geri Dönüşüm	MIGP / Optimal
10	Lu ve diğerleri (2005)	Bütünlük	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden İmalat	MILP / Sezgisel
11	Ene ve diğerleri (2013)	Açık Döngü, Bütünlük	Kâr Maksimizasyonu	Yeniden İşleme, Bertaraf, Geri Dönüşüm	MILP / Optimal
12	Shi ve diğerleri (2010)	Bütünlük, Kapalı Döngü	Kâr Maksimizasyonu	Yeniden İmalat	MILP / Optimal
13	Kim ve diğerleri (2006)	Bütünlük, Kapalı	Kâr Maksimizasyonu	Yeniden İmalat	MILP / Optimal
14	Louvers ve diğerleri (1999)	Bütünlük	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden Kullanım	NLP / Optimal
15	Das ve diğerleri (2012)	Bütünlük	Kâr Maksimizasyonu	Yeniden İmalat	MILP
16	Jayaraman ve diğerleri (1999)	Tersine Lojistik	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden İmalat	Optimal
17	Listeş ve diğerleri (2003)	Bütünlük	Kâr Maksimizasyonu	Yeniden İmalat	Stokastik
18	Spengler ve diğerleri (1997)	Tersine Lojistik	Maliyet Minimizasyonu	Geri Dönüşüm	MILP
19	Fleischmann ve diğerleri (2001)	Bütünlük	Maliyet Minimizasyonu	Genel Ağ Tasarımı	MILP

Çizelge 3.2. (devam) Tersine lojistik konusunda yapılan çalışmaların özet çizelgesi

No	Yazar	Ağ yapısı	Amaç Fonksiyonu	Geri Kazanım Opsiyonu	Model / Çözüm Yöntemi
20	Kroon ve Vrijens (1995)	Bütünleşik	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden Kullanım	MILP
21	Lee ve diğerleri (2006)	Bütünleşik	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden İmalat	Sezgisel
22	Lee ve diğerleri (2009)	Tersine Lojistik	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden İmalat	Sezgisel
23	Lieckens ve diğerleri (2007)	Bütünleşik, Açık Döngü	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden İmalat	MILP / Sezgisel
24	Lieckens ve diğerleri (2012)	Bütünleşik	Maksimum	Yeniden İmalat	Milp / Sezgisel
25	Agraval ve diğerleri (2015)	Tersine Lojistik	Literatür	Literatür	Literatür
26	Galvez ve diğerleri (2014)	Tersine Lojistik	Maliyet Minimizasyonu	Bertaraf, Enerji, Ağ Tasarımı	MILP / AHP
27	Demirel ve Gökçen (2016)	Bütünleşik	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden Kullanım	MILP / Optimal
28	Mansour ve diğerleri (2010)	Bütünleşik	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden Kullanım	MILP / Sezgisel
29	Govindan ve diğerleri (2014)	Literatür	Literatür	Literatür	Literatür
30	Pochampally ve Gupta (2003)	Tersine Lojistik	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden Kullanım	MILP / Optimal
31	Dat ve diğerleri (2012)	Tersine Lojistik	Maliyet Minimizasyonu	Geri Dönüşüm	MILP / Optimal
32	Assavapokee ve Wongthatsanekorn (2012)	Tersine Lojistik	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden Kullanım / Bertaraf (Landfil)	MILP / Optimal
33	Pishvae ve diğerleri (2010)	Tersine Lojistik	Maliyet Minimizasyonu	Ağ Tasarımı	MILP / Sezgisel / SA
34	Schultmann ve diğerleri (2003)	Bütünleşik	Maliyet Minimizasyonu	Geri Dönüşüm	MILP / Optimal
35	Demirel ve Gökçen (2008)	Bütünleşik	Maliyet Minimizasyonu	Yeniden Üretim	MILP / Optimal
36	Demirel ve diğerleri (2016)	Bütünleşik	Maliyet Minimizasyonu	Geri Dönüşüm	MILP / Optimal

3.6. Tersine Lojistikte Ürün Geri Kazanım Süreçleri

Thierry ve diğerleri (1995), tersine lojistikte ürün geri kazanım adımlarını aşağıdaki gibi belirlemiştir;

Toplama (collection): Bu işlem; kullanılmış ürünleri kaynağından, işlenmesi için götürülecek olan yere kadar olan fiziksel aktiviteleri kapsar ilk işlem adımı olan toplama işleminde kullanılmış ürünlerin nihai kullanıcılardan geri kazanılmak üzere toplanmasını ifade etmektedir. Toplama işlemi muayene (inspection), ayırıştırma (seperation) ve bertaraf etme (disposal) alt işlemlerini içerebilir. Muayene işleminde geri dönen ürünlerin yeniden kullanılabilme durumları değerlendirilirken, ayırtırmada muayeneden geçen ürünlerin hangi metotla geri kazanılacağı kararı alınır. Eğer kullanılmış ürün toplandıktan sonra geri kazandırılmayacak kadar kötü durumda ise bertaraf edilir (Demirel ve diğerleri, 2008). Yeniden kullanılabilme durumlarının ve ayırıştırma işlemlerinin gerçekleştirileceği yerlerin belirlenmesi ayrı bir dikkat gerektirir. Bunun nedeni, erken yapılan testlerin kullanılamaz hâldeki ürünlerin nakledilmesini engelleme fırsatıdır.

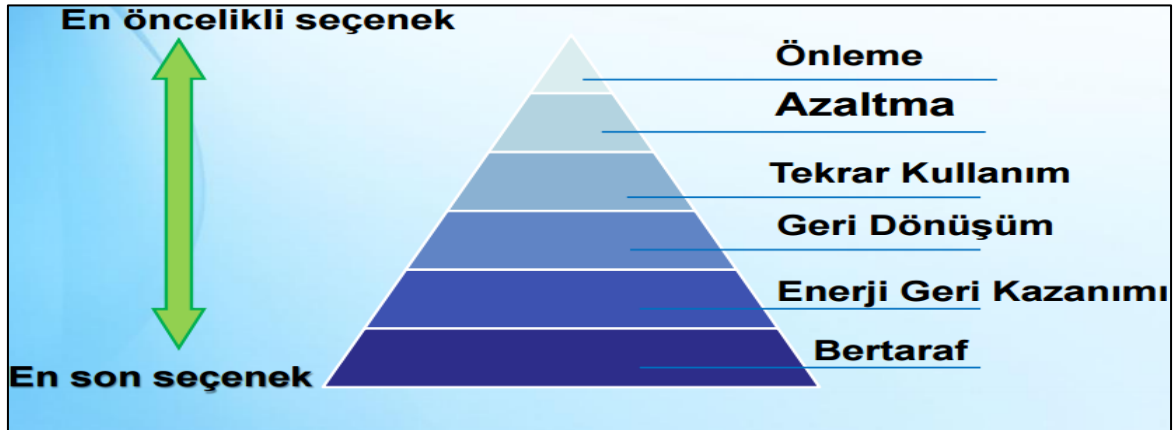
Yeniden işleme (reprocessing): Kullanılmış bir ürününün veya malzemenin ürün veya parça olarak tekrardan kullanılabilir hale getirildiği bu aşama yeniden kullanım (reusing), tamir (repairing), yenileme (refurbishing), yeniden imalat (remanufacturing), geri dönüşüm (recycling) ve toplama da olduğu gibi bertaraf etme işlemlerinden meydana gelir.

- *Yeniden kullanım (reusing):* Kullanılmış bir ürünün üzerinde herhangi bir onarıcı işlem yapılmaksızın tekrardan kullanımıdır. Ürünün hiçbir parçası bu işlemde etkilenmez.
- *Tamir (repairing):* Bozulmuş, kırılmış parçaların onarılması veya değiştirilmesi işlemlerini kapsar. Tamir edilen ürünün kalitesi, yeni üretilen üründen daha düşüktür. Tamir işlemi parçaları sökme ve montajlama işlemleri içerebilir (Kumar ve diğerleri, 2008). Tamir işleminde, üründe yer alan hasarlı parçalar onarılır ya da yenileriyle değiştirilir. Ürün garantisi kapsamında dönen ürünler tamir seçeneğine örnek olarak verilebilir.
- *Yenileme (refurbishing) işlemi,* kullanılmış ürünün kalitesini artırmak ve ömrünü uzatmak amacıyla önemli modüllerin kontrol edilmesi, yenileriyle değiştirilmesi, teknolojik yeniliklerin ilave edilmesi gibi işlemleri kapsar. Amaç, kullanılmış ürünü belirli bir kalite seviyesine (sıfır ürün kalitesine yakın) taşımaktır. Yenileme işleminde kullanılmış ürünün genel bir bakımı, hatalı bir parçası var ise değiştirilmesi gibi kapsamlı bir işlem yapılır.
- *Yeniden imalatın (remanufacturing),* ürünler veya malzemeler tamamen demonte edilir, tüm modül ve parçalar kontrol edilir, tamir edilebilir durumda olanlar kontrol edilerek,

ayrıntılı teste tabi tutulur, eskimiş, teknolojisi geride kalmış olanlar ise yenileriyle değiştirilir.

- *Geri dönüşümde (recycling)*, ürün ve bileşenlerin özellik ve fonksiyonları kaybolur. Geri dönüşümün amacı, kullanılmış ürün ve bileşenlerin yeniden kullanılabilmesidir, dolayısıyla bu işlemin çıktısı ürün seviyesinde değil bileşen ve/veya parça seviyesindedir. Geri dönüşüm öncelikle ürün ve parçaların ayrışması ile başlar, malzemeler farklı sınıflara ayrılır. Ürünler daha sonra ihtiyaç oldukça malzeme gruplarına göre yeni parçaların üretiminde kullanılır (Demirel ve diğerleri, 2008).
- *Bertaraf etme (disposal)* işleminde teknik ve ekonomik açıdan hiçbir şekilde kullanılamaz olan parçalar sistem dışına çıkarılır ve yakma, gömme gibi işlemler ile yok edilir.

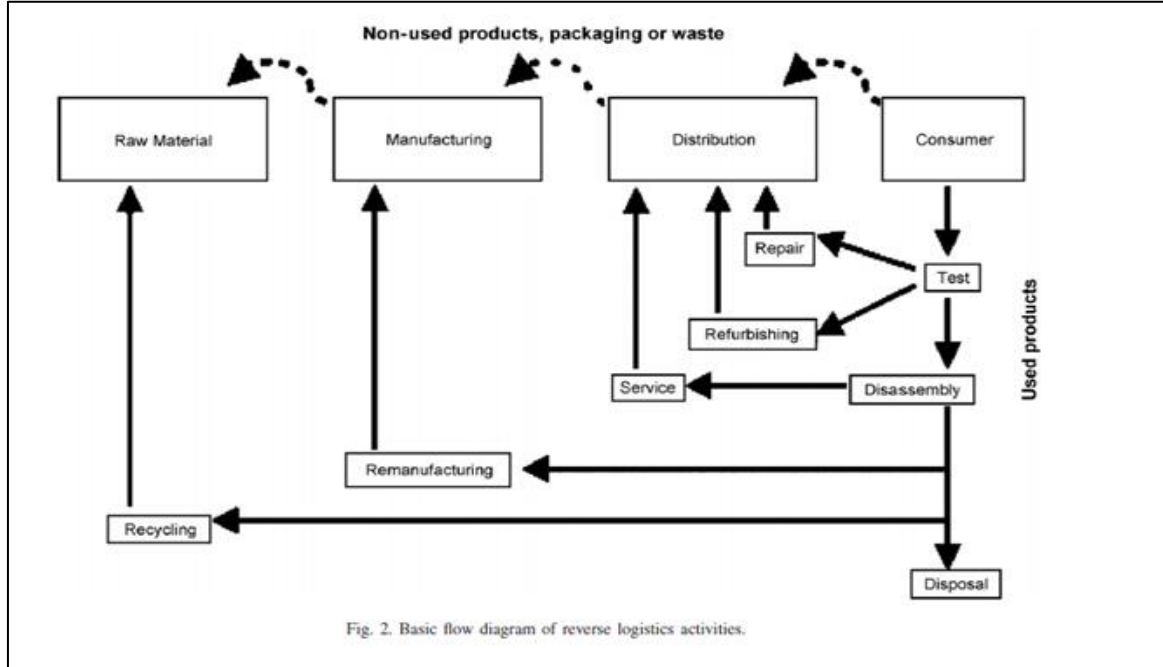
Aşağıdaki şekilde atık yönetim hiyerarşisi görülmektedir. Atıkların önlenmesi, minimizasyonu, yeniden kullanımı, yeniden kullanımı mümkün değilse geri dönüşümü, enerji kazanımı, bu seçeneklerden hiçbiri ile değerlendirmek mümkün değilse doğru şekilde çevreye en az zararla bertaraf edilmesi sağlanmalıdır. Şekil 3.1’de atık yönetim hiyerarşisi görülmektedir (Url-9).



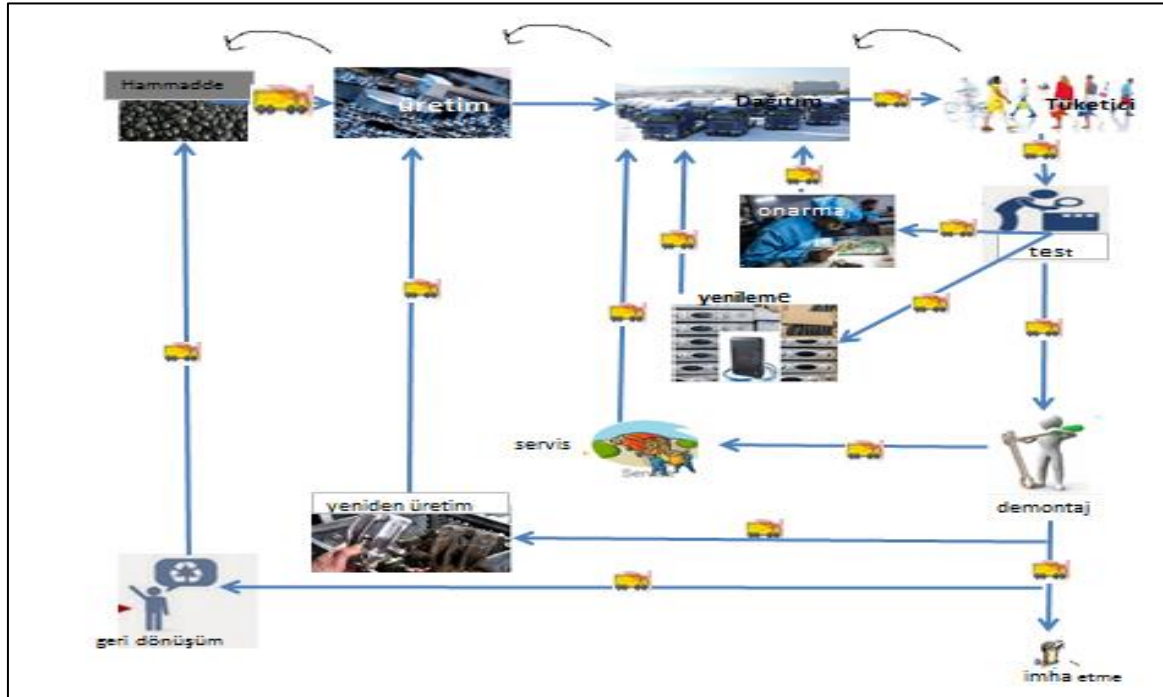
Şekil 10. Atık yönetim hiyerarşisi

Tersine lojistik faaliyetlerinin temel akış diyagramı, (Srivastava, 2006), Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te görüldüğü gibidir. Tüketicilerden dönen ürünler test edilir, test edildikten sonra tamir, yenileme işlemlerine gidecek olan ürünler tekrar dağıtım kanalına girer, üreticilere ulaştırıldıktan sonra ham malzeme olarak kullanabilirler, yenileme tamir işlemlerine gitmeyen ürünler ya yeniden üretimi sağlanarak üreticilere ulaştırılır ya da geri dönüşümü

sağlanarak ham malzeme olarak kullanılır, geri dönüşüm, ya da yeniden üretimi sağlanamayan, teknik ve ekonomik açıdan hiçbir şekilde kullanılamaz olan parçalar sistem dışına çıkarılır ve yakma, gömme gibi işlemler ile bertaraf edilir.



Şekil 3.2. Tersine lojistik faaliyetlerinin temel akış diyagramı





4. SAĞLIK KURULUŞLARINDAN KAYNAKLANAN ATIKLAR

4.1. Tıbbi Atık Kontrol Yönetmeliği Kapsam ve İçeriği

Bu yönetmeliğin (Url-1) amacı, tıbbi atıkların üretiminden bertarafına kadar;

- a) Çevreye ve insan sağlığına zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı bir biçimde alıcı ortama verilmesinin önlenmesine,
- b) Çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden kaynağında ayrı olarak toplanması, ünite içinde taşınması, geçici depolanması, taşınması ve bertaraf edilmesine, yönelik prensip, politika ve programlar ile hukuki, idari ve teknik esasların belirlenerek uygulanmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir.

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından tıbbi atıkların güvenli yönetimi amacıyla yayımlanan Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliğine göre sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıkları dört ana başlık altında toplayabiliriz (Url-1).

1. *Evsel nitelikli atıklar:* Evsel nitelikli atıklar, tıbbi, tehlikeli ve ambalaj atıklarından ayrı olarak siyah renkli plastik torbalarda toplanırlar. Ayrı toplanan evsel nitelikli atıklar, ünite içinde sadece bu iş için ayrılmış taşıma araçları ile taşınarak geçici atık deposuna veya konteynerine götürülür ve ayrı olarak geçici depolanırlar. Evsel nitelikli atıklar toplanmaları sırasında tıbbi atıklar ile karıştırılmazlar. Karıştırılmaları durumunda tıbbi atık olarak kabul edilirler. Toplanan evsel nitelikli atıkların, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükümleri doğrultusunda taşınmaları ve bertaraf edilmeleri sağlanır. Ünitelerden kaynaklanan, başta mutfak, bahçe ve idari birimlerden kaynaklanan atıklar olmak üzere kontamine olmamış atıkları içermektedir.
2. *Tıbbi atıklar:* C, D ve E grupları altında yer alan tıbbi atıklar, başta doktor, hemşire, ebe, veteriner, diş hekimi, laboratuvar teknik elemanı olmak üzere ilgili sağlık personeli tarafından oluşumları sırasında kaynağında diğer atıklar ile karıştırılmadan ayrı olarak biriktirilir. Ünitelerden kaynaklanan, kesici-delici, enfeksiyöz, patolojik ve atıkları içeren (C, D, E grupları) atık grubudur.

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, bu tür materyal ile bulaşmış eldiven, örtü, çarşaf, bandaj, ve benzeri atıkları; bakteri ve virüs tutucu hava filtrelerini; enfekte

hayvan ve enfekte hayvanlara ve çıkartılarına temas etmiş her türlü malzemeyi, veterinerlik hizmetlerinden kaynaklanan atıklarını içerir.

Patolojik atık: Cerrahi girişim, otopsi veya anatomi çalışması sonucu ortaya çıkan dokuları, organları, vücut parçalarını, insan fetusunu ve hayvan cesetlerini içerir.

Kesici-delici atık: Şırınga, enjektör ve diğer tüm deri altı girişim iğneleri, bisturi, bıçak, serum seti iğnesi, cerrahi suture iğneleri, biyopsi iğneleri, kırık cam, ampul, lam-lamel, kırılmış cam tüp ve petri kapları gibi yaralanmaya sebebiyet verebilecek olan atıkları içerir.

Toplama ekipmanı, atığın niteliğine uygun ve atığın olduğu kaynağa en yakın noktada bulunur. Tıbbi atıklar hiçbir suretle evsel atıklar, ambalaj atıkları ve tehlikeli atıklar ile karıştırılmaz. Tıbbi atıkların toplanmasında; 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. 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. Tıbbi atıkların basınçlı buhar ile sterilizasyon işlemine tabi tutulması durumunda atıklar otoklav torbaları ile otoklavlanabilir kesici-delici tıbbi atık kaplarına konulurlar. 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. 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. Tıbbi atık torbaları ve kesici-delici atık kapları $\frac{3}{4}$ oranında dolduklarında derhal yenileri ile değiştirilirler. Yeni torba ve kapların kullanıma hazır olarak atığın kaynağında veya en yakınında bulundurulması sağlanır.

3. *Tehlikeli atıklar:* F grubu altında yer alan genotoksik atıklar, farmasötik atıklar, ağır metal içeren atıklar, kimyasal atıklar ve basınçlı kaplar diğer atıklardan ayrı olarak toplanırlar. Bu atıkların bertarafı *Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliğine* göre yapılır. Bu grupta yer alan kimyasal atıklar, toksik, korozif (pH12), yanıcı ve reaktif (su ile reaksiyon verebilen, şoklara hassas) özelliklerden en az birine sahip olmaları durumunda tehlikeli atık olarak kabul edilirler. Bu özelliklerden hiçbirine sahip olmayan tehlikesiz kimyasal atıklardan katı olanlar evsel atıklar ile birlikte toplanırlar, sıvı olanlar ise kanalizasyon sistemi ile uzaklaştırılırlar. Ünitelerde oluşan röntgen banyo suları, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükümleri doğrultusunda geri kazanılır veya bertaraf edilir. Tehlikeli atıklar kesinlikle kanalizasyon sistemine boşaltılmaz, doğrudan havaya verilmez, düşük sıcaklıklarda yakılmaz, evsel atıklarla karıştırılmaz ve depolanarak bertaraf edilmez.

Farmasötik atık: Bu atık grubu, kullanılmayan veya süresi dolmuş ,bozulmuş ilaçları serum ve aşı grubu ürünleri ve bu atıklara temas eden eldiven hortum şişe ve kutularını içerir.

Genotoksik atık: Kanserojen maddeler ile hücre DNA'sı üzerinde mutasyona sebebiyet veren, insan ve hayvan üzerinde mutasyona sebebiyet verebilen ağır kimyasal maddeleri ve kanser tedavisi için kullanılan ürünler ile radyoaktif maddeleride içeren atık türlerini kapsar.

4. *Radyoaktif atıklar:* Tüm radyoaktif madde içeren atık grubudur. Türkiye atom enerjisi kurumu mevzuatına göre işlem görürler. Radyoaktif atıklar hakkında bu yönetmelik hükümleri uygulanmaz. Bu atıkların bertarafı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu mevzuatı doğrultusunda yapılır. EK-5'de sağlık kuruluşlarından üretilen atıklar görülmektedir.

4.2. Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıkların İmhasının Önemi

Ülkemizde sağlık kuruluşlarından üretilen atıkların halk sağlığı ve çevre için ciddi tehlikeler oluşturduğu bir gerçektir. Hastane atıkları toksik, tehlikeli kimyasal maddeler ,kesiciler içerebilir, radyoaktiftir, DNA üzerinde değişikliklere sebep olabilir, bu yüzden sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıkların taşınmasına, toplanmasına, bertaraf edilmesine gereken önem verilmelidir. Enfekte atıklar birçok bulaşıcı mikroorganizmalar içerir. Enfekte atıklardaki zararlı maddeler derideki batma, yıpranma veya kesi yoluyla insan vücuduna girebilir. Kesiciler ise, tehlikeli virüs enfeksiyon geçirme riski nedeni ile çok tehlikeli bir atık sınıfı olarak kabul edilirler. Örneğin (Shinee ve diğerleri, 2007)

yaptıkları bu çalışmada Mongolia’da üretilen tıbbi atık miktarları hakkında genel bilgiler vermişlerdir. Bu çalışmada yapılan bazı araştırma sonuçları çarpıcıdır. 2000 yılında Mongoliada bulaşıcı enjektörlerden 21 milyon kişi hepatit B’ye, 2 milyon kişi hepatit C’ye ve 260.00 kişi HIV’e yakalandığını belirtmiştir. Bu sonuçlara göre tıbbi atıklara gereken önemin verilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıkların sınıflandırıldığı çizelge EK-2’deki gibidir (Url-1). Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıklar evsel nitelikli, tıbbi, tehlikeli ve radyoaktif olarak gruplandırılmıştır. EK-2’deki çizelgede her bir atık tiplerinin kodları da mevcuttur, örneğin tıbbi atıklar içerisinde patolojik atıkların kodu 18 01 02 dir.

Sağlık kurumları atıklarına maruz kalan tüm bireyler potansiyel olarak risk altındadırlar. Risk altındaki başlıca gruplar şöyledir;

- Doktorlar, hemşireler, diğer sağlık çalışanları
- Sağlık kuruluşlarında veya evde tedavi ve sağlık hizmeti alan hastalar,
- Hasta ziyaretçileri,
- Atık bertaraf tesislerindeki çalışanlar,
- Atık boşaltım sahalarında ayıklama yapan çalışanlar olarak sıralanabilir.

4.3. Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atık Yönetimine İlişkin Genel Bilgiler

4.3.1. Tıbbi atıkların yönetimine ilişkin ilkeler

Tıbbi atıkların yönetimine ilişkin ilkeler şunlardır;

- a) Tıbbi atıkların çevre ve insan sağlığına zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı olarak alıcı ortama verilmesi yasaktır.
- b) Tıbbi, tehlikeli ve evsel atıkların oluşumunun ve miktarının kaynağında en aza indirilmesi esastır.
- c) Tıbbi atıkların, tehlikeli ve evsel atıklar ile karıştırılmaması esastır.
- d) Tıbbi atıkların kaynağında diğer atıklardan ayrı olarak toplanması, biriktirilmesi, taşınması ve bertarafı esastır.

- e) Tıbbi atıkların yarattığı çevresel kirlenme ve bozulmadan doğan zararlardan dolayı tıbbi atık üreticileri, taşıyıcıları ve bertarafçıları kusur şartı olmaksızın sorumludurlar.
- f) Tıbbi atıkların yönetiminden sorumlu kişi, kurum/kuruluşlar, bu atıkların çevre ve insan sağlığına olabilecek zararlı etkilerinin azaltılması için gerekli tedbirleri almakla yükümlüdürler.
- g) Tıbbi atık üreticileri atıklarının bertarafı için gerekli harcamaları karşılamakla yükümlüdürler.
- h) Tıbbi atık üreten sağlık kuruluşları ile bu atıkların taşınması ve bertarafından sorumlu belediyelerin / özel sektör firmalarının tıbbi atık yönetimiyle ilgili personelinin periyodik olarak eğitimden ve sağlık kontrolünden geçirilmesi ve tıbbi atık yönetimi kapsamındaki faaliyetlerin bu personel tarafından yapılması esastır.

4.3.2. Bakanlığın görev ve yetkileri

Bakanlık;

- a) Tıbbi atıkların çevreyle uyumlu bir şekilde yönetimine ilişkin program ve politikaları saptamak, bu yönetmeliğin uygulanmasına yönelik işbirliği ve koordinasyonu sağlamak ve gerekli idari tedbirleri almakla,
- b) Tıbbi atıkların oluşumundan bertarafına kadar yönetimlerini kapsayan bütün faaliyetlerin kontrolünü ve periyodik denetimlerini yapmakla,
- c) Tıbbi atıkların çevreyle uyumlu yönetimine ilişkin en yeni sistem ve teknolojilerin uygulanmasında ulusal ve uluslar arası koordinasyonu sağlamakla,
- d) Tıbbi atık bertaraf tesisleri ile sterilizasyon tesislerine çevre lisansı vermekle, yükümlüdür.

4.3.3. Mülki amirlerin görev ve yetkileri

Mahallin en büyük mülki amiri;

- a) Tıbbi atıkların oluşumundan bertarafına kadar yönetimlerini kapsayan bütün faaliyetlerin kontrolünü ve periyodik denetimini yapmak, ilgili mevzuata aykırılık halinde gerekli yaptırımın uygulanmasını sağlamakla,
- b) İl sınırları içinde oluşan, toplanan ve bertaraf edilen tıbbi atıkların miktarı ile ilgili bilgileri sağlık kuruluşlarından ve belediyelerden temin etmek, değerlendirmek ve yıl sonunda rapor halinde bakanlığa göndermekle,

- c) Tıbbi atık taşıma araçlarına taşıma lisansı vermekle ve faaliyetlerini denetlemekle,
- d) Tıbbi atıkların toplanması, taşınması ve bertarafında uygulanacak ücreti mahalli çevre kurulu aracılığıyla belirlemekle,
- e) Lisans verilen tıbbi atık bertaraf tesisleri ile sterilizasyon tesislerinin faaliyetlerini izlemek, denetlemek, ilgili mevzuata aykırılık halinde gerekli yaptırımın uygulanmasını sağlamakla, görevli ve yetkilidir.

4.3.4. Tıbbi atık üreticilerinin yükümlülükleri

Tıbbi atık üreticileri;

- a) Atıkları kaynağında en aza indirecek sistemi kurmakla,
- b) Atıkların ayrı toplanması, taşınması ve geçici depolanması ile bir kaza anında alınacak tedbirleri içeren ünite içi atık yönetim planını hazırlamak ve uygulamakla,
- c) Tıbbi, tehlikeli ve evsel nitelikli atıklar ile ambalaj atıklarını birbirleri ile karışmadan kaynağında ayrı olarak toplamakla,
- d) Tıbbi atıklar ile kesici - delici atıkları toplarken teknik özellikleri yönetmelikte belirtilen torbaları ve kapları kullanmakla,
- e) Ayrı toplanan tıbbi ve evsel nitelikli atıkları sadece bu iş için tahsis edilmiş araçlar ile ayrı ayrı taşımakla,
- f) Atıkları geçici depolamak amacıyla geçici atık deposu inşa etmek veya konteyner bulundurmamakla, yataksız ünite olması durumunda ise atıklarını en yakındaki geçici atık deposuna/konteynerine götürmek veya bu atıkları toplama aracına vermekle,
- g) Tıbbi atıkların yönetimiyle görevli personelini periyodik olarak eğitmekle/eğitimi sağlamakla,
- h) Tıbbi atıkların yönetimiyle görevli personelinin özel giysilerini sağlamakla,
- i) Tıbbi atıkların toplanması, taşınması ve bertarafı için gereken harcamaları atık bertarafçısına ödemekle,
- j) Oluşan tıbbi atık miktarı ile ilgili bilgileri düzenli olarak kayıt altına almak, yıl sonu itibari ile valiliğe göndermek, bu bilgileri en az üç yıl süre ile muhafaza etmek ve talep edilmesi hâlinde bakanlığın incelemesine açık tutmakla, yükümlüdürler.

4.3.5. Belediyelerin yükümlülükleri

Belediyeler;

- a) Tıbbi atıkların geçici atık depolarından veya konteynerlerinden alınarak toplanması, taşınması, sterilizasyon işlemine tabi tutulması ve bertarafı ile ilgili detayları içeren Tıbbi Atık Yönetim Planı'nı hazırlamak, uygulamak ve halkın bilgilendirilmesini sağlamakla,
- b) Tıbbi atıkları geçici atık depolarından alarak bertaraf sahasına taşımak / taşıtırmakla,
- c) Tıbbi atık bertaraf / sterilizasyon tesislerini kurmak/kurdurmak, işletmek / işlettiirmekle,
- d) Kuracakları tıbbi atık bertaraf tesisleri ile sterilizasyon tesisleri çevre lisansı almakla,
- e) Tıbbi atık taşıma araçları için taşıma lisansı almakla,
- f) Geçici atık depolarına yapı ruhsatı vermekle,
- g) Tıbbi atıkların yönetimiyle görevli personelini periyodik olarak eğitmekle / eğitimini sağlamakla,
- h) Tıbbi atıkların yönetimiyle görevli personelin özel giysilerini sağlamakla,
- i) Sağlık kuruluşlarından toplanan, taşınan ve bertaraf edilen tıbbi atık miktarlarını kayıt altına almak, bu bilgileri yıl sonu itibari ile valiliğe göndermek ve talep edilmesi halinde Bakanlığın incelemesine açık tutmakla, yükümlüdürler.

4.4. Türkiye’de Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıkların Bertaraf Süreci

4.4.1. Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıkların toplanması ve taşınması

Madde 11 - EK-2’de A grubu altında yer alan evsel nitelikli atıklar, tıbbi, tehlikeli ve ambalaj atıklarından ayrı olarak siyah renkli plastik torbalarda toplanırlar. Ayrı toplanan evsel nitelikli atıklar, ünite içinde sadece bu iş için ayrılmış taşıma araçları ile taşınarak geçici atık deposuna veya konteynerine götürülür ve ayrı olarak geçici depolanırlar. Evsel nitelikli atıklar toplanmaları sırasında tıbbi atıklar ile karıştırılmazlar. Karıştırılmaları durumunda tıbbi atık olarak kabul edilirler. Toplanan evsel nitelikli atıkların, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükümleri doğrultusunda taşınmaları ve bertaraf edilmeleri sağlanır.

Ambalaj atıkları *Madde 12* - EK-2’de B grubu altında yer alan kağıt, karton, plastik ve metal ambalaj atıkları, kontamine olmamaları şartıyla diğer atıklardan ayrı olarak mavi

renkli plastik torbalarda toplanırlar. Serum ve ilaç şişeleri gibi cam ambalaj atıkları ise yine kontamine olmamaları şartıyla cam ambalaj kumbaralarında, kumbara olmaması halinde ise diğer ambalaj atıkları ile birlikte mavi renkli plastik torbalarda toplanırlar. Kullanılmış serum şişeleri ayrı toplanmadan önce, uçlarındaki lastik, hortum, iğne gibi hasta ile temas eden kontamine olmuş materyallerden ayrılır. Kontamine materyaller diğer tıbbi atıklar ile birlikte 13'üncü maddede belirtilen esaslara göre toplanır. (Değişik: RG-3/12/2011-28131) Toplanan ambalaj atıklarının, 24/8/2011 tarihli ve 28035 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği hükümleri doğrultusunda geri kazanımı sağlanır.

Madde 13 - EK-2'de C, D ve E grupları altında yer alan tıbbi atıklar, başta doktor, hemşire, ebe, veteriner, diş hekimi, laboratuvar teknik elemanı olmak üzere ilgili sağlık personeli tarafından oluşumları sırasında kaynağında diğer atıklar ile karıştırılmadan ayrı olarak biriktirilir. Toplama ekipmanı, atığın niteliğine uygun ve atığın olduğu kaynağa en yakın noktada bulunur. Tıbbi atıklar hiçbir suretle evsel atıklar, ambalaj atıkları ve tehlikeli atıklar ile karıştırılmaz. Tıbbi atıkların toplanmasında; 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. Torbalar en fazla ¾ 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. Yeni torba ve kapların kullanıma hazır olarak atığın kaynağında veya en yakınında bulundurulması sağlanır.

Madde 14: Tehlikeli atıklar grubu altında yer alan genotoksik atıklar, farmasötik atıklar, ağır metal içeren atıklar, kimyasal atıklar ve basınçlı kaplar diğer atıklardan ayrı olarak toplanırlar. Bu atıkların bertarafı Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre yapılır.

Madde 15: Radyoaktif atıklar hakkında bu Yönetmelik hükümleri uygulanmaz. Bu atıkların bertarafı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu mevzuatı doğrultusunda yapılır.

Tıbbi atık torbaları ağızları sıkıca bağlanmış olarak ve sıkıştırılmadan atık taşıma araçlarına yüklenir, toplama ve taşıma işlemi sırasında el veya vücut ile temastan kaçınılır. Atık torbaları asla elde taşınmazlar. Taşıma işlemi sırasında atık bacaları ve yürüyen şeritler kullanılmaz. Tıbbi atıklar ile evsel nitelikli atıklar aynı araca yüklenmez ve taşınmazlar. Atık taşıma araçları her gün düzenli olarak temizlenir ve dezenfekte edilirler. Araçların içinde herhangi bir torbanın patlaması veya dökülmesi durumunda atıklar güvenli olarak boşaltılır ve taşıma aracı ivedilikle dezenfekte edilir.

4.4.2. Atıkların geçici depolanması

Madde 18 - EK-2’de yer alan ve en az 20 yatak kapasitesine sahip üniteler geçici atık deposu inşa etmekle, daha az yatağa sahip üniteler ise aynı işlevi görecektir konteyner bulundurmakla yükümlüdürler. Atıklar, bertaraf sahasına taşınmadan önce 48 saatten fazla olmamak üzere bu depolarda veya konteynerlerde bekletilebilir. Bekleme süresi, geçici atık deposu içindeki sıcaklığın 4 °C’nin altında olması koşuluyla bir haftaya kadar uzatılabilir.

Madde 19 - Geçici atık deposunun özellikleri şunlardır:

- a) Geçici atık deposu iki bölmeli kapalı bir mekan olarak inşa edilir. Birinci bölmede tıbbi atıklar, ikinci bölmede ise evsel nitelikli atıklar depolanır.
- b) Geçici atık deposunun hacmi en az iki günlük atığı alabilecek boyutlarda olur.
- c) Deponun tabanı ve duvarları sağlam, geçirimsiz, mikroorganizma ve kir tutmayan, temizlenmesi ve dezenfeksiyonu kolay bir malzeme ile kaplanır.
- d) Depolarda yeterli bir aydınlatma ve pasif havalandırma sistemi bulunur ve sıcak bölgelerde depo özel olarak soğutulur.
- e) Depo kapıları dışarıya doğru açılır veya sürmeli yapılıdır. Kapılar daima temiz ve boyanmış durumda olur. Tıbbi atıkların konulduğu bölmenin kapısı turuncu renge boyanır, üzerinde görülebilecek şekilde ve siyah renkli “Uluslararası Biyotehlike” amblemi ile siyah harfler ile yazılmış “Dikkat! Tıbbi Atık” ibaresi bulunur.
- f) Depo kapıları kullanımları dışında daima kapalı ve kilitli tutulur, yetkili olmayan kişilerin girmelerine izin verilmez. Depo ve kapıları, içeriye herhangi bir hayvan girmeyecek şekilde inşa edilir.

- g) Geçici atık depolarının içi ve kapıları görevli personelin rahatlıkla çalışabileceği, atıkların kolaylıkla boşaltılabileceği, depolanabileceği ve yüklenebileceği boyutlarda inşa edilir.
- h) Geçici atık deposu, atık taşıma araçlarının kolaylıkla ulaşabileceği ve yanaşabileceği yerlerde ve şekilde inşa edilir.
- i) Geçici atık deposu, hastane giriş ve çıkışı ve otopark gibi yoğun insan ve hasta trafiğinin olduğu yerler ile gıda depolama, hazırlama ve satış yerlerinin yakınlıklarına inşa edilemez.
- j) Tıbbi atıkların konulduğu bölmenin temizliği ve dezenfeksiyonu kuru olarak yapılır. Bölme atıkların boşaltılmasını müteakiben temizlenir, dezenfekte edilir ve gerekirse ilaçlanır. Tıbbi atık içeren bir torbanın yırtılması veya boşalması sonucu dökülen atıklar uygun ekipman ile toplandıktan, sıvı atıklar ise uygun emici malzeme ile yoğunlaştırıldıktan sonra tekrar kırmızı renkli plastik torbalara konulur ve kullanılan ekipman ile birlikte bölme derhal dezenfekte edilir.
- k) Evsel nitelikli atıkların konulduğu bölmede kanalizasyona bağlı ızgaralı bir drenaj sistemi ve bölmenin kolaylıkla temizlenebilmesi için basınçlı bir su musluğu bulunur. Bölme atıkların boşaltılmasını müteakiben temizlenir, gerekirse dezenfekte edilir ve ilaçlanır.
- l) Temizlik ekipmanı, koruyucu giysiler, atık torbaları ve konteynerler geçici atık depolarına yakın yerlerde depolanırlar.

Madde 21 - EK-2’de belirtilen ve 20’den az yatağa sahip üniteler, geçici atık deposu olarak konteyner kullanmak zorundadırlar. Bu amaçla kullanılacak konteynerlerin aşağıdaki teknik özelliklere haiz olması zorunludur:

- a) Konteynerler ünitenin en az iki günlük tıbbi atığını alabilecek boyutta ve sayıda olur.
- b) Konteynerler, kullanıldıkları ünitenin bulunduğu parsel sınırları içinde; doğrudan güneş almayan; hastane giriş-çıkışı, otopark ve kaldırım gibi yoğun insan ve hasta trafiğinin olduğu yerler ile gıda depolama, hazırlama ve satış yerlerinden uzağa yerleştirilirler.
- c) Konteynerlerin iç yüzeyleri yükleme-boşatma sırasında torbaların hasarlanmasına veya delinmesine yol açabilecek keskin kenarlar ve dik köşeler içermez. Kapaklar, konteynerin içine herhangi bir hayvan girmeyecek şekilde dizayn ve inşa edilir.

- d) Konteynerlerin dış yüzeyleri turuncu renge boyanır, üzerlerinde görülebilecek uygun büyüklükte ve siyah renkli “Uluslararası Biyotehlike” amblemi ile siyah harfler ile yazılmış “Dikkat! Tıbbi Atık” ibaresi bulunur.
- e) Konteynerler daima temiz ve boyanmış durumda olur.
- f) Konteynerler, atıkların boşaltılmasını müteakiben her gün veya herhangi bir kazadan hemen sonra temizlenir ve dezenfekte edilir. EK-3’de belirtilen ve 20’den az yatağa sahip üniteler, istedikleri takdirde geçici atık deposu da inşa edebilirler.

Madde 22 - EK-2 C’de belirtilen ünitelerde oluşan ve tıbbi atık torbaları ile kesici-delici atık kapları ile toplanan tıbbi atıklar, taşıma araçları ile en yakında bulunan geçici atık deposuna veya konteynerine götürülür. Böyle bir imkanın olmaması halinde üretilen tıbbi atıkların ilgili belediyenin tıbbi atık toplama ve taşıma aracı tarafından alınması sağlanır. Bu durumda tıbbi atıklar güvenli bir şekilde muhafaza edilir ve gerekirse ikinci bir tıbbi atık torbasının içine konulur. Atıklar, tıbbi atık toplama aracı gelmeden önce kesinlikle dışarıya bırakılmaz, evsel atıklar ile karıştırılmaz ve evsel atıkların toplandığı konteynerlere konulmaz. Bu sağlık kuruluşları, ilgili mercilerden çalışma izni almadan önce, atıklarının geçici depolanması konusunda en yakında bulunan geçici atık deposu veya konteynerin ait olduğu sağlık kuruluşu ya da atıklarının toplanması konusunda ilgi belediye ile anlaşma yapmak ve bu anlaşmayı valiliğe ibraz etmekle yükümlüdür.

Madde 23 - Tıbbi atık üreticileri, ürettikleri atıkların toplanması, taşınması ve bertarafı için gereken harcamaları, bertaraf eden kurum ve kuruluşa ödemekle yükümlüdürler.

4.4.3. Tıbbi atıkların bertaraf alanına taşınması

Madde 25 - Tıbbi atıkların geçici atık depoları ve konteynerler ile alınarak bertaraf tesisine taşınmasından büyükşehirlerde büyükşehir belediyeleri, diğer yerlerde ise belediyeler ile yetkilerini devrettiği kişi ve kuruluşlar sorumludur. Bu kurum ve kuruluşlar, tıbbi atıkların taşınması ile görevli personeli periyodik olarak eğitmek, sağlık kontrolünden geçirmek ve diğer koruyucu tedbirleri almakla yükümlüdürler.

Tıbbi atıkların geçici atık depolarından bertaraf tesislerine taşınması sırasında Ulusal Atık Taşıma Formunun kullanılması zorunludur.

4.4.4. Tıbbi atıkların bertaraf edilmesi belediyelerin sorumluluğu

Madde 31 - Tıbbi atıkların yakılması suretiyle bertaraf edilmesinden büyükşehirlerde büyükşehir belediyeleri veya yetkilerini devrettiği kişi ve kuruluşlar, sterilizasyon işlemine tabi tutularak zararsız hale getirilmesinden büyükşehirlerde büyükşehir belediyeleri veya yetkilerini devrettiği kişi ve kuruluşlar, büyükşehir belediyesi olmayan yerlerde ise belediyeler veya yetkilerini devrettiği kişi ve kuruluşlar müteselsilen sorumludurlar. Tıbbi atık bertaraf tesisi işletmecisi kişi, kurum ve kuruluşlar, tıbbi atıkların bertarafı ile görevli personeli periyodik olarak eğitmek, sağlık kontrolünden geçirmek ve diğer koruyucu tedbirleri almakla yükümlüdürler.

Madde 32 - Büyükşehirlerde büyükşehir belediyeleri, büyükşehir belediyesi olmayan yerlerde ise belediyeler; tıbbi atık oluşumuna neden olan sağlık kuruluşları ile bunların tıbbi atık miktarları ve geçici depolama sistemleri, tıbbi atıkların toplanması ve taşınmasında kullanılacak ekipman ve araçlar, toplama rotaları, araç temizleme ve dezenfeksiyon, kaza anında alınacak önlemler ve yapılacak işlemler, sorumlular, eğitim ve tıbbi atıkların bertarafında uyguladıkları sistemler başta olmak üzere detaylı bilgileri içeren Tıbbi Atık Yönetim Planı'nı hazırlamak ve uygulamak zorundadır.

Madde 33 - Tıbbi atıklar yakılarak bertaraf edilebilir. Yakma sistemleri büyükşehirlerde büyükşehir belediyeleri, büyükşehir belediyesi olmayan yerlerde belediyeler veya bunların yetkilerini devrettiği kişi ve kuruluşlar tarafından kurulur ve işletilir. Üniteler tarafından münferit yakma tesisleri kurulamaz ve işletilemez. Yakma işlemine tabi tutulacak tıbbi atıklar içinde; başta kırılmış termometreler, kullanılmış piller/bataryalar gibi yüksek düzeyde civa ve kadmiyum içeren atıklar olmak üzere, gümüş tuzları içeren radyolojik atıklar, ağır metaller içeren ampuller ve basınçlı kaplar bulunmaz.

Madde 46 - 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 sistemleri büyükşehirlerde büyükşehir belediyeleri, büyükşehir belediyesi olmayan yerlerde ise belediyeler veya bunların yetkilerini devrettiği kişi ve kuruluşlar tarafından kurulur ve işletilir. Üniteler tarafından münferit sterilizasyon tesisleri kurulamaz

ve işletilemez. Belediyelerce veya yetkilerini devrettiği kuruluşlar tarafından yapılan sterilizasyon işlemi ile zararsız hale getirilen atıklar, evsel atık depolama alanlarında depolanarak bertaraf edilebilirler.

Radyoaktif atıklar ise Türkiye radyoaktif kurumunun mevzatına göre diğer atıklardan ayrı değerlendirilir. Bu sebeple tehlikeli ve radyoaktif atıklar çalışma kapsamına alınmamıştır. Çevre ve orman bakanlığının yayınladığı genelgeye göre, sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıkların imhası için evsel ve tıbbi atıkların büyük bir önemi vardır. Evsel katı atıklar ile tıbbi atıkların bertarafının bir bütünlük içinde ele alınması, evsel katı atık ile ilgili olarak yapılacak çalışmalarda tıbbi atıkların bertarafının da bir bileşen olarak değerlendirmeye alınması gerekmektedir. Ancak bu çalışmada sadece tıbbi atıklar alınmıştır, çünkü sağlık kurumlarınca kaynaklanan atıklar tıbbi atık ve evsel atık olarak ayrı firmalarca yok edilmektedir.

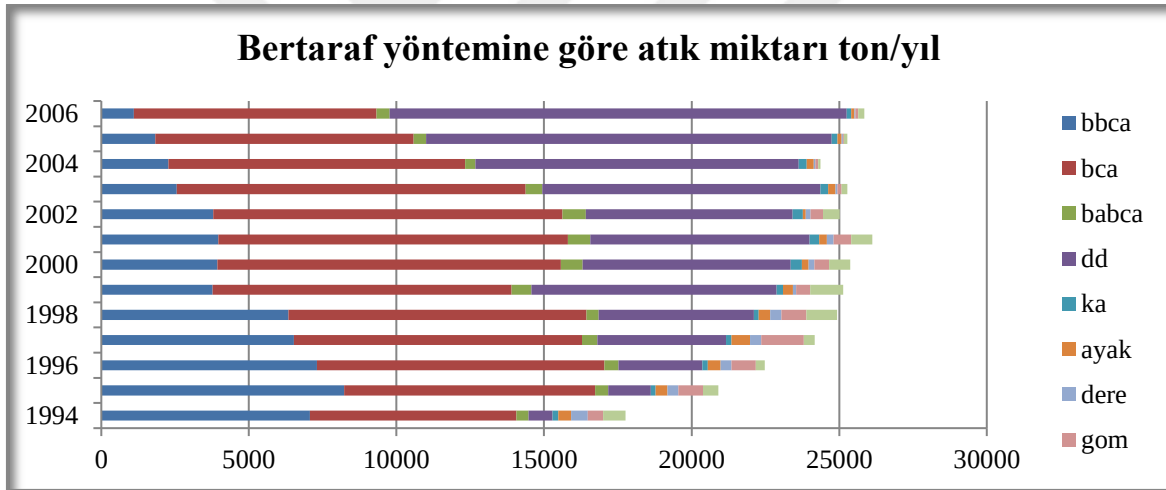
4.4.5. Tıbbi atıkların bertarafı

Ülkemizde tıbbi atıklar halen açık çöplüklerde dağınık ve kontrolsüz olarak bertaraf edilmektedir ve kirlenme problemlerine ,yangınlara, hastalıkların yayılması riskine yol açmaktadır. Tıbbi atıkların açık çöplüklerde veya çevrelerinde bertaraf edilmesi, insan ve hayvanların bulaşıcı patojenlerle doğrudan temas riskini de arttırdığından, hastalıkların ortaya çıkma riski de kaçınılmazdır (Küçük, 2013; Url-2).

Tıbbi atıkların bertaraf edilmesinde yerinde bertaraf ve merkezi bertaraf yaklaşımları seçilebilir. Tıbbi atık kontrolü yönetmeliğine göre sağlık tesislerinin münferit yakma ve sterilizasyon tesislerini kurmalarına izin verilmemektedir. Merkezi bertaraf yaklaşımında, bir grup sağlık tesisi atıklarını bertaraf edilmesi için ortak olarak belirlenen bir sağlık tesisine gönderirler. Sağlık tesisi dışında merkezi ve yerel yönetimler tarafından merkezi bir bertaraf tesisi oluşturulup işletilen model ise bölgesel, ulusal düzeyde bertaraf yaklaşımına örnek verilebilir (Küçük, 2013).

4.4.6. Tıbbi atıkların bertaraf yöntemleri

Tıbbi atıkların yasal bertaraf yöntemleri “Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri ile belirlenmiştir. Buna göre Yönetmeliğin 33’üncü maddesi çerçevesinde atıkların yakılarak bertaraf edilebileceği, enfeksiyöz atıklar ile kesici - delici atıkların ise sterilizasyon işlemine tabi tutularak zararsız hâle getirilebileceği belirtilmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının genelgesi ile de ülkemizde sterilizasyon yöntemi yaygınlaştırılmıştır (Kombe, 2015; Url-3). Türkiye’de tıbbi atıklar kireçle gömme, düzenli depolama ,yakma veya sterilizasyon işlemine tabi tutularak bertaraf edilmektedir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi tıbbi atıkar büyükşehir çöplüklerine giden miktarın en fazla olduğu ve düzenli depolama alanlarının da sayısının arttığı ,gömme bertaraf yöntemine giden atık miktarlarının sayısının azaldığı görülmektedir.



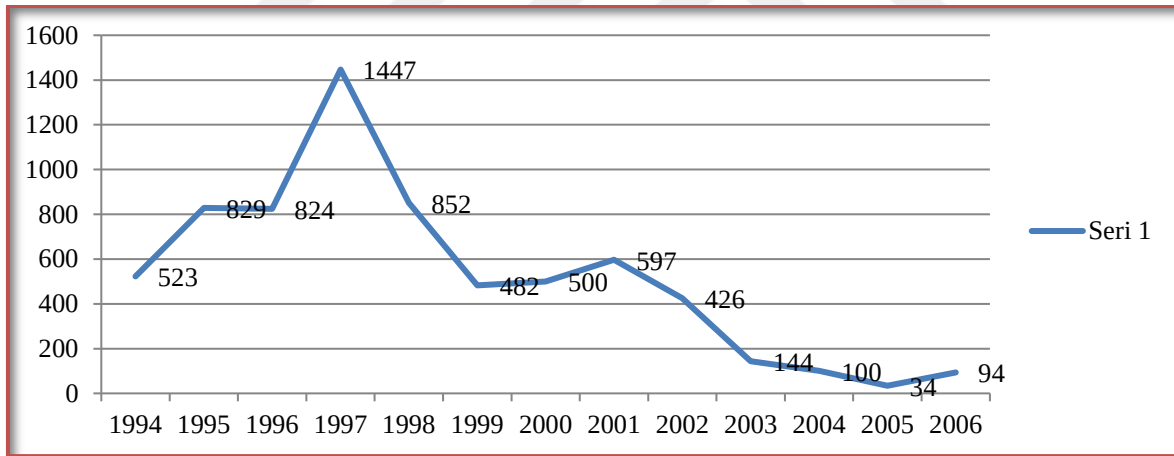
Şekil 4.1. Tük 1994 - 2006 yılları arasında bertaraf yöntemlerine göre atık miktarları (ton/yıl)

Gömme

Tıbbi atıklar evsel atıkların depolandığı yerlere yakın olarak gömülebilir, ancak bu atıklardan ayrı olarak tehlikesiz hale getirildikten sonra, kireçle muamele edilerek gömülebilir. Gömme işleminin yapılması için aşağıdaki adımların izlenmesi gereklidir (Url-2);

- Öncelikle günlük olarak oluşan tıbbi atığın tamamını alabilecek büyüklükte bir çukur açılır ve açılan çukurun tabanı, yer altı suyunun en yüksek seviyesinden en az beş (5) metre yükseklikte olmalıdır.
- Açılan çukurun tabanı 30 cm kalınlığında sıkıştırılmış kil ile kaplanmalıdır.
- Kil tabakasının üstüne 10 cm kalınlığında sönmemiş kireç konulmalıdır.
- Tıbbi atıklar bekletilmeden hızla gömülmelidir.
- Depolama işlemi tamamlandıktan sonra yağmur sularının depo gövdesini kısa sürede terk etmesi için dolgu üstüne eğim verilmelidir.
- Yağış sularının depoya girmesini önlemek için, saha kenarlarına drenaj kanalları açılmalıdır.

Şekil 4.2 Tük tıbbi atıkların bertaraf yöntemlerine göre yayınladığı rapordan derlenmiştir. Grafikte görüldüğü gibi 1994 ve 2006 yılları arasında tıbbi atıkların gömme ile bertarafı azalmaktadır.



Şekil 4.2. 1994 - 2006 yılları arasında tıbbi atıkların gömme ile bertaraf miktarları

Sterilizasyon

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile tıbbi atıkların bertarafı konusunda gelişmiş ülkelerde uygulanan alternatif bertaraf teknolojilerinin ülkemizde de uygulanmasına izin verilmiştir. Bu çerçevede, Bakanlık tarafından 31.03.2006 tarihinde 2006 / 7 sayılı Genelge yayımlanmış ve tıbbi atıkların bertarafının ülkemiz şartlarına en uygun işlem yöntemi olarak sterilizasyona öncelik verilmesi doğrultusunda belediyeleri bilgilendirmişlerdir (Url-6).

Tıbbi atıklar; yakma tesislerinde veya sterilizasyon işlemi sonrasında düzenli depolanarak bertaraf edilmektedir. 2013 yılı Mart ayı itibariyle, ülkemizde faaliyet gösteren toplam 37 adet Sterilizasyon Tesisi ile 79 ilin tıbbi atıkları bertaraf edilmektedir (Url-10).

Öğütme ve parçalama

Parçalama işlemi atık hacmini %80 azaltmaktadır. Bu prosesin başarısı tıbbi katı atık içindeki metal ve camın miktarına, tel bakır ve yumuşak plastik madde miktarına bağlıdır. Çünkü metal ve camlar öğütücüyü aşındırır (Tutar, 2004).

Yakma

Fırında yakma, yüksek sıcaklıkta gerçekleşen bir kuru oksidasyon işlemi olup organik ve diğer yanabilen atıkları inorganik, yanamayan maddelere dönüştürür. Bu işlem genelde yeniden kullanılamayan veya depolama sahalarında bertaraf edilemeyen atıkların işlenmesinde kullanılır. Yakma, her tip enfekte atığın bertaraf edilmesinde uygundur. Özellikle patolojik atık ve kontamine olmuş kesicilerin bertaraf edilmesinde etkilidir (Tutar, 2004).

Yakma, atıkların kütlelerini % 95-96 oranında azaltır. Bu azaltma materyallerin bileşenlerine ve geri dönüşüm derecesine bağlıdır. Bu yöntem yüksek maliyet ve işletme giderlerine sahiptir (Küçük, 2013).

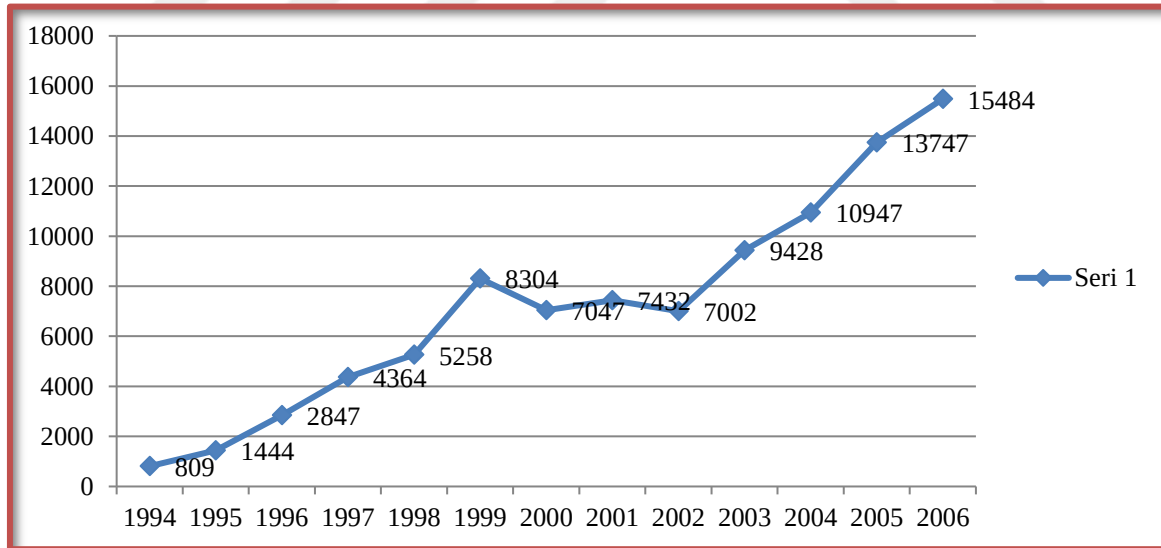
Atıkların yakma yöntemiyle yok edilmesi arazi yetersizliği olan ülkelerde daha yaygın bir yöntemdir, bazı ülkelerde ise yakma yöntemiyle enerji üretilmektedir. Güney Amerika, Vietnam, Malezya gibi ülkelerde ise atıktan ısı ve elektrik elde edilmektedir. Son zamanlarda AB ülkelerinin çoğunda bir çok yakma fırını kapatılmıştır. Çünkü yakma sonucu fuarn ve dioksin gazı oluşmaktadır ve bu gazların arıtılması için pahalı cihazlara gereksinim duyulmaktadır. Sağlık tesisleri bünyesinde genellikle sterilizasyon yönteminin daha uygun olduğu değerlendirilmektedir (Küçük, 2013).

Düzenli depolama

Düzenli depolama, daha çok normal kent katı atıklarının bertaraf edilmesinde kullanılan bir yöntem olup, özellikle gelişmekte olan ülkelerde ve arazinin uygun olduğu durumlarda tercih edilir. İşlemden geçirilmemiş enfekte atıkların düzenli depolanması uygun değildir. Evsel atık depo sahasında işlenmemiş tıbbi atığın bertaraf edilmesi önerilmez ancak ön işlemden geçmiş tıbbi atıkların depolanması kabul edilebilir (Tutar, 2004).

Düzenli depolamanın daha tercih edilmesinin en önemli nedeni ülkemiz çöplerinin kompozisyonundaki organik madde miktarının yüksekliğidir. Düzenli depolama, yeterli arazinin olması durumunda en ekonomik ve yakmaya göre daha az kirletici çözüm olarak görülmektedir. “Türkiye’nin ilk düzenli depolama alanı” *İzmir*’dedir (Tutar, 2004).

Şekil 4.3, Tük’in 1994 ve 2006 yılları arasındaki tıbbi atıkların bertarafına yönelik yayınladığı rapordan uyarlanmıştır. Grafikten de görüldüğü gibi düzenli depolama ile bertaraf giderek artmaktadır.



Şekil 4.3. Tük, yıllara göre tıbbi atıkların düzenli depolama ile bertaraf miktarları

Tıbbi atıkların bertaraf edilmesinde, bertaraf etme verimi, sağlık ve çevresel hususlar, hacimsel azalma, işçi sağlığı ve güvenliği şartları, atık miktarları, atık tipleri, alt yapı sistem ihtiyaçları, mevcut saha durumu, atıkların işleneceği alanların yatırım ve işletme maliyetleri, yasal ve yönetmeliklerin gerektirdiği hususlar gibi çeşitli faktörler göz önüne alınmalıdır (Tutar, 2004).

4.5. Tıbbi Atık Yönetiminin Finansal Boyutları

Gerçek veriler ve geçmiş yapılan çalışmalardan yola çıkarak yapılan hesaplamalarda taşıma ve işleme maliyetleri içerisinde taşıma maliyetlerinin yaklaşık %35'ini oluşturmaktadır. Tıbbi atıkların yönetimi için kurulacak tesisler, bunların işletilmesi ve bakım masrafları da tıbbi atık tesislerin maliyetlerinin önemli bir kısmını içermektedir.

Kaynağında doğru ayırma / sınıflandırma, evsel atıklardan ayrı olarak doğru şekilde depolama ile nihai bertaraf masrafları büyük ölçüde azaltılabilir. Tıbbi atıklar genellikle pahalı yöntemlerle bertaraf edilmeleri ve taşıma maliyetlerinin de evsel atıklara göre fazla olması sebebiyle kaynağında doğru şekilde sınıflandırılması ve uygun olarak geçici depolarda tutulması faaliyetleri, atıkların gereksiz olarak başka işlemlerden geçmesini önleyecek, çevreye zararı riski ve maliyetleri de azaltacaktır. Bu konuda yapılan bir çok araştırma da mevcuttur. Sonuç olarak atık taşıma maliyetlerinin azaltılmasıyla toplam maliyetlerde büyük oranda azalacaktır. Taşıma maliyetleri, atıkların kaynağında doğru şekilde ayrılması, çalışanlara yeterli eğitim verilmesi ve bilinçlendirilmesi ,taşıma maliyetlerini iyi planlama, optimum rota belirleme, iş programlama ile azaltılabilir.

"Kirleten öder" prensibine göre, her bir tıbbi kurum ürettiği tüm atıkların güvenli yönetimi için mali açıdan sorumludur. Kaynakta ayırma / gruplama, toplama, uygun ambalaj veya konteynerler içine yerleştirme ve atıkların olduğu sahada meydana gelen tüm masraflar kuruma aittir ve bunlar işçi ve tüketilen malzemelere yapılan ödemeler gibi ödenir. Kurum dışında yapılan nakliye, atıkların bertarafı için gereken ücretler ise dış kaynaklıdır ve bunlar hizmeti sunan kuruluşlara ödenir (Url-5). Bertaraf ve uzaklaştırma maliyetleri temel olarak atık bertaraf teknolojisinin türüne bağlıdır. Çünkü büyük ölçekli teknolojiler, sermaye maliyetleri, yer bulma, tesis kurma, ekipman ve donanım maliyetleri, işletme maliyetleri, nakliye, yükleme, lisans ve ruhsat işlemlerini içerir (Küçük, 2013).

Tıbbi atık sterilizasyon tesislerinin maliyetleri, tesis inşası (yatırım maliyeti) maliyeti, işletme masrafları ve işlem maliyetlerinden oluşmaktadır. Taşıma ve toplama maliyetleri içerisinde ise işçilik maliyetleri, akaryakıt ve araç maliyetleri, raporlama ve elektronik sistem maliyetleri, personel giyim ve malzeme maliyetleri yer almaktadır. İşletme maliyetlerini ise, sterilizasyon içi maliyetler (personel maliyetleri), enerji giderleri, elektrik maliyetleri, amortisman maliyetleri, yedek parça malzeme maliyetleri, depolama

maliyetleri, büro ve yönetim maliyetleri, diğer maliyetler (analiz, dezenfektan, konteynır vb.) oluşturmaktadır.

Tıbbi atık yakma tesislerinin maliyetleri ise alan maliyeti, inşa maliyeti, yakma işlem maliyeti, atık taşıma maliyeti ve ekipman maliyetleri oluşturmaktadır (Url-5). Bertaraf teknolojilerinin türlerine göre sermaye ve işletme maliyetleri Çizelge 4.1’de gösterilmektedir (Küçük, 2013).

Çizelge 4.1. Bertaraf teknolojilerinin türlerine göre sermaye ve işletme maliyetleri

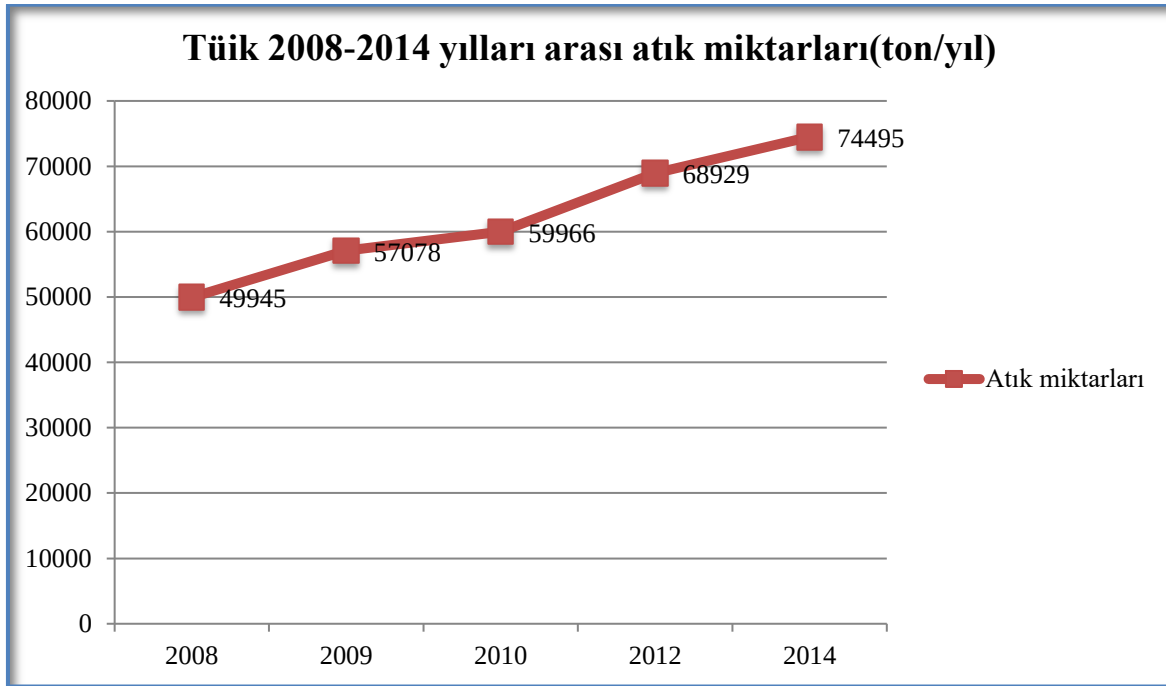
Yöntem	Kapasite (kg/saat)	Sermaye Maliyeti (US \$*1000)	İşletme Maliyeti (US \$/kg)
Otoklav	23–3.600	30–1.780	0.13–0.36
Kimyasal bertaraf	11–6.800	20–890	0.15–2.2
Mikrodalga	23–410	70–710	0.10–0.42
Yakma (hava kirliliği denetimli yüksek teknolojiye sahip)	250–4.000	120–6.000	0.15–0.30
Kaynak: (WHO, 2013a:170)			

Aynı zamanda tıbbi atığı uzaklaştırma ve bertaraf maliyeti, katı atığın bertarafından çok daha yüksek olduğundan ekonomik anlamda tıbbi atıkları azaltmak çok önemlidir. Katı/evsel atık, tıbbi atık ile karıştığında katı atıktan yaklaşık 20 kat daha fazla uzaklaştırma maliyeti olan, tıbbi atık olarak bertaraf edilmelidir (Giacchetta ve Marchetti, 2013: 66). Atıklar, örneğin enfeksiyöz ve enfeksiyöz olmayan atıklar olarak doğru ayrıştırıldığında bertaraf maliyetlerinde önemli azalmalara da yol açabilir (Küçük, 2013).

4.6. Türkiye’de ve İzmir’de Tıbbi ve Katı Atıkların Durumu

Türkiye Kamu Hastaneleri Kurumu (TKHK) ve Tüik raporlarına göre ülkemizde her geçen yıl tıbbi atık miktarları, hastane sayısı, yatak sayısı artış göstermektedir. Son zamanlarda en fazla büyüyen sektörlerden biri tıp sektörüdür. Sağlık kurumlarından kaynaklı atıklar, nüfus artışı sanayileşmenin artması, sağlıklı çevre şartlarının oluşmasıyla giderek artmıştır ve önemli bir çevre sorunu hâline gelmeye başlamıştır. Tüik verilerine 2008 yılında sağlık kuruluşlarından kaynaklı atıklar yıllık 49 995 ton iken 2014 yılında bu miktar 74 495 tondur. Yine Tüik verilerine göre sağlık kuruluşları sayısı 2008 yılında 1322

iken 2014 yılında 1498 dir (Şekil 4.4). Grafiklerden de görüldüğü gibi, tıbbi atıklar özellikle son zamanlarda belirgin bir artış göstermektedir. Şekil 4.4'te Türkiye Kamu Hastaneleri Kurumu (TKHK) 2015 yılında yayınladığı rapora göre (Url-3) 2010 ve 2012 yılları Tük verilerine göre tıbbi atıklar karşılaştırılmış ve sonuç olarak tıbbi atıkların miktarı yıllara göre artış göstermektedir. Dünya sağlık örgütünün verilerine göre ise tıbbi atıkların üretim miktarı ülkelerin gelişmişlik düzeyi, gelir seviyesi ve sağlık merkezlerinin tipi ve boyutuna göre farklılık arz etmektedir.

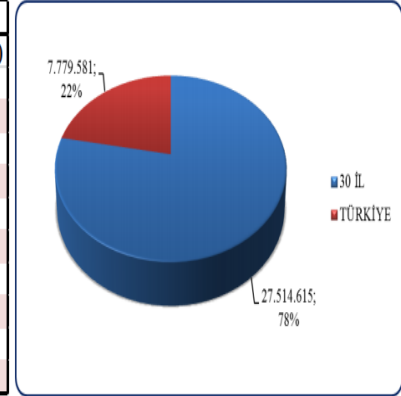


Şekil 4.4. Tük verilerine göre 2008 - 2014 yılları tıbbi atık miktarları

TKHK'nın 2015 yılında yayınladığı raporuna göre (Url-3) sağlık tesislerinde 2013 - 2014 yılında üretilen tıbbi atık miktarında %8, yatak başına üretilen atık miktarında %3 oranında artış olduğu bu dönemde üretilen tıbbi atık kg başına ödenen ücrette ise %9,5'lik bir artış, toplam ödenen ücrette ise %18'lik bir artış, 2014 - 2015 ilk 6 aylık dönemde üretilen tıbbi atık miktarında ise %5'lik bir artış olduğu belirtilmiştir. TKHK'nın 2015 yılında yayınladığı rapora göre, 2013 yılında en çok atık üreten iller arasında, İzmir ili 2843122 kg / yıl tıbbi atık miktarı ile 3. sırada yer almaktadır. Aynı rapora göre 2014 yılında da İzmir ili en çok tıbbi atık üreten iller arasında 3. sırada bulunmaktadır.

**TKHK ya bağlı sağlık tesislerinin toplam ürettiği tıbbi atık miktarı 2013 yılında toplam:35.294.196 kg olmuştur.

2013 YILINA AİT EN ÇOK ATIK ÜRETEEN 30 İL					
SIRA NO	İL	MİKTAR (kg)	SIRA NO	İL	MİKTAR (kg)
1	İSTANBUL	5.644.822	11	MERSİN	627.595
2	ANKARA	3.877.665	12	KARS	579.335
3	İZMİR	2.843.122	13	ŞANLIURFA	569.683
4	ADANA	1.217.343	14	MANİSA	564.867
5	BURSA	1.088.430	15	AYDIN	522.373
6	DİYARBAKIR	828.063	16	TRABZON	519.603
7	KONYA	769.145	17	GAZİANTEP	514.103
8	ANTALYA	683.126	18	VAN	507.850
9	SAMSUN	653.617	19	ERZURUM	501.541
10	KOCAELİ	668.321	20	HATAY	497.500
21	SAKARYA	469.843	22	DENİZLİ	441.786
23	BALIKESİR	439.574	24	KAYSERİ	437.688
25	ORDU	366.928	26	ZONGULDAK	356.680
27	ÇORUM	342.639	28	MUĞLA	337.489
29	TOKAT	326.268	30	SİVAS	317.617

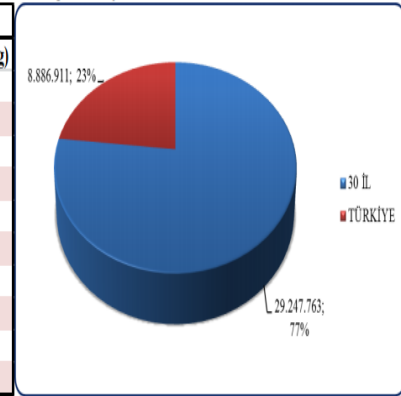


**2013 yılında ilk 30 ilin toplam üretilen tıbbi atık miktarındaki payı %78'dir.

Şekil 4.5. Türkiye Kamu Hastaneleri Kurumu raporu, 2013 yılına ait en fazla atık üreten 30 il (Url-3)

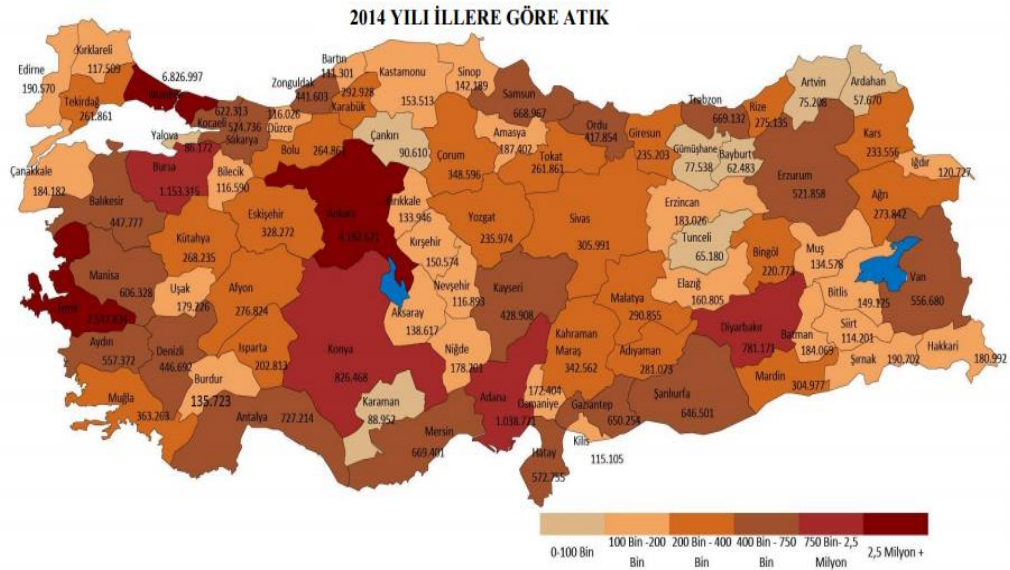
**TKHK ya bağlı sağlık tesislerinin toplam ürettiği tıbbi atık miktarı 2014 yılında toplam: 38.134.674 kg olmuştur.

2014 YILINA AİT EN ÇOK ATIK ÜRETEEN 30 İL					
SIRA NO	İL	MİKTAR (kg)	SIRA NO	İL	MİKTAR (kg)
1	İSTANBUL	6.826.997	11	SAMSUN	668.967
2	ANKARA	4.182.621	12	GAZİANTEP	650.254
3	İZMİR	2.547.834	13	ŞANLIURFA	646.501
4	BURSA	1.153.315	14	KOCAELİ	622.313
5	ADANA	1.038.771	15	MANİSA	606.328
6	KONYA	826.468	16	HATAY	572.755
7	DİYARBAKIR	781.171	17	AYDIN	557.372
8	ANTALYA	727.214	18	VAN	556.680
9	MERSİN	669.401	19	SAKARYA	524.736
10	TRABZON	669.132	20	ERZURUM	521.858
21	BALIKESİR	447.777	22	DENİZLİ	446.692
23	ZONGULDAK	441.603	24	KAYSERİ	428.908
25	ORDU	417.854	26	MUĞLA	363.263
27	ÇORUM	348.596	28	KAHRAMANMARAŞ	342.562
29	TOKAT	331.548	30	ESKİŞEHİR	328.272



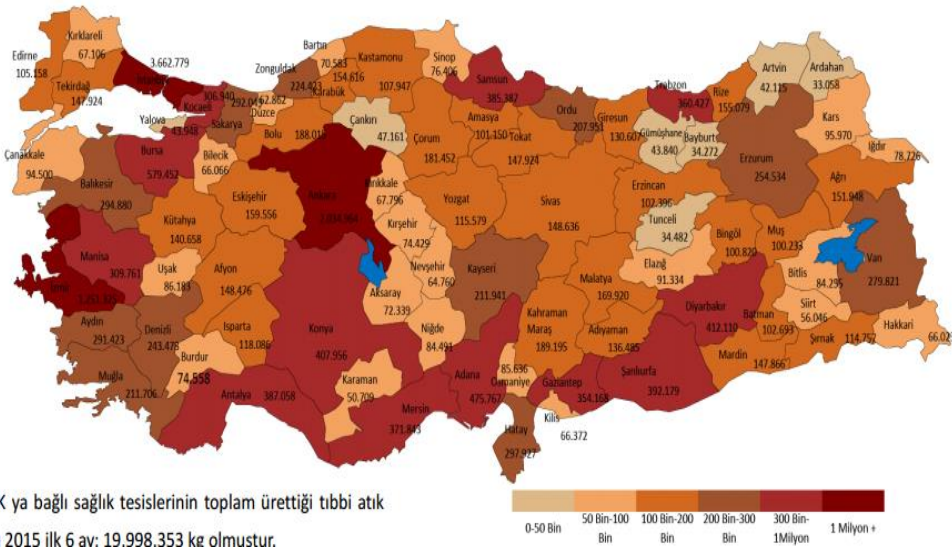
**2014 yılında ilk 30 ilin toplam üretilen tıbbi atık miktarındaki payı %77'dir. 2013 yılına göre Samsun ve Kocaeli ili ise ilk 10'daki yerini Trabzon ve Mersin iline bırakmıştır. Kocaeli ve Samsun illerinin ilk 10'daki yerini değiştirmesinin nedeninin başarılı tıbbi atık yönetimi sayesinde olduğu düşünülmektedir. 2014 yılında ilk 30 ilin toplam üretilen tıbbi atık miktarındaki payı %77'dir.

Şekil 4.6. Türkiye Kamu Hastaneleri Kurumu raporu, 2014 yılına ait en fazla atık üreten 30 il (Url-3)



****TKHK ya bağlı sağlık tesislerinin toplam ürettiği tıbbi atık miktarı 2014 yılında toplam: 38.134.674 kg olmuştur.**

2015 YILI İLK 6 AY TIBBİ ATIK MİKTARLARI

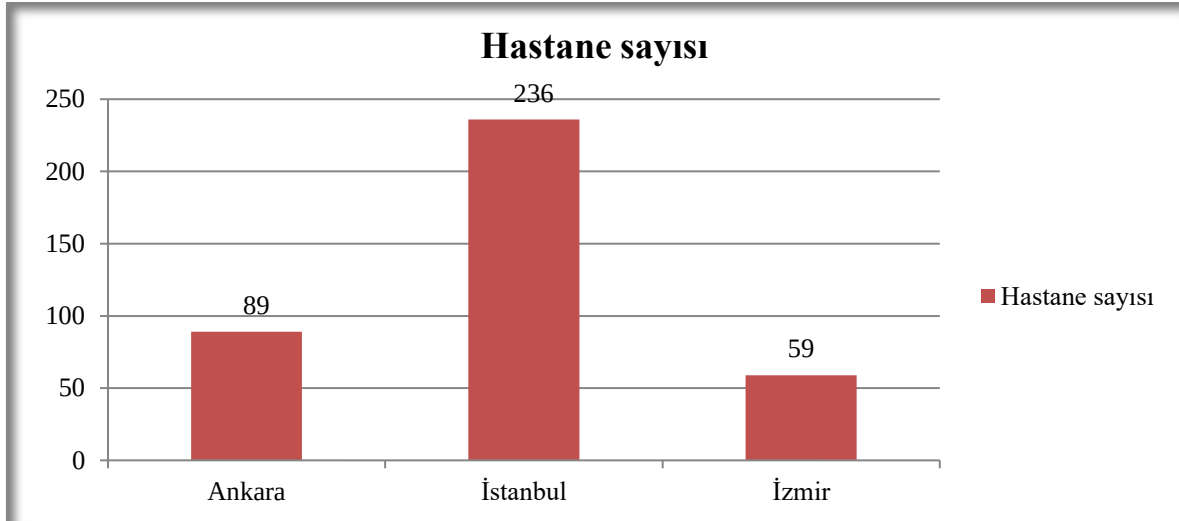


****TKHK ya bağlı sağlık tesislerinin toplam ürettiği tıbbi atık miktarı 2015 ilk 6 ay: 19.998.353 kg olmuştur.**

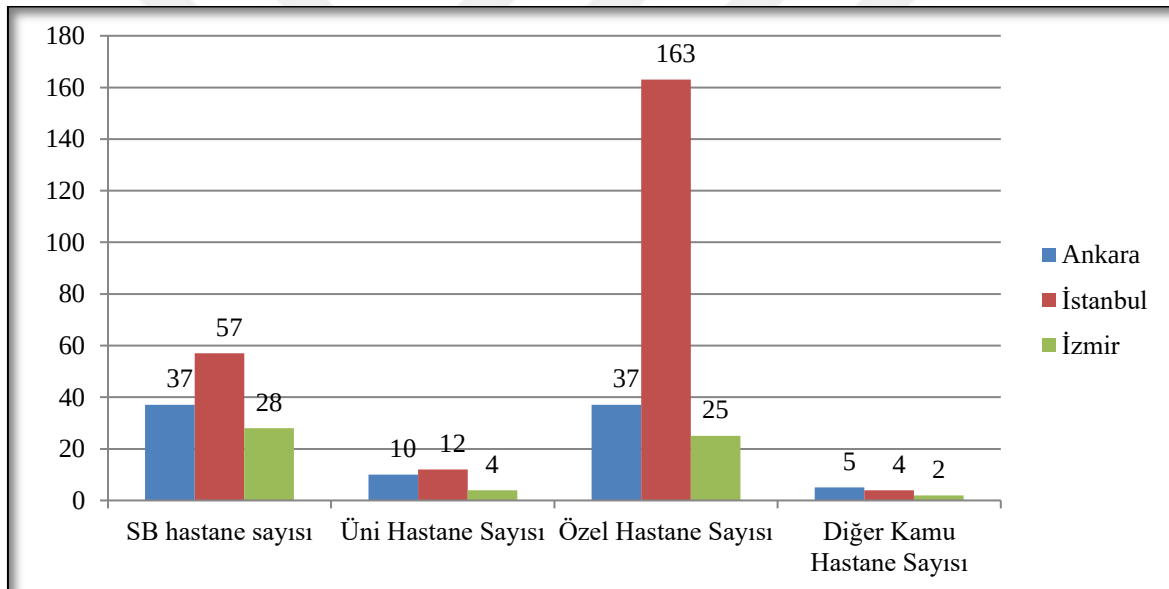
Şekil 4.7. 2014 ve 2015 yıllarında üretilen tıbbi atıkların karşılaştırılması (Url-3)

TKHK raporuna göre (Url-3) 2014 yılı ilk 6 ay toplamında 19 154 411 kg, 2015 ilk 6 ayda ise toplam 19 998 353 kg atık üretilmiştir ve 2014 ve 2015 yılında üretilen tıbbi atık miktarları karşılaştırıldığında ilk 6 ay da %4,41 oranında artış olmuştur.

Şekil 4.8 ve 4.9’da Tük verilerine göre en fazla tıbbi atık üreten 3 ilin hastane sayıları ve hastane tiplerine göre sayılarını veren grafik uyarlanmıştır. Grafiklerde de görüldüğü gibi İzmir’de 2014 yılında hastane sayısı 59’dur ve Sağlık Bakanlığı’na bağlı hastane sayısı 28, üniversite hastane sayısı 4, özel hastane sayısı 25, diğer kamu hastane sayısı 2’dir.



Şekil 4.8. Tük verilerine göre 2014 yılı, en büyük 3 ilin hastane sayıları



Şekil 4.9. Tük 2014, illere göre hastane tipleri dağılımları

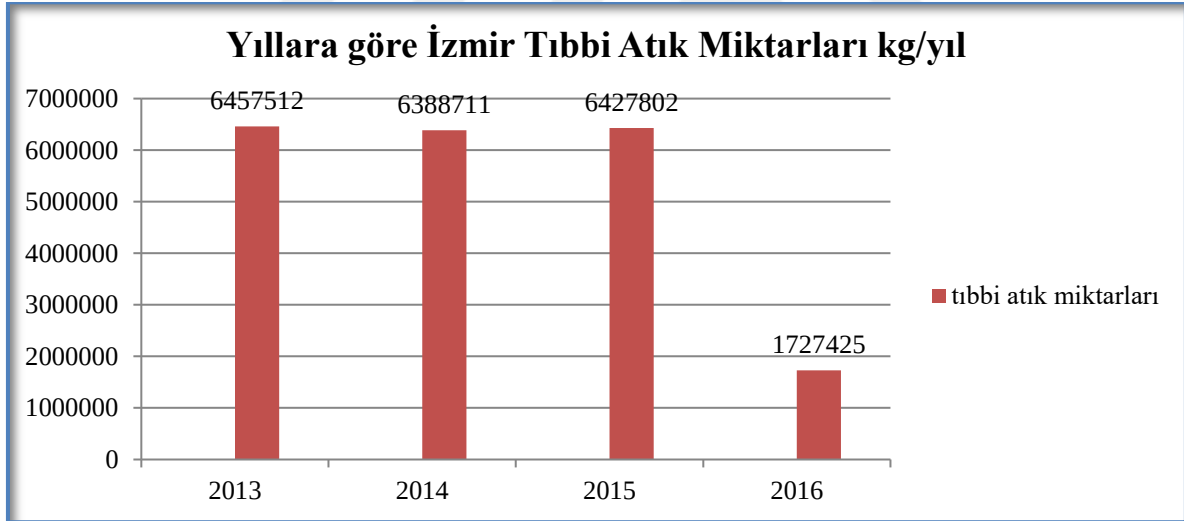
Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'daki, 3 ilin (Ankara, İzmir, İstanbul) hastane tiplerine göre yatak sayısı ve hastane sayısı dağılımları, Tük 2014 verilerine göre uyarlanmıştır.

İzmir Büyükşehir Belediyesi'nden ve toplama firmalarından alınan 2013 - 2016 verilerine göre İzmir atık miktarları analiz edilmiştir. Tıbbi atıklar içerisinde 6 tip atık toplanmaktadır. Bu atık tip kodları 180101, 180102, 180103, 180201, 180202, 180203 olarak geçmektedir. 180101 tip atık koduna sahip atıklar kesici atıkları, 180102 kodlu atık kan torbaları ve kan yedekleri dahil vücut parçaları ve organları, kısaca patolojik atıkları, 180103 kodlu atık enfeksiyonu önlemek amacı ile toplanmaları ve bertarafı özel işleme

tâbi olan atıkları, 180201 kesici atıkları, 180202 enfeksiyonu önlemek amacı ile toplanmaları ve bertarafı özel işleme tabi olan atıkları, 180203 ise enfeksiyonu önlemek amacı ile toplanmaları ve bertarafı özel işleme tabi olmayan atıkları ifade etmektedir. Çizelge 4.2’de tesise kabul edilecek atıklar ve kodları ve açıklamaları görülmektedir.

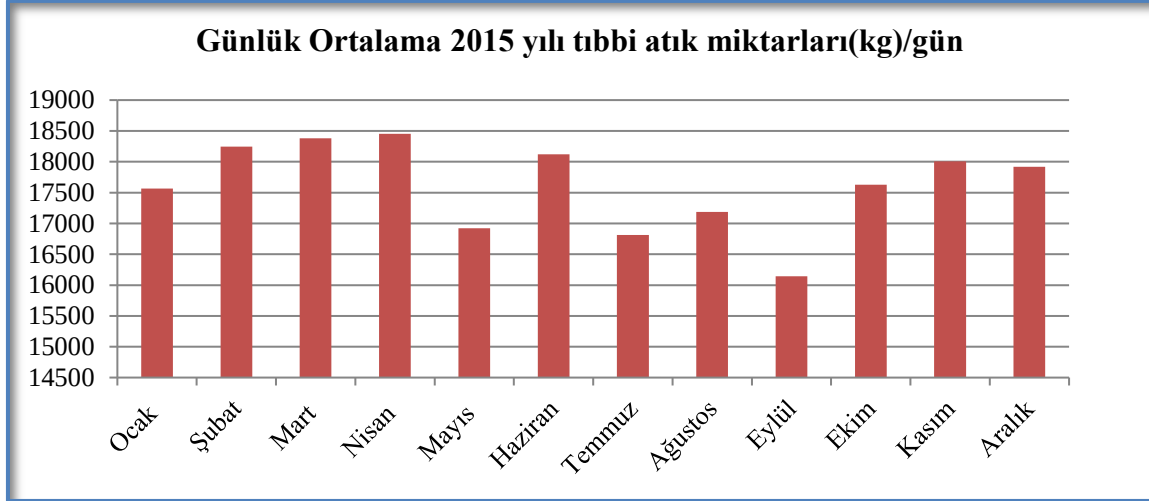
Çizelge 4.2. Tıbbi atıklar ve kodları

Atık Kodu	Açıklama
180101	Kesiciler (180103 hariç)
180102	Kan torbaları ve kan yedekleri dahil vücut parçaları ve organları
180103	Enfeksiyonu önlemek amacı ile toplanmaları ve bertarafı özel işleme tabi olan atıklar
180201	Kesiciler (180202 hariç)
180202	Enfeksiyonu önlemek amacı ile toplanmaları ve bertarafı özel işleme tabi olan atıklar
180203	Enfeksiyonu önlemek amacı ile toplanmalarını gerektiren atıklar (sargı, alçı, tek kullanımlık giysi, alt bezi vb.)



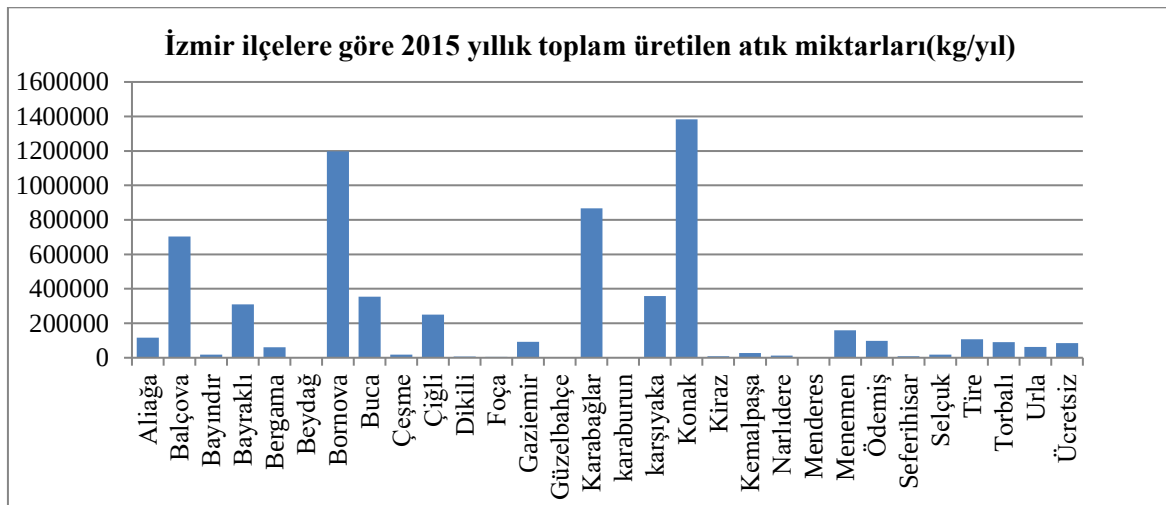
Şekil 4.10. İzmir ili yıllara göre üretilen tıbbi atık miktarları

Şekil 4.10’da 2013 ve 2016 yılları arasında üretilen atık miktarları görülmektedir. 2016 yılının ilk 3 ayı alınmıştır. 2015 yılında toplamda 6 427 802 kg tıbbi atık toplanmıştır.

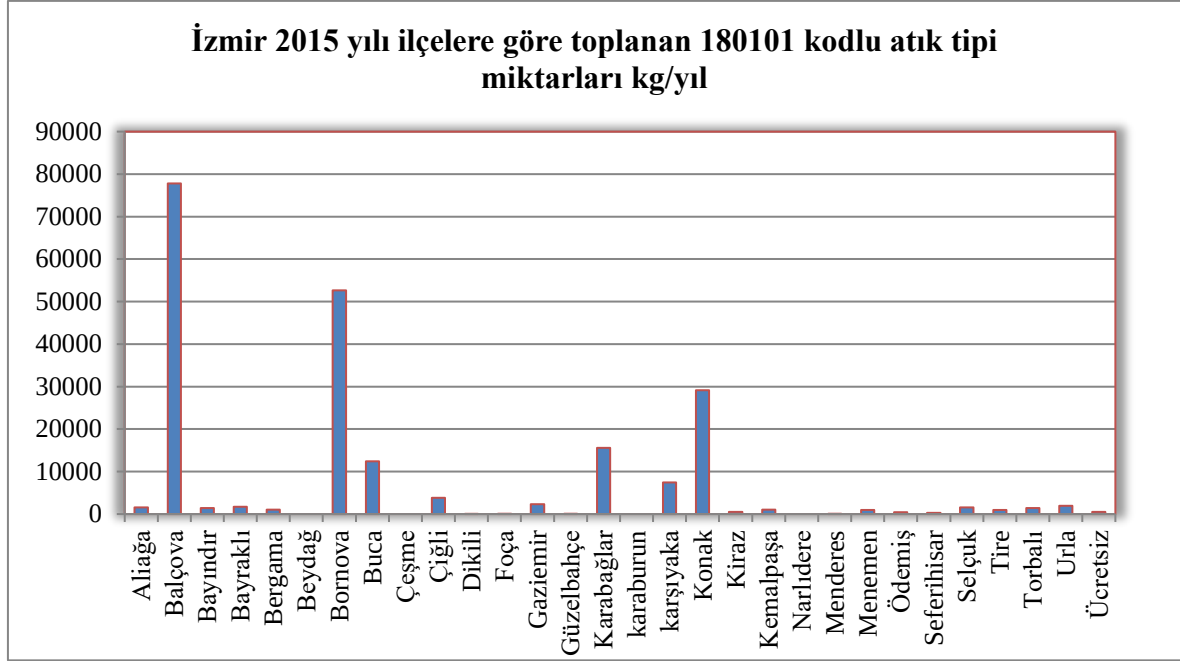


Şekil 4.11. İzmir ili günlük ortalama 2015 yılı tıbbi atık miktarları

Şekil 4.11’de 2015 yılında İzmir’de toplanan atık miktarlarının aylara göre ortalama günlük miktarları görülmektedir. En fazla atık Nisan ayında toplanmıştır. İlçelere göre karşılaştırıldığında en fazla atık Konak, Karabağlar, Bornova ve Balçova ilçelerinde toplanmıştır. Devlet hastaneleri ve üniversite hastanelerinin bu ilçelerde daha yoğun olarak bulunması etkindir. Ücretsiz olarak evde hasta bakımı yapılan hastalardan, şeker hastaları ve diyaliz hastaları vb. gibi hastalardan da atık toplanmaktadır. Atıklar, devlet hastanelerinden, özel hastanelerden, askeri hastanelerden, aile sağlık merkezlerinden, ağız ve diş sağlığı merkezlerinden, veterinerlerden, güzellik merkezlerinden, tedavi merkezlerinden, fizik tedavi merkezlerinden, evde tedavisi yapılan hastalardan toplanmaktadır.

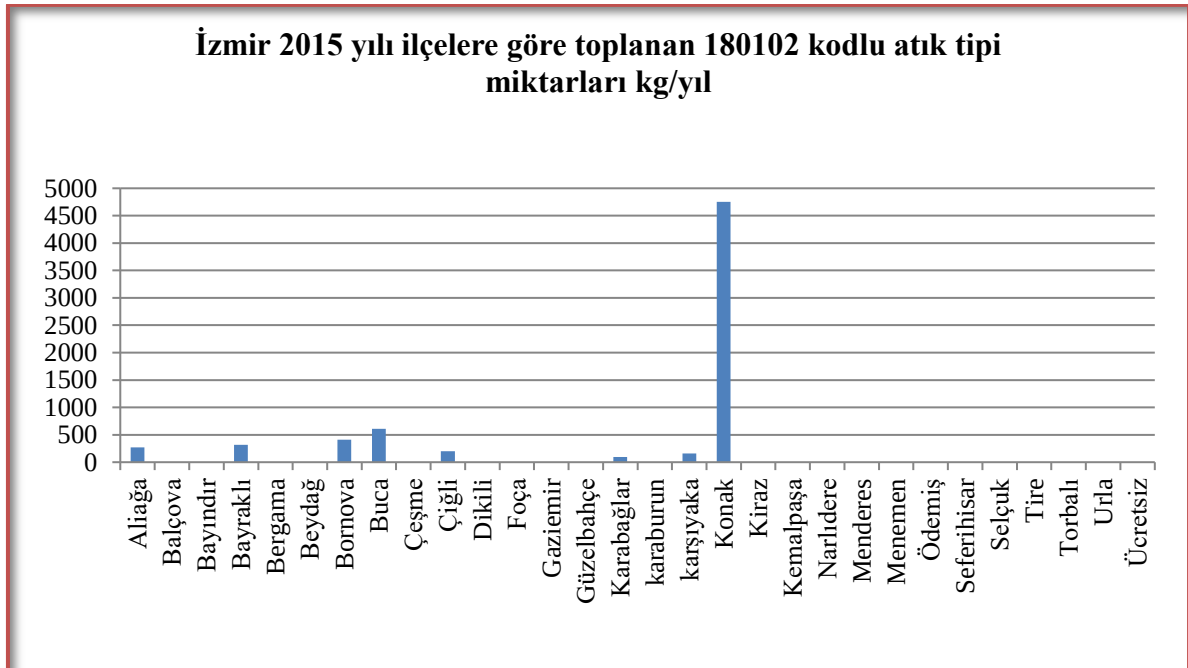


Şekil 4.1212. İzmir ilçelere göre 2015 yılı toplam üretilen atık miktarları



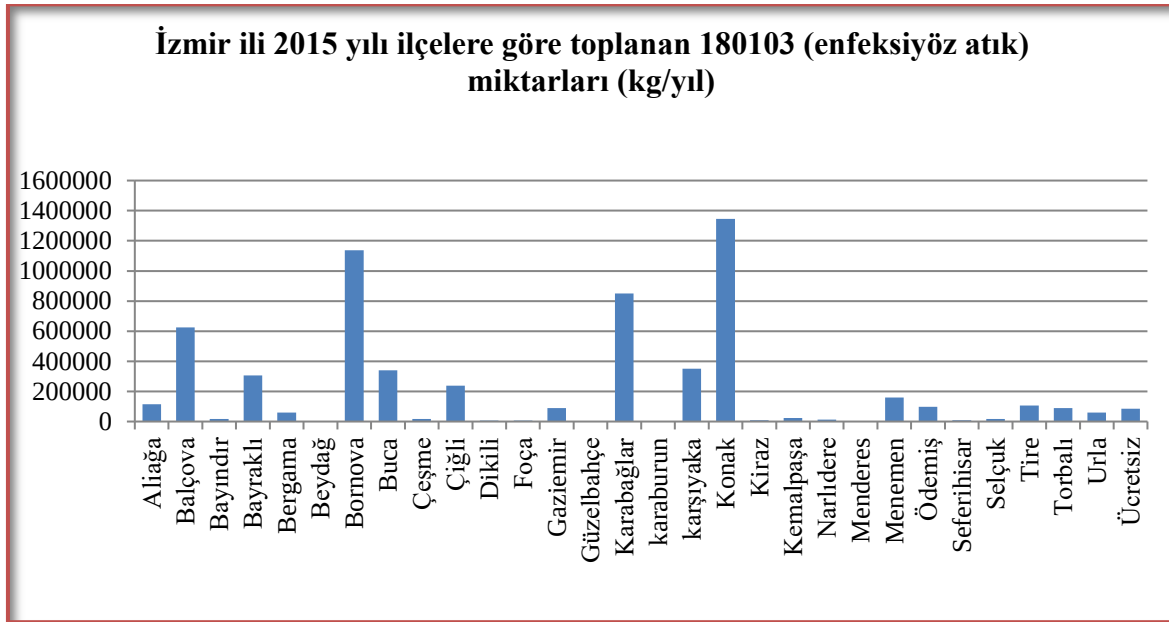
Şekil 4.13. İzmir 2015 yılı ilçelerde toplanan kesici tıbbi atık miktarları

Şekil 4.13'te 2015 yılında İzmir'de toplanan tıbbi atıklar içerisindeki kesici atık miktarlarının ilçelere göre dağılımı görülmektedir. En fazla kesici tıbbi atık Balçova, Bornova ve Konak ilçelerinden toplandığı görülmektedir.



Şekil 4.14. İzmir 2015 yılı ilçelere göre üretilen patolojik atık miktarları

Şekil 4.14'e göre en fazla Konak ilçesinde patolojik atık toplanmaktadır.



Şekil 4.15. İzmir 2015 yılı ilçelere göre üretilen enfeksiyöz atık miktarları

Şekil 4.15'e göre tıbbi atıklar içerisinde en fazla atık miktarını enfeksiyöz atıklar oluşturmaktadır. İzmir ili içerisinde de bu tip atık en fazla Konak, Karabağlar ve Bornova ilçelerinde toplanmıştır.

4.6.1. İzmir katı atık tesisleri

İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde, sadece bir adet düzenli katı atık depolama tesisi bulunması, bu tesisin yerleşim alanları içerisinde kalması ve kapasite sınırlarına ulaşmış olması önemli bir sorundur. Diğer yandan, geçmişte kurulmuş olan kompost tesislerinin modernize edilerek, kapasite ve sayıları artırılarak yaygınlaştırılmamaları, düzenli depolamadan daha ileri bertaraf tekniklerinin kullanılmasını engellemiştir. İlçe belediyeleri tarafından atıkların kaynağında etkili bir şekilde ayrıştırılmaması, bir yandan daha fazla atığın, daha uzun mesafelere taşınmasına, diğer yandan depolama tesisi ömrünün kısılmasına yol açmıştır. Büyükşehir sınırları içerisinde bir adet bertaraf tesisi bulunması taşıma maliyetlerini arttıran bir unsur olmuştur. İzmir'in ilk modern katı atık bertaraf tesisleri 1968 yılında Çiğli ve Halkapınar'da kurulmuş olan her birisi 150 ton / gün kompost tesisleridir. 17 yıl süresince işletilen bu tesisler 1985 yılında kapatılmıştır.

1985 yılında Uzundere bölgesinde yapımına başlatılan Uzundere Kompost Tesisi 1988 yılında işletmeye alınmış olup, 250 ton / gün atık işleme kapasitesine sahiptir. 2001 yılında yapılan revizyonla tesis kapasitesi 500 ton / gün'e çıkarılmıştır. 75.000 m² alana sahip tesis 2004 yılına kadar İBB tarafından işletilmiş ve bu tarihten itibaren özel bir firmaya kiralanmıştır. İki yıl kadar özel firma tarafından işletilen tesis, bu dönemde kompost üretiminden çok geri kazanım tesisi olarak kullanılmış ve sonrasında kapatılmıştır.

Menemen Kompost Tesisi: 1994 yılında DPT onayıyla ve hazine garantisiyle Menemen Belediyesi tarafından Fransız OTV firmasına yaptırılan tesis 1997 yılında tamamlanmıştır. 2004 yılından sonra atık alınmaya başlanmış ve Menemen'in yanı sıra Karşıyaka ve Çiğli'nin de atıkları kabul edilmiştir. Menemen Kompost Tesisi'nde özel bir firmaya kiralanarak işletilmiş ve kompost üretmekten çok, geri kazanım tesisi olarak değerlendirilmiştir.

Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi: 1989 yılında Hacettepe Üniversitesi tarafından zemin etüdüleri yapılan ve Boğaziçi Üniversitesi tarafından projelendirilen tesis Türkiye'nin ilk düzenli depolama tesisidir. 900 dönüm alana kurulu tesis, Çiğli Belediyesi'ne bağlı olan Harmandalı ve Cumhuriyet Mahallesi sınırlarında yer almaktadır. 1992 yılında ise bu alan, bugün fesh edilmiş olan Harmandalı Belde Belediyesi sınırlarında bulunmaktadır. Kurulduğu dönemde İzmir Büyükşehir Belediyesi (İBB) sınırları dışında olması nedeniyle bu bölgedeki imar uygulamaları belde belediyesi tarafından yapılmış ve bu uygulamalar, konut alanlarının ve nüfus yoğunluğunun artışı şeklinde olmuştur. 1992 - 2013 yılları arasındaki 22 yıllık dönemde 14 milyon tonu aşkın atığın depolandığı tesiste, özellikle Uzundere Kompost Tesisi'nin kapatılması ile depolanan günlük atık miktarında 500 ton kadar artış olmuştur. 2004 yılında çıkan ve 2007 yılından itibaren fiiliyata geçen, 5216 sayılı yasa ile İBB sınırlarının 50 km yarıçapına genişleyerek 10 yeni ilçenin daha İBB sınırlarına girmesiyle depolanan atık miktarında yine büyük bir artış görülmüştür. Çünkü bu tarihte İBB sınırlarına dahil olan belediyelerin hiçbirisinde düzenli depolama tesisi bulunmamaktadır. Menemen Kompost Tesisi ise işletilebilir olmaktan çıkmıştır. 2013 yılına gelindiğinde günde 3.800 ton atığın depolandığı tesiste halen, evsel atıklarla birlikte sanayi işletmelerinde üretilen evsel nitelikli katı atıklar ve yine sanayiden kaynaklanan evsel nitelikli arıtma çamurları depolanmaktadır. 1992 - 2012 yılları arasında tesis alanında tıbbi atık depolaması yapılırken, son bir yılda tıbbi atıklar Manisa'da kurulu bir tesiste bertaraf edilmektedir. Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi'nin 650

dönümlük bir bölümü depolamaya kapatılmışken, yaklaşık 350 dönümlük bir bölümde halen depolama işlemleri devam etmektedir. Yeni katı atık bertaraf tesislerinin kurulmasıyla depolama tesisinin rehabilite edilerek kapatılması gerekmektedir. Nüfus artış hızı ülke ortalamasının üzerinde olan İzmir’de, nüfus artışına ve tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak, atık miktarında önemli artışlar olacağı dikkate alınarak, bertaraf tesislerinin kapasite ve alan ihtiyacının belirlenmesi gerekmektedir (Url-8). Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisi, 1992 yılından bu yana işletiliyor.



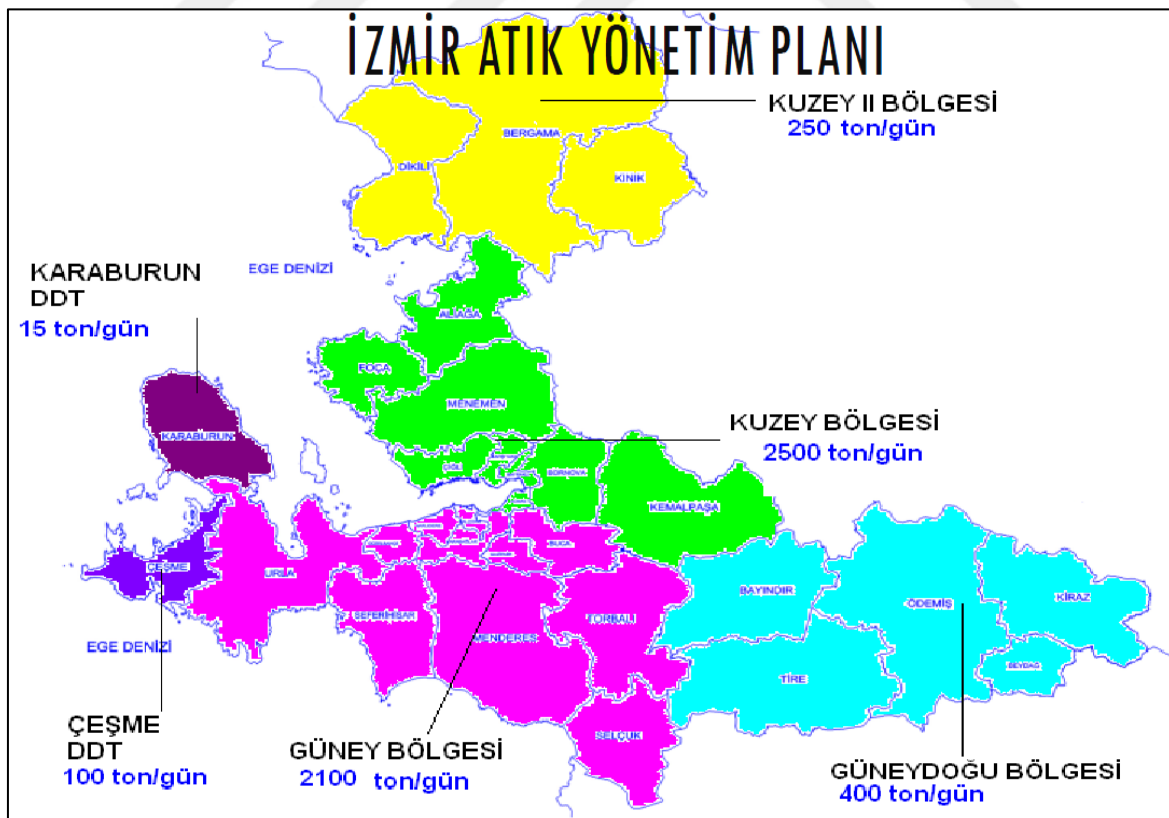
Harita 4.1. Harmandalı düzenli atık depolama tesisi

4.6.2. İzmir tıbbi atık tesisleri

İzmir ve ilçelerinde toplam sağlık kuruluşundan kaynaklanan günde yaklaşık 18 ton tıbbi atık 1992 yılından 2012 yılına kadar İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından toplam tıbbi atık toplama ekip ve araçları ile toplanarak Harmandalı Düzenli Katı Atık Depolama Tesisinde tıbbi atıklar için ayrılan alanda depolanmaktaydı. Ancak 2011 yılında Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ndeki değişiklik ile günlük 10 ton üzerinde tıbbi atığı bulunan belediyeler için atık yakma tesisi yapma zorunluluğu getirilmiştir. Atık yakma tesisi kuruluncaya kadar İzmir’e en yakın tesisi olan Manisa Belediyesi’ne ait Sterilizasyon Tesisi en uygun tesis olarak değerlendirilerek belediyeler arasında protokol imzalanmıştır. Söz konusu protokol gereği 23/07/2012 tarihinden itibaren İzmir Belediye sınırları içerisinde oluşan tıbbi atıkların toplanması, taşınması, sterilize edilmesi ve nihai bertarafı ile ilgili iş ve işlemler Manisa Belediyesi tarafından yetkilendirilmiş olan firma

tarafından yürütülmektedir. Yönetmelik gereği İzmir’de kurulması planlanan “Tıbbi Atık Yakma Tesisi” ile ilgili çalışmalar sürdürülmektedir (Url-8). Bu raporda ayrıca, Harmandalı Düzenli Depolama Alanı’nın kapasite sınırına ulaşması, diğer yandan, 12 000 km² ye ulaşan il yüzey alanı ve ilçeler arası 190 kilometreye ulaşan mesafeler nedeniyle alternatif alan, tesis ve yöntem çalışmalarının hızla tamamlanması, bertaraf işlemleri sonrası depolanacak atık miktarının minimum miktarda ve inert yapıda, üretilecek enerjinin ise maksimum düzeyde olması gerektiğini belirtmişlerdir (Url-8).

Bu kurulması gereken tesislerin, gelecekteki nüfus ve atık miktarındaki artışlar dikkate alınarak, kapasite artışlarına izin verecek şekilde planlanmaları büyük önem taşımaktadır. İzmir’de katı atık yönetimi İzmir Büyükşehir Belediyesi Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığının 2014’te yayınladığı raporda mevcut projeler olarak 3 adet düzenli depolama tesisi, 1 adet tıbbi atık sterilizasyon tesisi kurulması planlandığını belirtmiştir ve İzmir atık yönetim planına göre, bölgelere göre atık miktarları kapasiteleri Harita 4.2’de verilmiştir (Url-4).



Harita 4.2. İzmir atık yönetim planı



5. SAĞLIK KURULUŞLARINDAN KAYNAKLANAN ATIKLAR AĞ YAPISI İÇİN ÖNERİLEN MODEL

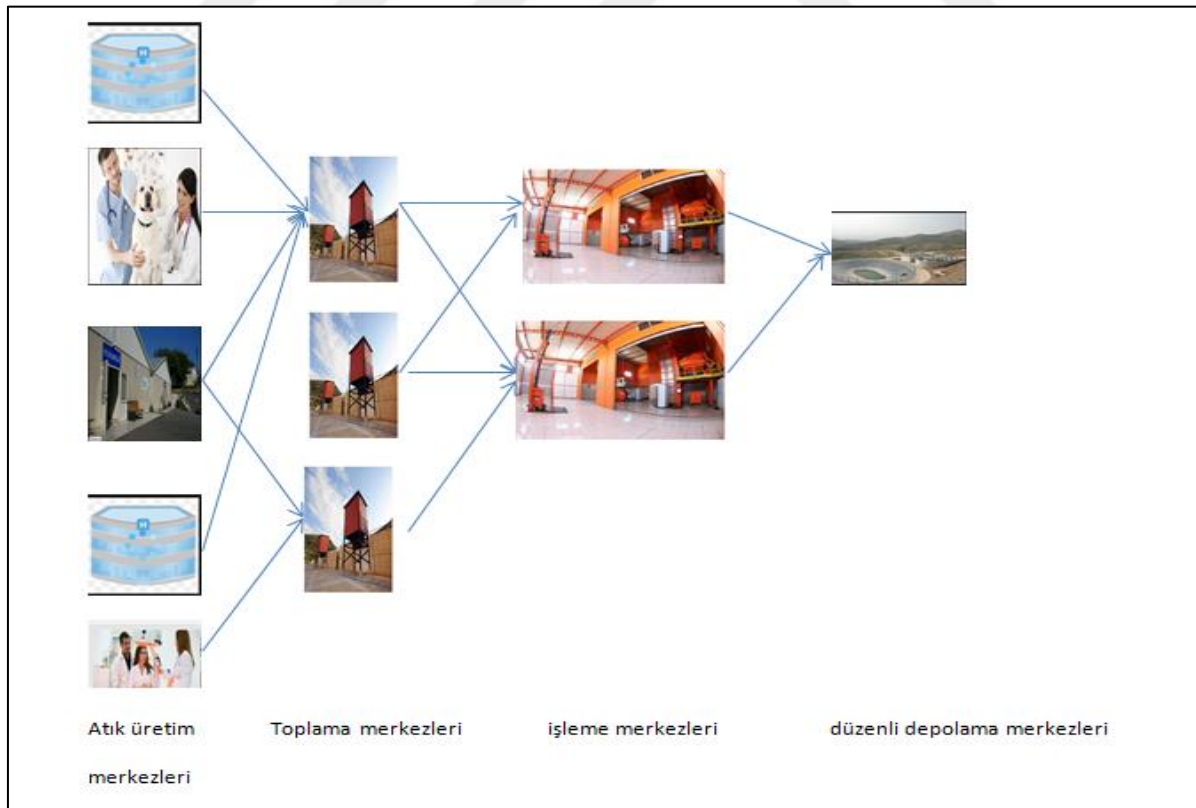
Bu tez kapsamında İzmir ili için tıbbi atıkların tersine lojistik ağ problemi için 3 karışık tam sayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Birinci model ve ikinci model üretim merkezleri, toplama merkezleri, işleme merkezleri ve nihai düzenli depolama merkezleri olmak üzere 4 aşamadan oluşmaktadır. 3. Model ise şu anki mevcut duruma göre tasarlanmıştır, üretim merkezleri, işleme merkezleri ve nihai düzenli depolama alanları olmak üzere 3 aşamalıdır. Geliştirilen matematiksel modeller formülasyonları ile sunulmuştur.

5.1. Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıklar Ağ Yapısı İçin Önerilen Model

İzmir ili için gerçek tıbbi atık verileri kullanılarak toplama merkezi, işleme merkezi ve nihai düzenli depolama alanlarını içeren minimum maliyetle bu tesislerin yerlerine karar veren ve bu tesisler arası akışları belirleyen bir karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Modelde sadece tıbbi atıklar ele alınmıştır. Birinci modelde atık tiplerine göre uygun bertaraf yöntemleriyle işlem gören atıkların ıskarta oranları göz ardı edilerek düzenli depolama alanlarına gönderildiği varsayılmıştır. İkinci modelde atık tiplerine uygun bertaraf yöntemleriyle işlem gören atıkların, işlem gördükten sonra hacimce küçüldüğü düşünülerek işlem tipine göre belli bir ıskarta oranıyla düzenli depolama alanlarına gittiği varsayılmıştır. Üçüncü model ise şu anki mevcut durum ağ yapısını ele alan, 3 aşamalı, işleme merkezlerinden belli bir ıskarta oranıyla düzenli depolama alanlarına taşınan, optimum işleme tesisi ve düzenli depolama alanlarının konumuna karar veren, açılacak optimum tesisler arası akış miktarlarını belirleyen modeldir. Geliştirilen modeller, tersine lojistiğin, sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıkların imhası için uygulanması, atıkların toplanması, depolanması, taşınması, işleme merkezinde atık türüne göre işlenmesi ve düzenli depolama alanında nihai bertarafının gerçekleşmesi süreçlerini içeren, tersine akışın optimize edilmesi olarak düşünülmüştür. Modelin amacı, akış boyunca oluşan maliyetleri en küçükmek ve senaryolara göre geçici depo, tesis yerlerinin belirlenmesi buna uygun en iyi akış miktarlarının bulunmasıdır. Tıbbi atık miktarlarının sürekli değişkenlik göstermesi, sağlık sektörünün dinamik bir yapıda olması, diğer atıklardan farklı olarak çevreye riskinin daha fazla olması, tıbbi atık yönetimini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada tıbbi atık miktarlarının değişim oranlarına

göre, tesislerin optimum sayı ve yerlerine karar veren, optimum tesisler arası akış miktarlarını da belirleyen senaryolarla değerlendirilmiştir. Senaryolar ileride atık miktarlarının %5, %15 oranında azaldığı ve %10, 15, 20 ve 25 oranında arttığı durumlar olarak değerlendirilecektir. Modelde oluşan maliyetler atıkların oluşan akış boyunca taşıma, tesislerin sabit mâliyetleri ve atıkların işleme maliyetleridir. Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıkların imhası için önerilen tersine lojistik ağ yapısı aşağıdaki Şekil 5.1’de görülmektedir.

Sistemde temel olarak üretim merkezleri, toplama noktaları, işleme merkezleri ve nihai bertaraf alanı olarak adlandırılan 4 katman bulunmaktadır ve 3 akış oluşmaktadır. Akışlar; her bir bölgede bulunan üretim merkezlerinden toplama noktalarına, üretim merkezlerinden geçici depo noktalarına (ihmal edilmiştir) olan akış, toplama noktalarından, atık tipine göre 3 çeşit işleme tesislerine(sterilizasyon tesisi, yakma tesisi, gömme tesisi) olan akış ve işleme merkezlerinden atıkların düzenli depolamaya (nihai bertaraf) olan akışıdır.



Şekil 5.1. Önerilen modelin (model 1, 2) tersine lojistik ağ yapısı

5.1.1. Sağlık kurumlarında üretilen tıbbi atıklar

Tıbbi atık kontrolü yönetmeliği *Madde-8* tıbbi atık üreticileri sorumluluklarına göre, tıbbi atık üreticileri atıkları geçici depolamak amacıyla geçici atık deposu inşa etmek veya konteyner bulundurmakla, yataksız ünite olması durumunda ise atıklarını en yakındaki geçici atık deposuna / konteynerine götürmek veya bu atıkları toplama aracına vermekle yükümlüdürler. Tıbbi atık kontrolü yönetmeliği *Madde-18*, en az 20 yatak kapasitesine sahip üniteler geçici atık deposu inşa etmekle, daha az yatağa sahip üniteler ise aynı işlevi görecektir konteyner bulundurmakla yükümlüdürler.

İzmir ilinin tıbbi atıklarının toplanmasını ve bertaraf edilmesini sağlayan firmadan 2015 verileri ele alınmıştır. İzmir ilinde 2015 yılında, 1779 sağlık kurumundan ve 216 hastadan tıbbi atık toplanmıştır. Bu problemde hastalardan toplanan atıkların çok küçük miktarlarda olması ve konumlarının bulunması zorluğundan dolayı ihmal edilmiştir. Geçici depolara kadar atıkların taşınması sağlık kurumlarının sorumluluğundadır, geçici depolardan toplama noktalarına, işleme merkezlerine ve nihai düzenli depolama alanlarına taşınması ise belediyelerin devrettiği firmaların sorumluluğundadır.

Atık oluşumuna neden olan 1779 sağlık kuruluşunun koordinatları belirlenerek 29 bölge olarak kümelenmiştir. Bu 29 bölgeden atıklar firma tarafından büyük toplama merkezlerine taşındığı ve bu toplama noktalarında atık tiplerine göre uygun bertaraf yöntemi belirlenerek, atıkların işleme merkezlerine gönderildiği varsayılmıştır. Bu durumda 29 tane üretim merkezi, 10 tane büyük toplama noktası olduğu düşünülmüştür.

Modelde atık üreticileri ile geçici depolama noktası arasındaki olan akış ihmal edilmiştir. Çünkü tıbbi atık kontrolü yönetmeliğine göre bu sorumluluk atık üreticilerinin sorumluluğundadır. Toplama noktalarının bir çoğu mevcut kullanılan ara transfer istasyonları konumları alınmış ve tıbbi atıklar için küçük bir alan oluşturulacağı düşünülmüştür. Faaliyetleri sonucu atık oluşumuna neden olan sağlık kuruluşları, özel, devlet hastaneleri, üniversite hastaneleri, aile sağlık merkezleri, irili ufaklı pek çok sağlık kuruluşlarıdır. Bu kaynaklar aşağıda listelenmiştir.

Faaliyetleri sonucu atık oluşumuna neden olan sağlık kuruluşları

Tıbbi atık kontrolü yönetmeliğine göre faaliyetleri sonucu atık oluşumuna neden sağlık kuruluşları büyük, orta, küçük miktarlarda atık üreten sağlık kuruluşları olarak 3 ayrılmaktadır. Bu kuruluşlar;

a) Büyük miktarda atık üreten sağlık kuruluşları

- 1) Üniversite hastaneleri ve klinikleri,
- 2) Genel maksatlı hastaneler ve klinikleri,
- 3) Doğum hastaneleri ve klinikleri,
- 4) Askeri hastaneler ve klinikleri.

b) Orta miktarda atık üreten sağlık kuruluşları

- 1) Sağlık merkezleri, tıp merkezleri, dispanserler,
- 2) Ayakta tedavi merkezleri,
- 3) Morglar ve otopsi merkezleri,
- 4) Hayvanlar üzerinde araştırma ve deneyler yapan kuruluşlar,
- 5) Bakımevleri ve huzurevleri,
- 6) Tıbbi ve biyomedikal laboratuvarlar,
- 7) Hayvan hastaneleri,
- 8) Kan bankaları ve transfüzyon merkezleri,
- 9) Acil yardım ve ilk yardım merkezleri,
- 10) Diyaliz merkezleri,
- 11) Rehabilitasyon merkezleri,
- 12) Biyoteknoloji laboratuvarları ve enstitüleri,
- 13) Tıbbi araştırma merkezleri.

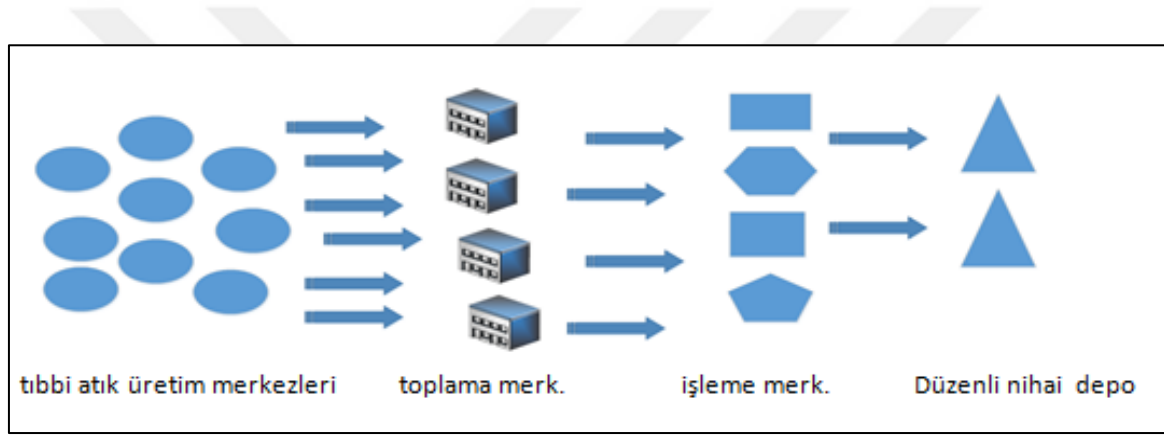
c) Küçük miktarda atık üreten sağlık kuruluşları

- 1) Sağlık hizmeti verilen diğer üniteler (doktor muayenahaneleri, diş ve ağız sağlığı muayenahaneleri ve benzerleri),
- 2) Veteriner muayenahaneleri,
- 3) Akupunktur merkezleri,
- 4) Fizik tedavi merkezleri,
- 5) Evde yapılan tedavi ve hemşire hizmetleri,
- 6) Güzellik, kulak delme ve dövme merkezleri,
- 7) Eczaneler,

- 8) Ambulans hizmetleri
- 9) Hayvanat bahçeleri.

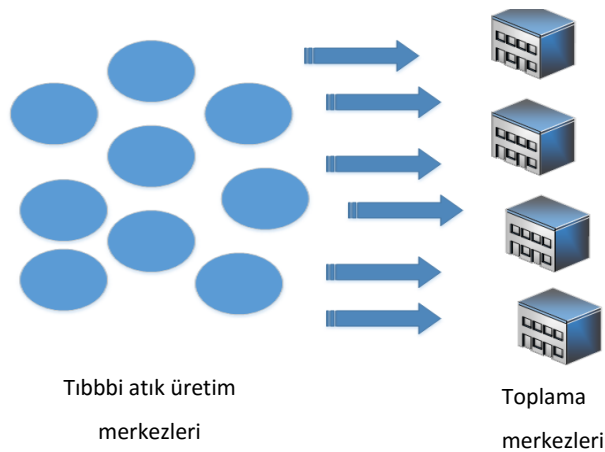
5.2.2. Tıbbi atık üretim merkezlerinden büyük toplama merkezlerine sevkiyat

Tıbbi atık üretim merkezlerinden alınan atıklar merkezi toplama merkezlerine taşınmaktadır. Taşınan atıklar tiplerine göre uygun bertaraf yöntemine göre işleme merkezlerine taşınmaktadır. İşleme merkezlerinde işlem gören tıbbi atıklar tehlikesiz hale getirildikten sonra düzenli nihai depolara taşınmaktadır. Şekil 5.2’de tıbbi atıkların bertaraf edilmesi süreci görülmektedir.



Şekil 5.2. Tıbbi atıklar bertaraf edilme aşamaları, ağ yapısı

Şekil 5.3 ise tıbbi atık üretim merkezlerinden alınan atıkların toplama merkezlerine taşınmasını göstermektedir.



Şekil 5.3. Tıbbi atık üretim merkezlerinden toplama merkezlerine sevkiyat

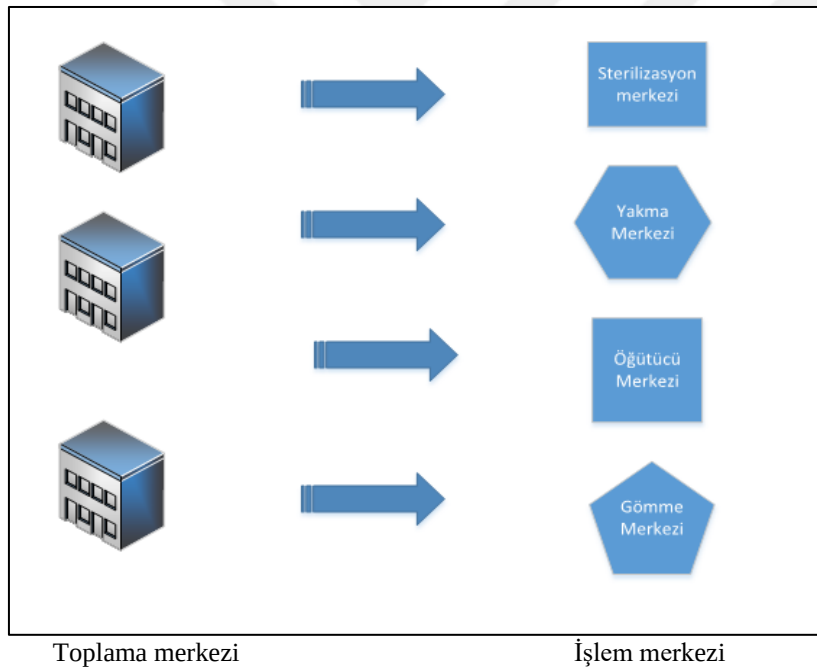
Sağlık kuruluşları mevzuata göre atıkları geçici depolara gönderirler, bu sorumluluk sağlık kuruluşlarına aittir. Geçici depolardaki atıklar uygun koşullarda en fazla 48 saat içerisinde alınır, evsel atık ve tıbbi atıklar ayrı depolanırlar. Bu modelde 10 tane merkezi toplama noktasına sevkiyatı yapılmaktadır. Bunun yanında toplama merkezlerinde ayıklama, dezenfektasyon veya detoksifikasyon gibi işlemlerde yapılabilmektedir (Hejrani, 2013). Ancak ülkemizde mevzuatta tıbbi atıklar geçici depolarda ve konteynırlarda depolandıktan sonra doğrudan işleme merkezlerine gönderilmektedir, atıklar için ara transfer noktalarının uygun olmadığı da belirtilmektedir, ancak büyük toplama noktaları gerekli bir süreç olarak düşünülmektedir. Çünkü geçici depolarda tiplerine göre ayrılmış olan atıklar toplanıp mevcut sistemde doğrudan bertaraf merkezine gönderilmektedir, ancak taleplerin çok belirsiz olması tıbbi atıkların her geçen gün artması ve bertaraf merkezinin bazı noktalara çok uzak olması maliyetleri ve çevreye olan riski de arttırabilmektedir ,bunun yanında büyük toplama noktalarının olması, gelecekte tıbbi atıkların evsel atıklarla beraber değerlendirilip geri dönüşüme de gidebilecek olan atıkların ayırt edilip bertaraf edilmeden önce gereksiz taşınması önlenerek doğru geri dönüşüm noktalarına gönderilebilmelerine, talep belirsizliklerine daha rahat cevap verilebilmesine, çevreye riskinin azaltılması için bazı işlemlerden geçebilmelerine imkan sağlayacaktır. Mevcut durumda şu anda belli tek bir tip bertaraf merkezi olduğundan toplama noktaları kurulması gereksiz gibi görülsede ileride tek bir tip bertaraf merkezi (işlem merkez) yeterli olmayacağı açıktır ve bu çalışmada modellenen şekliyle birden fazla işlem merkezi olduğu takdirde toplama noktalarının önemi de artacaktır. Mevcut durum modeli ve toplama noktalarının olduğu modeller kurulacak ve maliyetler karşılaştırılacaktır.

5.2.3. Büyük toplama merkezlerinden işleme merkezlerine sevkiyat

Tıbbi atık kontrolü yönetmeliği *Madde-25*'e göre, tıbbi atıkların geçici atık depoları ve konteynerler ile alınarak bertaraf tesisine taşınmasından büyükşehirlerde büyükşehir belediyeleri, diğer yerlerde ise belediyeler ile yetkilerini devrettiği kişi ve kuruluşlar sorumludur. Tıbbi atıkların işlenmesi evsel atıklardan ayrı olarak yapılır ve bertarafı özel işlem gerektirmektedir. Tıbbi atıklar işleme merkezi olarak sterilizasyon merkezine, yakma merkezine yada gömme merkezine gönderilmektedir. İzmir ili için 1 mevcut 4 potansiyel olmak üzere toplam 5 sterilizasyon merkezi, 4 potansiyel yakma merkezi ve 4 potansiyel gömme merkezi belirlenmiştir.

Vücut parçaları, akışkanlar gibi tıbbi atıklar buhar sterilizasyonu ile arıtilamaz. Ayrıca kimyasallar ve radyoaktif atıklar da buhar sterilizasyonu ile arıtilamaz (Tutar, 2004). ABD’de buhar sterilizasyonu, daha çok laboratuvar kültürleri için, yakma fırını ise daha çok patolojik atıklar için kullanılan metottur (Tutar, 2004). Bu çalışmada, kesici delici atıklar, enfeksiyöz atıklar sterilizasyon merkezine, yakma merkezine, gidebilirken, literatürde yapılan çalışmalarda ve mevzuata göre de patolojik atıkların yakma merkezlerinde ya da gömme merkezlerinde bertaraf edilmelerinin daha uygun olduğu görülmüştür, dolayısıyla toplama merkezlerine gelen patolojik atıkların da gömme merkezine veya yakma merkezine gidebilecekleri varsayılmıştır.

Yakma merkezinden ve sterilizasyon işlemi sonucunda hacimce küçülen tehlikesiz atıklar ve elverişli hale gelen evsel atıklar düzenli depolama alanına taşınmaktadırlar.

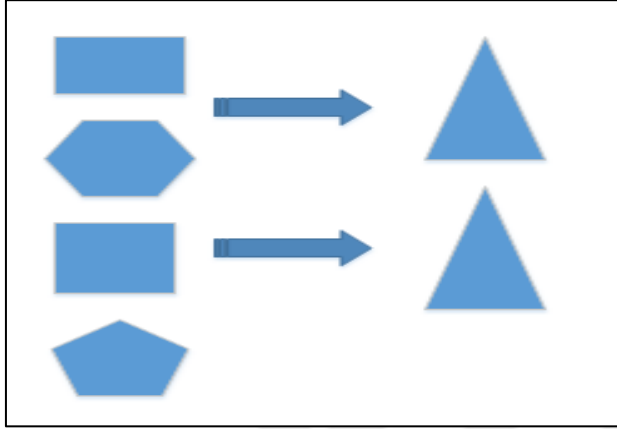


Şekil 5.4. Toplama merkezlerinden işleme merkezlerine tıbbi atıkların taşınması

5.2.4. İşleme merkezlerinden düzenli depolama merkezine sevkıyat

Düzenli depolama olarak adlandırdığımız nokta sağlık kuruluşları atıkları bertaraf sürecinin son noktasıdır. Özel işleme giren (sterilizasyon ve yakma) tıbbi atıklar enfekte özelliklerini kaybederek tehlikeli olma niteliğini yitirirler. İşlemden geçirilmemiş enfekte atıkların düzenli depolanması uygun değildir, dolayısıyla geliştirilen modellerde yakma ve sterilizasyon işleminden geçen atıklar düzenli depolama alanlarına taşınırlar.

İşlem gören atıkların boyutları küçülür, sterilizasyon işleminden sonra yaklaşık olarak atıkların hacimleri %80 oranında azalırken, yakma işlemi sonucunda atıkların yaklaşık olarak hacimce %90 azalır. Ön işleme tabi tutulan tıbbi ve evsel atıklar ayrı merkezlerde düzenli depolanırlar. Önerilen ikinci ve üçüncü modelde işlem gören atıkların hacimce küçüldüğü varsayılmış ve maliyetler karşılaştırılmıştır.



İşleme merkezi

Son nihai depolama alanlar

Şekil 5.513. İşleme merkezlerinden düzenli depolama merkezine taşınması

6. MODELİN OLUŞTURULMASI

Tezde toplam 3 farklı model geliştirilmiş ve çözülmüştür. Bunlar:

- 1- Model 1: Üretim merkezleri, toplama noktaları, işleme merkezleri ve düzenli depolama alanları olmak üzere 4 aşamadan oluşmaktadır. Atık tiplerine göre atıkların uygun bertaraf yöntemleriyle yok edilmesini sağlayan, optimum tesis yerlerine karar veren ve tesisler arası optimum akışları belirleyen, çok aşamalı, çok ürünlü, tek dönemli, kapasite kısıtlı bir karışık tam sayılı matematiksel model geliştirilmiştir.
- 2- Model 2: İşleme merkezlerinden sonra atıkların hacimce küçüldüğü ve sonra düzenli depolama alanlarına taşındığı, minimum maliyetle tesis yerlerinin ve tesisler arası akışlarının belirlendiği modeldir. Model yine çok aşamalı, çok ürünlü, tek dönemli, kapasite kısıtlı bir karışık tam sayılı matematiksel modeldir.
- 3- Model 3: Şu anki mevcut durumun düşünüldüğü minimum maliyetle optimum tesis yerleri ve akışlarının belirlendiği modeldir. Model 3'te tıbbi atık üretim merkezlerinden atıklar doğrudan işleme merkezlerine gönderilmektedir, işleme merkezlerinde işlem gören atıklar düzenli depolama alanlarına taşınmaktadır. Model 3 aşamalıdır, çok aşamalı, çok ürünlü, tek dönemli, kapasite kısıtlı karışık tams sayılı modeldir.

6.1. Model Parametrelerinin Belirlenmesi

Ülkemizde sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıkların miktarı ,taşıma maliyetleri ve bertaraf yöntemlerine göre miktarları gibi bilgiler tam olarak kayıt altına alınmamaktadır. Tük verileri de gerektiği kadar açıklayıcı değildir, ancak son zamanlarda mevzuatın da getirdiği zorunluluktan dolayı tıbbi atıklarla ilgili kayıtların tutulmasına daha fazla önem verilmektedir. Tıbbi atık kontrolü yönetmeliğine göre, belediyeler, sağlık kuruluşlarından toplanan, taşınan ve bertaraf edilen tıbbi atık miktarlarını kayıt altına almak, bu bilgileri yıl sonu itibari ile valiliğe göndermek ve talep edilmesi halinde Bakanlığın incelemesine açık tutmakla, yükümlüdürler.

Atık yakma tesisi kuruluncaya kadar İzmir'e en yakın tesisi olan Manisa Belediyesi'ne ait Sterilizasyon Tesisi en uygun tesis olarak değerlendirilerek belediyeler arasında protokol imzalanmıştır. Söz konusu protokol gereği 23/07/2012 tarihinden itibaren İzmir Belediye sınırları içerisinde oluşan tıbbi atıkların toplanması, taşınması, sterilize edilmesi ve nihai

bertarafı ile ilgili iş ve işlemler özel bir firma tarafından yürütülmektedir. Dolayısıyla gerekli olan veriler ve parametreler İzmir Büyükşehir Belediyesi ve bu özel firma çalışanlarıyla yapılan görüşmeler ve bu konuyla ilgili literatür araştırmaları sonucunda belirlenmiştir.

Parametreler;

- Açığa çıkan ve tıbbi üretim merkezlerinde üretilen tiplerine göre toplam tıbbi atık miktarları,
- Tıbbi atıkların (ton*km) taşıma maliyetlerinin belirlenmesi,
- Tıbbi atığın işleme mâliyetlerinin belirlenmesi,
- İşleme merkezlerinin, toplama merkezlerinin, düzenli depolama merkezlerinin konumlarının belirlenmesi,
- İşleme merkezlerinin ve toplama merkezlerinin kapasitelerinin belirlenmesi,
- İşleme merkezleri, toplama noktaları, sabit maliyetlerinin belirlenmesi,
- Düzenli depolama merkezlerinin belirlenmesi.

6.1.1. İzmir’de sağlık kuruluşlarından toplanan tıbbi atık miktarları

İzmir’de 2015 yılında 1779 sağlık merkezinden tıbbi atık toplanmıştır. Bunun yanında 216 hastanında evden tıbbi atıkları ücretsiz olarak toplanmaktadır. Bu çalışmada 2015 yılında, 1779 sağlık merkezinin korrdinatları belirlenmiş ve ilçelere göre toplanan tıbbi atık tiplerine göre 29 bölge olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan bölge içerisindeki kurumların koordinatlarının ortalaması alınmıştır. Ücretsiz olarak toplanan atık miktarları az olduğu ve dağınık lokasyonlarda olduğu için değerlendirilmemiştir. Ayrıca bu çalışmada sadece tıbbi atıklar ele alınmıştır. Düzenlenen verilerin görüntüsü Çizelge 6.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. İzmir sağlık kuruluşlarından tiplerine göre toplanan tıbbi atık miktarları

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ilçeler sıra	ilçeler	180101	180102	180103	180201	180202	180203	VAŞ KOVA	(blank)	Toplam
2	1	Aliağa	1568	268	114576	0	0	0	0	0	116412
3	2	Balçova	77792	0	625583	0	179	0	0	0	703554
4	3	Bayındır	1447	0	16204	0	0	0	0	0	17651
5	4	Bayraklı	1716	315	307086	0	1297	0	0	0	310414
6	5	Bergama	1056	0	60542	0	20	0	0	0	61618
7	6	Beydağ	0	0	149	0	0	0	0	0	149
8	7	Bornova	52637	413	1136989	6278	1108	0	0	60	1197485
9	8	Buca	12414	610	339162	57	1968	4	0	0	354215
10	9	Çeşme	0	0	17768	0	0	0	0	0	17768
11	10	Çiğli	3837	200	238078	0	8004	0	0	0	250119
12	11	Dikili	84	0	7161	0	73	0	0	0	7318
13	12	Foça	45	0	5471	0	0	0	0	0	5516
14	13	Gaziemir	2337	0	89600	0	357	0	0	0	92294
15	14	Güzelbahçe	5	0	369	0	170	0	0	0	544
16	15	Karabağlar	15559	96	851195	0	129	0	0	0	866979
17	16	Karaburun	0	0	136	0	0	0	0	0	136
18	17	Karşıyaka	7437	157	350534	177	516	0	0	6	358827
19	18	Konak	29138	4751	1346336	718	1385	62	0	857	1383247
20	18	Kiraz	489	0	7845	0	170	0	0	0	8504
21	19	Kemalpaşa	1012	0	23417	0	3388	0	0	0	27817
22	20	Narlıdere	0	0	11965	0	291	0	0	0	12256
23	21	Menderes	44	0	2674	0	210	0	0	0	2928
24	22	Menemen	966	0	158482	0	0	0	0	422	159870
25	23	Ödemiş	457	0	97942	0	22	0	0	0	98421

Çizelge 6.2. İzmir ilçelere göre 2015 yılı toplanan tıbbi atık miktarları (gerçek veriler)

Bölgeler	Toplanan tıbbi atık miktarları (kg/yıl)
Aliağa	116 412
Balçova	703 554
Bayındır	17 651
Bayraklı	310 414
Bergama	61 618
Beydağ	149
Bornova	1 197 485
Buca	354 215
Çeşme	17 768
Çiğli	250 119
Dikili	7 318
Foça	5 516
Gaziemir	92 294
Güzelbahçe	544
Karabağlar	866 979
Karaburun	136
Karşıyaka	358 827
Konak	1 383 247
Kiraz	8 504
Kemalpaşa	27 817
Narlıdere	12 256
Menderes	2 928

Çizelge 6.2. (devam) İzmir ilçelere göre 2015 yılı toplanan tıbbi atık miktarları (gerçek veriler)

Bölgeler	Toplanan tıbbi atık miktarları (kg/yıl)
Menemen	159 870
Ödemiş	98 421
Seferihisar	8 372
Selçuk	18 734
Tire	107 958
Torbalı	90 915
Urla	61 944
Ücretsiz	85 558

Tiplerine göre toplam atık miktarları: Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan toplam tıbbi atık miktarlarının %3,37 sini 180101 kodlu atık (kesiciler), %0,10 nunu 180102 kodlu atık(patolojik), %96,06 sını 180 103 (bertaraf gerektiren enfeksiyöz atıklar)k atıklar, %0,12 sini 180201 kodlu atıklar (kesiciler), %0.31 ini 180202 kodlu atıklar, %0,10 unu 180203 kodlu atıklar oluşturmaktadır. Toplam atıklar içerisinde en fazla enfeksiyöz atıklar üretilmektedir. Yıllık 1 345 kg atık ise tıbbi atık olarak sınıflandırılmayan atıkları oluşturmaktadır. 2015 yılında toplamda 6 427 802 kg tıbbi atık toplanmıştır.

6.1.2. Taşıma maliyetleri

Taşıma maliyetleri, taşıma işlemini yapan belediye ve işletmeler ile yapılan görüşmeler sonucu ortalama değerleri belirlenmiştir. Tıbbi atık üreticileri, ürettikleri atıkların toplanması, taşınması ve bertarafı için gereken harcamaları, bertaraf eden kurum ve kuruluşa ödemekle yükümlüdürler. Tüm araçların km başına taşıma maliyeti 2,06 TL olarak belirlenmiştir. Geçici depolardan, tıbbi atıkları taşıyan araçlar yaklaşık 1,5 ton kapasitelidir. Bu sebeple yaklaşık olarak tıbbi atıkları taşımanın mâliyeti km*ton başına 1,37 TL olarak belirlenmiştir.

Km başına maliyet hesaplaması

Araç yaklaşık olarak 1.5 ton kapasitelidir ve 100 km'de yaklaşık 45 litre yakıt tüketmektedir. Bir litre yakıtın fiyatı ise 4.58 TL'dir. Bu durumda $(45/100)*4.58=2.06$ 'dır. Tıbbi atıkları taşıyan araçlar 1.5 ton kapasitelidir. Bu durumda araçların km başına maliyeti

km ton başına 1.370 TL dir. Km başına kg maliyeti ise 0.001373 TL'dir. Her bir tıbbi atık tipine göre taşıma maliyetleri eşittir. İşlem gören tıbbi atıklar ise zararları ortadan kalktığı için evsel atıklarla ayrı yerlerde düzenli depolama alanlarında depolanabilirler ve düzenli depolama alanlarına taşıma maliyeti km başına 1.00 TL olarak belirlenmiştir.

6.1.3. Tesislerin kapasitelerinin belirlenmesi

Toplama merkezlerinin kapasiteleri

Toplama noktaları, ara transfer noktası gibi alınmıştır, burdan tiplerine göre atıklar uygun olan bertaraf yöntemleriyle yok edilmeleri sağlanacaktır. Büyük Geçici depolama noktaları olarak düşünülmemiştir, çünkü büyük geçici noktalar olarak düşünüldüğünde, bu aşama sağlık merkezlerinin sorumluluğunda olacağı için çevresel riskleri de arttırması büyük olasıdır. O yüzden toplama noktaları olarak düşünülmesi daha doğru olacaktır. Tıbbi atık kontrolü yönetmeliğine göre yatak kapasitesi 20'yi aşan sağlık kurumları geçici depolarda atıkların depolanmasını sağlamak zorundadır. 20 yatak kapasitesinin altında olan sağlık kurumlarından ise atıklar konteynırlardan toplanmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde tıbbi atıklar üretici merkezlerden geçici depolara ya da konteynırlara gönderilmektedir. Bu aşamada sağlık kurumları sorumludur. Geçici depoların sağlık merkezlerine yakın olması ve sağlık merkezlerinin bölgede çok dağınık olarak konumlanmış olması ve de bu aşamanın tıbbi atık üreten kurumların sorumlu olmasından dolayı, önerilen modelde geçici depoların yerine, büyük toplama merkezlerinin olduğu varsayılmıştır ve görüşmeler sonucunda bu merkezlerine konumlarına karar verilmiştir.

Bir çok konum mevcut olarak kullanılan transfer merkezleri düşünülmüştür. Bölgelerin nüfus yoğunluğu ve tıbbi atık üreten sağlık kurumu sayısına göre belirlenmiştir. Çizelge 6.3'de toplama merkezlerinin kapasiteleri görülmektedir.

Çizelge 6.3. Toplama merkezleri kapasiteleri

<i>Toplama merkezleri</i>	<i>Bölge</i>	<i>Bölge içindeki sağlık kurumu sayısı</i>	<i>Kapasite (yıllık / ton)</i>
1	Gediz (Buca)	128	3400
2	Kısıkköy (Menderes)	24	1000
3	Karşıyaka	196	2500
4	Türkelli (Menemen)	34	1200
5	Gümüldür	24	1000
6	Urla	31	800
7	Selçuk	12	1600
8	Kemalpaşa	44	2000
9	Halkapınar	42	2000
10	Laka	155	1800

Sterilizasyon merkezlerinin kapasiteleri

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile tıbbi atıkların bertarafı konusunda gelişmiş ülkelerde uygun alternatif bertaraf teknolojilerinin ülkemizde de uygulanmasının önü açılmıştır. Buna göre enfeksiyöz atıklar ile kesici-delici atıklar, sterilizasyon işlemine tabi tutularak zararsız hale getirilebilmekte ve risksiz hale gelen bu atıklar, evsel atık depolama alanlarında depolanarak bertaraf edilebilmektedir.

Tıbbi atık yönetimi ve işleyişi Türkiye’de yeni oluşum içerisinde olduğu için, sterilizasyon tesisleri yeterli kapasiteye sahip değildir. Bu nedenle Çevre ve Orman bakanlığınca yeni tıbbi atık sterilizasyon tesisi kurulması gereken iller Tekirdağ, İzmir, İstanbul, Ankara, Mersin, Kırşehir, Adana, Elazığ, Diyarbakır, Malatya, Şanlıurfa, Sivas, Antalya olarak belirlenmiştir (Url-5).

İzmir ilinde ise sterilizasyon tesisi kurulmasına karar verilmiştir, ancak kurulacak olan tesisin konumuna karar verilememektedir. İzmir ilinin tıbbi atıklarının bertaraf edildiği mevcut sterilizasyon merkezi ve açılacak olan potansiyel tesislerin kapasiteleri, uzman görüşleri doğrultusunda Çizelge 6.4’deki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 6.4. Sterilizasyon merkezleri kapasiteleri

<i>Sterilizasyon merkezleri</i>	<i>Bölge</i>	<i>Bölge içindeki sağlık kurumu sayısı</i>	<i>Kapasite (yıllık/ton)</i>	<i>Maksimum kapasiteleri</i>
1	Mevcut tesis	İzmir ili için kapasitesi	6430	7750
2	Ahıhıdır	34	4000	5000
3	Yamanlar	196	7000	7500
4	Torbalı, Taşkesik	51	6000	7000
5	Bergama	27	6500	7000

Yakma tesislerinin kapasitelerinin belirlenmesi

Türkiye’de şu an faaliyette olan biri İstanbul diğeri Kocaeli olan iki yakma merkezi vardır (Url-5). Kocaelinde bulunan İzaydaş işleme merkezinin yakma ünitesinin kapasitesi, 52.500 ton/yıl yakma kapasiteli olup, tesisin çalışma prensibi, endüstriden kaynaklanan yanabilir nitelikteki plastik atıklar, kullanılmış yağlar, ilaç ve kozmetik atıkları, petrokimya atıkları, PVC, solvent, boya atıkları, yapıştırıcı ve yapışkanlar, arıtma çamurları vb. tehlikeli atıklar ile tıbbi atıkların yakılarak bertaraf edilmesine dayanır (Url-4). İstanbul’da ise İstaç yakma merkezine sahip olan kurumdur, günlük kapasitesi yaklaşık 30 tondur. Bu iki merkezin kapasiteleri tıbbi atıklar için kapasitesi yaklaşık 8000 ton civarındadır.

İzmir ili ve çevresinde yakma tesisi bulunmamaktadır, ancak eğer bir yakma tesisi açılacaksa tıbbi atıklar için yakma tesisi kapasitesi yaklaşık 4000 ton olarak planlanmaktadır. Ancak yönetmeliğe göre tıbbi atıklar yakma tesisleri olarak çimento fabrikalarında kullanılabilir ve İzmir’de iki tane çimento fabrikası bulunmaktadır. Bunun yanında tıbbi atıklar ile ilgili kaynaklar araştırıldığında patojenik atıkların sterilizasyon merkezlerinde işlem görmesinin daha uygun olacağı belirtilmiştir. Yakma, tıbbi atıkların bertarafında en güvenli yöntem olmakla birlikte, yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksekliği ve ileri teknoloji gerektirmesi nedeniyle kurulması ve işletilmesi oldukça zor bir bertaraf yöntemidir. Potansiyel yakma merkezlerinin kapasiteleri tahmini olarak konum kümelerine göre uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Sterilizasyon merkezlerine göre yakma tesislerinin kurulum maliyetlerinin ve teknik bakım maliyetlerinin yüksek olması, yakma sonucu çıkan zararlı gazların olması ve diğer ülkelerce de daha az tercih edilmesinden dolayı sterilizasyon merkezine göre kapasitesi daha düşük tutulmuştur. Çizelge 6.5’te yakma merkezlerinin kapasiteleri görülmektedir.

Çizelge 6.5. Yakma merkezleri kapasiteleri

<i>Yakma merkezleri</i>	<i>Bölge</i>	<i>Bölge içindeki sağlık kurumu sayısı / Atık miktarları</i>	<i>Kapasite (yıllık / ton)</i>	<i>Maksimum kapasiteleri</i>
1	Yamanlar	196/359023	4000	4500
2	Horozgediği	46/116458	2000	4500
3	Bornova1	155/1197640	1000	2000
4	Bornova2	155/1197640	1000	2000

Gömme merkezi kapasitelerinin belirlenmesi

Çevre ve Orman Bakanlığı'nın yönergesine göre, Türkiye'de sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıklar için özel bir işleme merkezi kuruluncaya kadar, tıbbi atıkları için o bölgelerde kireçle gömme işlemi uygulanmaktadır. İzmir ilinin tıbbi atıkları özel bir firma tarafından sterilizasyon yöntemiyle yok edilmektedir, ancak patojenik atıklar ya da radyoaktif atıklar gibi atıkların sterilizasyon işlemine uygun olmamasından dolayı gömme işlemi tercih edilmektedir. Gömme işlemi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında maliyeti daha az olmaktadır, ancak sterilizasyon, yakma bertaraf yöntemleri kadar güvenli bir yöntem değildir, bu yüzden uzman görüşleride alınarak gömme tesisi kapasiteleri diğer bertaraf tesislerine göre daha küçük kapasitelerde alınmıştır. 1993-1996 yılları arasında uzundere kompost tesisinde tıbbi atıkların gömme işlemi yapılmaktadı.

Çizelge 6.6'da mevcut ve potansiyel tesislerin yıllık kapasiteleri gösterilmektedir. Tıbbi atıkların kireçle gömülme işlemi önceden daha çok tercih edilmekteydi. Ancak işlem görmeden atıkların gömülme işlemi yapılmamalıdır, ve işlem bertaraf yöntemleri karşılaştırıldığında maliyet açısından en uygun yöntem olabilir ancak, çevreye riski açısından etrcih edilmemesi gereken bir yöntemdir.

Liu ve diğerleri (2013), Dursun ve diğerleri (2011) bertaraf yöntemlerinin çok kriterli karar verme yöntemleriyle karşılaştırdığı çalışmalar, mevcut tesislerin bilgileri ışığında ve uzman görüşlerinden faydalananarak kapasiteler aşağıdaki Çizelge 6.6'daki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 6.6. Gömme merkezleri kapasiteleri

<i>Gömme merkezleri</i>	<i>Bölge</i>	<i>Bölge içindeki sağlık kurumu sayısı / Atık miktarları</i>	<i>Kapasite (yıllık/ton)</i>	<i>Maksimum kapasiteleri</i>
1	Işıklar	16/107974	4000	4500
2	Harmandalı	67/250186	4000	4500
3	Uzunburun	155/1196640	4000	4500
4	Horozgediği	46/116458	4000	4500

Budak (2013) yaptığı çalışmada tıbbi atıklarla evsel atıkları beraber değerlendirmiştir. Bu çalışmada ise sadece tıbbi atıklar için tersine lojistik ağ tasarımı yapılmıştır, evsel katı atıklar modele dâhil edilmediği için öğütücü tesisleri ele alınmamıştır.

Düzenli depolama merkezleri kapasitelerinin belirlenmesi

İşlem sonrası tıbbi ve evsel atıklar nihai bertarafın gerçekleşmesi için düzenli depolamaya taşınır. Önerilen modelde işlemeye tabi tutulan tıbbi atıklar, tıbbi atıkların düzenli depolandığı sahalara, düzenli depolanır. Ülkemizde en çok düzenli depolama işlemi yapılmaktadır, yurt dışında ise geri dönüşüm tesislerine veya fabrikalar ham malzeme olarak taşınmaktadır. Harmandalı Düzenli Katı Atık Depolama Tesisinde, 2012 yılı içinde 1.276.902 tonu evsel, 70.135 tonu endüstriyel, 3.601 tonu tıbbi, 5.904 tonu imha atığı ve 42. 208 tonu arıtma çamuru olmak üzere toplam 1.398.750 ton atık depolanmıştır (İzmir İli 2015 yılı çevre durum raporu).

Düzenli depolama alanlarının kapasiteleri de belirlenerek hangi potansiyel düzenli depolama tesisnin açılması gerektiğine de karar verilmiştir. Tıbbi atıkların düzenli depolandığı 5 merkez alınmıştır, 1 tanesi mevcut tesistir. Çizelge 6.7’de düzenli depolama bölgeleri ve kapasiteleri görülmektedir.

Çizelge 6.7. Düzenli depo kapasiteleri

<i>Düzenli depo</i>	<i>Bölge</i>	<i>Kapasite (yıllık/ton)</i>	<i>Maksimum kapasiteleri</i>
1 Mevcut	Harmandalı	4000	4500
2	Torbalı	4000	4500
3	Manisa	4000	4500
4	Aliağa	4000	4500
5	Bergama	4000	4500

6.1.4. Depo ve tesislerin sabit maliyetlerinin belirlenmesi

Toplama noktalarının maliyetleri: Toplama noktalarının maliyetleri uzman görüşleri doğrultusunda transfer merkezi çalışanlarından toplanan bilgilere göre 1 tesisten yola çıkarak ve diğer atık miktarlarının tıbbi atık miktarlarına ve kapasiteye göre oranı hesaplanarak yaklaşık değerler alınarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 6.8. Depo ve tesislerin sabit maliyetleri

Toplama merkezleri / Kalem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Yönetici (TL)	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000
Çalışan (TL)	60000	30000	48000	36000	36000	24000	45000	45000	45000	36000
Enerji (TL/ton yıl)	600	176	440	210	176	140	280	350	350	320
Bürove yönetim (TL/ton yıl)	6300	2240	4350	2000	2200	2250	1000	2200	2200	2000
Ekipman (TL/ton yıl)	38880	11435	28590	13722	11435	9150	18290	22870	22870	36187
Depolama (TL/yıl ton)	4216	1240	3100	1488	1240	992	1984	2480	2480	2232
Amortisman	10493	3086	7715	3703	3086	2468	4937	6172	6172	5555
Toplam	180489	108177	152195	117123	114137	99000	131491	139072	139072	142294

Sterilizasyon merkezlerinin sabit ve işleme maliyeti

Sterilizasyon merkezlerinin yıllık sabit mâliyetleri tesislerin kapasitesine ve konum kümelerine göre farklılık göstermektedir. Sterilizasyon merkezi kullanılan teknolojiye göre Türkiye’de açılması oldukça mâliyetli olan bir sistemdir. İzmir ili için hesaplanan sterilizasyon merkezi maliyetleri bir sterilizasyon firmasının maliyet analizi bilgileri alınmıştır ve bu bilgilerden yola çıkarak açılacak potansiyel merkezlerin maliyetleri de hesaplanmıştır. Ancak firmanın bilgilerinin gizli kalması istendiğinden yaklaşık değerler alınmıştır.

Sterilizasyon merkezi maliyetleri Çizelge 6.9’daki gibidir.

- 1) Toplama – Taşıma Maliyetleri = 317.000,00.-TL/Ay;
 - a. İşçilik Maliyetleri Toplamı = 115.000,00.-TL/Ay
(Şoför maliyetleri, yardımcı personel maliyetleri,müdür,çevre mühendisi,formen,büro personel maliyetlerii içermektedir.)
 - b. Araç ve Akaryakıt Maliyetleri = 130.000,00.-TL/Ay
(10 adet atık toplamı aracı ve 4 kontrol aracı(kira maliyeti,akaryakıt,bakım) maliyetini içermektedir.)
 - c. Raporlama ve Elektronik Sistem Maliyetleri = 45.000,00.-TL/Ay
(Kantar, ölçümleme, mühendislik, yazılım-donanım, haberleşme maliyetleri.)
 - d. Personel Giyim ve Sarf Malzeme Maliyetleri = 27.000,00.-TL/Ay
(Poşet, kova, eldiven, giyim ve diğer sarf malzeme maliyetleri.)
- 2) Sterilizasyon ve Bertaraf Maliyetleri = 533.500,00.-TL/Ay;
 - a. Sterilizasyon Tesisi İçerisindeki Maliyetleri = 72.000,00.-TL/Ay
 - b. Enerji Giderleri =143.000,00.-TL/Ay
Sistemin 1.250.-kg/saat’lik kapasitesi İzmir ili atıklarının sterilizasyonunda kullanılmaktadır.
 - c. Elektrik Maliyetleri = 79.500,00.-TL/Ay
 - d. Amortisman Maliyetleri = 50.000,00.-TL/Ay
 - e. Yedek Parça ve Malzeme Maliyetleri (Sterilizasyon cihazı, kırıcılar, depolama taşıma araçları) = 42.000,00.-TL/Ay
 - f. Depolama Bedeli Maliyetleri = 57.000,00.-TL/Ay
 - g. Büro Akaryakıt ve Yönetim Maliyetleri = 35.000,00.-TL/Ay

h. Diğer Maliyetler (Analiz, raporlama, tesis personel giyim (maske vb.), su, dezenfektan, konteynır vb.) = 55.000,00.-TL/Ay

3) Maliyetler Genel Toplamı = 850.500,00.-TL/Ay

Çizelge 6.9. Sterilizasyon merkezleri işlem ve sabit maliyetleri

<i>Sterilizasyon merkezleri</i>	<i>Bölge</i>	<i>Sabit maliyetleri</i>	<i>İşlem maliyetleri (yıllık/ton)</i>	<i>Kapasite yıllık/kg)</i>	<i>Maksimum kapasiteleri (yıllık)</i>
1	Mevcut Tesis	362972	1200	6430	7750
2	Ahihıdır	234175	1200	4000	5000
3	Yamanlar	374680	1200	7000	7000
4	Torbalı, Taşkesik	281010	1200	6000	7000
5	Bergama	281010	1200	6500	7000

Yakma merkezlerinin sabit ve değişken maliyetleri

Atıkların sterilizasyon yöntemi ile bertaraf edilmesi, yakma ile bertaraf edilmesine göre daha az maliyetlidir, ancak yakma ile bertaraf edilen atıkların çevreye riski de daha azdır. Yakma ile bertaraf diğer bertaraf yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha güvenli bir yoldur ve atıklar hacimce daha fazla küçülmektedir, böylece işleme merkezlerinden nihai depolara olan taşıma maliyetleri de azalmaktadır, düzenli depolama alanlarında da daha az yer kaplamaktadırlar. Özellikle kesici atıklar, patojenik atıkların yakma tesislerinde işlem görmesi önerilmektedir. Ancak yakma sonucunda oluşan zehirli gazların kontrol altına alınması,ölçümlerinin yapılması, filtreleme gibi işlemleri gerektirmektedir.Ülkemizde yakma tesisi İzmit ve İstanbul illerinde bulunmaktadır. Uygun bertaraf yöntemlerinin seçilmesi için yapılan çalışma sonucunda ve bir çok ülkede sterilizasyon bertaraf yöntemi tercih edilmektedir, yakma tesisleri sayısı giderek azalmaktadır. Sterilizasyon merkezlerine göre daha maliyetli olması ve kapasiteler göz önüne alınarak maliyetler aşağıdaki çizelgedeki gibidir. 8000 ton kapasiteli yakma merkezinin kurulma maliyeti 2.7 milyon TL olarak alınmıştır (Budak, 2013). Çizelge 6.10'da yakma merkezlerinin ülkelere göre maliyet bedelleri görülmektedir (Küçük, 2013). Yakma bedeli ton başına ortalama 75€ olarak görülmektedir.

Çizelge 6.10. Yakma merkezleri ülkelere göre maliyetleri

	Avusturya	Fransa	İtalya	Portekiz	İspanya	İsveç
Yakma Bedeli (€/ton)	103-168	60-98	78-120	20 (1999)	30-36	23-46
Düzenli Depolama Bedeli (€/ton)	87-219	38-60	21-183	0	6-15	29-40
Beklenen Gelişme	>87	>60	>21	20-56 (1999)	>15	86 (2000)
Elektrik Satış Bedeli (€/kWsa)	Bilgi yok	0,033	0,14	0,045 (1999)	0,06	0,023

Yakma tesislerinin sabit maliyetleri ve bertaraf fiyatları Çizelge 6.11 ve 6.12'deki gibidir (Url-7).

Çizelge 6.11. Yakma merkezleri sabit maliyet kalemleri

Gider tipi	US \$ /yıl
Teknik personel	1.658.125
Büro personeli	331.250
İdari personel	423.750
Büro Giderleri	85.000
Kimyasal Sarfıyatı	207.500
Bakım Tamirat	64.375
Amortisman Giderleri	11.456.250
Toplam	14.226.250

Çizelge 6.12. İzaydaş yakma ile bertaraf fiyatları (Url-7)

ATIK GRUPLARI	
SIVI ATIKLAR (Çamur oranı <%10)	TL/TON
Kalorifik değer >10000 kJ/kg	780
Kalorifik değer <10000 kJ/kg	825
Bor Yağı	825
Özel Sıvı Atık	1225
KATI - MACUNUSU - PASTÖZ ATIKLAR	
Kalorifik değer >10000 kJ/kg	775
Kalorifik değer <10000 kJ/kg	890
Boya ve Fosfat çamurları	550
Taşlama çamuru-Metal çamuru-Aritma çamuru	650
Kontamine Absorbanlar ve Kontamine Ambalajlar (metal ambalaj hariç)	600
Kontamine Metal	990
Farmasotik ve Kozmetik Atıklar (mamul)	1590
Boya, Vernik, Yapıştırıcılar vb.(max. 25 lt lik ambalajlar)	890
Basınçlı Kaplar	990
Kondansatörler	1380
FIÇI İLE YAKILACAK ATIKLAR	
Fiçi ile Yakılacak Atıklar (kriterlere uygun)	1750
Tıbbi Atık	1930
ÖZEL İŞLEM	
Floresan Lamba	500
X-Ray Tüpleri	460
Cıvalı Atıklar	500

Yakma merkezinin toplam yıllık maliyeti Çizelge 6.13'te gösterilmiştir. İşleme maliyeti il mahalli çevre kurulunun yakma bertaraf maliyeti için belirlediği (1.35+Kdv) fiyat alınarak yaklaşık olarak kg başına 1,55 TL olarak hesaplanmıştır. Yıllık 1550 ton işleme maliyeti olarak hesaplanmıştır. Sabit maliyetler stelizasyon ve geçici depo maliyetleri hesaplanırken alki alınan maliyet kalemleri alınmıştır. Kaynak araştırmaları sonucunda maliyetler hesaplanmıştır.

Çizelge 6.13. Yakma merkezleri sabit ve işlem maliyetleri

Yakma merkezleri	Bölge	Sabit maliyetleri	İşlem maliyetleri (yıllık/ton)	Kapasite yıllık/kg)	Maksimum kapasiteleri (yıllık)
1	Yamanlar	137250	1550	4000	4500
2	Horozgediği	137250	1550	2000	4500
3	Bornova1	61000	1550	1000	2000
4	Bornova2	61000	1550	1000	2000

Kireçle gömme sabit ve işleme maliyetleri

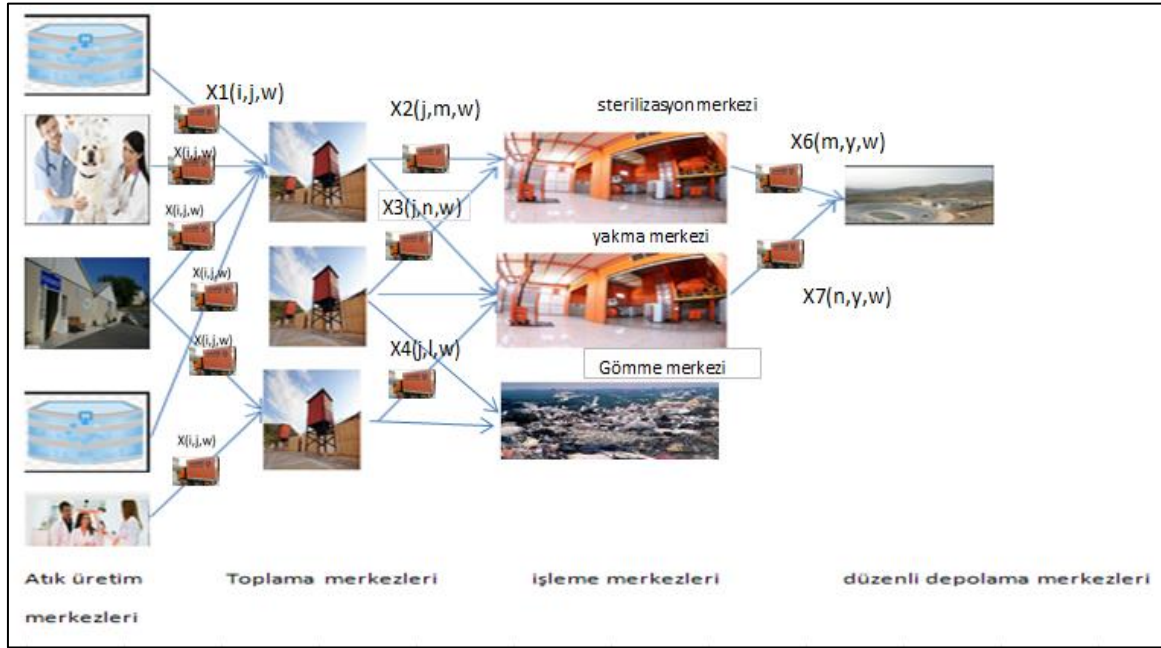
Kireçle gömme merkezi kurulum mâliyeti, yaklaşık ton başına 200 TL yatırım maliyeti olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.14. Gömme merkezleri sabit ve işlem maliyetleri

Gömme merkezleri	Bölge	Sabit maliyetleri	İşlem maliyetleri (yıllık/ton)	Kapasite yıllık/kg)	Maksimum kapasiteleri (yıllık)
1	Işıklar	123040	1100	3500	4500
2	Harmandalı	123040	1100	3000	4500
3	Uzunburun	123040	1100	3000	4500
4	Horozgediği	123040	1100	3000	4500

6.2. Tıbbi Atıkların Tersine Lojistik Ağ Tasarımı Temel Model (Model 1)

İzmir’de sağlık kurumlarında üretilen atık miktarlarının nihai düzenli depolara kadar taşıma maliyetlerini ve mevcut geçici depo, işletme, düzenli depolama tesisleri ile birlikte potansiyel tesisleri de belirleyerek, tesis açma ve ürün işleme maliyetlerini de göz önüne alarak maliyetleri minimum yapan etkili bir tersine lojistik ağ tasarımı geliştirmektedir. Geliştirilen modelin notasyonları sunulmuştur. Modelin ağ yapısı Şekil 6.1’deki gibidir.



Şekil 6.1. Model 1 ağ yapısı

6.2.1. Notasyonlar

İndisler

i: Tıbbi üretim merkezleri

j: Toplama merkezleri

m: Sterilizasyon merkezi

n: Yakma merkezi

l: Kireçle gömme merkezi

w: Atık tipleri ($w = 1 \dots 4$) ($w = 1$ kesici-delici, $w = 2$ enfeksiyöz, $w = 3$ patolojik, $w = 4$ sınıflandırılmayan)

y: tıbbi atık düzenli depolama noktaları

Parametreler

- $A(i,w)$: atık üretim merkezlerince üretilen tiplerine göre atık miktarları (ton/yıl)
- $C1(j)$: toplama merkezinin sabit maliyeti (TL/yıl)
- $C2(m)$: m. sterilizasyon merkezinin sabit maliyeti (TL/yıl)
- $C3(n)$: n. yakma merkezinin sabit maliyeti (TL/yıl)
- $C4(l)$: l. gömme merkezinin sabit maliyeti (TL/yıl)
- $Mcap1(j)$: j. toplama merkezinin maksimum kapasitesi (ton/yıl)
- $Mcap2(m)$: m. sterilizasyon merkezinin maksimum kapasitesi (ton/yıl)
- $Mcap3(n)$: n. yakma merkezinin maksimum kapasitesi (ton/yıl)
- $Mcap4(l)$: l. gömme merkezinin maksimum kapasitesi (ton/yıl)
- $T1(w,i,j)$: i. üretim merkezinden j. toplama merkezine w tipi atığın taşıma maliyeti (km*ton/yıl)
- $T2(w,j,m)$: j. toplama merkezinden m. sterilizasyon merkezine w tipi atığın taşıma maliyeti (km*ton/yıl)
- $T3(w,j,n)$: j. toplama merkezinden n.yakma merkezine w tipi atığın taşıma maliyeti (km*ton/yıl)
- $T4(w,j,l)$: j. toplama merkezinden l. gömme merkezine w tipi atığın taşıma maliyeti (km*ton/yıl)
- $T6(w,m,y)$: m. sterilizasyon merkezinden y. nihai tıbbi atık düzenli depoya w tipi atığı taşıma maliyeti (km*ton/yıl)
- $T7(w,n,y)$: n. yakma merkezinden y. nihai tıbbi atık düzenli depoya taşıma maliyeti (km*ton/yıl)
- $I1(m,w)$: m. sterilizasyon merkezinde w tipi atığın işlem maliyeti (TL/yıl)
- $I2(n,w)$: n. yakma merkezinde w tipi atığın işlem maliyeti (TL/yıl)
- $I3(l,w)$: l. Gömme merkezinde w tipi atığın işlem maliyeti (TL/yıl)

Sabitler

- C_t : km başına tıbbi atığı taşıma maliyeti
- C_{t2} : işlem gören atığın taşıma maliyeti
- J_{max} : Kurulacak maksimum toplama merkezi sayısı
- M_{max} : Kurulacak maksimum sterilizasyon merkezi sayısı
- N_{max} : Kurulacak maksimum yakma merkezi

L_{max} : Kurulacak maksimum gömme merkezi sayısı

Karar değişkenleri

X_{1ijw} : i. toplama merkezinden j. toplama merkezine giden toplam atık miktarı (ton/yıl)

X_{2jmw} : j. toplama merkezinden m. sterilizasyon merkezine giden w tipi tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

X_{3jnw} : j. toplama merkezinden n. yakma merkezine giden w tipi tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

X_{4jlw} : j. toplama merkezinden l. kireçle gömme merkezine giden w tipi tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

X_{6myw} : m. sterilizasyon merkezinden y. düzenli depolama merkezine giden w tipi tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

X_{7nyw} : n. yakma merkezinden y. düzenli depolama merkezine giden w tipi tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

A_{1j} : j. toplama noktasındaki toplam atık miktarı (ton/yıl)

A_{2j} : j. toplama noktasından sterilizasyon merkezine gidecek toplam tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

A_{3j} : j. toplama noktasından yakma merkezine gidecek toplam tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

A_{4j} : j. toplama noktasından gömme merkezine gidecek olan atık miktarı (ton/yıl)

A_{6m} : m. sterilizasyon merkezindeki toplam tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

A_{7n} : n. yakma merkezindeki toplam tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

A_{8l} : l. kireçle gömme merkezindeki toplam tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

A_{10y} : y. tıbbi atık düzenli depolama merkezindeki atık miktarı (ton/yıl)

İkili karar değişkenleri

T_j : { 1, eğer toplama merkezi varsa; 0, eğer yoksa }

S_m : { 1, eğer sterilizasyon merkezi varsa; 0, eğer yoksa }

B_n : { 1, eğer yakma merkezi varsa; 0, eğer yoksa }

V_l : { 1, eğer kireçle gömme merkezi varsa; 0, yoksa }

6.2.2. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar

Amaç fonksiyonu

$$\begin{aligned}
 \text{Min}Z = & \sum_j C1(j) * T(j) + \sum_{m=1} C2(m) * S(m) + \sum_{n=1} C3(n) * B(n) + \sum_{l=1} C4(l) * V(l) \\
 & + \sum_m \sum_{w=1} A6m(m, w) * I1(m, w) + \sum_n \sum_w A7n(n, w) * I2(n, w) + \sum_l \sum_w A8l(l, w) * I_3(l, w) \\
 & + \sum_i \sum_j \sum_w X1(i, j, w) * T1(w, j, i) * ct + \sum_j \sum_m \sum_w X2(j, m, w) * T2(w, j, m) * ct \\
 & + \sum_j \sum_l \sum_w X4(j, l, w) * T4(w, j, l) * ct + \sum_m \sum_y \sum_w X6(m, y, w) * T6(w, m, y) * ct2 \\
 & + \sum_j \sum_n \sum_w X3(j, n, w) * T3(w, j, n) * ct + \\
 & \sum_n \sum_y \sum_w X7(n, y, w) * T7(w, n, y) * ct2
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

Kısıtlar

$$\sum_j^J X1(i, j, w) = A(i, w) \quad \forall i, w \tag{6.2}$$

$$\sum_i^I X1(i, j, w) = A1(j, w) \quad \forall j, w \tag{6.3}$$

$$A1j(j, w) = A2j(j, w) + A3j(j, w) + A4j(j, w) \quad \forall j, w \tag{6.4}$$

$$\sum_{m=1} X2(j, m, w) = A2j(j, w) \quad \forall j, w \tag{6.5}$$

$$\sum_j X2(j, m, w) = A6m(m, w) \quad \forall m, w \tag{6.6}$$

$$\sum_n X3(j, n, w) = A3j(j, w) \quad \forall j, w \tag{6.7}$$

$$\sum_j X3(j, n, w) = A7n(n, w) \quad \forall n, w \tag{6.8}$$

$$\sum_l X4(j, l, w) = A4j(j, w) \quad \forall j, w \tag{6.9}$$

$$\sum_j X_4(j, l, w) = A_8 l(l, w) \quad \forall l, w \quad (6.10)$$

$$\sum_y X_6(m, y, w) = A_6 m(m, w) \quad \forall m, w \quad (6.11)$$

$$\sum_y X_7(n, y, w) = A_7 n(n, w) \quad \forall n, w \quad (6.12)$$

$$\sum_m X_6(m, y, w) + \sum_n X_7(n, y, w) = A_{10} y(y, w) \quad \forall y, w \quad (6.13)$$

$$\sum_w A_1 j(j, w) \leq T_{cap1}(j) * T(j) \quad \forall j \quad (6.14)$$

$$\sum_w A_6 m(m, w) \leq T_{cap2}(m) * S(m) \quad \forall m \quad (6.15)$$

$$\sum_w A_7 n(n, w) \leq T_{cap3}(n) * B(n) \quad \forall n \quad (6.16)$$

$$\sum_w A_8 l(l, w) \leq T_{cap4}(l) * V(l) \quad \forall l \quad (6.17)$$

$$\sum_j \sum_m X_2(j, m, w) + \sum_j \sum_n X_3(j, n, w) + \sum_j \sum_l X_4(j, l, w) =$$

$$\sum_m A_6 m(m, w) + \sum_n A_7 n(n, w) + \sum_l A_8 l(l, w) \quad \forall w \quad (6.18)$$

$$\sum_{j=1} T(j) \leq J \max \quad \forall j \quad (6.19)$$

$$\sum_m S(m) \leq M \max \quad \forall m \quad (6.20)$$

$$\sum_l V(l) \leq L \max \quad \forall l \quad (6.21)$$

$$\sum_n B(n) \leq N \max \quad \forall n \quad (6.22)$$

Negatif olmama kısıtı

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_6, X_7, A_1 j, A_2 j, A_3 j, A_4 j, A_6 m, A_7 n, A_8 l, A_{10} y \geq 0 \quad (6.23)$$

$$T(j), S(m), B(n), V(l) \in \{0,1\} \quad (6.24)$$

Eş. 6.1 modelin amaç fonksiyonudur, amaç toplam maliyet minimizasyonudur. Toplam maliyet, tesisler arasındaki taşıma maliyetini, tesislerde ürünlerin işlem maliyetleri ve tesis açma maliyetlerinden oluşmaktadır.

Eş. 6.2 i. tıbbi üretim merkezinden j. toplama noktasına giden w tipi atık miktarının, i. tıbbi atık merkezindeki w.tip atık miktarına denk olma durumunu belirtir. Üretilen kadar j.toplama noktasına aktarılacaktır. Eş. 6.3 i. üretim merkezlerinden j. toplama noktasına gelen w.tip atık miktarlarının toplama merkezindeki atık tiplerine göre miktarlarına denk olma durumunu belirtir. Eş. 6.4 tüm j toplama merkezlerindeki atıkların, sterilizasyon ,yakma ve gömme işleme merkezlerine gidecek olan miktarlarına denk olacağını belirtir.

Eş. 6.5 tüm j toplama merkezlerinden m sterilizasyon merkezine giden w tipi atık miktarının j toplama merkezinden sterilizasyon merkezine gidecek olan w tipi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş. 6.6 tüm j toplama merkezlerinden m sterilizasyon merkezine giden w tipi atık miktarının, m sterilizasyon merkezindeki w tipi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş. 6.7 tüm j toplama merkezlerinden n yakma merkezine giden w tipi atık miktarının j toplama merkezindeki yakma merkezine gidecek olan w tipi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş. 6.8 tüm j toplama merkezlerinden n yakma merkezine giden w tipi atık miktarının, n yakma merkezindeki atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş. 6.9 tüm j toplama merkezlerinden l gömme merkezine giden w tipi atık miktarının j toplama merkezindeki l gömme merkezine gidecek olan w tipi atık miktarına denk olma kısıtıdır.

Eş. 6.10 tüm j toplama merkezlerinden l gömme merkezine giden w tipi atık miktarının j toplama merkezindeki l gömme merkezine gidecek olan w tipi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş. 6.11 tüm m sterilizasyon merkezinden y düzenli depolama alanına giden w tipi atık miktarının m sterilizasyon merkezindeki w tipi tıbbi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş. 6.12 tüm n yakma merkezinden y düzenli depolama alanına giden w tipi atık miktarının n yakma merkezindeki w tipi tıbbi atık miktarına denk olma kısıtıdır.

Eş. 6.13 tüm m sterilizasyon merkezinden ve n yakma merkezinden açığa çıkan w tipi tıbbi atıkların toplamının y düzenli depolama alanındaki w tipi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş. 6.14 kapasite kısıtıdır. j toplama merkezlerindeki w tipi atık miktarlarının merkezin maksimum kapasitesinin aşmayacağını ifade eder. Eş. 6.15 kapasite kısıtıdır. kısıtı, m sterilizasyon işleme merkezi w tipi atık miktarlarının sterilizasyon merkezinin maksimum kapasitesini aşmayacağını ifade eder. Eş. 6.16 kapasite kısıtıdır. kısıtı, n yakma merkezindeki atık miktarlarının, n yakma merkezinin maksimum kapasitesini aşmayacağını ifade eder.

Eş. 6.17 kapasite kısıtıdır. kısıtı, l gömme merkezindeki atık miktarlarının, gömme merkezin kapasitesinden küçük olacağını ya da eşit olması gerektiğini gösteren kısıttır. Eş. 6.18 kapasite kısıtıdır. Kısıtı, tüm j merkezlerinden, tüm m sterilizasyon işleme merkezlerine gelen w tipi atık miktarları ile tüm j depolarından tüm n yakma merkezlerine gelen w tipi atık miktarları ile tüm j depolarından tüm l gömme merkezlerine gelen w tipi atık miktarları toplamının, sterilizasyon merkezindeki w tipi atık miktarları, n yakma merkezlerindeki w tipi atık miktarları ve gömme merkezlerindeki w tipi atık miktarlarının toplamına eşit olduğunu gösteren kısıttır.

Eş. 6.19 kısıtı kaç tane tesis açılması gerektiğini gösteren kısıttır, bu kısıt, j toplama merkezi sayısının maksimum açılacak j toplama merkezi sayısından küçük ya da eşit olacağını gösteren kısıttır. Eş. 6.20 kısıtı en fazla açılacak olan sterilizasyon işlem merkezi sayısını gösteren kısıttır, bu kısıt, açılacak olan sterilizasyon işlem merkezi sayısının maksimum açılacak olan sterilizasyon işlem merkezi sayısından küçük ya da eşit olacağını gösterir. Eş. 6.21 kısıtı en fazla açılacak olan gömme merkezi sayısını gösterir. Bu kısıt açılacak olan gömme merkezlerinin sayısının maksimum açılacak olan gömme m merkezi sayısından küçük ya da eşit olması gerektiğini gösteren kısıttır.

Eş. 6.22 kısıtı maksimum açılabilir tesis sayısını gösteren kısıttır. açılacak olan n yakma merkezleri sayısının maksimum açılabilir yakma merkezleri sayısından küçük ya da eşit olması gerektiğini gösteren kısıttır. Eş. 6.23 diğer tüm değişkenler için pozitif olma kısıtıdır, değişkenlerin negatif değer alamayacağını gösterir. Eş. 6.24 0-1 tamsayı kısıtıdır, tesislerin açılıp / açılmamasına karar veren ikili karar değişkenini ifade eder.

6.2.3. Temel model (Model 1) için uygulama

Tersine lojistik ağı, yirmi dokuz tıbbi atık üretim merkezi bölgesi, on toplama merkezi, beş sterilizasyon merkezi, dört yakma merkezi, dört gömme merkezi sayısı, beş düzenli depolama merkezi içermektedir. Toplanan atıkların atık tiplerine göre işlem görüp tehlikesiz hale getirelerek evsel atıklarla beraber nihai düzenli depo alanlarında bertaraf edildiği, minimum maliyetle optimal dağıtım kararlarının ve yeterli sayıda tesis açma kararlarının verildiği bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak modellenmiştir.

Varsayımlar

- 1- Atık üretim merkezlerinden geçici depolara gelen akış ihmal edilmiştir, çünkü bu sağlık kurumlarının sorumluluğundadır. Dolayısıyla atık üretim merkezlerinin hemen çok yakınında olan geçici depolar beraber olarak alınmıştır, Toplamda 1779 sağlık kurumundan toplanan atıklar 29 bölgeye göre kümelenmiş ve konumlarının ortalamaları alınmıştır.
- 2- Tıbbi atık kontrolü yönetmeliğine göre sağlık kurumlarında üretilen atıklar, tıbbi atık, evsel atık, tehlikeli atık, radyoaktif atık olarak sınıflandırılmaktadır, ancak bu modelde sadece tıbbi atıklar alınmıştır ve işlem gören atıklar tehlikesiz hale geldikten sonra evsel atıkların da depolandığı düzenli depolama alanlarına taşınmaktadır. Tıbbi atıklar da kendi içerisinde patolojik (180102), enfeksiyöz (180103, 180202, 180203), kesici-delici atıklar (180101, 180201) ve kaynağında doğru şekilde ayrılmayan ,sınıflandırılmayan atıklar değerlendirilmiştir, kısaca bu modelde toplam 4 çeşit atık vardır. Bu atıklar ,w1 = kesici - delici atıklar, w2 = enfeksiyöz atıklar, w3 = patojenik atıklar, w4 = kaynağında doğru sınıflandırılmayan olmak üzere 4 sınıfa ayrılmıştır.
- 3- Patolojik atıkların sterilizasyon işlemine gitmeyeceği, enfeksiyöz atıkların gömme işlemine gitmeyeceği, 4.tip atıkların yakma işlemine gitmeyeceği varsayılmıştır.
- 4- Açığa çıkan tıbbi atıklar geri dönüştürülebilir ve organik özellikte değildir. Organik özellikte olsaydı kompostlaştırma işlemi de modele dahil edilecekti.
- 5- Tıbbi atıkların sterilizasyon ve yakma işlemine maruz kalan atıklar düzenli depolama alanlarına taşınırlar, bu modelde işlem gören atıkların hacimce küçülmediği varsayılmıştır.
- 6- Düzenli depolama (nihai) alanlarının kapasiteleri eşit olduğu varsayılmıştır.

7- Modelin amaç fonksiyonuna depolama, elleçleme ve nihai bertaraf alanındaki işlem maliyetleri göz önüne alınmamıştır.

Matematiksel model

Amaç fonksiyonu

$$\begin{aligned}
 \text{MinZ} = & \sum_{j=1}^{10} C1(j) * T(j) + \sum_{m=1}^5 C2(m) * S(m) + \sum_{n=1}^4 C3(n) * B(n) + \sum_{l=1}^4 C4(l) * V(l) \\
 & + \sum_{m=1}^5 \sum_{w=1}^3 A6m(m, w) * I1(m, w) + \sum_{n=1}^4 \sum_{w=1}^3 A7n(n, w) * I2(n, w) + \sum_{l=1}^4 \sum_{w=2}^4 A8l(l, w) * I_3(l, w) \\
 & + \sum_{i=1}^{29} \sum_{j=1}^{10} \sum_{w=1}^4 X1(i, j, w) * T1(w, j, i) * ct + \sum_{j=1}^{10} \sum_{m=1}^5 \sum_{w=1}^4 X2(j, m, w) * T2(w, j, m) * ct \\
 & + \sum_{j=1}^{10} \sum_{l=1}^4 \sum_{w=1}^4 X4(j, l, w) * T4(w, j, l) * ct + \sum_{m=1}^5 \sum_{y=1}^5 \sum_{w=1}^4 X6(m, y, w) * T6(w, m, y) * ct2 \\
 & + \sum_{j=1}^{10} \sum_{n=1}^4 \sum_{w=1}^4 X3(j, n, w) * T3(w, j, n) * ct + \\
 & \sum_{n=1}^4 \sum_{y=1}^5 \sum_{w=1}^4 X7(n, y, w) * T7(w, n, y) * ct2
 \end{aligned} \tag{6.25}$$

Kısıtlar

$$\sum_j^J X1(i, j, w) = A(i, w), (i=1, 2, \dots, 29; w=1, \dots, 4) \tag{6.26}$$

$$\sum_i^I X1(i, j, w) = A1(j, w), (j=1, \dots, 10; w=1..4) \tag{6.27}$$

$$A1j(j, w) = A2j(j, w) + A3j(j, w) + A4j(j, w), (j=1 \dots, 10; w=1, \dots, 4) \tag{6.28}$$

$$\sum_{j=1}^{10} \sum_{w=2}^2 A1_j(j, w) = \sum_{j=1}^{10} \sum_{w=2}^2 A3_j(j, w) + \sum_{j=1}^{10} \sum_{w=2}^2 A4_j(j, w) \tag{6.29}$$

$$\sum_{j=1}^{10} \sum_{w=4}^4 A1_j(j, w) = \sum_{j=1}^{10} \sum_{w=4}^4 A4_j(j, w) \tag{6.30}$$

$$\sum_{j=1}^{10} \sum_{w=1}^1 A1_j(j, w) = \sum_{j=1}^{10} \sum_{w=1}^1 A2_j(j, w) + \sum_{j=1}^{10} \sum_{w=1}^1 A3_j(j, w) \quad (6.31)$$

$$\sum_{j=1}^{10} \sum_{w=3}^3 A1_j(j, w) = \sum_{j=1}^{10} \sum_{w=3}^3 A2_j(j, w) + \sum_{j=1}^{10} \sum_{w=3}^3 A3_j(j, w) \quad (6.32)$$

$$\sum_{m=1} X 2(j, m, w) = A2 j(j, w), \quad (j=1 \dots 10; w=1, 3) \quad (6.33)$$

$$\sum_j X 2(j, m, w) = A6 m(m, w), \quad (m=1..5; w=1, 3) \quad (6.34)$$

$$\sum_n X 3(j, n, w) = A3 j(j, w), \quad (j=1, \dots, 10; w=1, 2, 3) \quad (6.35)$$

$$\sum_j X 3(j, n, w) = A7 n(n, w), \quad (w=1, 2, 3; n=1, \dots, 4) \quad (6.36)$$

$$\sum_l X 4(j, l, w) = A4 j(j, w), \quad (w=2, 4; j=1, \dots, 10) \quad (6.37)$$

$$\sum_j X 4(j, l, w) = A8 l(l, w), \quad (w=2, 4, l=1, \dots, 5) \quad (6.38)$$

$$\sum_y X 6(m, y, w) = A6 m(m, w), \quad (m=1, \dots, 5; w=1, \dots, 4) \quad (6.39)$$

$$\sum_y X 7(n, y, w) = A7 n(n, w), \quad (n=1, \dots, 4; w=1, \dots, 4) \quad (6.40)$$

$$\sum_m X 6(m, y, w) + \sum_n X 7(n, y, w) = A10 y(y, w), \quad (y=1, \dots, 5; w=1, \dots, 4) \quad (6.41)$$

$$\sum_w A1 j(j, w) \leq Tcap1(j) * T(j), \quad (j=1, \dots, 10) \quad (6.42)$$

$$\sum_w A6 m(m, w) \leq Tcap2(m) * S(m), \quad (m=1, \dots, 5) \quad (6.43)$$

$$\sum_w A7 n(n, w) \leq Tcap3(n) * B(n), \quad (n=1, \dots, 4) \quad (6.44)$$

$$\sum_w A8 l(l, w) \leq Tcap4(l) * V(l), \quad (l=1, \dots, 4) \quad (6.45)$$

$$\sum_j \sum_m X2(j, m, w) + \sum_j \sum_n X3(j, n, w) + \sum_j \sum_l X4(j, l, w) = \sum_m A6m(m, w) + \sum_n A7n(n, w) + \sum_l A8l(l, w), \quad (w=1,..4) \quad (6.46)$$

$$\sum_{j=1} T(j) \leq J \max (j=1, \dots, 31) \quad (6.47)$$

$$\sum_m S(m) \leq M \max (m=1, \dots, 10) \quad (6.48)$$

$$\sum_l V(l) \leq L \max (l=1, \dots, 7) \quad (6.49)$$

$$\sum_n B(n) \leq N \max (n=1, \dots, 6) \quad (6.50)$$

Negatif olmama kısıtı

$$X1, X2, X3, X4, X6, X7, A1j, A2j, A3j, A4j, A6m, A7n, A8l, A10y \geq 0 \quad (6.51)$$

Tam sayı kısıtları

$$T(j), S(m), B(n), V(l) \in \{0, 1\} \quad (6.52)$$

Eş. 6.25 modelin amaç fonksiyonudur, amaç toplam maliyet minimizasyonudur. Toplam maliyet, tesisler arasındaki taşıma maliyetini, tesislerde ürünlerin işlem maliyetleri ve tesis açma maliyetlerinden oluşmaktadır. Eş. 6.26 i. tıbbi üretim merkezinden j. toplama noktasına giden w tipi atık miktarının, i. tıbbi atık merkezindeki w.tip atık miktarına denk olma durumunu belirtir. Üretilen kadar j. toplama noktasına aktarılacaktır. Eş. 6.27 i. üretim merkezlerinden j. toplama noktasına gelen w tip atık miktarlarının toplama merkezindeki atık tiplerine göre miktarlarına denk olma durumunu belirtir.

Eş. 6.28 tüm j toplama merkezlerindeki atıkların, sterilizasyon ,yakma ve gömme işleme merkezlerine gidecek olan miktarlarına denk olacağını belirtir. Eş. 6.29 kısıtı, tüm j toplama merkezlerindeki 2. tip atık miktarının m. sterlizasyon işleme merkezine ve n.yakma merkezine gidecek olan 2. tip atık miktarına denk olacağını belirtir.

Eş. 6.30 kısıtı, tüm j toplama merkezlerinden 4. tip atık miktarının 1. gömme merkezine gidecek olan miktarına denk olduğunu belirtir. Eş. 6.31 kısıtı, tüm j toplama merkezlerine gelen 1. tip atık miktarının, j toplama merkezlerindeki yakma ve gömme işleme merkezine gidecek olan 1. tip atık miktarına denk olacağını belirtir.

Eş. 6.32 kısıtı, tüm j toplama merkezlerine gelen 3. tip atık miktarının, j toplama merkezlerindeki yakma ve gömme işleme merkezine gidecek olan 3. tip atık miktarına denk olacağını belirtir. Eş. 6.33 kısıtı, tüm j toplama merkezlerinden m sterilizasyon merkezine giden w tipi atık miktarının j toplama merkezindeki sterilizasyon merkezine gidecek olan w tipi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş. 6.34 kısıtı, tüm j toplama merkezlerinden m sterilizasyon merkezine giden w tipi atık miktarının, m sterilizasyon merkezindeki w tipi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş. 6.35 kısıtı, tüm j toplama merkezlerinden n yakma merkezine giden w tipi atık miktarının j depolama merkezindeki n yakma merkezine gidecek olan w tipi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş. 6.36 kısıtı, tüm j toplama merkezlerinden n yakma merkezine giden w tipi atık miktarının j depolama merkezindeki yakma merkezine gidecek olan w tipi atık miktarına denk olma kısıtıdır.

Eş. 6.37 kısıtı, tüm j toplama merkezlerinden l gömme merkezine giden w tipi atık miktarının j depolama merkezindeki l gömme merkezine gidecek olan w tipi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş. 6.38 kısıtı, tüm j toplama merkezlerinden l gömme merkezine giden w tipi atık miktarının j depolama merkezindeki l gömme merkezine gidecek olan w tipi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş. 6.39 kısıtı, tüm m sterilizasyon merkezinden y düzenli depolama alanına giden w tipi atık miktarının m sterilizasyon merkezindeki w tipi tıbbi atık miktarına denk olma kısıtıdır.

Eş. 6.40 kısıtı, tüm n yakma merkezinden y düzenli depolama alanına giden w tipi atık miktarının n yakma merkezindeki w tipi tıbbi atık miktarına denk olma kısıtıdır.

Eş. 6.41 kısıtı, tüm m sterilizasyon merkezinden ve n yakma merkezinden açığa çıkan w tipi tıbbi atıkların toplamının y düzenli depolama alanındaki w tipi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş. 6.42 kısıtı kapasite kısıtıdır. j toplama merkezlerindeki w tipi atık miktarlarının deponun maksimum kapasitesini aşmayacağını ifade eder. Eş. 6.43 kısıtı kapasite kısıtıdır. kısıtı, m sterilizasyon işleme merkezi w tipi atık miktarlarının sterilizasyon merkezinin maksimum kapasitesini aşmayacağını ifade eder.

Eş. 6.44 kısıtı kapasite kısıtıdır. kısıtı, n yakma merkezindeki atık miktarlarının, n yakma merkezinin maksimum kapasitesini aşmayacağını ifade eder. Eş. 6.45 kısıtı kapasite kısıtıdır. kısıtı, l gömme merkezindeki atık miktarlarının, gömme merkezinin kapasitesini aşmayacağını ifade eder. Eş. 6.46 kısıtı kapasite kısıtıdır. Kısıtı, tüm j toplama merkezlerinden, tüm m sterilizasyon işleme merkezlerine gelen w tipi atık miktarları ile tüm j toplama merkezlerinden tüm n yakma merkezlerine gelen w tipi atık miktarları ile tüm j toplama merkezlerinden tüm l gömme merkezlerine gelen w tipi atık miktarları toplamının, sterilizasyon merkezindeki w tipi atık miktarları, n yakma merkezlerindeki w tipi atık miktarları ve gömme merkezlerindeki w tipi atık miktarlarının toplamına eşit olduğunu gösteren kısıttır.

Eş. 6.47 kısıtı kaç tane tesis açılması gerektiğini gösteren kısıttır, bu kısıt, j toplama merkezi sayısının maksimum açılacak j toplama merkezi sayısından küçük ya da eşit olacağını gösteren kısıttır. Eş. 6.48 kısıtı en fazla açılacak olan sterilizasyon işlem merkezi sayısını gösteren kısıttır, bu kısıt, açılacak olan sterilizasyon işlem merkezi sayısının maksimum açılacak olan sterilizasyon işlem merkezi sayısından küçük ya da eşit olacağını gösterir.

Eş. 6.49 kısıtı en fazla açılacak olan gömme merkezi sayısını gösterir. Bu kısıt açılacak olan gömme merkezlerinin sayısının maksimum açılacak olan gömme m merkezi sayısından küçük ya da eşit olması gerektiğini gösteren kısıttır. Eş. 6.50 kısıtı maksimum açılabilir tesis sayısını gösteren kısıttır. açılacak olan n yakma merkezleri sayısının maksimum açılabilir yakma merkezleri sayısından küçük ya da eşit olması gerektiğini gösteren kısıttır. Eş. 6.51 diğer tüm değişkenler için pozitif olma kısıtıdır, değişkenlerin negatif değer alamayacağını gösterir. Eş. 6.52 0-1 tamsayı kısıtıdır, tesislerin açılıp/çatılmamasına karar veren ikili karar değişkenini ifade eder.

Model 1, GAMS-CPLEX paket program ile Core™i5,2.50 Ghz işlemcili ve 6Gb RAM'e sahip bir bilgisayarda çözülmüştür. Oluşturulan model, 1012 iterasyonda, 0,17 sn'de çözülmüştür. Minimum maliyet 8953166.350818 para birimi olarak bulunmuştur. Model 1, birinci, üçüncü ve dokuzuncu toplama merkezinin, üçüncü sterilizasyon merkezinin, birinci gömme merkezinin ve birinci düzenli depolama merkezlerinin işletilmesine karar vermiştir. Taşıma maliyeti 374147.851, işleme maliyeti 7609542.500 ve tesisi açma maliyeti 969476 para birimidir. Toplam maliyetler içerisinde en fazla maliyeti işleme

maliyetleri oluşturmaktadır. Şu an İzmir ilinde 2015 yılında işleme merkezlerinde bertaraf edilen tıbbi atıkların toplam maliyeti 10206000 TL'dir (tesis açma maliyeti hariç). Model 1'in gams-cplex ile çözümü sonucu merkezler arasındaki akış miktarları Çizelge 6.15 ve Çizelge 6.16'daki gibidir.

Çizelge 6.15. Model 1, toplama merkezleri atık miktarları

<i>İlçeler</i>		<i>Atık tipleri</i>			
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	Aliağa	1.568	0.268	114.576	0
2	Balçova	77.792	0	625.762	0
3	Bayındır	1.447	0	16.204	0
4	Bayraklı	1.716	0.315	308.383	0
5	Bergama	1.056	0	60.562	0
6	Beydağ	0	0	0.149	0
7	Bornova	58.915	0.413	1138.097	0.06
8	Buca	12.471	0.61	341.134	0
9	Çeşme	0	0	17.768	0
10	Çiğli	3.837	0.2	246.082	0
11	Dikili	0.084	0	7.234	0
12	Foça	0.045	0	5.471	0
13	Gaziemir	2.337	0	89.957	0
14	Güzelbahçe	0.005	0	0.539	0
15	Karabağlar	15.559	0.096	851.324	0
16	karaburun	0	0	0.136	0
17	karşıyaka	7.614	0.157	351.05	0.006
18	Konak	29.856	4.751	1347.783	0.857
19	Kiraz	0.489	0	8.015	0
20	Kemalpaşa	1.012	0	26.805	0
21	Narlıdere	0	0	12.256	0
22	Menderes	0.044	0	2.884	0
23	Menemen	0.966	0	158.482	0.422
24	Ödemiş	0.457	0	97.964	0
25	Seferihisar	0.311	0	8.061	0
26	Selçuk	1.581	0	17.153	0
27	Tire	0.92	0	107.038	0
28	Torbalı	1.443	0	89.472	0
29	Urla	2.494	0	59.45	0

Çizelge 6.16. Model 1, atık üretim merkezlerinden toplama merkezlerine giden atık miktarları (yıl/ton)

	Toplama merkezleri											
	1.Gediz				3.Karşıyaka				9.Halkapınar			
İlçeler (atık üretim merkezleri)	1.tip atık	2.tip atık	3.tip atık	4.tip atık	1.tip atık	2.tip atık	3.tip atık	4.tip atık	1.tip atık	2.tip atık	3.tip atık	4.tip atık
1.Aliağa					1.568		114.576			0.268		
2.Balçova			292.273						77.792		333.489	
3.Bayındır	1.447		16.204									
4.Bayraklı					1.716		308.383			0.315		
5.Bergama					1.056		60.562					
6.Beydağ			0.149									
7.Bornova							1095.39		58.915	0.413	42.699	0.06
8.Buca	12.471	0.61	341.134									
9.Çeşme			17.768									
10.Çiğli					3.837		246.082			0.2		
11.Dikili					0.084		7.234					
12.Foça					0.045		5.471					
13.Gaziemir	2.337		89.957									
14.Güzelbahçe					0.005		0.539					
15.Karabağlar	15.559	0.096	851.324									
16.Karaburun							0.136					
17.Karşıyaka					7.614		351.050			0.157		0.006
18.Konak									29.856	4.751	1.347.783	0.857
19.Kiraz					0.489		8.015					
20.Kemalpaşa									1.012		26.805	
21.Narlıdere											12.256	
22.Menderes	0.044		2.884									
23.Menemen					0.966		158.412					0.422
24.Ödemiş	0.457		97.964									
25.Seferihisar	0.311		8.061									
26.Selçuk					1.581		17.153					
27.Tire					0.92		107.038					
28.Torbalı	1.443		89.472									
29.Urla									2.494		594.550	

Model 1 çözümüne göre toplama merkezlerindeki toplam atık miktarları Çizelge 6.17'deki gibidir.

Çizelge 6.17. Model 1, toplama merkezlerindeki toplam atık miktarları (yıl/ton)

	<i>Toplam atık miktarı</i>			
<i>Toplama merkezleri</i>	<i>1.tip atık</i>	<i>2.tip atık</i>	<i>3.tip atık</i>	<i>4.tip atık</i>
1.Gediz	34.069	0.706	1807.19	0
3.Karşıyaka	19.881	0	2480.12	0
9.Halkapınar	170.069	6.104	1822.48	1.345

Model 1 çözümüne göre toplama merkezlerinden serilizasyon merkezlerine giden atık miktarları Çizelge 6.18'deki gibidir.

Çizelge 6.18. Model 1, toplama merkezlerinden sterilizasyon merkezine giden atık miktarları

	<i>3. Sterilizasyon Merkezi (Karşıyaka, Yamanlar Köyü)</i>			
<i>Toplama merkezleri</i>	<i>1.tip atık</i>	<i>2.tip atık</i>	<i>3.tip atık</i>	<i>4.tip atık</i>
1.Gediz	34.069	0	1807.19	0
3.Karşıyaka	19.881	0	2480.12	0
9.Halkapınar	170.069	0	1822.48	0

Model 1 çözümüne göre toplama merkezlerinden gömme merkezlerine giden atık miktarları Çizelge 6.19'deki gibidir.

Çizelge 6.19. Model 1, toplama merkezlerinden gömme merkezine giden atık miktarları

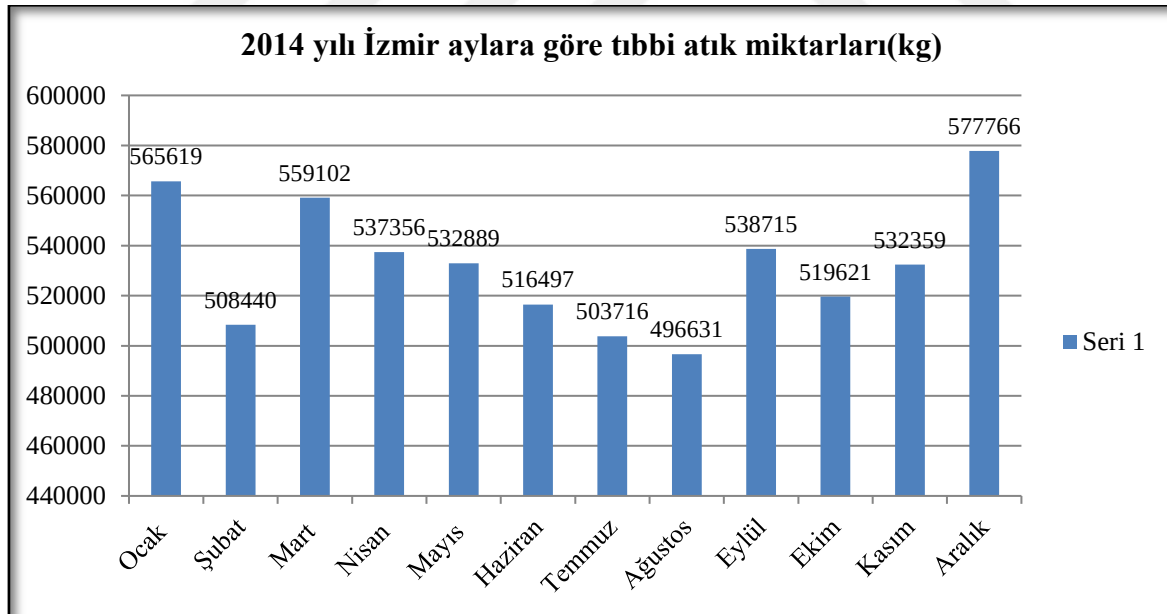
	<i>1. Gömme Merkezi (Işıklar Köyü)</i>			
<i>Toplama merkezleri</i>	<i>1.tip atık</i>	<i>2.tip atık</i>	<i>3.tip atık</i>	<i>4.tip atık</i>
1.Gediz	0	0.706	0	0
3.Karşıyaka	0	0	0	0
9.Halkapınar	0	6.104	0	1.345

Model 1 çözümüne göre sterilizasyon merkezinden düzenli depolama alanına giden atık miktarları Çizelge 6.20'deki gibidir.

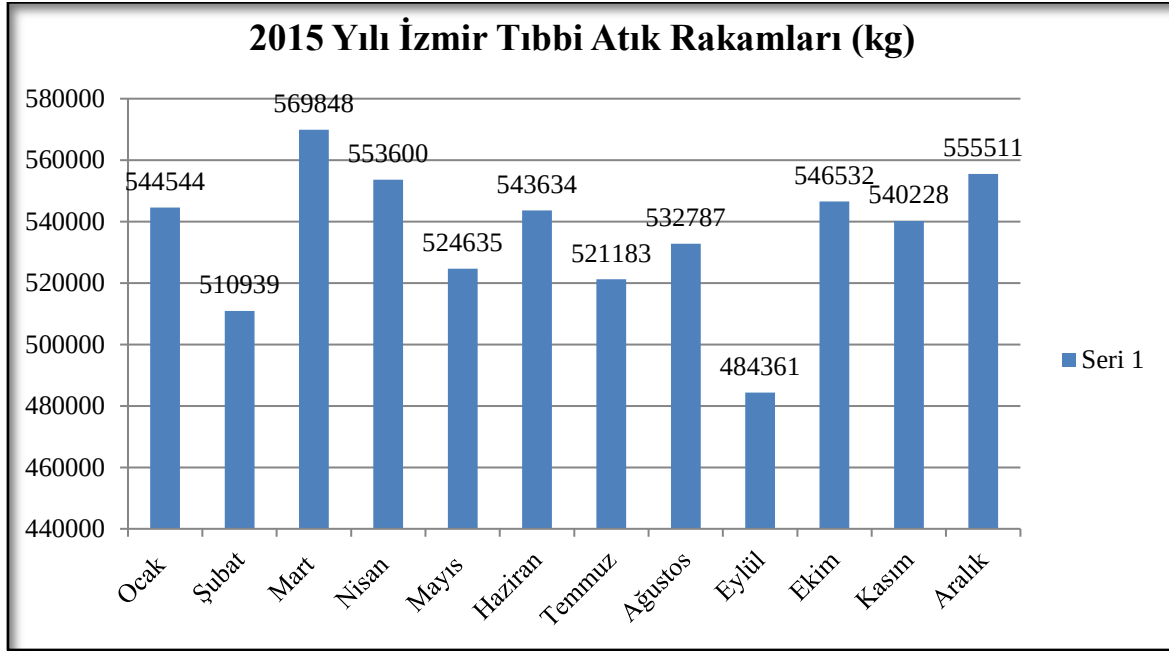
Çizelge 6.20. Model 1, sterilizasyon merkezinden düzenli depolama alanına giden atık miktarları

	<i>1. Düzenli Depolama (Harmandalı)</i>			
<i>Sterilizasyon Merkezi</i>	<i>1.tip atık</i>	<i>2.tip atık</i>	<i>3.tip atık</i>	<i>4.tip atık</i>
3.Karşıyaka (Yamanlar)	224.019	0	6109.79	0

Tersine lojistik ağ yapılarının ileri lojistik ağ yapılarından en önemli farkından biri taleplerin belirsiz olması, dolayısıyla planlamanın belirsiz olmasıdır. Bu modelin diğer bir amacı da ileri ki dönemlerde beklenen atık artış miktarına göre sistemin durumunu analiz ederek ve sistemin maliyetini en küçükleyecek şekilde akış miktarlarını bulmaktır. Tıbbi atık miktarları her yıl büyük değişiklikler göstermektedir, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te İzmir ilinde 2014 ve 2015 yılında tıbbi atık miktarlarının aylara göre değişimi görülmektedir.



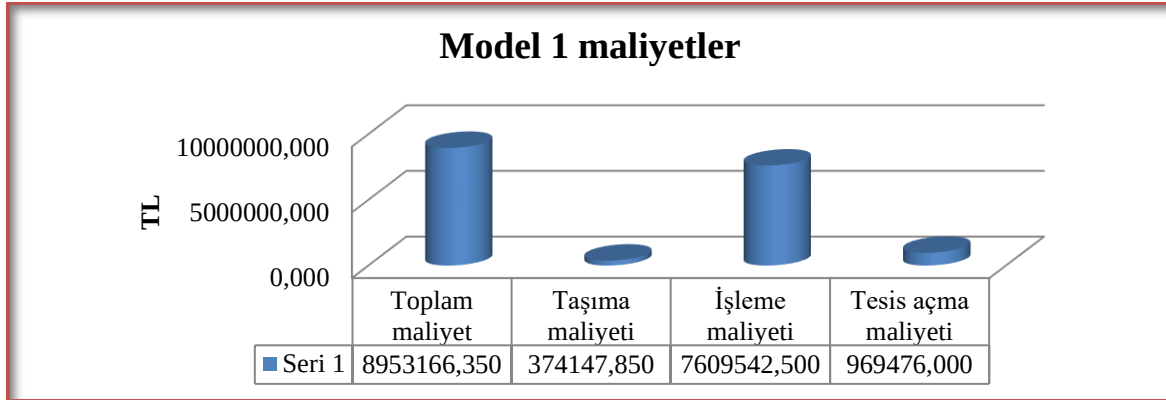
Şekil 6.2. 2014 yılı İzmir aylara göre tıbbi atık miktarları



Şekil 6.3. 2015 yılı İzmir aylara göre tıbbi atık miktarları

Önümüzdeki 5 yıl boyunca atık miktarlarının %5, %10, %15, %25 arttığının ve %5, %10 azaldığının düşünülerek duyarlılık analizleri yapılmıştır. Her yıl beklenen atık artış miktarına göre kurulması gereken toplama merkezi, sterilizasyon merkezi, yakma ,kireçle gömme merkezlerinin yerlerinin belirlenerek tesisler arasındaki akış miktarının ne kadar olması gerektiğini en küçük maliyetle bulmak amaçlanmıştır. Bunun yanında tüm atık tipleri içerisinde en büyük orana sahip atık olan enfeksiyöz atıkların artış miktarlarının ele alındığı ve atık sınıfının belirlenmediği, hasta yatağı, meyve kabuğu şişe vb kaynağında doğru şekilde ayrılmayan tıbbi atıklara karışmış evsel atıkları içeren 4. tip atığın miktarının artırıldığı durumda ne kadar maliyet oluşturduğu da belirlenmiştir.

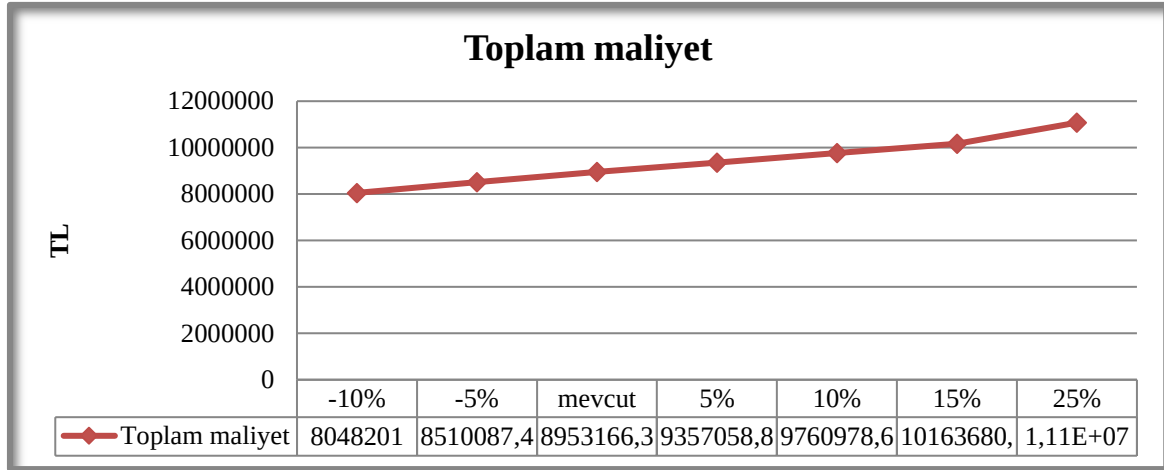
Modelin çözümüne göre toplam çıkan maliyet, taşıma maliyeti, işleme maliyeti ve tesis maliyeti Şekil 6.4'teki gibidir.



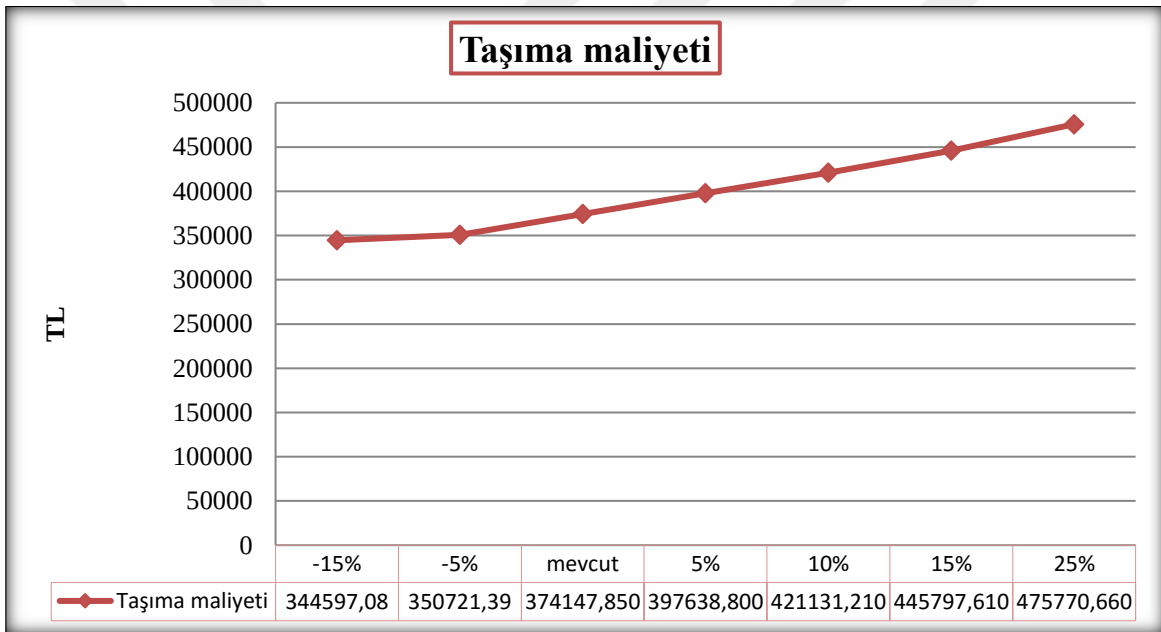
Şekil 6.4. Model 1, çözüm sonucu maliyet çizelgesi (yıl*TL)

Modelin sonucuna göre 1., 3., ve 9. toplama merkezlerinin, 3. sterilizasyon merkezinin, 1. gömme merkezinin ve 1. düzenli depolama alanının açılması gerekmektedir. Eğer toplama noktalarının kapasiteleri sonsuz ve eşit olarak alınırsa 3. ve 9. toplama, 3. sterilizasyon, 1. gömme ve 1. düzenli depolama merkezlerinin açılması gerektiği sonucu çıkmaktadır. Toplama merkezlerinden 3. ve 9. merkezlerin kapasitesi artırıldığı durumda 2 tane toplama merkezi yeterli olmaktadır.

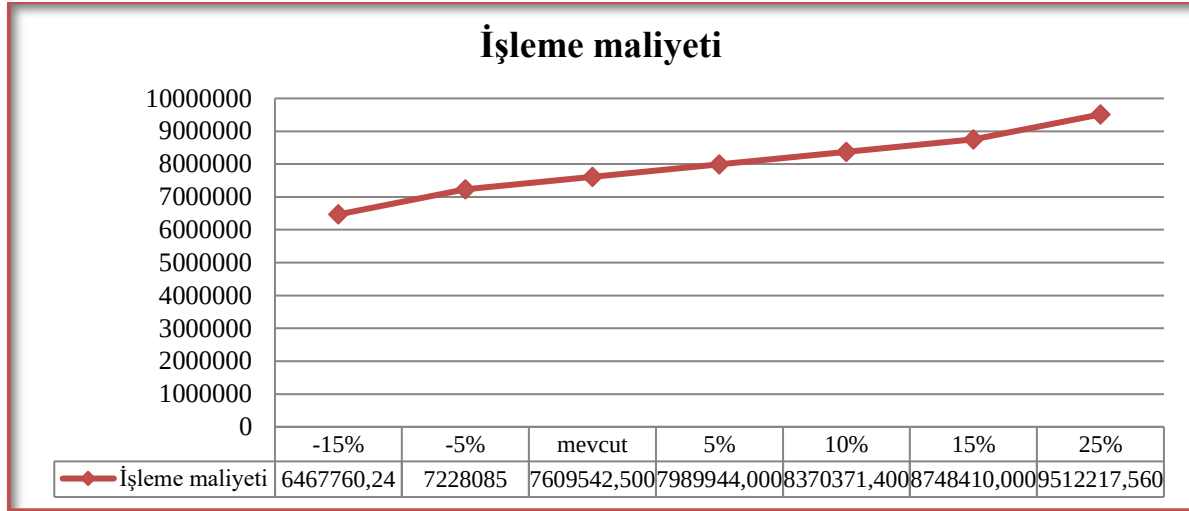
Gelecekte atık oranının %25 artması durumunda ise toplama merkezi sayısı en az 4 ya da mevcut açılacak 3 tesisin kapasitesinin artırılması gerekecektir. Aşağıdaki çizelge ve şekillerde atık miktarlarının %5, %10, %15 ve %20 oranında arttığı ve %5 ve %10 oranında azaldığı durumlarda açılması gereken tesislerin yerleri (Çizelge 6.21) ve toplam maliyeti, işlem maliyeti ve taşıma maliyeti (Şekil 6.9) görülmektedir. Toplama merkezlerinin kapasiteleri %10 oranında artırıldığı durumda yıllık maliyet yaklaşık olarak 102143.45 TL azalmaktadır. Her bir senaryoda açılması gereken düzenli depolama noktası ise 1. düzenli depo ve 3.gömme merkezi noktasıdır. Şekil 6.5 – Şekil 6.8 arasındaki şekillerde Model 1'e göre atık miktarları %5, %15 azaldığı ve %5, %10, %15, %25 oranında arttığı durumlar ele alınarak duyarlılık analizleri yapılmıştır. %25 atık oranı arttığı durumda mevcut duruma ek olarak bir toplama merkezinin açılması gerektiği ya da mevcut açılacak 3 tesisin kapasitelerinin artırılması gerektiği sonucu çıkmaktadır. Her bir duruma göre maliyetler aşağıdaki şekillerde verilmiştir (Şekil 6.5 – 6.8).



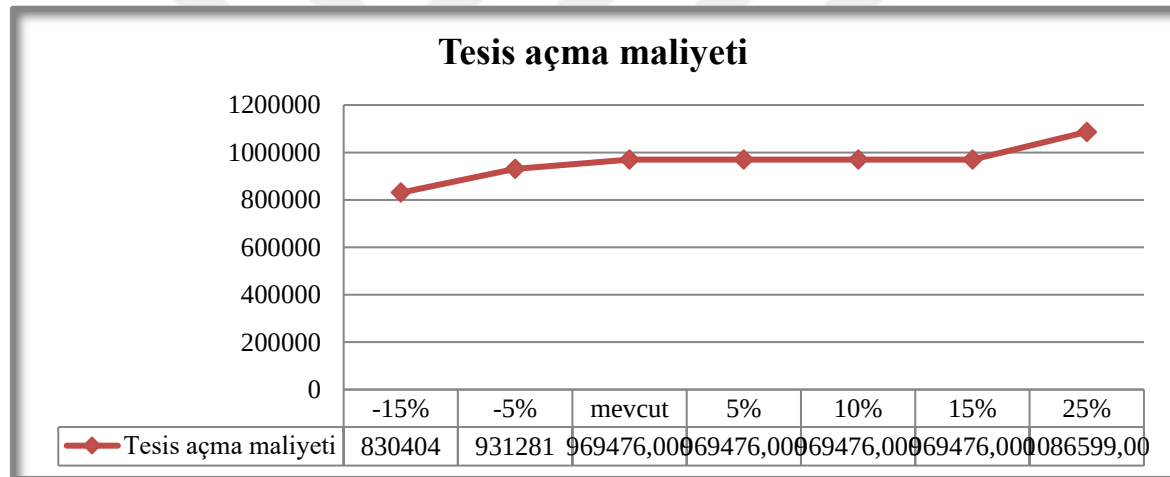
Şekil 6.5. Model 1, atık artış oranlarına göre toplam maliyetler



Şekil 6.6. Model 1, atık artış oranlarına göre taşıma maliyetleri



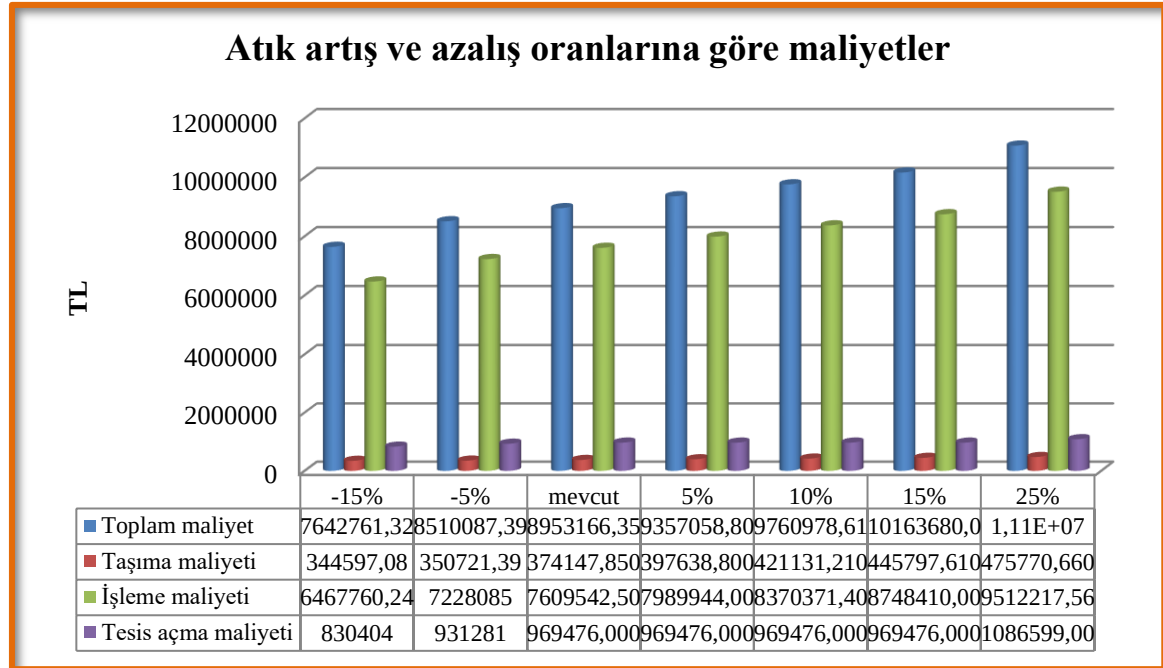
Şekil 6.7. Model 1, atık artış oranlarına göre işleme maliyetleri



Şekil 6.8. Model 1, atık artış oranlarına göre tesis açma maliyetleri

Çizelge 6.21. Model 1, tıbbi atık artış ve azalış oranlarına göre açılacak olan tesisler

	Atık artış ve azalış oranları						
Açılacak tesisler	-15%	-5%	mevcut	5%	10%	15%	25%
Toplama merkezi	1,3	3,9,10	1,3,9	1,3,9	1,3,9	1,3,9	1,3,4,9
Sterilizasyon	3	3	3	3	3	3	3
Gömme	1	1	1	1	1	1	1
Düzenli depo	1	1	1	1	1	1	1



Şekil 6.9. Tıbbi atık miktarları artış ve azalış oranlarına göre her bir maliyetin karşılaştırılması

4. tip atık miktarı kaynağında doğru ayrılmayan sınıflandırılmayan atıkları ifade etmektedir, atık miktarının %5 oranında azaltılmasıyla, doğru şekilde kaynağında tıbbi atıkların doğru şekilde sınıflandırılmasıyla, yıllık taşıma maliyetinin 3.565 TL daha az olması sağlanacaktır, hem de çevreye olan riski de azalacaktır. Sonuç olarak bu modelde İzmir’de tıbbi atıkların tersine lojistik ağ yapısı incelenmiştir. Tıbbi atık üretim merkezleri, toplama noktaları, işleme merkezleri ve düzenli depolama alanları olmak üzere 4 aşamadan oluşmaktadır. Iskarta oranları alınmamıştır. Minimum maliyetle, atık tiplerine göre işlem görmesine karar verilen modelde optimum toplama, işleme ve düzenli depolama noktalarının yerlerinin belirlenerek, yerleri belirlenen tesisler arası akış miktarları hesaplanmıştır. Duyarlılık analizleri yapılmıştır.

6.3. Tıbbi Atıkların Tersine Lojistik Ağ Tasarımı (Model 2)

İzmir’de sağlık kurumlarında üretilen atık miktarlarının nihai düzenli depo alanlarına kadar taşıma maliyetlerini ve mevcut geçici depo, işletme, düzenli depolama tesisleri ile birlikte potansiyel tesisleri de belirleyerek, tesis açma ve ürün işleme maliyetlerini de göz önüne alarak maliyetleri minimum yapan etkili bir tersine lojistik ağ tasarımı geliştirmektir. 2. modelde temel modelden farklı olarak işlem gören atıklar hacimce küçülmektedir, bu yüzden işlem gören atıkların nihai bertaraf alanına taşınırken iskarta

oranları ele alınmıştır, yapılan araştırmalar ve uzmanlarla görüşmeler sonucunda sterilizasyon işleminden sonra hacimce yaklaşık %80, yakma sonucunda ise hacimce %90 civarında atıkların hacmi azalmaktadır. Sonuç olarak bu modelde üretim noktalarından toplama noktalarına gelen atıklar tiplerine göre bertaraf tesislerine gönderilmektedir, bertaraf tesislerinden yakma ve sterilizasyon işlemlerinde geçen atıklar belli bir ıskarta oranıyla nihai bertaraf alanında depolanmaktadır. Bu süreç içerisinde tesis açılma ve taşıma maliyetleri minimum yapılmaya çalışılmıştır.

6.3.1. Notasyonlar

İndisler

i: Tıbbi üretim merkezleri

j: Toplama merkezleri

m: Sterilizasyon merkezi

n: Yakma merkezi

l: Kireçle gömme merkezi

w: Atık tipleri ($w = 1 \dots 4$) ($w = 1$ kesici-delici, $w = 2$ enfeksiyöz, $w = 3$ patolojik, $w = 4$ sınıflandırılmayan)

y: tıbbi atık düzenli depolama noktaları

Parametreler

$A(i,w)$: atık üretim merkezlerinde tiplerine göre üretilen atık miktarları (ton/yıl)

$C1(j)$: toplama merkezinin sabit maliyeti (TL/yıl)

$C2(m)$: m. sterilizasyon merkezinin sabit maliyeti (TL/yıl)

$C3(n)$: n. yakma merkezinin sabit maliyeti (TL/yıl)

$C4(l)$: l. gömme merkezinin sabit maliyeti (TL/yıl)

$Mcap1(j)$: j. depolama merkezinin maksimum kapasitesi (ton/yıl)

$Mcap2(m)$: m. sterilizasyon merkezinin maksimum kapasitesi (ton/yıl)

$Mcap3(n)$: n. yakma merkezinin maksimum kapasitesi (ton/yıl)

$Mcap4(l)$: l. gömme merkezinin maksimum kapasitesi (ton/yıl)

$T1(w,i,j)$: i. üretim merkezinden j. toplama merkezine w tipi atığın taşıma maliyeti ($km \cdot ton/yıl$)

$T2(w,j,m)$: j. toplama merkezinden m. sterilizasyon merkezine w tipi atığın taşıma maliyeti (km*ton/yıl)

$T3(w,j,n)$: j. toplama merkezinden n. yakma merkezine w tipi atığın taşıma maliyeti (km*ton/yıl)

$T4(w,j,l)$: j. toplama merkezinden l. gömme merkezine w tipi atığın taşıma maliyeti (km*ton/yıl)

$T6(w,m,y)$: m. sterilizasyon merkezinden y. nihai tıbbi atık düzenli depoya w tipi atığı taşıma maliyeti (km*ton/yıl)

$T7(w,n,y)$: n. yakma merkezinden y. nihai tıbbi atık düzenli depoya taşıma maliyeti (km*ton/yıl)

$I1(m,w)$: m. sterilizasyon merkezinde w tipi atığın işlem maliyeti (TL/yıl)

$I2(n,w)$: n. yakma merkezinde w tipi atığın işlem maliyeti (TL/yıl)

$I3(l,w)$: l. gömme merkezinde w tipi atığın işlem maliyeti (TL/yıl)

$D1(m,w)$: m. sterilizasyon merkezinde w tipi atığın işlem sonrası ıskarta oranı

$D2(n,w)$: n. yakma merkezinde w tipi atığın işlem sonrası ıskarta oranı

Sabitler

C_t : km başına tıbbi atığı taşıma maliyeti

C_{t2} : İşlem gören atığın taşıma maliyeti

J_{max} : Kurulacak en fazla depo sayısı

M_{max} : Kurulacak en fazla sterilizasyon merkezi sayısı

N_{max} : Kurulacak en fazla yakma merkezi

L_{max} : Kurulacak en fazla gömme merkezi sayısı

Karar değişkenleri

$X1_{ijw}$: i. üretim merkezinden j. toplama merkezine giden toplam atık miktarı (ton/yıl)

$X2_{jmw}$: j. toplama merkezinden m. sterilizasyon merkezine giden w tipi tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

$X3_{jnw}$: j. toplama merkezinden n. yakma merkezine giden w tipi tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

$X4_{jlw}$: j. toplama merkezinden l. kireçle gömme merkezine giden w tipi tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

X6myw: m. sterilizasyon merkezinden y. düzenli depolama merkezine giden w tipi tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

X7nyw: n. yakma merkezinden y. düzenli depolama merkezine giden w tipi tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

A1j: j .toplama merkezindeki toplam atık miktarı (ton/yıl)

A2j: j. toplama merkezinden sterilizasyon merkezine gidecek toplam tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

A3j: j. toplama merkezinden yakma merkezine gidecek toplam tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

A4j: j. toplama merkezinden gömme merkezine gidecek olan toplam tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

A6m: m. sterilizasyon merkezindeki toplam tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

A7n: n. yakma merkezindeki toplam tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

A8l: l . kireçle gömme merkezindeki toplam tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

A10y: y. tıbbi atık düzenli depolama merkezindeki atık miktarı (ton/yıl)

İkili karar değişkenleri

Tj: { 1, eğer toplama merkezi varsa; 0, eğer yoksa }

Sm: { 1, eğer sterilizasyon merkezi varsa; 0, eğer yoksa }

Bn: { 1, eğer yakma merkezi varsa,; 0, eğer yoksa }

Vl: { 1, eğer kireçle gömme merkezi varsa; 0, yoksa }

6.3.2. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar

Geliştirilen ikinci modelde işlem gören atıklar belli bir ıskarta oranıyla y düzenli depolama alanına gitmektedir. Dolayısıyla birinci modelden farklı olarak amaç fonksiyonu ve onbirinci ve onikinci kısıtlar değişmiştir, diğer kısıtlar birinci modeldeki kısıtlarla aynı olduğundan tekrar eklenmemiştir.

Amaç fonksiyonu

$$\begin{aligned}
\text{MinZ} = & \sum_j C1(j) * T(j) + \sum_{m=1} C2(m) * S(m) + \sum_{n=1} C3(n) * B(n) + \sum_{l=1} C4(l) * V(l) \\
& + \sum_m \sum_{w=1} A6m(m, w) * I1(m, w) + \sum_n \sum_w A7n(n, w) * I2(n, w) + \sum_l \sum_w A8l(l, w) * I_3(l, w) \\
& + \sum_i \sum_j \sum_w X1(i, j, w) * T1(w, j, i) * ct + \sum_j \sum_m \sum_w X2(j, m, w) * T2(w, j, m) * ct \\
& + \sum_j \sum_l \sum_w X4(j, l, w) * T4(w, j, l) * ct + \sum_m \sum_y \sum_w X6(m, y, w) * T6(w, m, y) * ct2 \\
& * (1 - D1(m, w)) + \sum_j \sum_n \sum_w X3(j, n, w) * T3(w, j, n) * ct + \\
& \sum_n \sum_y \sum_w X7(n, y, w) * T7(w, n, y) * ct2 * (1 - D2(n, w))
\end{aligned} \tag{6.53}$$

Kısıtlar

$$\sum_y X6(m, y, w) = A6m(m, w) * (1 - D1(m, w)) \quad \forall m, w \tag{6.54}$$

$$\sum_y X7(n, y, w) = A7n(n, w) * (1 - D2(n, w)) \quad \forall n, w \tag{6.55}$$

Eş. 6.53 Modelin amaç fonksiyonudur, amaç toplam maliyet minimizasyonudur. Toplam maliyet, tesisler arasındaki taşıma maliyetini, tesislerde ürünlerin işlem maliyetleri ve tesis açma maliyetlerinden oluşmaktadır. Eş. 6.54 kısıtı, tüm m sterilizasyon merkezinden y düzenli depolama alanına $D1$ ıskarta oranıyla giden w tipi atık miktarının m sterilizasyon merkezindeki w tipi tıbbi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş 6.55 kısıtı, tüm n yakma merkezinden y düzenli depolama alanına $D2$ ıskarta oranıyla giden w tipi atık miktarının n yakma merkezindeki w tipi tıbbi atık miktarına denk olma kısıtıdır

6.3.3. Model 2 için uygulama ve değerlendirme

Tersine lojistik ağı, yirmi dokuz tıbbi atık üretim merkezi bölgesi, on toplama merkezi, beş sterilizasyon merkezi, dört yakma merkezi, dört gömme merkezi sayısı, beş düzenli depolama merkezi içermektedir. Toplanan atıkların atık tiplerine göre işlem görüp

tehlikesiz hale getirelerek evsel atıklarla beraber nihai düzenli depo alanlarında bertaraf edildiği, minimum maliyetle optimal dağıtım kararlarının ve yeterli sayıda tesis açma kararlarının verildiği bir karma tamsayıli doğrusal programlama modeli olarak modellenmiştir. Bu modelde işlem gören tıbbi atıklar hacimce belli bir oranda küçülmektedir. Sterilizasyon işleminden sonra atıklar %80 oranında, yakma işlemi sonucunda ise %90 oranında hacimsel olarak küçüldüğü araştırmalar sonucunda belirlenmiştir ve işleme merkezlerinden sonra atıklar düzenli depolama alanlarına gitmektedir.

Varsayımlar

- 1- Atık üretim merkezlerinden geçici depolara gelen akış ihmal edilmiştir, çünkü bu sağlık kurumlarının sorumluluğundadır. Dolayısıyla atık üretim merkezlerinin hemen çok yakınında olan geçici depolar beraber olarak alınmıştır. Toplamda 1779 sağlık kurumundan toplanan atıklar 29 bölgeye göre kümelenmiş ve konumlarının ortalamaları alınmıştır.
- 2- Tıbbi atık kontrolü yönetmeliğine göre ya göre sağlık kurumlarında üretilen atıklar, tıbbi atık, evsel atık, tehlikeli atık, radyoaktif atık olarak sınıflandırılmaktadır, ancak bu modelde sadece tıbbi atıklar alınmıştır ve işlem gören atıklar tehlikesiz hale geldikten sonra evsel atıkların da depolandığı düzenli depolama alanlarına taşınmaktadır. Tıbbi atıklar da kendi içerisinde patolojik (180102), enfeksiyöz (180103, 180202, 180203), kesici-delici atıklar (180101, 180201) ve kaynağında doğru şekilde ayrılmayan, sınıflandırılmayan atıklar olarak değerlendirilmiştir, kısaca toplam 4 çeşit atık vardır, bunlar; w_1 = kesici-delici atıklar, w_2 = enfeksiyöz atıklar, w_3 = patojenik atıklar, w_4 = doğru sınıflandırılmayan)
- 3- Patolojik atıkların sterilizasyon işlemine gitmeyeceği, enfeksiyöz atıkların gömme işlemine gitmeyeceği, 4.tip atıkların yakma işlemine gitmeyeceği varsayılmıştır.
- 4- Açığa çıkan tıbbi atıklar geri dönüştürülebilir ve organik özellikte değildir. Organik özellikte olsaydı kompostlaştırma işlemi de modele dâhil edilecekti.
- 5- Tıbbi atıkların sterilizasyon ve yakma işlemine maruz kalan atıklar düzenli depolama alanlarına taşınırlar, bu modelde işlem gören atıkların hacimce küçüldüğü varsayılmıştır.
- 6- Düzenli depolama (nihai) alanlarının kapasiteleri eşit olarak varsayılmıştır.

7- Modelin amaç fonksiyonuna depolama, elleçleme ve nihai bertaraf alanındaki işlem maliyetleri göz önüne alınmamıştır.

Model 2 matematiksel modeli

Matematiksel model; birinci modelden farklı olarak amaç fonksiyonu, otuzdokuz ve kırkuncu kısıtları değiştiği için sadece bu kısıtlar ve amaç fonksiyonu aşağıda belirtilmiştir.

Amaç fonksiyonu

$$\begin{aligned}
 \text{Min}Z = & \sum_{j=1}^{10} C1(j) * T(j) + \sum_{m=1}^5 C2(m) * S(m) + \sum_{n=1}^4 C3(n) * B(n) + \sum_{l=1}^4 C4(l) * V(l) \\
 & + \sum_m^5 \sum_{w=1}^3 A6m(m, w) * I1(m, w) + \sum_{n=1}^4 \sum_{w=1}^3 A7n(n, w) * I2(n, w) + \sum_{l=1}^4 \sum_{w=2}^4 A8l(l, w) * I_3(l, w) \\
 & + \sum_{i=1}^{29} \sum_{j=1}^{10} \sum_{w=1}^4 X1(i, j, w) * T1(w, j, i) * ct + \sum_{j=1}^{10} \sum_{m=1}^5 \sum_{w=1}^4 X2(j, m, w) * T2(w, j, m) * ct \\
 & + \sum_{j=1}^{10} \sum_{l=1}^4 \sum_{w=1}^4 X4(j, l, w) * T4(w, j, l) * ct + \sum_{m=1}^5 \sum_{y=1}^5 \sum_{w=1}^4 X6(m, y, w) * T6(w, m, y) * ct2 \\
 & * (1 - D1(m, w)) + \sum_{j=1}^{10} \sum_{n=1}^4 \sum_{w=1}^4 X3(j, n, w) * T3(w, j, n) * ct + \\
 & \sum_{n=1}^4 \sum_{y=1}^5 \sum_{w=1}^4 X7(n, y, w) * T7(w, n, y) * ct2 * (1 - D2(n, w))
 \end{aligned} \tag{6.56}$$

Kısıtlar

$$\sum_y X6(m, y, w) = A6m(m, w) * (1 - D1(m, w)), (m=1, \dots, 5; w=1, \dots, 4) \tag{6.57}$$

$$\sum_y X7(n, y, w) = A7n(n, w) * (1 - D2(n, w)), (n=1, \dots, 4; w=1, \dots, 4) \tag{6.58}$$

Eş. 6.56 modelin amaç fonksiyonudur, amaç toplam maliyet minimizasyonudur. Toplam maliyet, tesisler arasındaki taşıma maliyetini, tesislerde ürünlerin işlem maliyetleri ve tesis açma maliyetlerinden oluşmaktadır. Eş. 6.57 kısıtı, tüm m sterilizasyon merkezinden y düzenli depolama alanına $D1$ iskarta oranıyla giden w tipi atık miktarının m sterilizasyon merkezindeki w tipi tıbbi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Eş. 6.58 kısıtı, tüm n yakma

merkezinden y düzenli depolama alanına D2 ıskarta oranıyla giden w tipi atık miktarının n yakma merkezindeki w tipi tıbbi atık miktarına denk olma kısıtıdır. Model 2, GAMS-CPLEX paket program ile, GAMS-CPLEX paket program ile Core™i5,2.50 Ghz işlemcili ve 6Gb RAM'e sahip bir bilgisayarda çözülmüştür. Minimum maliyet 8879592.814 para birimi olarak bulunmuştur. Model 2, birinci, üçüncü ve dokuzuncu toplama merkezinin, üçüncü sterilizasyon merkezinin, birinci gömme merkezinin ve birinci düzenli depolama merkezlerinin işletilmesine karar vermiştir. Taşıma maliyeti, işleme maliyeti ve tesisi açma maliyeti para birimidir. Toplam maliyetler içerisinde en fazla maliyeti işleme maliyetleri oluşturmaktadır. Model 2'nin GAMS-CPLEX ile çözümü sonucu merkezler arasındaki akış miktarları aşağıdaki Çizelge 6.22 – 6.27'deki gibidir.

Çizelge 6.22. Model 2, toplama merkezleri atık miktarları (yıl/ton)

<i>İlçeler</i>		<i>Atık tipleri</i>			
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	Aliğa	1.568	0.268	114.576	0
2	Balçova	77.792	0	625.762	0
3	Bayındır	1.447	0	16.204	0
4	Bayraklı	1.716	0.315	308.383	0
5	Bergama	1.056	0	60.562	0
6	Beydağ	0	0	0.149	0
7	Bornova	58.915	0.413	1138.097	0.06
8	Buca	12.471	0.61	341.134	0
9	Çeşme	0	0	17.768	0
10	Çiğli	3.837	0.2	246.082	0
11	Dikili	0.084	0	7.234	0
12	Foça	0.045	0	5.471	0
13	Gaziemir	2.337	0	89.957	0
14	Güzelbahçe	0.005	0	0.539	0
15	Karabağlar	15.559	0.096	851.324	0
16	karaburun	0	0	0.136	0
17	karşıyaka	7.614	0.157	351.05	0.006
18	Konak	29.856	4.751	1347.783	0.857
19	Kiraz	0.489	0	8.015	0
20	Kemalpaşa	1.012	0	26.805	0
21	Narlidere	0	0	12.256	0
22	Menderes	0.044	0	2.884	0
23	Menemen	0.966	0	158.482	0.422

Çizelge 6.23. (devam) Model 2, atık üretim merkezlerinden toplama merkezlerine giden atık miktarları (yıl/ton)

	Toplama merkezleri											
	1.Gediz				3.Karşıyaka				9.Halkapınar			
İlçeler(atık üretim merkezleri)	1.tip atık	2.tip atık	3.tip atık	4.tip atık	1.tip atık	2.tip atık	3.tip atık	4.tip atık	1.tip atık	2.tip atık	3.tip atık	4.tip atık
23.Menemen					0.966		158.412					0.422
24.Ödemiş	0.457		97.964									
25.Seferihisar	0.311		8.061									
26.Selçuk					1.581		17.153					
27.Tire					0.92		107.038					
28.Torbalı	1.443		89.472									
29.Urla									2.494		594.550	

Çizelge 6.24. Model 2, toplama merkezlerindeki toplam atık miktarları (yıl/ton)

Toplama merkezleri	Toplam Atık Miktarı			
	1.tip atık	2.tip atık	3.tip atık	4.tip atık
1.Gediz	34.069	0.706	1807.19	0
3.Karşıyaka	19.881	0	2480.12	0
9.Halkapınar	170.069	6.104	1822.48	1.345

Çizelge 6.25. Model 2, toplama merkezlerinden sterilizasyon merkezine giden atık miktarları

Toplama merkezleri	3. Sterilizasyon Merkezi (Karşıyaka, Yamanlar Köyü)			
	1.tip atık	2.tip atık	3.tip atık	4.tip atık
1.Gediz	34.069	0	1807.19	0
3.Karşıyaka	19.881	0	2480.12	0
9.Halkapınar	170.069	0	1822.48	0

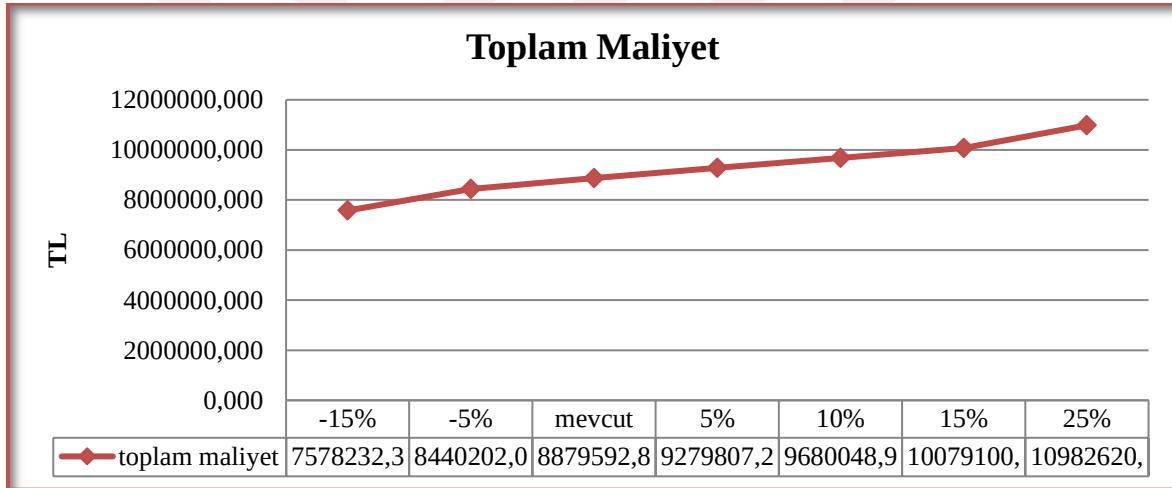
Çizelge 6.26. Model 2, toplama merkezlerinden gömme merkezine giden atık miktarları

Toplama merkezleri	1. gömme merkezi (Işıklar Köyü)			
	1.tip atık	2.tip atık	3.tip atık	4.tip atık
1.Gediz	0	0.706	0	0
3.Karşıyaka	0	0	0	0
9.Halkapınar	0	6.104	0	1.345

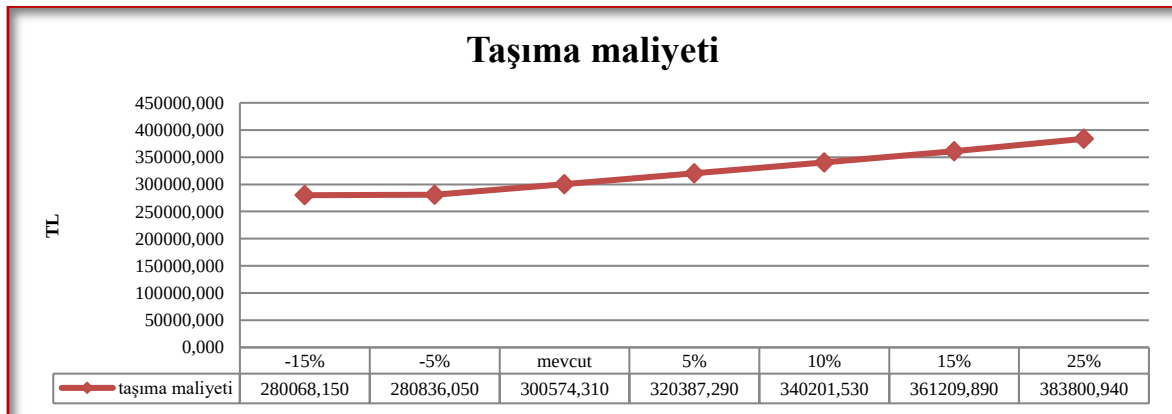
Çizelge 6.27. Sterilizasyon merkezlerinden düzenli depolama alanına giden atık miktarları

Sterilizasyon Merkezi	1. düzenli depolama (Harmandalı)			
	1.tip atık	2.tip atık	3.tip atık	4.tip atık
3.Karşıyaka (Yamanlar)	44.804		1221.958	

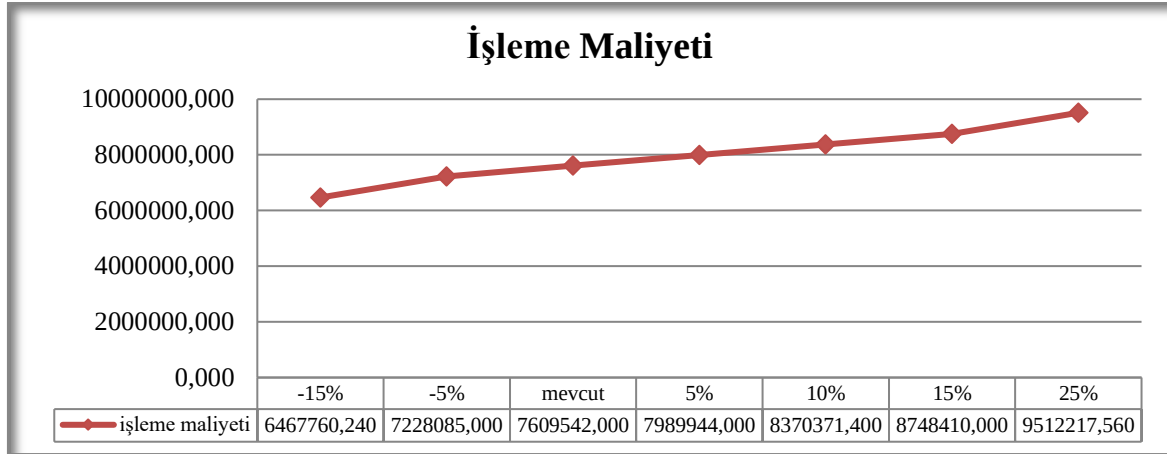
Oluşturulan model, 1520 iterasyonda çözülmüştür. Minimum maliyet 8879592.814 para birimi olarak bulunmuştur. Model 2, birinci, üçüncü ve dokuzuncu toplama merkezinin, üçüncü sterilizasyon merkezinin, birinci gömme merkezinin ve birinci düzenli depolama merkezlerinin işletilmesine karar vermiştir. Model çözümüne göre taşıma maliyeti 300574.314, işleme maliyeti 7609542.500, tesis açma maliyeti de 969476 para birimidir. Toplam maliyetler içerisinde en fazla maliyeti işleme maliyeti oluşturmaktadır. Atık miktarı %25 arttığı durumda maksimum açılacak sterilizasyon tesisi sayısının ya da maksimum 3 toplama merkezi açılacaksa kapasitelerinin artırılması gerekmektedir. Tıbbi atık miktarlarının %5, %15 oranında azalması ve %5, %10, %15, %25 artması durumunda maliyetler ve açılacak tesis sayısı aşağıdaki Şekil 6.10 – 6.15’te gösterilmektedir. Model 2 sonuç diyagramı EK-1’de verilmiştir.



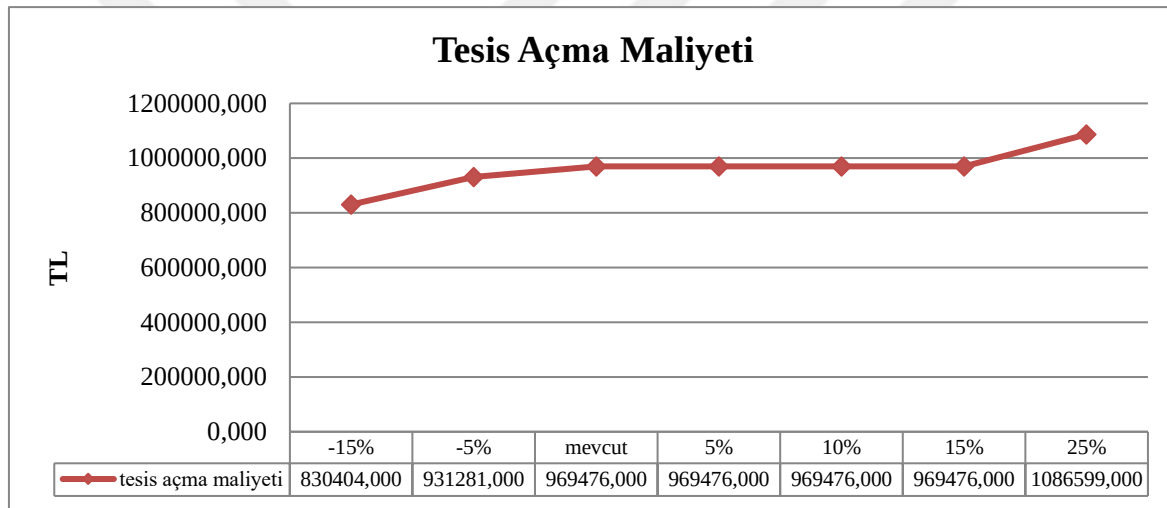
Şekil 6.10. Model 2’ye göre tıbbi atık artış ve azalış oranlarına göre toplam maliyetler



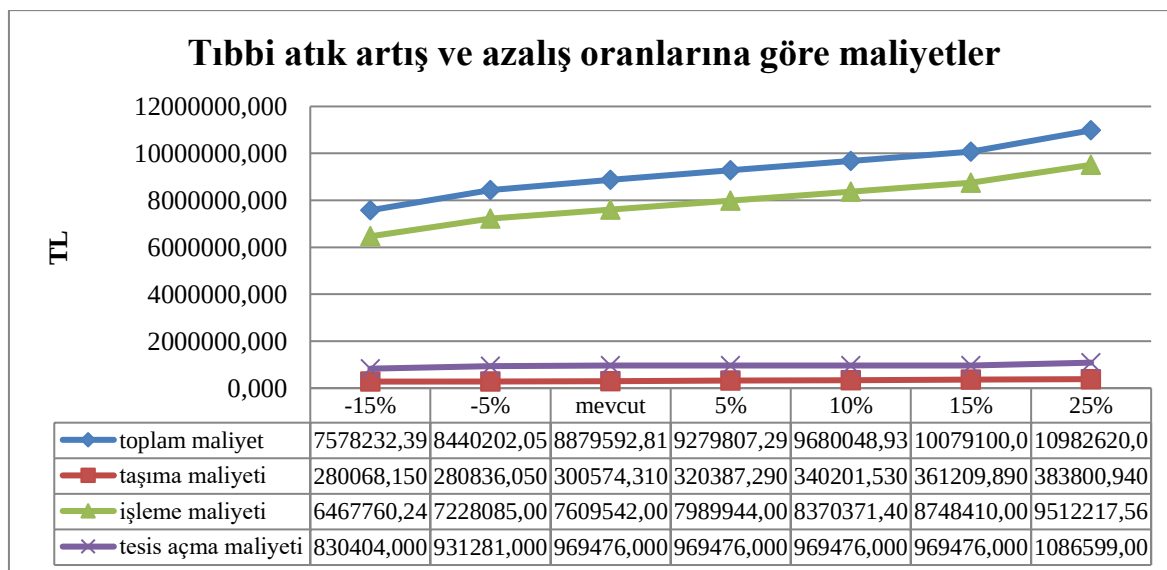
Şekil 6.11. Model 2, atık artış azalış oranlarına göre taşıma maliyetleri



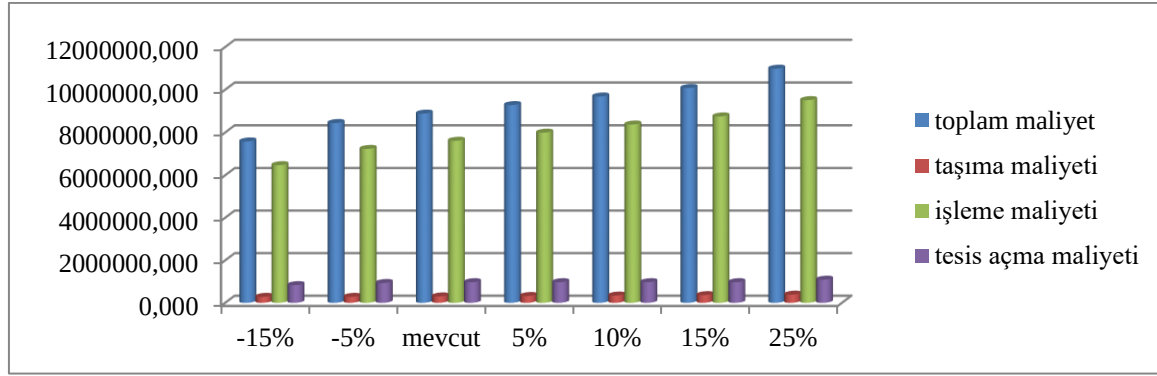
Şekil 6.12. Model 2, tıbbi atık artış ve azalış oranlarına göre işleme maliyetleri



Şekil 6.13. Model 2, tıbbi atık artış ve azalış oranlarına göre tesis açma maliyetleri



Şekil 6.14. Model 2, tıbbi atık artış oranlarına göre her bir maliyetin karşılaştırılması



Şekil 6.15. Model 2, tıbbi atık değişim oranlarına göre maliyetlerin karşılaştırılması

Tıbbi atık miktarlarının artış ve azalış oranlarına göre toplam maliyet (taşıma, işleme, tesis açma maliyetleri) ve açılacak olan tesisler Çizelge 6.28’de verilmiştir. Örneğin atık miktarı %25 oranında arttığında açılacak toplama merkezi sayısı 4 olmaktadır. Bu tesisler 1, 3, 4 ve 9. Tesislerdir.

Çizelge 6.28. Tıbbi atık değişimlerine göre maliyetler ve açılacak olan tesisler

	-10%	-5%	mevcut	5%	10%	15%	25%
Toplam maliyet	757823 2.390	844020 2.050	887959 2.810	927980 7.290	968004 8.930	100791 00.000	10982620 .000
Taşıma maliyeti	280068. 150	280836. 050	300574. 310	320387. 290	340201. 530	361209. 890	383800.9 40
İşleme maliyeti	646776 0.240	722808 5.000	760954 2.000	798994 4.000	837037 1.400	874841 0.000	9512217. 560
Tesis açma maliyeti	830404. 000	931281. 000	969476. 000	969476. 000	969476. 000	969476. 000	1086599. 000
Açılacak toplama merkezleri	1,3	3,9,10	1,3,9	1,3,9	1,3,9	1,3,9	1,3,4,9
Açılacak sterilizasyon merkezleri	3	3	3	3	3	3	3
Açılacak gömme merkezleri	1	1	1	1	1	1	1
Açılacak düzenli depo merkezleri	1	1	1	1	1	1	1

6.4. Tıbbi Atıkların Tersine Lojistik Ağ Tasarımı Model (Model 3)

Üçüncü model mevcut durumu yansıtmaktadır. Tıbbi atıkların kontrolü yönetmeliğine göre tıbbi atıkların taşınması için ara transfer noktalarına ya da merkezi bir toplama noktasına izin verilmemektedir. Ancak literatürde yapılan çalışmalarda tıbbi atıklar için geliştirilen tersine lojistik ağ tasarımında tıbbi atık üreticilerinden toplama noktalarına, toplama noktalarından işleme noktalarına gelen atıklar en son düzenli depolama alanlarına, geri dönüşüm tesislerine ya da fabrikalarına gönderilmektedir.

Tıbbi atık kontrol yönetmeliğine göre tıbbi atık üreten noktalarından sonra atıklar 20 yatak kapasitesi üzerinde olan üreticilerin geçici depolama merkezlerinden 20 yatak kapasitesi altında olan üreticilerin konteynırlarından toplanan atıklar işleme noktalarına ve son olarakta düzenli depolama alanlarına gönderilmektedir.

Ülkemizdeki sistemde tıbbi atıklar kaynaklardan toplandıktan sonra geçici depolara ya da konteynırlara taşınmaktadır. Geçici depolardan ve konteynırlardan sonra atıklar belediyeler ya da belediyelerin yetkilerini devrettiği sorumlu firmalar tarafından alındıktan sonra işleme merkezlerine gönderilmektedir. Dolayısıyla bu modelde ara transfer noktası ya da merkezi toplama noktalarının bulunmamaktadır. Tıbbi atıklar üretim noktalarından doğrudan işleme merkezlerine taşındıktan sonra düzenli depolama alanlarına gönderilmektedir.

Model 1 ve Model 2, yurt dışında yapılmış olan çalışmalar ele alınarak ülkemizdeki tıbbi atık sistemine alternatif çözüm getiren, öneri niteliğinde olan modellerdir. Model 3 ise ülkemizde ki mevcut durum ele alınarak minimum maliyetle hangi işlem merkezi ve düzenli depolama tesisinin açılması gerektiği ve bu tesisler arasındaki akış miktarlarının ne kadar olması gerektiğini göstermektedir.

6 tip atık alınmıştır, bu atıklar 180101 (kesiciler), 180102 (patolojik), 180103 (bertaraf gerektiren enfeksiyöz), 180201 (kesiciler), 180202 (bertaraf gerektirmeyen enfeksiyöz atıklar), 180203 (bertaraf gerektiren enfeksiyöz atıklar) atıklarıdır. İzmir ilinde sterillizasyon merkezi kurulması planlandığı için yakma merkezi, gömme merkezi modele dâhil edilmemiştir.

6.4.1. Notasyonlar

İndisler

i : Tıbbi atık üretim noktaları ($i=1, \dots, 29$)

m : Sterilizasyon merkezleri ($m=1, \dots, 5$)

w : Atık tipleri ($w = 1 \dots 6$) ($w = 1$ kesici-delici, $w = 2$ patolojik, $w = 3$ enfeksiyöz, $w = 4$ kesiciler, $w = 5$ enfeksiyöz, $w = 6$ enfeksiyöz)

y : Tıbbi atık düzenli depolama noktaları ($y=1, \dots, 5$)

Parametreler

$Q(i,w)$: Atık üretim merkezlerince üretilen tiplerine göre atık miktarları (ton/yıl)

$C2(m)$: m . sterilizasyon merkezinin sabit maliyeti (TL/yıl)

$C3(y)$: y . katı atık düzenli depolama merkezlerinin sabit maliyeti (TL/yıl)

$Tcap1(m)$: m . sterilizasyon merkezinin maksimum kapasitesi (ton/yıl)

$Tcap2(y)$: y .sterilizasyon merkezinin maksimum kapasitesi (ton/yıl)

$T1(w,i,j)$: i . üretim merkezinden m . işleme merkezine w tipi atığın taşıma maliyeti ($km \cdot ton/yıl$)

$T2(w,m,y)$: m . sterilizasyon merkezinden y . düzenli depolama alanına w tipi atığın taşıma maliyeti ($km \cdot ton/yıl$)

$I1(m,w)$: m . setrilizasyon merkezinde w tipi atığın işlem maliyeti (TL/yıl)

$D1(m,w)$: m . sterilizasyon merkezinde w tipi atığın işlem sonrası ıskarta oranı

Sabitler

Ct : km başına işlem görmemiş tıbbi atığı taşıma maliyeti/1.370 ton

M_{max} : Kurulacak en fazla sterilizasyon merkezi sayısı

Y_{max} : Kurulacak en fazla yakma merkezi sayısı

Karar değişkenleri

$X1imw$: i . üretim merkezinden m . sterlizasyon merkezine giden toplam atık miktarı (ton/yıl)

$X2myw$: m . sterilizasyon merkezinden y . düzenli depolama merkezine giden w tipi tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

$A6m$: m . sterilizasyon merkezindeki toplam tıbbi atık miktarı (ton/yıl)

$A10y$: y . tıbbi atık düzenli depolama merkezindeki atık miktarı (ton/yıl)

S_m : { 1, eğer sterilizasyon merkezi varsa; 0 , eğer yoksa }

B_y : { 1, eğer düzenli depo merkezi varsa; 0, eğer yoksa }

6.4.2. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar

Amaç fonksiyonu

$$\begin{aligned} \text{Min}Z = & \sum_{m=1} C2(m) * S(m) + \sum_m \sum_{w=1} A6m(m, w) * I1(m, w) + \\ & \sum_i \sum_m \sum_w X1(i, m, w) * T2(w, i, m) * Ct + \\ & \sum_m \sum_y \sum_w X6(m, y, w) * T2(w, m, y) * Ct * (1 - D1(m, w)) \end{aligned} \quad (6.59)$$

Kısıtlar

$$\sum_{m=1} X1(i, m, w) = Q(i, w), \quad (i=1,2,\dots,29; w=1,\dots,6) \quad (6.60)$$

$$\sum_{i=1} X1(i, m, w) * (1 - D1(m, w)) = \sum_{y=1} X2(m, y, w), \quad (m=1,\dots,5; w=1..6) \quad (6.61)$$

$$\sum_{m=1} \sum_y X2(m, y, w) = \sum_y A10y(y, w), \quad (w=1,\dots,6) \quad (6.62)$$

$$\sum_{y=1} X2(m, y, w) = A6m(m, w) * (1 - D1(m, w)), \quad (m=1,\dots,5; w=1,\dots,6) \quad (6.63)$$

$$\sum_{w=1} A6m(m, w) \leq Tcap2(m) * S(m), \quad (m=1,\dots,5) \quad (6.64)$$

$$\sum_{w=1} A10y(y, w) \leq Tcap3(y) * B(y), \quad (y=1,...,5) \quad (6.65)$$

$$\sum_{m=1} S(m) \leq M \max \quad (6.66)$$

$$\sum_{y=1} B(y) \leq Y \max \quad (6.67)$$

Negatif olmama kısıtı

$$Diğerleri \geq 0 \quad (6.68)$$

Tam sayı kısıtları

$$S(m), B(y), \in \{0,1\} \quad (6.69)$$

Eş. 6.59 modelin amaç fonksiyonudur, amaç, tüm sistemin maliyetini en küçükmektir. Toplam maliyet; tesisler arasındaki taşıma maliyetini, tesislerde ürünlerin işlem maliyetlerini ve tesis açma maliyetlerini içermektedir. İşlem gören atıklar işlem ve atık tipine göre belli bir ıskarta oranıyla düzenli depolama alanına gönderilmektedir, taşıma maliyetlerine bu oranlar yansıtılmıştır.

Eş. 6.60 kısıtı, i. tıbbi atık üretim alanından m. sterilizasyon merkezine giden w tipi atık miktarının, i. sterilizasyon merkezindeki w. tip atık miktarlarına denk olma durumunu belirtir. Eş. 6.61 kısıtı, tüm m. sterilizasyon işleme merkezlerine i. üretim merkezlerinden gelen w tipi atığın, tüm m sterilizasyon merkezlerinden y. depolama alanlarına giden w tipi atık miktarına denk olacağını belirtir. Yani tesisler arasındaki denge kısıtıdır. Eş. 6.62 kısıtı, m. sterilizasyon işleme merkezlerinden y. depolama alanına giden tüm w tipi atık miktarlarının, y. depolardaki tüm atık miktarlarına denk olacağını belirtir. Denge kısıtıdır. Eş. 6.63 denge kısıtıdır. m. sterilizasyon merkezlerindeki w tip atıkların ıskarta oranıyla taşınacağı miktarların, m. sterilizasyon merkezlerinden y. depolara w tipi atık miktarlarına denk olacağını belirtir. Eş. 6.64 kapasite kısıtıdır, m. sterilizasyon merkezlerine gelen tüm w tipi atıkların, sterilizasyon merkezlerinin kapasitelerinin aşmayacağını belirtir. Eş. 6.65 y. depolama alanına gelen tüm w tipi atıkların y. depolama alanlarının kapasitelerinin

aşmayacağını belirtir. Eş. 6.66 maksimum sayıda açılacak sterilizasyon merkezi sayısını belirtir. Eş. 6.67 maksimum sayıda açılacak depo sayısını ifade eder.

Eş. 6.68 diğer tüm değişkenler için pozitif olma kısıtıdır, değişkenlerin negatif değer alamayacağını gösterir. Eş. 6.69 0-1 tamsayı kısıtıdır, depo ve tesisler açılmalı mı açılmalı mı kararını veren değişkenleri gösteren kısıttır.

6.4.3. Temel model (Model 3) için uygulama ve değerlendirme

Bu modelde, üretim merkezlerinde üretilen atıkların işleme merkezlerine taşındığı ve işleme merkezlerinde tehlikesiz hale gelen atıkların da düzenli depolama alanlarına taşındığı durum ele alınmıştır. Modelde taşıma, tesis açma ve işleme maliyetlerini en küçükleyerek hangi işleme merkezi ve depolama merkezinin açılması gerektiği kararı verilmiştir. Model Gams-cplex paket programı ile çözülmüştür.

Varsayımlar

- 1- Atık üretim merkezlerinden geçici depolara gelen akış ihmal edilmiştir, çünkü bu sağlık kurumlarının sorumluluğundadır. Dolayısıyla atık üretim merkezlerinin hemen çok yakınında olan geçici depolar beraber olarak alınmıştır.
- 2- Tıbbi atık kontrolü yönetmeliğine göre sağlık kurumlarında üretilen atıklar, tıbbi atık, evsel atık, tehlikeli atık, radyoaktif atık olarak sınıflandırılmaktadır, ancak bu modelde tıbbi atıklar ve evsel atıklar geçici depolarda ayrı olarak depolanması ve taşınması gereklidir. Dolayısıyla geliştirilen bu modelde atık merkezlerinde üretilen atıklardan tıbbi atıklar düşünülmüştür. Tıbbi atıklar da kendi içerisinde patolojik, enfeksiyöz, kesicidelici atıklar olarak düşünülmüştür, 6 tip atık toplanmaktadır. Bu atıklar, ($w = 1$, 4 kesiciler (180101, 180201), $w = 2$ patolojik (180102), $w = 3$, 5, 6 enfeksiyöz (180103)) atıklardır.
- 3- Tüm atıkların sterilizasyon merkezlerinde işlem görebildiği varsayılmıştır.
- 4- Modeldeki talepler kısıtlar deterministiktir ancak duyarlılık analizinde uzman görüşlerinden ve literatürden faydalanılarak %'lik dilimlerle değişimler incelenecektir.
- 5- Açığa çıkan evsel atıklar ve tıbbi atıklar geri dönüştürülebilir ve organik özellikte değildir.

- 6- Tıbbi atıkların sterilizasyon işlemine tabi tutulan tüm atıklar düzenli depolama alanlarına götürülürler.
- 7- Modelin amaç fonksiyonuna depolama, elleçleme ve nihai bertaraf alanındaki işlem maliyetleri göz önüne alınmamıştır.
- 8- İşlem gören atıklar işlem tipi ve atık tipine göre hacimce küçülmektedir. Literatürde yapılan araştırmalardan yola çıkarak sterilizasyon işleminden geçen atıkların hacimce %80 küçüldüğü varsayılmıştır.

Modelin çözümüne göre 3. sterilizasyon ve 1. düzenli depolama merkezinin açılması gerektiği sonucu çıkmaktadır. Toplam maliyet 8247229.66 TL, işleme maliyeti 7608744 TL, taşıma maliyeti 263804.66 TL, tesis açma maliyeti ise 374681 TL'dir. Mevcut duruma göre 1 sterilizasyon ve 1 depolama alanının açılması yeterli olmaktadır. Modelin çözümüne göre tesisler arası akış miktarları aşağıda Çizelge 6.29 – 6.32'deki gibidir.

Çizelge 6.29. Model 3, tıbbi üretim merkezlerindeki atık miktarları (ton/yıl)

İlçe	1.tip atık	2.tip atık	3.tip atık	4.tip atık	5.tip atık	6.tip atık
Aliağa	1.568	0.268	114.576	0	0	0
Balçova	77.792	0	625.583	0	0.179	0
Bayındır	1.447	0	16.204	0	0	0
Bayraklı	1.716	0.315	307.086	0	1.297	0
Bergama	1.056	0	60.542	0	0.02	0
Beydağ	0	0	0.149	0	0	0
Bornova	52.637	0.413	1136.989	6.278	1.108	0
Buca	12.414	0.61	339.162	0.057	1.968	0.004
Çeşme	0	0	17.768	0	0	0
Çiğli	3.837	0.2	238.078	0	8.004	0
Dikili	0.084	0	7.161	0	0.073	0
Foça	0.045	0	5.471	0	0	0
Gaziemir	2.337	0	89.6	0	0.357	0
Güzelbahçe	0.005	0	0.369	0	0.17	0
Karabağlar	15.559	0.096	851.195	0	0.129	0
karaburun	0	0	0.136	0	0	0
karşıyaka	7.437	0.157	350.534	0.177	0.516	0
Konak	29.138	4.751	1346.336	0.718	1.385	0.062
Kiraz	0.489	0	7.845	0	0.17	0
Kemalpaşa	1.012	0	23.417	0	3.388	0

Çizelge 6.29. (devam) Model 3, tıbbi üretim merkezlerindeki atık miktarları (ton/yıl)

<i>İlçe</i>	<i>1.tip atık</i>	<i>2.tip atık</i>	<i>3.tip atık</i>	<i>4.tip atık</i>	<i>5.tip atık</i>	<i>6.tip atık</i>
Narlıdere	0	0	11.965	0	0.291	0
Menderes	0.044	0	2.674	0	0.21	0
Menemen	0.966	0	158.482	0	0	0
Ödemiş	0.457	0	97.942	0	0.022	0
Seferihisar	0.311	0	8.061	0	0	0
Selçuk	1.581	0	17.153	0	0	0
Tire	0.92	0	107.038	0	0	0
Torbalı	1.383	0	89.199	0.06	0.273	0
Urla	1.959	0	58.707	0.535	0.743	0

Çizelge 6.30. Model 3, üretim merkezlerinden sterilizasyon merkezlerine taşınan atık miktarları (ton/yıl)

	<i>3. Sterilizasyon Merkezi</i>					
<i>İlçeler (atık üretim merkezleri)</i>	<i>1.tip atık</i>	<i>2.tip atık</i>	<i>3.tip atık</i>	<i>4.tip atık</i>	<i>5.tip atık</i>	<i>6.tip atık</i>
1.Alağa	1.568	0.268	114.576			
2.Balçova	77.792		625.583		0.179	
3.Bayındır	1.447		16.204			
4.Bayraklı	1.716	0.315	307.086		1.297	
5.Bergama	1.056		60.542		0	
6.Beydağ			0.149			
7.Bornova	52.637	0.413	1136.99	6.278	1.108	
8.Buca	12.414	0.61	339.162	0.057	1.968	0.004
9.Çeşme			17.768			
10.Çiğli	3.837	0.2	238.078		8.004	
11.Dikili	0.084		7.161		0	
12.Foça	0.045		5.471			
13.Gaziemir	2.337		89.600			
14.Güzelbahçe	0.005		0.369		0.17	
15.Karabağlar	15.559	0.096	851.195		0.129	
16.karaburun			0.136			
17.karşıyaka	7.437	0.157	350.534	0	0.516	
18.Konak	29.138	4.751	1.346.336	0.718	1.385	0.062
19.Kiraz	0.489		7.845		0.17	
20.Kemalpaşa	1.012		23.417		3.388	
21.Narlıdere			11.965		0.291	
22.Menderes	0.044		2.674		0.21	
23.Menemen	0.966		158.482			
24.Ödemiş	0.457		97.942		0.022	
25.Seferihisar	0.311		8.061			

Çizelge 6.30. (devam) Model 3, üretim merkezlerinden sterilizasyon merkezlerine taşınan atık miktarları (ton/yıl)

	3. Sterilizasyon Merkezi					
<i>İlçeler (atık üretim merkezleri)</i>	<i>1.tip atık</i>	<i>2.tip atık</i>	<i>3.tip atık</i>	<i>4.tip atık</i>	<i>5.tip atık</i>	<i>6.tip atık</i>
26.Selçuk	1.581		17.153			
27.Tire	0.92		107.038			
28.Torbalı	1.383		89.199	0.06	0.273	
29.Urla	1.959		58.707	0.535	0.743	

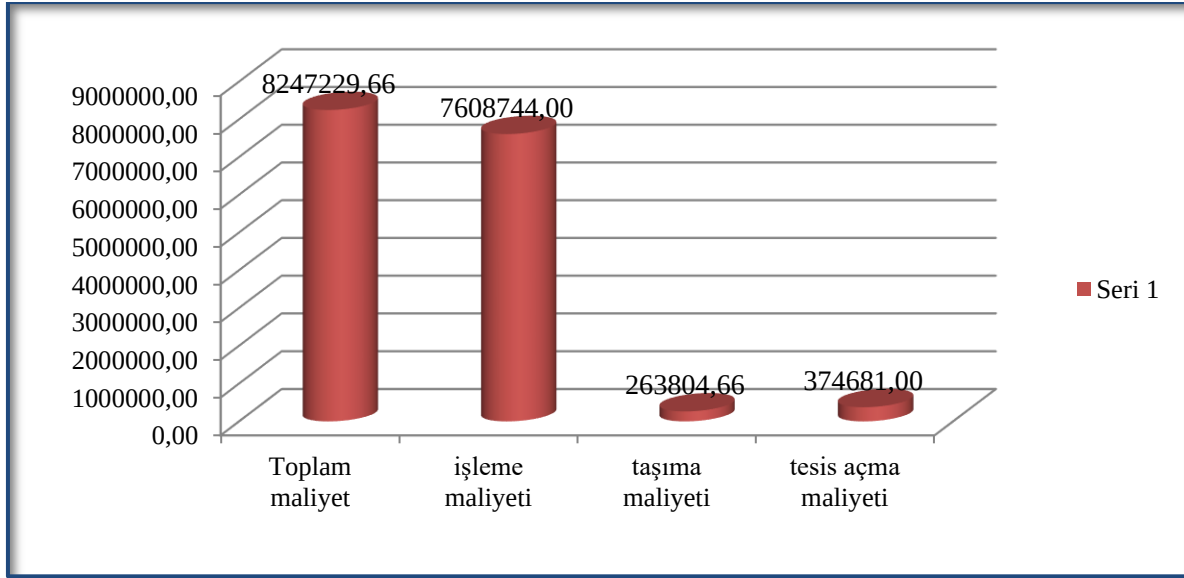
Çizelge 6.31. Model 3, sterilizasyon merkezlerindeki toplam atık miktarları (ton/yıl)

	Toplam Atık Miktarı					
<i>Sterilizasyon merkezi</i>	<i>1.tip atık</i>	<i>2.tip atık</i>	<i>3.tip atık</i>	<i>4.tip atık</i>	<i>5.tip atık</i>	<i>6.tip atık</i>
3.Karşıyaka	216.194	6.810	6089.422	7.825	20.303	0.066

Çizelge 6.32. Depolama merkezlerindeki toplam atık miktarları (ton/yıl)

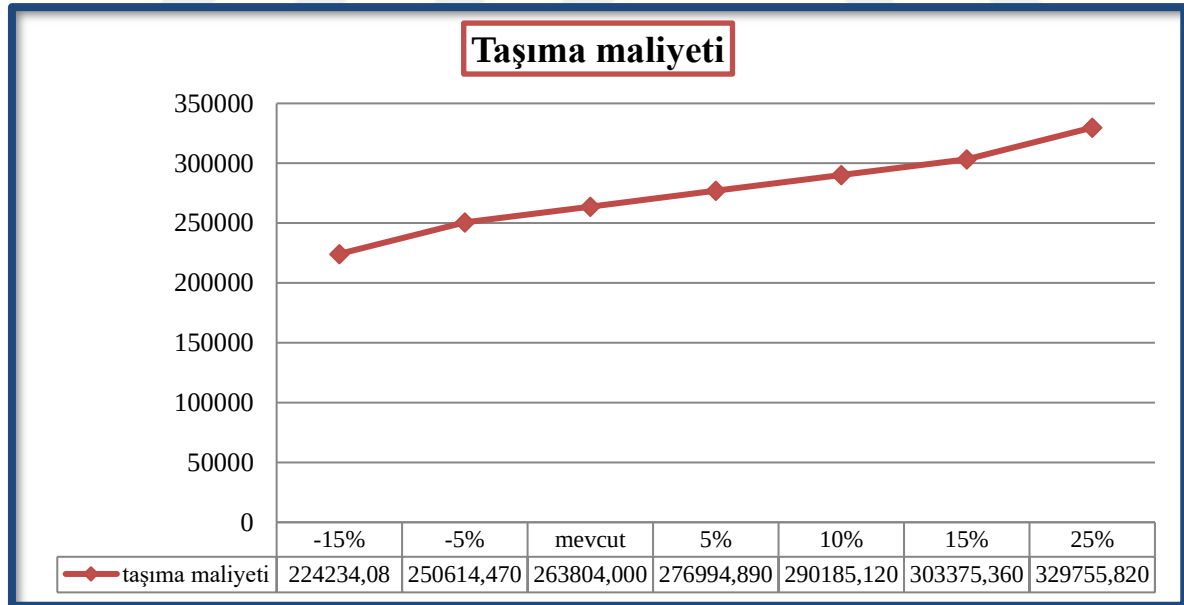
	Toplam Atık Miktarı					
<i>Depolama merkezi</i>	<i>1.tip atık</i>	<i>2.tip atık</i>	<i>3.tip atık</i>	<i>4.tip atık</i>	<i>5.tip atık</i>	<i>6.tip atık</i>
1.İşıklar	43.239	1.362	1217.884	1.565	4.061	0.013

İzmir ili için sterilizasyon merkezi kurulması düşünülmektedir ve kurulacak bölgenin seçilmesi çalışmaları halen devam etmektedir ve tıbbi atık atıkların bertarafını sağlayan firmadan alınan bilgilere göre yıllık toplam maliyeti (işleme, toplama, taşıma maliyeti) yaklaşık 10200000 TL'dir. Aşağıdaki çizelgede Model 3 mevcut durumun maliyetleri görülmektedir. Tıbbi atık miktarları yıllara, hatta aylara göre büyük değişiklikler göstermektedir, nüfusun artması, göçlerin artması, hastane sayılarının artması, ve bazı çevresel faktörlerden dolayı hasta sayısının artması, ya da bazı sağlık kurumlarının kapatılması vb sebeplerden dolayı her yıl atık miktarları değişiklik göstermektedir ve planlamayı zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla bu modelde atık miktarlarının %5, %15 oranında azaldığı ve %5, %10, %15, %25 oranında arttığı düşünülerek açılması gereken tesis sayıları ve akış miktarları belirlenmiştir. Aşağıdaki şekiller ve çizelgede (Şekil 6.16 – 6.18, Çizelge 6.33) artış oranlarına göre maliyetler görülmektedir. Bunun yanında Model 1, Model 2, Model 3 ve firmadan alınan maliyetler karşılaştırılmıştır (Şekil 6.16).

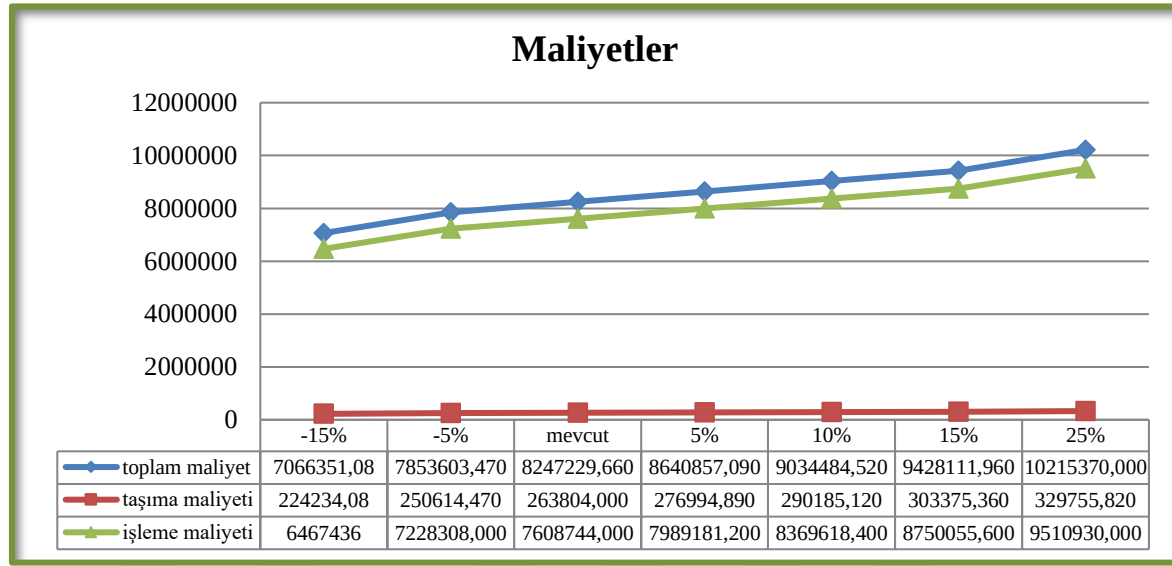


Şekil 6.16. Model 3, çözüm sonucu maliyetler

Şekil 6.16’da görüldüğü gibi model çözümüne göre yıllık işleme maliyeti 7 608 744 TL iken taşıma maliyeti yıllık 263 804.66’dır.



Şekil 6.17. Model 3 çözümü, atık değişim miktarlarına göre maliyetleri



Şekil 6.18. Model 3, atık artış ve azalış oranlarına göre maliyetler

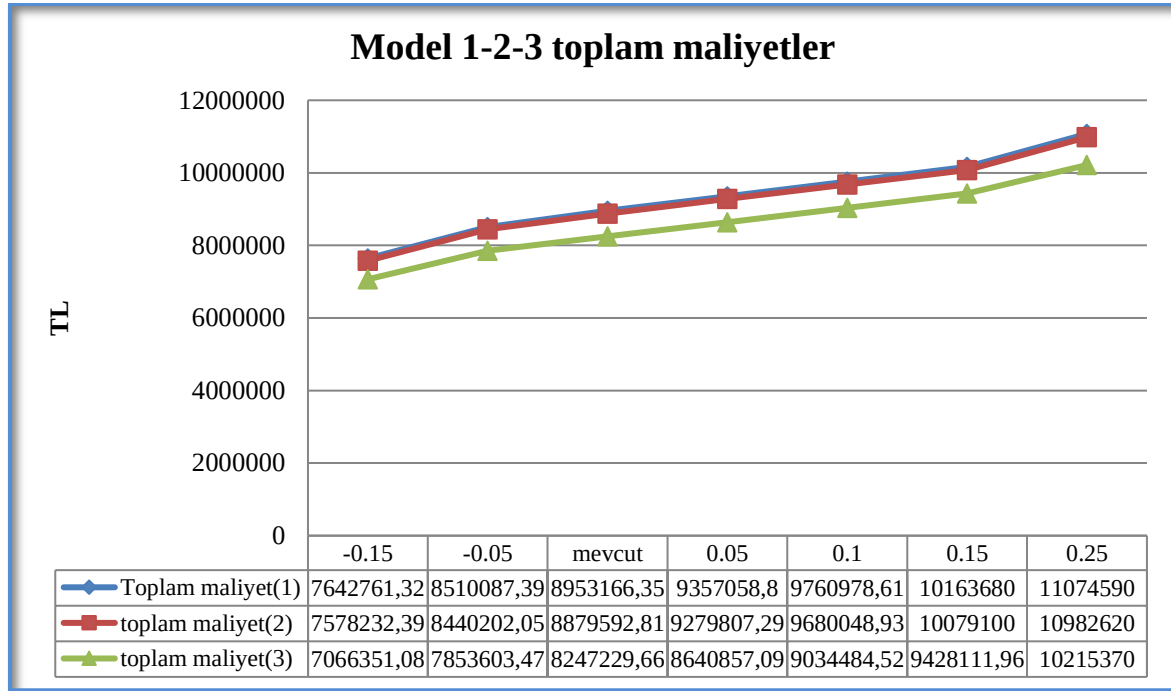
Çizelge 6.33. Model 3, atık değişim oranlarına göre açılacak olan tesisler

Açılacak olan tesisler	-15%	-5%	mevcut	5%	10%	15%	25%	35%
Sterilizasyon merkezleri	3	3	3	3	3	3	3	3,2
Düzenli depo	1	1	1	1	1	1	1	1

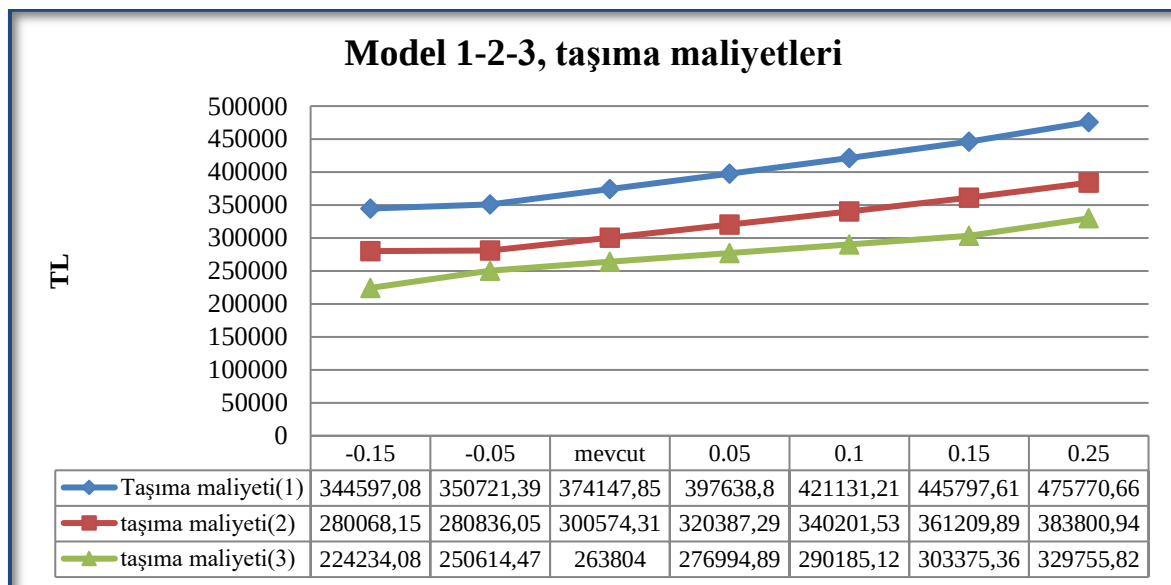
Tıbbi atık miktarları ortalama yıllık olarak %3 oranında değişmektedir. Çizelge 6.33’de artış oranlarına göre değerlendirildiğinde tıbbi atık miktarı %35 oranında arttığı durumda mevcut açılacak olan kapasitenin artırılması ya da ikinci bir sterilizasyon merkezinin açılması gerektiği sonucu çıkmaktadır. İkinci bir sterilizasyon merkezi açılması durumunda belirlenen potansiyel tesisler arasından ikinci sterilizasyon merkezinin açılması gerektiği sonucu çıkmaktadır. Çevre orman bakanlığının yayınladığı ‘Atık yönetim eylem planı 2008-2012’ raporunda İzmir ili için düzenli depolarda bertaraf edilen tıbbi atık miktarı 5279430,32 kg/yıl iken 2015 yılında İzmir’de düzenli depolama ile bertaraf edilen atık miktarı 6427802 kg/yıl dır. Nüfus artış hızı ülke ortalamasının üzerinde olan İzmir’de, nüfus artışına ve tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak, atık miktarında önemli artışlar olacağı dikkate alınarak, bertaraf tesislerinin kapasite ve alan ihtiyacının belirlenmesi gerekmektedir (Url-6). Model 3 çözüm sonucu diyagramı EK-1’ de verilmiştir.

6.5. Geliştirilen modellerin atık değişim oranlarına göre maliyetleri

Geliştirilen üç modelin de atık değişim oranlarına göre maliyet karşılaştırmaları Şekil 6.19, Şekil 6.20 ve Çizelge 6.34’te verilmiştir.



Şekil 6.19. Model 1 - 2 - 3, toplam maliyetleri



Şekil 6.20. Model 1 - 2 - 3, taşıma maliyetleri

Çizelge 6.34. Açılacak tesisler

	-0.15	-0.05	mevcut	0.05	0.1	0.15	0.25
Toplama merkezleri(1)	1,3	3,9,10	1,3,9	1,3,9	1,3,9	1,3,9	1,3,4,9
Sterilizasyon merkezleri(1)	3	3	3	3	3	3	3
Gömme merkezleri(1)	1	1	1	1	1	1	1
Toplama merkezleri(2)	3,9,10	1,3,9	1,3,9	1,3,9	1,3,9	1,3,4,9	
Sterilizasyon merkezleri(2)	3	3	3	3	3	3	3
Sterilizasyon merkezleri(3)	3	3	3	3	3	3	3

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Nüfusun hızla artması ve bu artışa paralel olarak tüketimin artması, yaşam stillerinin değişmesiyle beraber doğal kaynakların aşırı ve yanlış kullanılması sonucunda farklı tipte büyük miktarlarda atık, çevre sorunlarına ve kullanılabilir kaynakların hızla azalmasına sebep olmaktadır ve yaşayan canlıların da sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Canlıların sürdürülebilirliğini devam ettirmek ve gelecek nesillere daha iyi ve kaliteli bir yaşam bırakılabilmek için tüketicilerden dönen ürünlerin çevreye en az zarar vermesini sağlayarak geri kazanımlarını sağlamak büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla son zamanlarda ürünlerin çeşitliliğinin artması, ekonomik sebepler, yasal zorunluluklar, üretim maliyetlerinin artması, kullanıcıların çevreye olan duyarlılığının artması, ürün kullanım ömürlerinin kısalması gibi sebeplerden dolayı tedarik zincirlerinde firmalar açısından ürünlerin tüketiciden üreticiye geri dönüş hareketleri yani ters yönlü akışları daha önemli hale gelmiştir. Bu ters yönlü akışları, faydası tükenmiş, kullanıcı tarafından artık kullanılmayan ürünün, tekrar kullanılabilen ürüne dönüşüncüye kadar kapsadığı tüm lojistik faaliyetleri içeren bir süreç, tersine lojistik olarak tanımlayabiliriz. Tersine lojistik bazı sosyal sorumluluklar ve çevre sağlığı açısından da gerekli olabilmektedir. Sağlık kurumlarından kaynaklanan atıklar hem çevre sağlığı açısından hem sosyal sorumluluk açısından diğer atıklara göre daha önemli bir yere sahiptir. Atıklar içinde, sağlık kurumlarından kaynaklanan tıbbi atıklar özel atık statüsündedir. Sağlık kurumlarından kaynaklanan atıklar içinde enfekte, patolojik, farmösotik, çeşitli kimyasal, radyoaktif atıklar ve kesici atıklar olduğundan bunların genel atıklardan ayrı olarak doğru şekilde toplanması ve işlem görmesi gerekmektedir. Bu tip atıklar, genel atıklara göre insan ve çevre sağlığı açısından değerlendirildiğinde tehlike riski daha fazladır, geri kazanılması zordur, bertaraf işlem maliyetleri yüksektir, bu nedenle çevreye olan riskin en aza indirilmesiyle beraber maliyetlerinin azaltılması taşıma maliyetlerini düşürmekle mümkündür. Atıkların yönetiminde taşıma maliyetlerinin düşürülmesi ise etkin bir tersine lojistik ağ tasarımıyla mümkündür.

Bu tezde İzmir ili için tıbbi atıkların tersine lojistik ağ tasarımı yapılmış, tesis açma, işleme ve taşıma maliyetini içeren toplam maliyetin en küçüklenmesini amaçlayan üç matematiksel model geliştirilmiştir. Gerçek veriler kullanılmıştır. Ağ tasarımı yapılırken atık tiplerine uygun işlem merkezleri dikkate alınmıştır. Açılması gereken tesisler

bulunarak, tesisler arasındaki optimum akış miktarları bulunmuştur (EK-1). İlk model genel model olarak tasarlanmış, ikinci model işleme merkezlerinden sonra belli bir ıskarta oranıyla düzenli depolama noktasına gönderildiği durum olarak tasarlanmıştır. Her iki modelde literatürde yapılan çalışmaların araştırılması sonucunda tasarlanmış olup öneri niteliğindedir. Üçüncü model ise mevcut Tıbbi Atıklar Kontrol Yönetmeliği göz önüne alınarak tasarlanmıştır. Her üç modelde de maliyetler karşılaştırılmış ve atık miktarlarının değişim oranlarına göre duyarlılık analizleri yapılmıştır.

Özet olarak, bu yapılan tez kapsamında öncelikle tersine lojistik ve sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıklar üzerine kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Sonraki bölümde tersine lojistik kavramından ve içeriğinden bahsedilmiş, ileri ve tersine lojistik arasındaki farklar belirtilmiş ve tersine lojistik ağ tasarımı üzerinde durulmuştur. Tıbbi atıkların kontrol yönetmeliği incelenmiş, tıbbi atıkların tersine lojistik ağ tasarımı yapılmış ve karmaşık tamsayılı doğrusal programlama modelleri aktarılmış, geliştirilen modellerin geçerliliğinin doğrulanması amacıyla İzmir ili için gerçek uygulaması yapılmış,duyarlılık analizi yapılarak öneriler sunulmuştur.

Gelecekte yapılacak bir çalışmada maliyetlerin yanısıra riskler de göz önüne alınarak çok amaçlı, çok ürünlü, kapasite kısıtlı karışık tam sayılı doğrusal model geliştirilebilir, çünkü sağlık kurumlarından kaynaklanan atıkların çevreye olan riski diğer atıklara göre daha fazladır. Hejrani (2013), tıbbi atıkların tersine lojistik ağ tasarımı riskleri de ele alan çalışma yapmıştır. Nema ve Gupta (1999), Alumur ve diğerleri (2007) ve Zhao ve Zhao (2010) tersine lojistik sistemlerde tehlikeli atıkların taşınması probleminde maliyetlerin yanısıra riskleri de göz önüne almışlardır. Düzenli depolama alanlarında bertaraf ülkemizde en çok kullanılan yöntemdir. Ancak atık miktarlarının giderek artması gelecekte alan problemini doğuracaktır. Nihai nokta olarak geri dönüşüm tesisleri veya atıkların işlem gördükten sonra fabrikalara ham malzeme olarak gönderilerek ekonomiye kazandırılmasını sağlayan modeller geliştirilebilir. Shi (2009) yaptığı çalışmada nihai nokta olarak fabrikaları, Hejrani (2013) ,yaptığı çalışmada geri dönüşüm tesislerini almıştır. Ülkemizde tıbbi atıkların geri dönüşümü yapılmamaktadır, sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıklar, evsel ve tıbbi atıklar olarak alındığı durumda geri dönüşüm tesisleri veya fabrikalar nihai nokta olarak düzenli depolama alanlarına göre daha fazla avantaj sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Akbolat, M., Işık, O., Dede, C., ve Çimen, M. (2011). Sağlık Çalışanlarının Tıbbi Atık Bilgi Düzeylerinin Değerlendirilmesi. *Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2(3), 131-140.
- Alagöz, A.Z. and Kocasoy, G. (2007). Improvement and Modification of the Routing System for Health-Care Waste Collection and Transportation in İstanbul. *Waste Management*, 28, 1461-1471.
- Alumur, S.A., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F. and Verter, V. (2012). Multi-Period Reverse Logistics Network Design. *European Journal of Operational Research*, 220(1), 67–78.
- Askarian, M., Heidarpoor, P. and Assadian, O. (2010). A Total Quality Management Approach to Healthcare Waste Management in Namazi Hospital, Iran. *Waste Management and Research*, 30, 2321-2326.
- Askarian, M., Vakili, M. and Kabiri, G. (2004). Results of a Hospital Waste Survey in Private Hospitals in Fars Province, Iran. *Waste Management*, 24, 347–52.
- Assavapokee, T. and Wongthatsanekorn, W. (2012). Reverse Production System Infrastructure Design For Electronic Products in The State of Texas. *Computers and Industrial Engineering*, 62, 129-140.
- Ayvaz, B. ve Bolat, B. (2013). Kalite ve Miktar Belirsizlikleri Altında Geri Dönüşüm Ağ Tasarımı. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 23, 55-77.
- Barker, T.J. and Zabinsky, Z.B. (2010). A Multicriteria Decision Making Model for Reverse Logistics Using Analytical Hierarchy Process. *Omega*, 39(5), 558-573.
- Barros A.I., Dekker, R., Scholten, V.A. (1998). A Two Level Network for Recycling Sand: A Case Study. *European Journal of Operational Research*, 110, 199-214.
- Bendjoudi, Z., Taleb, F., Abdelmalek, F. and Addou, A. (2009). Healthcare Waste Management in Algeria and Mostaganem Department. *Waste Management*, 29(4), 1383–1387.
- Birpınar, M.E., Bilgili, M.S. and Erdogan, T. (2009). Medical Waste Management in Turkey: A Case Study of İstanbul. *Waste Management*, 29, 445-448.
- Blenkharn, I.J. (2006). Medical Wastes Management in the South of Brazil. *Waste Management*, 26, 315-317.
- Brito, M.P., Dekker, R. (2002). Reverse Logistics - A Framework. *Econometric Institute Report EI2002-38*, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands, 1-19.
- Brito, M.P., Flapper, S.D.P., Dekker, R. (2002). Reverse Logistics: A Review of Case Studies ERIM Report Series Research in Management, *Econometric Institute Report EI*.

- Budak, A. (2013). *Tersine Lojistik ve Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıkların İmhası İçin Ağ Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chaerul, M., Tanaka, M., Shekdar, A.V. (2007). A System Dynamics Approach for Hospital Waste Management. *Waste Management*, 28, 442-449.
- Chen, H., Chou, H. and Chiu, C. (2007). On The Modeling and Solution Algorithm for the Reverse Logistics Recycling Flow Equilibrium Problem. *Transportation research Part C: Emerging Technologies*, 15, 218-234.
- Cheng, Y.W., Sung, F.C., Yang, Y., Lo, Y.H., Chung, Y.T. and Li, K.C. (2009). Medical Waste Production at Hospitals and Associated Factors. *Waste Management*, 29, 440-444.
- Das, K. and Chowdhury, A.H. (2012). Designing A Reverse Logistics Network for Optimal Collection, Recovery and Quality-Based Product-Mix Planning. *International Journal of Production Economics*, 135(1), 209–221.
- Dat, L., Truc, L.D., Chou, S. and Yu, V. (2012). Optimizing Reverse Logistic Costs for Recycling End-Of-Life Electrical and Electronic Products. *Expert Systems with Applications*, 39(7), 6380-6387.
- Demirel, N., Demirel, E. ve Gökçen, H. (2016). A Mixed Integer Linear Programming Model to Optimize Reverse Logistics Activities of End of Life Vehicles in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 112(3), 2101-2113.
- Demirel, N., Gökçen, H., Akçayol, M.A. and Demirel, E. (2011). A Hybrid Genetic Algorithm for Multistage Integrated Logistics Network Optimisation Problem. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(4), 929-936.
- Demirel, N.Ö., Gökçen, H. (2008). A Mixed Integer Programming Model for Remanufacturing in Reverse Logistics Environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(11), 1197-1206.
- Demirel, N.Ö., Gökçen, H. (2008). Logistics Network Design for Recoverable Manufacturing Systems: Literature Survey. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23(4), 903-912.
- Dowlotshahi, S. (2005). A Strategic Framework for the Design and Implementation of Remanufacturing Operations in Reverse Logistics. *International Journal of Production Research*, 43, 3455-3480.
- Dursun, M., Karsak, E., Karadayi, A. (2009). A Fuzzy Multi-Criteria Group Decision Making Framework for Evaluation Health-Care Waste Disposal Alternatives. *Waste Management*, 29, 2874-2879.

- Duyguvar, A.S. (2010). *Tersine Lojistik Ağ Tasarımı ve Ağdaki Malzeme Akışının Web Tabanlı Yönetimi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Eker, H.H and Bilgili, M.S. (2011). Statistical Analysis of Waste Generation in Healthcare Services: A Case Study. *Waste Management & Research*, 29, 791–796.
- Eker, H.H and Bilgili, M.S., Sekman, E. and Top, S. (2010). Evaluation of the Regulation Changes in Medical Waste Management in Turkey. *Waste Management And Research*, 28, 1034-1038.
- El-Salam, A.M.M. (2010). Hospital Waste Management in El-Beheira Governorate, Egypt. *Journal of Environmental Management*, 91, 618–629.
- Emenike, A.I. (2010). *Effectiveness of Healthcare Waste Management Interventions in Developing Countries*. Master of Science Thesis, Master of Public Health the University of Texas School of Public Health, Houston.
- Ene, Ö. and Öztürk, N. (2012). Open Loop Reverse Supply Chain Network Design. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 109, 1110-1115.
- Fayez, A., Qdais, H.A. and Rabi, A. (2007). Site Investigation on Medical Waste Management Practices in Northern Jordan. *Waste Management*, 28, 450–458.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J., Dekker, R., Van der Laan, E., Van Nunen, J. and Van Wassenhove, L. (1997). Quantitative Models for Reverse Logistics: A Review. *European Journal of Operational Research*, 103, 1-17.
- Fleischmann, M. (2001). Reverse Logistics Network Structures and Design. *Erasmus Research Institute of Management Report Series*, ERS-2001-52-LIS.
- Galvez, D., Rakotondranaivo, A., Morel, L., Camargo, M. and Fick, M. (2015). Reverse Logistics Network Design for a Biogas Plant: An Approach Based on MILP Optimization and Analytical Hierarchical Process (AHP). *Journal of Manufacturing Systems*, 37(3), 616-623.
- Geng, Y., Ren, W., Xue, B., Fujita, T., Xi, F., Liu, Y. and Wang, M. (2013). Regional Medical Waste Management in China: A Case Study of Shenyang. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 15, 310-320.
- Goren, S., Demir, C.Y., and Yıldız, A. (2011). Medical Waste Management by Geographical Region in Turkey. *Journal of Residuals Science and Tecnology*, 8(3), 109-115.
- Govindan, K., Soleimani, H. and Kannan, D. (2014). Reverse Logistics And Closed-Loop Supply Chain: A Comprehensive Review to Explore the Future. *European Journal of Operational Research*, 240, 603-626.
- Gupta, S. and Boojh, R. (2006). Biomedical Waste Management Practices at Balrampur Hospital, Lucknow, India. *Waste Management & Research*, 24, 584–591.

- Gupta, S., Boojh, R., Mishra A., Chandra, H. (2009). Rules and Management of Biomedical Waste at Vivekananda Polyclinic: A Case Study. *Waste Management*, 29(2), 812–819.
- Güvez, H., Dege, M. and Eren, T. (2012). Kırıkkale’de Araç Rotalama Problemi ile Tıbbi Atıkların Toplanması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 4(1), 41-45.
- Hejrani, S. (2013). *A Reverse Logistics Model for Medical Waste Management*. Bachelor of Science A Thesis, Southern Illinois University, Edwardsville.
- Hsu, P.F., Wu, C.R. and Li, Y.T. (2008). Selection of Infectious Medical Waste Disposal Firms By Using the Analytic Hierarchy Process and Sensitivity Analysis. *Waste Management*, 28, 1386-94.
- İlgin, M.A. and Gupta, S.M. (2010). Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery (ECMPRO): A Review of the State of the Art. *Journal of Environmental Management*, 91(3), 563–591.
- İnternet: Url-1, Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (2005). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.csb.gov.tr%2Fdb%2Fcygm%2Feditordosya%2FTibbiAtiklar%25C3%2584%25C2%25B1nKontroluYonetmeli.pdf&date=2016-08-31>, Son Erişim Tarihi: 31.08.2016.
- İnternet: Url-2, T.C. Rize Sağlık Müdürlüğü. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.rsm.gov.tr%2Findex.html&date=2016-08-31>, Son Erişim Tarihi: 31.08.2016.
- İnternet: Url-3, TKHK, İstatistik, Analiz ve Raporlama Daire Başkanlığı. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tkhk.gov.tr%2FDosyalar%2Ff83fa0d6a21d4083a386b56fab3ba176.pdf&date=2016-08-31>, Son Erişim Tarihi: 31.08.2016.
- İnternet: Url-4, İzmir Büyükşehir Belediyesi, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.rec.org.tr%2Fdyn_files%2F42%2F6333-8-Izmirde-Kati-Atik-Yonetimi.pdf&date=2016-08-31, Son Erişim Tarihi: 31.08.2016.
- İnternet: Url-5, Gebze Plastikçiler Organize Sanayi Bölgesi, Tıbbi Atık Yönetim. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fgeposb.com.tr%2Ftr%2Fhizli-menu%2Ftibbi-atik-yonetimi%2F100011&date=2016-08-31>, Son Erişim Tarihi: 31.08.2016.
- İnternet: Url-6, Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.cyg.gov.tr%2Fcygm%2Ffiles%2Feylemplan%2Fatikeylemplan.pdf&date=2016-08-31>, Son Erişim Tarihi: 31.08.2016.

İnternet: Url-7, Gaziantep Atık Arıtma, Yakma ve Değerlendirme Tesisi Fizibilite Projesi, 2012, Ön Fizibilite Raporu, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ika.org.tr%2Fupload%2Fyazilar%2F2011-DFD-Raporlari-188737.pdf&date=2016-08-31>, Son Erişim Tarihi: 31.08.2016.

İnternet: Url-8, Çevre Mühendisleri Odası İzmir Şubesi İzmir Çevre Durum Raporu. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.cmo.org.tr%2Fresimler%2Fekler%2F8329cca204b3ae9_ek.pdf%3Ftipi%3D67%26turu%3DH%26sube%3D3&date=2016-08-31, Son Erişim Tarihi: 31.08.2016.

İnternet: Url-9, Tekirdağ Valiliği Çevre ve Orman Müdürlüğü, Atık Yönetimi ile İlgili Genel Bilgiler. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.csb.gov.tr%2Fdosyalar%2Fimages%2Ffile%2Fatikyonetimi.pdf&date=2016-08-31>, Son Erişim Tarihi: 31.08.2016.

İnternet: Url-10, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Atıklar. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.csb.gov.tr%2Fdb%2Fbolu%2Feditordosya%2FATIKLAR%282%29.pdf&date=2016-08-31>, Son Erişim Tarihi: 31.08.2016.

Jahandideh, S., Jahandideh, S., Asadabadi, B., Askarian, M., Movahedi, M., Hosseini, S and Jhandideh, M. (2009). The Use of Artificial Neural Networks and Multiple Linear Regression to Predict Rate of Medical Waste Generation. *Waste Management*, 29, 2874-2879.

Jang, C.Y., Lee, C., Yoon, S.O., Kim, H. (2005). Medical Waste Management in Korea. *Journal of Environmental Management*, 80(2), 107–115.

Jayaraman, V. and Srivastava, R. (1999). A Closed Loop Logistics Model for Remanufacturing. *Journal of the Operational Research Society*, 50, 497-508.

Jayaraman, V., Patterson, R. and Rolland, E. (2003). The Design of Reverse Distribution Networks: Models and Solution Procedures. *European Journal of Operational Research*, 150, 128-149.

Kim, J. and Lee., D. (2013). A Restricted Dynamic Model for Refuse Collection Network Design in Reverse Logistics. *Computers and Industrial Engineering*, 66(4), 1131-1137.

Kim, K., Song, I., Kim, J. and Jeong, B. (2006). Supply Planning Model for Remanufacturing System in Reverse Logistics Environment. *Computers and Industrial Engineering*, 51, 279-287.

Kroon, L. and Vrijens, G. (1995). Returnable Containers: An Example of Reverse Logistics. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 25(2), 56-68.

- Küçük, A. (2013). Tıbbi Atık Yönetiminin Ekonomisi. *Sayıştay Dergisi*, 90/Temmuz-Eylül, 73-95.
- Lee, D. and Dong, M. (2008). A Heuristic Approach to Logistics Network Design for End-Of-Lease Computers Products Recovery. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44, 455-474.
- Li, T. and Tee, T. (2012). A Reverse Logistics Model for Recovery Options of E-Waste Considering The Integration of the Formal and Informal Waste Sectors. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 40, 788-816.
- Lieckens, K. and Vandaele, N. (2007). Reverse Logistics Network Design With Stochastic Lead Times. *Computers and Operations Research*, 34, 395-416.
- Listeş, L. and Dekker, R. (2005). A Stochastic Approach to a Case Study for Product Recovery Network Design. *European Journal of Operational Research*, 160, 268-287.
- Liu, H., Wu, J. and Li, P. (2013). Assessment of Health-Care Waste Disposal Methods Using VIKOR-Based Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Method. *Waste Management and Research*, 33, 2744-2751.
- Longe, E.O. (2012). Healthcare Waste Management Status in Lagos State, Nigeria: A Case Study from Selected Healthcare Facilities in Ikorodu And Lagos Metropolis. *Waste Management & Research*, 30(6), 562-571.
- Louwers, D., Kip, B.J., Peters, E., Souren, F., Flapper, S.D.P. (1999). A Facility Location Allocation Model for Reusing Carpet Material. *Computers and Industrial Engineering*, 36(4), 855-869.
- Lu, Z. and 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.
- Mato, R.R.A.M and Kassenga, G.R. (1997). A Study on Problems of Management of Medicalsolid Wastes in Dar es Salaam and Their Remedial Measures. *Resources, Conservation and Recycling*, 21, 1-16.
- Min, H., Ko, H. and Ko, C. (2006). A Genetic Algorithm Approach to Developing the Multi-Echelon Reverse Logistics Network for Product Returns. *Omega*, 34, 56-59.
- Miyazaki, M. and Une, H. (2005). Infectious Waste Management in Japan: A Revised Regulation and a Management Process in Medical Institutions. *Waste Management*, 25, 616-621.
- Mohamed, L.F., Ebrahim, S.A. and Al-Thukair, A.A. (2009). Hazardous Healthcare Waste Management in the Kingdom of Bahrain. *Waste Management and Research*, 29, 2404-2409.

- Mohee, R. (2004). Medical Wastes Characterisation in Healthcare Institutions in Mauritius. *Waste Management*, 25, 575-581.
- Nema, A.K., Gupta, S.K. (2003). Multiobjective Risk Analysis and Optimiztion of Regional Hazardous Waste Management System. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste Management*, 7(2), 69-77.
- Oweis, R., Al-Widyan, M. and Al-Limoon, O. (2005). Medical Waste Management in Jordan: A Study at Theking Hussein Medical Center. *Waste Management*, 25, 622-625.
- Ozder, A., Teker, B., Eker, H.H., Altindis, S., Kocaakman, M. and Karabay, O. (2013). Medical Waste Management Training for Healthcare Managers a Neccessity?. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 11(1), 1.
- Özerol, İ. (2005). Tıbbi Atık Stratejileri Nelerdir? EN/ISO Normları Nelerdir? Avrupada Birlik? ABD'nin Yaklaşımı? Ülkemizde Durum?. 4. *Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi*, Samsun, 437-472.
- Özkan, A. (2013). Evaluation of Healthcare Waste Treatment / Disposal Alternatives by Using Multi-Criteria Decision-Making Techniques. *Waste Management & Research*, 31, 141-149.
- Pati, R., Vrat, P. and Kumar, P. (2008). A Goal Programming Model for Paper Recycling System. *Omega*, 36, 405-417.
- Rogers, D.S. and Tibben-Limbke, R.S. (1999). Reverse Logistics Strategies At Techniques. *Logistique & Management*, 7(2), 15-25.
- Ruoyan, G., Lingzhong, X., Huijuan, L., Chengchao, Z., Jiangjiang, H., Yoshihisa, S., Wei, T. and Chushi, K. (2010). Investigation of Helath Care Waste Management in Binzhou District, China. *Waste Management and Research*, 30, 246-250.
- Sabour, R.M., Mohamedifard, A. and Kamalan, H. (2007). A Mathematical Model to Predict the Composition and Generation of Hospital Wastes in Iran. *Waste Management*, 27, 584-587.
- Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P. and Novais, A.Q. (2007). An Optimization Model for the Design of a Capacitated Multi-Product Reverse Logistics Network with Uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 179, 1063-1077.
- Sartaj, M. and Aragbol, R. (2014). Quantitative Assessment and Statistical Analysis of Medical Waste Generetaion in Developing Countries: A Case Study in Isfahan (Iran). *Transactions of Civil Engineering*, 38(2), 409-420.
- Schultmann, F., Engels, B., Rentz, O. (2003). Closed Loop Supply Chains for Spent Batteries. *Interfaces*, 33(6), 57-71.
- Sheu, B. (2007). An Emergency Logistics Distribution Approach for Quick Response to Urgent Relief Demand in Disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and*

- Transportation Review, Challenges of Emergency Logistics Management*, 43, 687-709.
- Shi, J., Zhang, G. and Sha, J. (2011). Optimal Production Planning for A Multi-Product Closed Loop System With Uncertain Demand and Return. *Computers and Operations Research*, 38, 641-650.
- Shi, L. (2009). A Mixed Integer Linear Programming for Medical Waste Reverse Logistics Network Design. *International Conference on Management Science and Engineering-16th Annual Conference Proceedings*, 1971-1975.
- Shi, L., Fan, H., Gao, P. and Zhang, H. (2009). Network Model and Optimization of Medical Waste Reverse Logistics by Improved Genetic Algorithm. *Advances in Computation and Intelligence*, 5821, 40-52.
- Shih, L. and Chang, H. (2001). A Routing and Scheduling System for Infectious Waste Collection. *Environmental Modeling and Assessment*, 16, 261–269.
- Shinee, E., Gombojav, E., Nishimura, A., Hamajima, N. and Ito, K. (2008). Healthcare Waste Management in the Capital City of Mongolia. *Waste Management*, 28, 435-441.
- Silva, C.E., Hoppe, A.E., Ravanello, M.M., Mello, N. (2004). Medical Wastes Management in the South of Brazil. *Waste Management*, 25, 600-605.
- Soysal, A., Simsek, H., Soysal, D. and Alyu, F. (2010). Management of Health-Care Waste in Izmir, Turkey. *Ann Ist Super Sanita*, 46(3), 299-302.
- Spengler, T., Püchert, H., Penkuhn, T. and Rentz, O. (1997). Environmental Integrated Production and Recycling Management. *European Journal of Operational Research*, 97, 308-326.
- Srivastava, S.K. (2008). Network Design for Reverse Logistics. *Omega*, 36, 535-548.
- Stock, J.R. (1992). Reverse Logistics. *Council of Logistics Management*, Oak Brook, IL.
- Taghipour, H. and Mosaferi, M. (2009). Characterization of Medical Waste from Hospitals in Tabriz, Iran. *Science of the Total Environment*, 407, 1527-1535.
- Thierry, M.C. (1997). *An Analysis of the Impact of Product Recovery Management on Manufacturing Companies*. Doktora Tezi, Erasmus University, Rotterdam.
- Tian, Z.Y., Jin, C.H. and Ge, X.Q. (2009). Designing Reverse Logistics Network for End-Of-Life Vehicles Under Capacity Constraints. *Industrial Engineering and Engineering Management, 16th International Conference on IEEE*, 1488-1491.
- TMMOB Çevre Mühendisleri Odası İzmir Şubesi. (2015). *İzmir İli 2015 Yılı Çevre Durum Raporu*.

- Turkey Ministry of Environment and Forestry. (2005). *Turkish Medical Waste Control Regulation*. Official Gazette No: 25883. Ankara.
- Tutar, D.Y. (2004). *Tıbbi Atık Yönetimi İçin Yeni Bir Yaklaşım ve Ankara Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Uysal, F., Tınmaz, E. (2004). Medical Waste Management in Trachea Region of Turkey: Suggested Remedial Action. *Waste Management and Research*, 22, 403-407.
- Üçüncü, O. and Yazıcı, E. (2009). Hospital Waste Management in Trabzon, *Sigma*, 27, 49-59.
- Yang, C., Peijun, L., Lupi, C., Yangzhao, S., Diandou, X., Qian, F., Shasha, F. (2009). Sustainable Management Measures for Healthcare Waste in China. *Waste Management*, 29, 1996-2004.
- Yardım, N., Dirimeşe, V., Varol, Ö. ve Mollahaliloğlu, S. (2006). Büyükşehir Belediyeleri Tarafından Toplanan Tıbbi Atık Miktarları: 2004-2005 İlk Altı Ay verileri ve 81 İlin Tıbbi Atık Toplama, Biriktirme ve İmha Yöntemleri. *DEÜ Tıp Fakültesi Dergisi*, 20(3), 165-173.
- Zhao, J., Zhao, J. (2010). Model and Algorithm for Hazardous Waste Location - Routing Problem. *ICLEM 2010: Logistics for Sustained Economic Development*, 2843-2849.

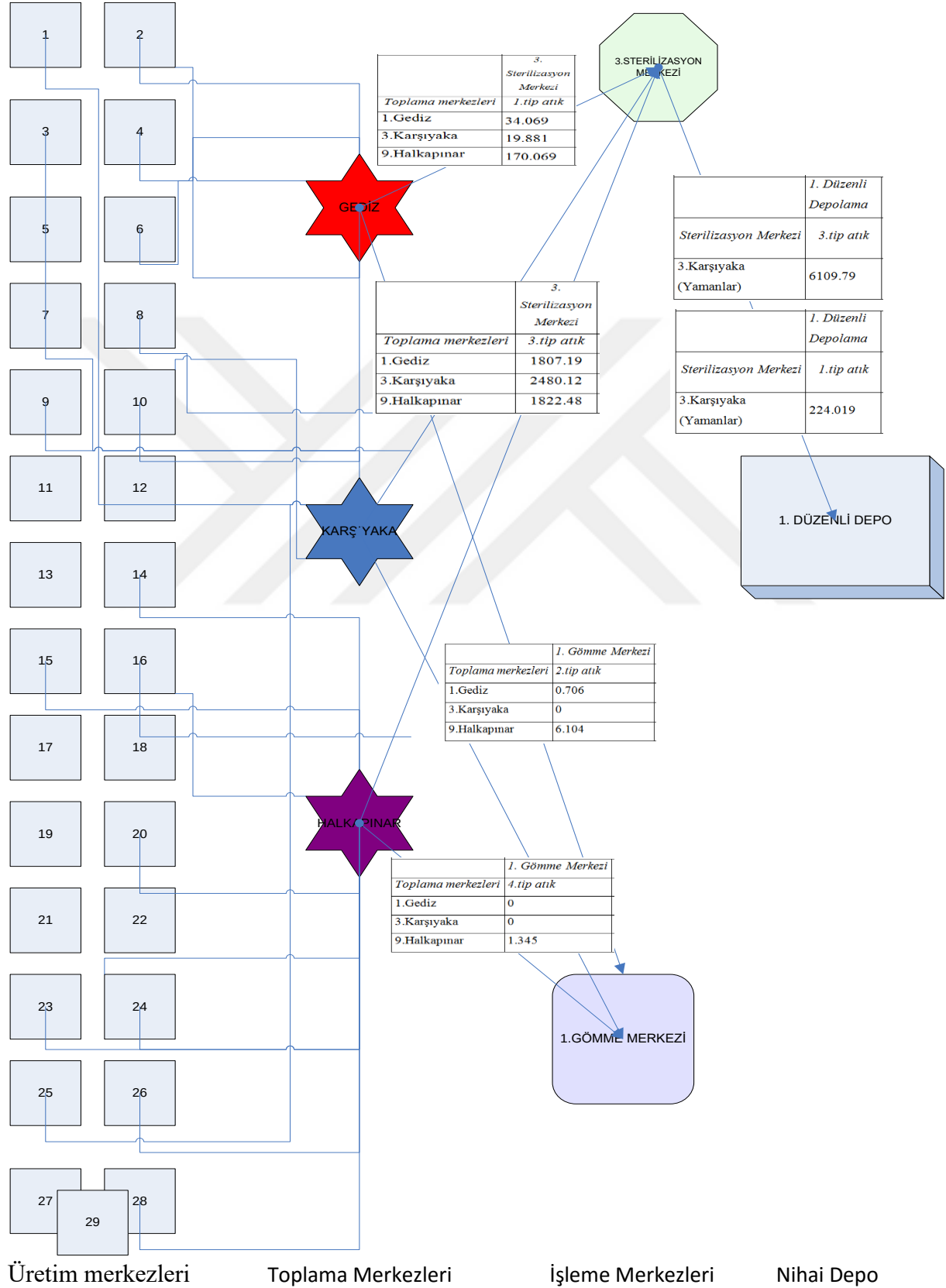




EKLER

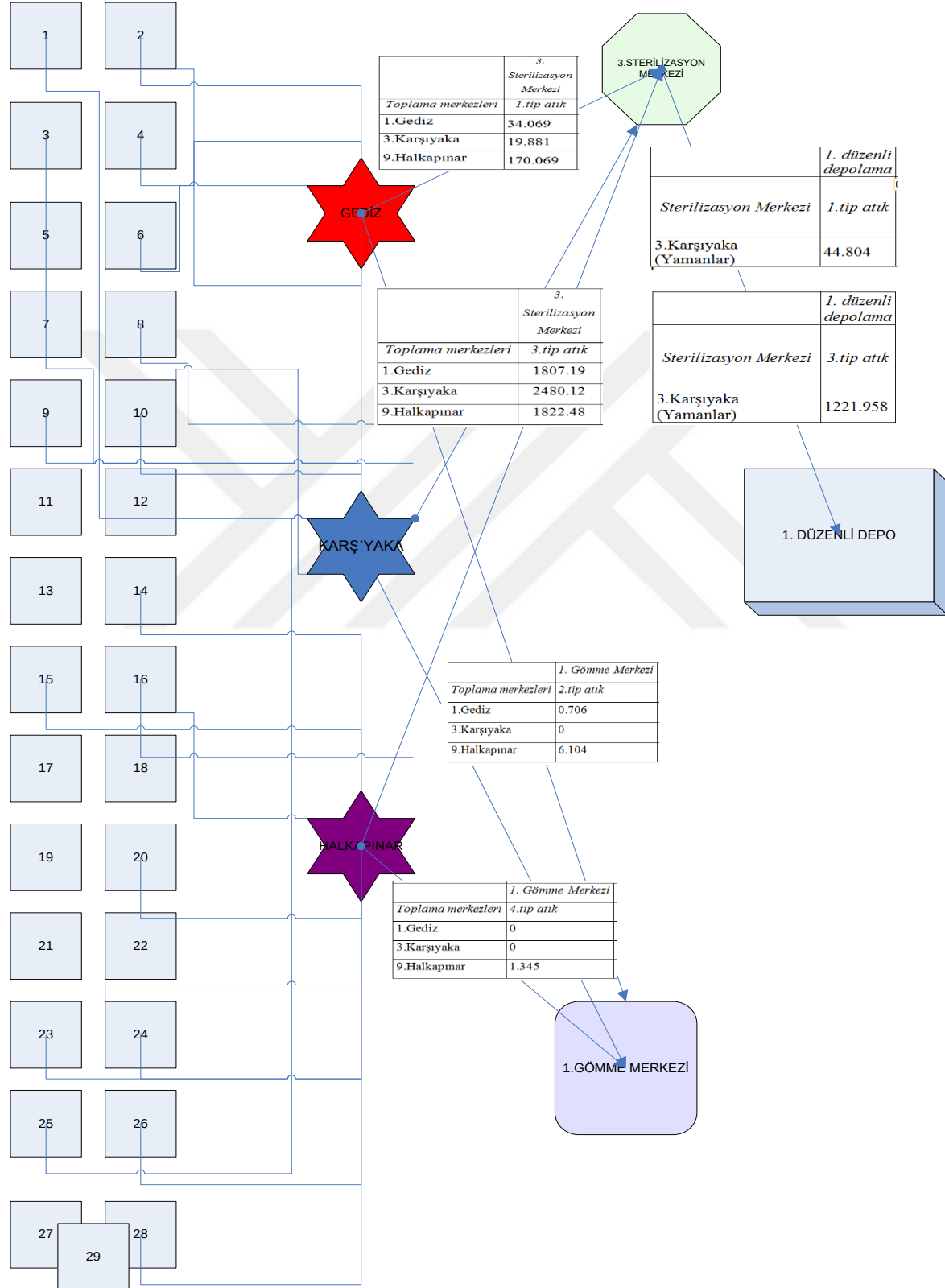
EK-1. Model 1, Model 2, Model 3 çözüm sonucu diyagramları

Model 1 çözüm sonucu diyagramı;



EK-1. (devam) Model 1, Model 2, Model 3 çözüm sonucu diyagramları

Model 2 çözüm sonucu diyagramı;



Üretim merkezleri

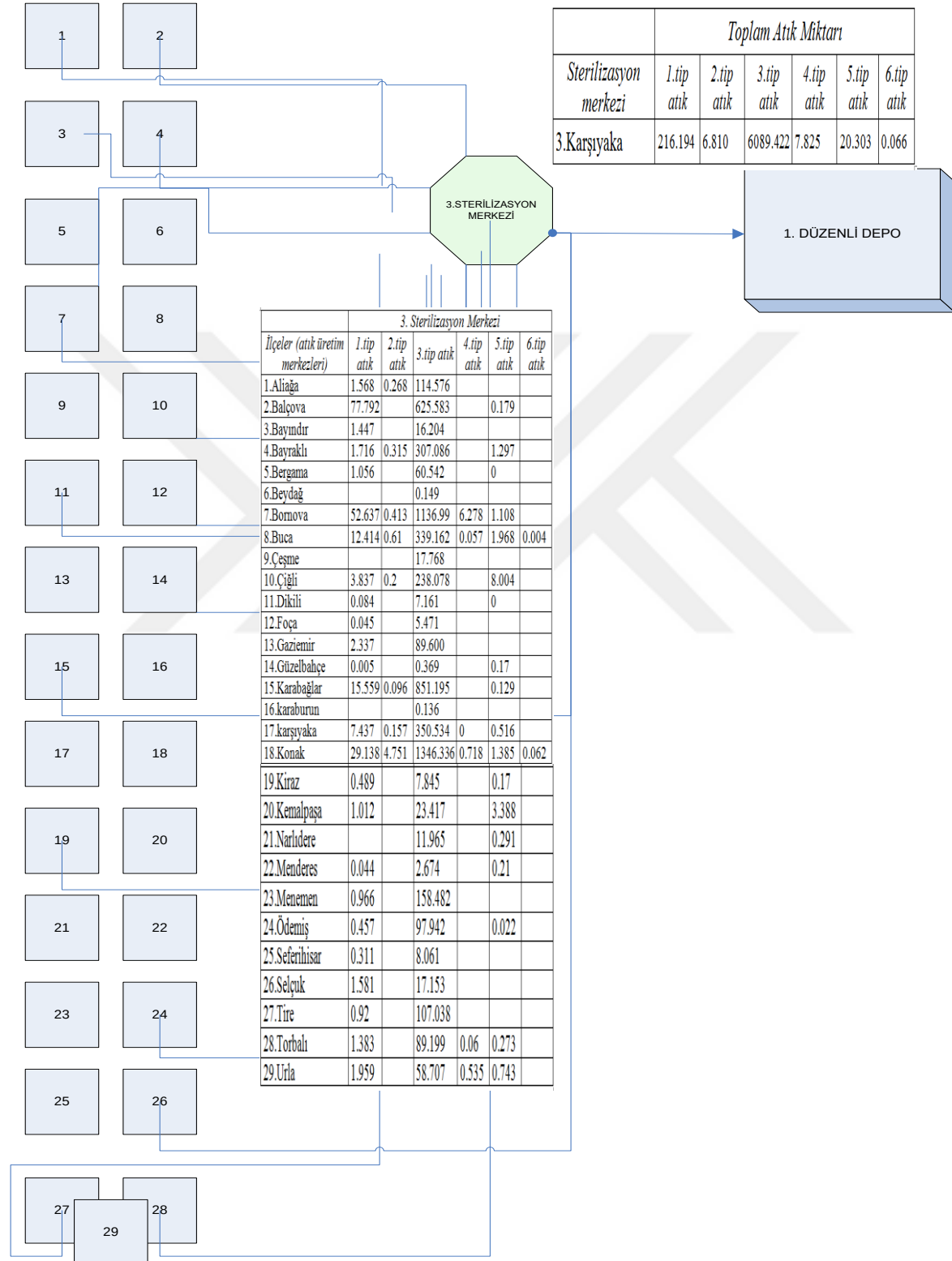
Toplama Merkezleri

İşleme Merkezleri

Nihai Depo

EK-1. (devam) Model 1, Model 2, Model 3 çözüm sonucu diyagramları

Model 3 çözüm sonucu diyagramı;



Üretim merkezleri

işleme merkezi

Nihai Depo

EK-2. Sağlık kurumlarından kaynaklanan atıkların sınıflandırılması

EK-2						
SAĞLIK KURULUŞLARINDAN KAYNAKLANAN ATIKLARIN SINIFLANDIRILMASI						
EVSEL NİTELİKLİ ATIKLAR (20 03* ve 15 01*)		TIBBİ ATIKLAR (18 01* ve 18 02*)			TEHLİKELİ ATIKLAR	RADYOAKTİF ATIKLAR
A: Genel Atıklar 20 03 01*	B: Ambalaj Atıkları 15 01 01*, 15 01 02*, 15 01 04*, 15 01 05*, 15 01 06*, 15 01 07*,	C: Enfeksiyöz Atıklar 18 01 03* ve 18 02 02*	D: Patolojik Atıklar 18 01 02*	E: Kesici Delici Atıklar 18 01 01* ve 18 02 01*	F: Tehlikeli Atıklar 18 01 06*, 18 01 08*, 18 01 10*, 18 02 05*, 18 02 07*	G: Radyoaktif Atıklar
Sağlıklı insanların bulunduğu kısımlar, hasta olmayanların muayene edildiği bölümler, ilk yardım alanları, idari birimler, temizlik hizmetleri, mutfaklar, 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 taşınması ve imhası özel uygulama gerektiren atıklar: Başlıca kaynakları; I. Mikrobiyolojik laboratuvar atıkları - Kültür ve stoklar - Enfeksiyöz vücut sıvıları - Serolojik atıklar - Diğer kontamine laboratuvar atıkları (lam-lamel, pipet, petri v.b) II. Kan kan ürünleri ve bunlarla kontamine olmuş nesneler III. Kullanılmış ameliyat giysileri (kumaş, önlük 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, kanı ve bunlarla temas eden tüm nesneler	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, plasenta, 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 dolayısı ile özel işleme tabi olacak atıklar - Tehlikeli kimyasallar - Sitotoksik ve sitostatik ilaçlar - Amalgam atıkları - Genotoksik ve sitotoksik atıklar - Farmasötik atıklar - Ağır metal içeren atıklar - Basınçlı kaplar	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu mevzuatı hükümlerine göre toplanıp uzaklaştırılır.

*Avrupa Birliği Avrupa Atık Katalogu Kod Numaraları

Şekil 2.1. Tıbbi atık kontrolü yönetmeliğine göre sağlık kurumlarından kaynaklanan atıkların sınıflandırılması

EK-3. Tıbbi atık kontrolü yönetmeliğine göre faaliyetleri sonucu atık oluşumuna neden olan sağlık kuruluşları

Faaliyetleri Sonucu Atık Oluşumuna Neden olan Sağlık Kuruluşları

Tıbbi atık kontrolü yönetmeliğine göre faaliyetleri sonucu atık oluşumuna neden sağlık kuruluşları büyük, orta,küçük miktarlarda atık üreten sağlık kuruluşları olarak 3 ayrılmaktadır. Bu kuruluşlar;

a) Büyük Miktarda Atık Üreten Sağlık Kuruluşları

- 1) Üniversite hastaneleri ve klinikleri,
- 2) Genel maksatlı hastaneler ve klinikleri,
- 3) Doğum hastaneleri ve klinikleri,
- 4) Askeri hastaneler ve klinikleri.

b) Orta Miktarda Atık Üreten Sağlık Kuruluşları

- 1) Sağlık merkezleri, tıp merkezleri, dispanserler,
- 2) Ayakta tedavi merkezleri,
- 3) Morglar ve otopsi merkezleri,
- 4) Hayvanlar üzerinde araştırma ve deneyler yapan kuruluşlar,
- 5) Bakımevleri ve huzurevleri,
- 6) Tıbbi ve biyomedikal laboratuvarlar,
- 7) Hayvan hastaneleri,
- 8) Kan bankaları ve transfüzyon merkezleri,
- 9) Acil yardım ve ilk yardım merkezleri,
- 10) Diyaliz merkezleri,
- 11) Rehabilitasyon merkezleri,
- 12) Biyoteknoloji laboratuvarları ve enstitüleri,
- 13) Tıbbi araştırma merkezleri.

c) Küçük Miktarda Atık Üreten Sağlık Kuruluşları

- 1) Sağlık hizmeti verilen diğer üniteler (doktor muayenehaneleri, diş ve ağız sağlığı muayenehaneleri ve benzerleri),
- 2) Veteriner muayenehaneleri,
- 3) Akapunktur merkezleri,
- 4) Fizik tedavi merkezleri,
- 5) Evde yapılan tedavi ve hemşire hizmetleri,
- 6) Güzellik, kulak delme ve dövme merkezleri,
- 7) Eczaneler,
- 8) Ambulans hizmetleri
- 9)Hayvanat bahçeleri.

EK-4. Uzaklık matrisleri

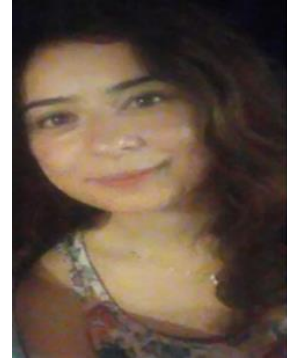
Çizelge 4.1. Uzaklık matrisleri (km)

Tıbbi üretim merkezleri	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	76.90	91.00	48.40	15.50	119.00	110.40	132.00	93.90	62.70	57.50
2	15.20	23.90	24.70	57.30	52.00	22.90	84.20	54.80	14.20	30.10
3	64.20	58.10	76.90	111.00	75.20	97.80	55.40	38.20	68.00	77.90
4	16.60	29.40	10.60	43.20	57.50	39.20	79.80	41.60	5.20	11.90
5	124.00	138.00	95.60	62.70	166.00	137.00	179.00	116.00	110.00	105.00
6	129.00	123.00	141.00	176.00	134.00	163.30	91.80	97.80	132.00	141.00
7	18.90	31.70	12.10	46.30	59.80	53.90	75.60	57.10	6.50	11.70
8	6.70	20.80	19.80	52.40	48.90	35.90	71.50	63.20	6.20	23.50
9	92.30	102.00	122.00	156.00	110.00	66.90	156.00	37.60	92.40	108.00
10	26.20	39.00	7.80	26.70	67.10	69.80	91.50	53.80	16.10	16.90
11	127.00	141.00	98.50	65.60	169.00	169.00	182.00	56.80	113.00	108.00
12	77.60	91.70	49.10	23.70	120.00	115.80	133.00	144.00	63.40	58.20
13	4.30	11.30	26.90	58.90	39.40	36.60	67.20	56.40	15.70	31.80
14	27.70	40.50	6.10	37.60	68.60	70.50	90.90	55.30	15.00	7.40
15	7.00	19.60	21.10	53.70	48.90	29.00	81.20	51.20	8.90	24.80
16	77.90	92.00	49.50	16.20	120.00	111.20	133.00	94.90	63.70	58.60
17	20.20	33.00	4.50	38.90	61.10	42.80	85.70	47.60	9.60	8.90
18	11.60	24.30	13.70	46.40	52.50	33.50	82.20	43.90	3.80	18.30
19	24.70	37.50	7.30	41.50	65.60	65.90	88.30	50.20	12.00	5.10
20	35.20	48.60	29.70	63.90	76.70	58.40	69.50	13.90	23.00	29.30
21	20.00	29.70	27.10	59.70	57.80	20.20	90.30	57.20	16.60	32.50
22	28.70	17.80	55.20	83.30	36.00	60.60	46.40	66.10	40.10	54.70
23	48.90	61.70	21.30	14.70	95.20	86.30	108.00	70.00	32.60	33.20
24	104.00	98.10	117.00	151.00	115.00	138.00	75.90	71.30	108.00	117.00
25	55.10	48.60	65.10	119.00	27.20	24.10	72.90	108.00	55.20	70.60
26	34.90	47.70	16.50	24.10	75.80	76.60	100.00	62.00	24.80	25.60
27	36.40	49.20	9.50	26.70	82.70	74.00	95.70	59.90	20.70	21.10
28	39.00	30.70	51.70	89.00	51.50	74.50	36.30	43.10	45.90	55.80
29	54.00	60.50	60.80	93.50	53.10	11.20	98.70	104.00	51.00	64.30

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :KESİCİ, Senem
Uyruğu : T.C.
Medeni hali : Bekâr
Telefon : 0 (532) 159 28 83
Faks : 0 (312) 232 13 96
e-mail : kesicisenem@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-2016	İzmir Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce



GAZİ GELECEKTİR..