

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKILLI KENTLERDE KATI ATIK YÖNETİMİNİN YAŞAM
DÖNGÜSÜ ANALİZİ DESTEKLİ ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ
İLE SEÇİMİ: ÜMRANIYE ÖRNEĞİ**

SERPİL ÖZTAŞ
DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2023

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI KENTLERDE KATI ATIK
YÖNETİMİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ
ANALİZİ DESTEKLİ ANALİTİK
HİYERARŞİ PROSESİ İLE SEÇİMİ:
ÜMRANIYE ÖRNEĞİ

SERPİL ÖZTAŞ
DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. NİHAL BEKTAŞ

GEBZE
2023

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**SELECTION OF SOLID WASTE
MANAGEMENT IN SMART CITIES USING
ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS
SUPPORTED BY LIFE-CYCLE ANALYSIS:
THE CASE OF ÜMRANIYE**

SERPİL ÖZTAŞ

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF PHILOSOPHY
DEPARTMENT OF ENVIROMENTAL ENGINEERING**

**THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. NİHAL BEKTAŞ**

GEBZE

2023



DOKTORA JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 10/11/2022 tarih ve 2022/58 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09/12/2022 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Serpil Öztaş'ın tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : PROF.DR. NİHAL BEKTAŞ

ÜYE

: PROF.DR. NEVİM GENÇ

ÜYE

: PROF.DR. M.SALİM ÖNCEL

ÜYE

: DOÇ.DR. ALİYE SUNA ERSES YAY

ÜYE

: DOÇ.DR. MURAT EYVAZ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT

Gebze Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Tüm Dünya’da özellikle büyükşehirlerin en önemli problemleri arasında yer alan katı atıkların toplanması ve bertaraf edilmesi çevresel olduğu kadar ekonomik ve aynı zamanda sosyal sorun halini almıştır. Dolayısı ile bu problemin çözümüne yine aynı olgular üzerinden ele alarak yaklaşmak günümüzde sıkça kullandığımız sürdürülebilirlik yaklaşımına yaklaştırmaktadır. Uygulamalarda yazılım programlarının kullanımı ile teknolojik bir destek sunmak ise yine günümüz Dünyası’nda yaygın olan Akıllı Şehir konseptini desteklemektedir.

Bu çalışma İstanbul ili, Ümraniye ilçesinin sürdürülebilir akıllı şehirler kapsamında kentsel katı atıkların yönetimine karar verilmesine yönelik bir çalışmadır. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle atık kompozisyonu bilinen ilçenin yaşam döngüsü analizi (YDA) ile çevresel etkileri SimaPro 9.0 yazılım programı ile analiz edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise çok kriterli karar verme sistemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Ms. Office Excel sayfası üzerinde matris hesaplamaları yapılarak kullanılmıştır. AHP kullanımda 5 adet kriter belirlenmiştir. Bu kriterler sürdürülebilirliğin 3 sac ayağı olan; çevresel, ekonomik, sosyal kriterler ve aynı zamanda teknolojik ve yasal kriterler olarak belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin; gerek akademide, gerek devlet kurumlarında, gerekse özel sektörde kentsel katı atık alanında uzman kişiler tarafından, tarafımızca hazırlanmış alternatif atık yönetim senaryoları dikkate alınarak değerlendirilmesi istenmiştir. Bu aşamada çevresel kriterler YDA analizi desteği ile belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda uzman görüşleri neticesi, YDA analiz sonucuna yakın bir değer olsa da direkt aynı sonuç çıkmadığı tespit edilmiştir. Bu sonuç ile sadece nicel olarak çevresel değerlendirmenin Kentsel Katı Atık Yönetimine (KKAY) karar vermede yeterli olmadığı, bahsi geçen diğer kriterlerin de ayrı ayrı değerlendirmenin ne derece önem teşkil ettiğini görmekteyiz.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Akıllı Şehirler, Kentsel Katı Atık Yönetimi (KKAY), Yaşam Döngü Analizi (YDA), Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP).

SUMMARY

The collection and disposal of solid waste, which is one of the most important problems of metropolitan cities all over the world, has become an environmental as well as an economic and social problem. Therefore, approaching the solution of this problem by considering the same facts brings us closer to the sustainability approach that we use frequently today. Providing technological support with the use of software programs in applications also supports the concept of Smart City, which is common in today's world.

This study is for deciding on urban solid wastes within the scope of sustainable smart cities in the Ümraniye district of Istanbul province. The study consists of two stages. First, the life cycle analysis and environmental effects of the district, in which waste composition is known, were analyzed with SimaPro 9.0 software program. In the second stage of the study, the Analytical Hierarchy Process (AHP), one of the multi-criteria decision making systems, was used by making matrix calculations on the Ms. Office Excel sheet. Five criteria have been determined in the use of AHP. These criteria are the three pillars of sustainability: environmental, economic and social criteria as well as technological and legal. Determined criteria; It has been requested to be evaluated by experts in the field of urban solid waste, both in academia, government institutions and the private sector, considering alternative waste management scenarios prepared by us. At this stage, environmental criteria were determined with the support of LCA analysis. At the end of the study, it was determined that although the result of expert opinions was close to the result of the LCA analysis, it was not directly the same result. With this result, we see that only quantitative environmental evaluation is insufficient to decide on Municipal Solid Waste Management (MSWM), and how important it is to evaluate the other criteria separately.

Key Words: Sustainable Smart Cities, Solid Waste Management (SWM), Life Cycle Analysis (LCA), Analytical Hierarchy Process (AHP).

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimim boyunca ve özellikle tez çalışmalarım süresince, bilgi ve deneyimleri ile bana her zaman yol gösteren ve beni cesaretlendiren her daim yaşamımda yeri ayrı olacak saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Nihal BEKTAŞ'a, tez izleme komitemde yer alarak her daim yönlendirici katkılar sunan kıymetli hocam Prof. Dr. M. Salim ÖNCEL'e ve her raporumu dikkatle dinleyerek çalışmama önemli katkılar sunan değerli hocam Prof. Dr. Nevim GENÇ'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yaşam Döngüsü Analizi çalışmasında sunduğu katkılardan dolayı kıymetli hocam Doç. Dr. Aliye Suna ERSES YAY'a, tez çalışması kapsamında değerlendirdiğimiz Ümraniye Belediyesi'ne ilişkin verileri paylaşan Ümraniye Belediyesi Çevre Koruma Dairesi çalışanlarına, SimaPro yazılımı konusunda desteklerini esirgemeyen sayın Dr. Hüdayi KARA'ya ve AHP çalışmasında görüşlerini aldığımız her biri alanında uzman Çevre Mühendisi arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasına GTÜ-BAP2019-A-102-20 Kodlu proje ile maddi destek sunarak çalışmanın başarı ile tamamlanmasını sağlayan Gebze Teknik Üniversitesi BAP birimine, doktora öğrenimim süresince 'Sürdürülebilir Akıllı Şehirler' alanında YÖK 100/2000 bursunu sağlayan YÖK kurumuna, tez çalışma alanımızı destekleyerek finansal teşvik ödülü sunan Marmara Belediyeler Birliği kurumuna teşekkürlerimi bir borç billirim.

Doktora öğrenimi süresince beni her zaman yüreklendirdiği için kıymetli dostum Nilay ÖCAN'a,

Yaşamımın her aşamasında arkamda duran ve beni maddi manevi destekleyen çok kıymetli annem Fatma KARAKOÇ ve babam Ziyattin KARAKOÇ'a, her daim arkamda güçlerini hissettiğim ablam Sema ARİÇ ve abilerim Tayfun, Tamer ve Serhat KARAKOÇ'a, eşim Kerem ÖZTAŞ'a özellikle bu süreçte bana sabırla destekte bulunduğu için yürekten teşekkür ederim.

Son olarak, çalışmamı ithaf ettiğim, yaşamımın en güzel rengi biricik kızım Aişe İpek'e sonsuz teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, İçeriği ve Katkısı	3
2. AKILLI KENT YAKLAŞIMI	6
2.1. Sürdürülebilir Akıllı Kentler	6
2.1.1. Akıllı Kent Nedir?	6
2.2. Akıllı Kentlerde Çevresel Sürdürülebilirlik	9
2.2.1. Atık Yönetim Probleminde Akıllı Kent Çözümleri	12
2.3. Dünyada ve Türkiye’de Çevresel Sürdürülebilir Akıllı Kent Uygulamaları	13
3. KENTSEL KATI ATIKLARIN YÖNETİMİ	16
3.1. Kentsel Katı Atıkların Sınıflandırılması ve Temel Bileşenleri	16
3.1.1. Kentsel Katı Atıkların Sınıflandırılması	17
3.1.2. Kentsel Katı Atıkların Yönetiminin Temel Bileşenleri	20
3.2. Kentsel Katı Atıkların Değerlendirme Yöntemleri	22
3.2.1. Kaynakta Azaltım	23
3.2.2. Geri Kazanım	24
3.2.3. Termal Bertaraf Yöntemleri	26
3.2.3.1. Yakma	26
3.2.3.2. Piroliz	30
3.2.3.3. Gazifikasyon	31
3.2.4. Kompostlaştırma	32
3.2.5. Düzenli Depolama	37

3.3. Kentsel Katı Atıkların Yönetim Yapısı ve Süreçleri	39
3.3.1. Sürdürülebilirlik Açısıyla Katı Atık Yönetimi	39
3.3.2. KKAY’de Ekonomik Araçlar	40
3.3.3. Türkiye’de KKAY İçinde Yer Alan Aktörler ve Roller	41
3.3.3.1. Bakanlık ve Belediyeler	41
3.3.3.2. Atık Üreticisi	43
3.3.3.3. Geri Kazanım Sektörü	43
3.3.3.4. Sivil Toplum Kuruluşları (STK) ve Vakıflar	44
3.3.4. KKAY Yönelik Ulusal ve Uluslararası Yasal Düzenlemeler	44
3.3.5. Dünya’da ve Türkiye’de KAY’ne Yönelik Örnek Çalışmalar	48
4. YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ	49
4.1. Yaşam Döngüsü Analiz-Metodolojisi ve Gelişimi	51
4.2. Yaşam Döngüsü Analiz Aşamaları	54
4.2.1. Amaç ve Kapsam	56
4.2.1.1. Amaç	56
4.2.1.2. Kapsam	56
4.2.2. Envanter Analizi	58
4.2.3. Etki Analizi	59
4.2.3.1. Sınıflandırma	60
4.2.3.2. Etki kategorileri	61
4.2.3.3. Karakterizasyon	63
4.2.3.4. Normalizasyon	63
4.2.3.5. Ağırlıklandırma	64
4.2.4. Yorumlama	64
4.2.4.1. Duyarlılık analizi	65
4.2.4.2. Sınırlamalar	66
4.2.4.3. Raporlama ve Kritik değerlendirme	66
4.3. Evsel Katı Atıklarının Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi	66
4.3.1. KKA Alanında YDA Destekli Yapılmış Çalışmalar	69
5. ÇOKLU KARAR VERME SİSTEMLERİ	71

5.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	72
5.1.1. AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi)	72
5.1.2. AHP Metodunun Genel Uygulama Yöntemi	74
5.1.3. AHP'nin AY Uygulama Alanları ve Örnekleri	79
6. METERYAL VE METOD	82
6.1. Pilot Bölgenin Genel Özellikleri	82
6.1.1. İlçenin Tarihi ve Coğrafi Özellikleri	82
6.1.2. İlçenin Nüfus Bilgileri	84
6.1.3. İlçenin Mevcut Atık Karakterizasyonu ve Atık Yönetimi Uygulaması	84
6.2. YDA'da Kullanılan Yazılımın Genel Özellikleri ve Uygulama	88
6.2.1. YDA Uygulama Basamakları	90
6.2.1.1. Amaç ve Kapsam Tanımı	90
6.2.1.2. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi	96
6.2.1.3. Yorumlama	99
6.3. AHP Uygulama Basamakları	102
6.3.1. Problemin Tanımlanması ve Hiyerarşik Yapının Oluşturulması	102
6.3.2. Uzman Seçimi	103
6.3.3. Matris Basamakları ve Analiz Süreci	111
7. SONUÇLAR	114
7.1. YDA'ye Göre Etki Analizi	114
7.2. AHP'ye Göre Değerlendirme Sonuçları	120
8. ÖNERİLER	133
KAYNAKLAR	136
ÖZGEÇMİŞ	149
EKLER	150

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

AAAKY	: Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
AK	: Akıllı Kentler
CO2-eq	: Karbondioksit Eşdeğer
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DAG	: Depolama Alanı Gazı
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İSTAÇ A.Ş.	: İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
KKA	: Kentsel Katı Atık
KKAY	: Kentsel Katı Atık Yönetimi
KAKY	: Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği
KAY	: Katı Atık Yönetimi
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development
ÖTL	: Ömrünü Tamamlamış Lastikler
TAKY	: Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UNDP	: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
ÜB	: Ümraniye Belediyesi
WCS	: World Conservation Strategy
YDA	: Yaşam Döngüsü Analizi
YDE	: Yaşam Döngüsü Envanteri
YDED	: Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Akıllı kent uygulamalarının genel hedefleri.	7
2.2: Akıllı kent kavramı yaklaşımları.	9
3.1: Katı atık yönetiminin temel bileşenleri.	20
3.2: Katı atık yönetimi piramidi.	22
3.3: Gazlaştırma prosesinin basamakları.	31
4.1: KKA'ların Yaşam Döngüsü Analizi sınırları.	52
4.2: YDA Metodolojisi.	55
4.3: Etki değerleri gösterimi.	60
4.4: Kentsel katı atıklar için YDA sınırları.	68
5.1: Karar analiz yöntemlerinin sınıflandırılması.	72
5.2: Analitik Hiyerarşi Proses yapısının.	74
6.1: Ümraniye Bölgesi -Fiziki Harita.	83
6.2: Atık Karakterizasyon Grafiği.	86
6.3: İlçede 2007 -2021 yılları arasında oluşan atıkların değişim grafiği.	87
6.4: SimaPro Program açılışı ve proje oluşturma ekran görüntüsü.	89
6.5: S-0- mevcut durum atık yönetim uygulaması.	91
6.6: S-0 Atıkların Dağılımı.	91
6.7: S-1 Atıkların Dağılımı.	92
6.8: S-2 Atıkların Dağılımı.	92
6.9: S-3 Atıkların Dağılımı.	93
6.10: S-4 Atıkların Dağılımı.	93
6.11: S-5 Atıkların Dağılımı.	94
6.12: S-6 Atıkların Dağılımı.	94
6.13: Sistem sınırı.	93
6.14: YDA ve AHP metotlarının kombinasyonu.	102
6.15: Sürdürülebilir Katı Atık Yönetimi Sistem Seçim Kriterleri.	104
6.16: Çevresel Etki Karşılaştırması.	105
7.1: EF metoduna göre analiz sonuçları.	115
7.2: Duyarlılık Analizi Grafiği.	120
7.3: Çevresel etki karşılaştırması.	124
7.4: Sonuçlar Grafiği.	132

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabildiği akıllı kentlerde fonksiyonel alan ve göstergeler.	11
3.1: Yakmanın avantajları ve dezavantajları.	30
3.2: Termal Bertaraf Yöntemleri Tipik Reaksiyon Koşulları ve Ürünler.	32
3.3: Kompost elde etmenin teknik yöntemleri.	34
3.4: Kompostlaştırma sistemleri.	35
3.5: Kurumların atık yönetimi konusunda ki görevleri.	42
3.6: AB ülkelerinde geçerli olan KAY'ne yönelik yasal düzenlemeler.	45
3.7: Ülkemizde AB uyumu sürecinde atık yönetimi konusunda uygulanan yasal düzenlemeler.	46
3.8: Atıkların Yönetilmesine Yönelik Yönetmeliklerin listesi.	47
4.1: YDA'da sıklıkla kullanılan etki kategorileri.	62
5.1: Stardart tercih tablosu.	77
5.2: RI (Rassal İndeks) Değer Tablosu.	78
6.1: Ümraniye atık karakterizasyonu ortalamaları.	85
6.2: Atık Karakterizasyonu ve oluşan atık miktarı – 2018.	85
6.3: Senaryoların dağılımı.	90
6.4: Sistem envanter tablosu.	98
6.5: Her bir senaryo için hesaplanan tüketim miktarları.	100
6.6: Etki Kategorileri.	101
6.7: Bertaraf Yöntemlerinin maliyetlerine ilişkin veriler.	108
6.8: Senaryo bazında ortalama bertaraf yöntemi maliyetleri.	109
6.9: Uzman değerlendirmeleri	111
6.10: Matris Tablosu	112
7.1: Normalizasyon Değeri.	118
7.2: Senaryolar için hesaplanan tüketim miktarları.	119
7.3: Uzman Değerlendirme Sonuçları.	122
7.4: Kriterler ikili karşılaştırma.	123
7.5: Kriterler Normalizasyonu.	123
7.6: K1 Kriteri için Alternatiflerin Karşılaştırılması.	125
7.7: K2 Kriteri için Alternatiflerin Karşılaştırılması.	126

7.8:	K3 Kriteri için Alternatiflerin Karşılaştırılması.	127
7.9:	K4 Kriteri için Alternatiflerin Karşılaştırılması.	128
7.10:	K5 Kriteri için Alternatiflerin Karşılaştırılması.	129
7.11:	Kriterler ve Senaryolar -Vektörel Ağırlık Tablosu.	130
7.12:	Değerlendirme Sonuçları.	131



1. GİRİŞ

Bugün tüm dünyanın ortak yaşadığı ve etkisi bölgesel olduğu kadar küresel de olan problemlerden bir tanesi atıkların ‘doğru’ yönetilmemesi sonucu oluşan çevresel kirliliktir. Dünya nüfusunun son yüz yılda öngörülemeyen bir hızla artması, teknolojik gelişmelerin hız kazanması ve insanoğlunda artan bir tüketim isteğine yetişmeye çalışan üretim sanayiinin gelişimi, atık yönetimini ivedilikle çözüme ulaştırılması gereken bir sorun olarak gözler önüne sermektedir. Atıkların yönetim problemi sıklıkla büyük, kalabalık ve özellikle sanayi merkezi olan şehirlerde görülmektedir. Dünya nüfusunun çoğunluğu ise, sunduğu iş, sosyal, eğitim ve kültürel olanaklar nedeni ile gün geçtikçe büyük şehirlere kaymaktadır. Dolayısı ile büyükşehirlerin birçoğunda hızlı göçün yarattığı bir plansızlık katlanarak yaşamın her alanına yansımaktadır. Bu olumsuzlukların yanında çözüm oluşturabilecek gelişmeler de yaşanmaktadır. Özellikle büyük şehirlerin başta çevresel problemlerini çözümleyebilmek adına bir takım fikir ve sistem yaklaşımları sunulmaktadır. Akıllı şehir yaklaşımı özellikle büyükşehirlerin kalabalık nüfus ve sanayisi içinde insanlara daha yaşanabilir (temiz hava, temiz su, temiz çevre, daha az trafik sıkışıklığı, bürokratik işlerde daha hızlı yol alma, engelli vatandaşların hayatının zorlaştırılmadan toplum içinde daha güvenli yaşaması vb. gibi) bir şehir yaratma açısından son yıllarda hızla popüler ve etkin olan bir yaklaşımdır. Belediyecilik hizmetleri kapsamında bir bütün olarak ele alınabilecek bu sistem yaklaşımında zincirin önemli halkalarından biri olan akıllı çevre yaklaşımı, son yıllarda özellikle atık yönetimi konusunda gerek yönetsel gerekse teknolojik alanda çokça gelişim göstermektedir. Özellikle belediyecilik hizmetlerinin başında gelen çevrenin korunması görevi altında, atıkların yönetilmesi sistematik bir şekilde yürütülmediğinde önemli bir maliyet kalemi haline de gelmektedir. Bu sistem yaklaşımı aynı zamanda bu maliyet kalemini uzun vadede gelir kalemine de dönüştürebilecek imkânlar sunabilmektedir.

Atık miktarında ki artış ve aynı zamanda atıkların ekonomik bir kaynak olarak yeterince değerlendirilmeyişi, doğal kaynakların daha fazla tüketilmesine yol açarak hem ekolojik hem de ekonomik yönden olumsuzluk yaratmaktadır. Kentsel katı atıkların doğru yönetilmemesinin gezegenin kendisi ve dünya üzerinde yaşayan canlılar üzerinde sayısız olumsuz etkisi bulunmaktadır. Özellikle tüm doğal çevreyi kapsayan küresel ısınma-iklim değişikliği, ozon tabakasının tahribatı gibi problemler

tüm dünyayı etkileyen küresel ölçekteki sorunlardır. Bunun yanında bölgesel ve yerel ölçekte ötrofikasyon, asidifikasyon, insan sağlığı üzerinde etkiler gibi kısa ve uzun vadeli etkilere de yol açmaktadır. Dünyada oluşan karbondioksit emisyon kaynaklarının 1,6 milyar ton karbondioksit eşdeğer (CO₂-eq) rakamı ile %5'lik bir dilimi katı atıklar kaynaklıdır. Bu değerin 2050 yılında 2,6 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir [Web 5, 2020].

Katı atıklar, çevresel ve finansal olarak oluşturduğu yükün yanında sosyal olarak da ele alınması gereken bir meseledir. Toplumların, tüketim alışkanlıkları ve çevreye karşı bilinç düzeyi problemin boyutunda önemli ve belirleyici bir rol oynamaktadır. Dolayısı ile atık yönetiminin multidisipliner bir ölçekte mühendislik ilkeleri üzerine kurulu bir sistem ile çözebilmek ancak mümkün olabilmektedir. Buradan yola çıkarak bir atık mühendisliğinden bahsedebilmek de mümkündür. Atık mühendisliği ise, atıkların olduğu kaynaktan itibaren transferi, yönetim tesislerinin planlanması, tasarlanması ve konumlandırılması, çevresel açıdan uygun, teknik açıdan uygulanabilir, ekonomik açıdan verimli ve toplumsal açıdan kabul edilebilir olarak değerlendirilmesi ve işletilmesidir. Atık mühendisliği dâhilinde atıkların yönetilme süreci [Christensen, 2011];

- Atık yönetimi hedeflerinin belirlenebilmesi için politik çerçeveyi çizmeye yarayan enerji kullanımı ve madde akışı alanlarında saha araştırmaları,
- Bölgesel düzeyde atık yönetim planları,
- Uygulanacak atık yönetim teknolojilerinin belirlenmesi ve uygun tesislerin planlanması ve kurulması,
- Her bir teknolojik birimin ayrı ayrı tasarlanması,
- Belediye tarafından planlanan geri dönüşüm planlarının uygulanması şeklinde ele alınmaktadır.

Yukarıda sıralanan mühendislik çözümlerinin veriye dayalı işlemlerle ve nesnelerin interneti sistemleri gibi destek hizmetler eşliğinde yapılması akıllı şehirlere yöneltmektedir. Akıllı şehir uygulamaları ile operasyonel verimliliğin artırılması ve bu sayede tasarruf sağlanması beklenmektedir. Daha da önemlisi çevreye olan zararlı etkilerin azalarak, insanların daha yaşanabilir şehirlerde yaşamasına olanak sunabilmektedir. Özellikle şehirlerin kendi kendine yetebilen şehir vasfına sahip olmaları ulaşılması istenen konum olmaktadır. Atıkların yönetimi perspektifinden

bakıldığında, enerji döngüsünü kendi içinde sağlayan, tüketim ve üretim oranlarını dengelemiş, atıkların geri dönüşümünü hem enerjisel hem de hammadde anlamında üretime dâhil edebilen hale gelmeleri ise varılabilecek son noktadır. Gelişmekte olan ülkeler statüsünde olan ülkemiz, coğrafyası gereği fosil ve enerji kaynakları kısıtlı ve dolayısı ile dışarıya bağımlı bir yapıda bulunmaktadır. Ülkemizdeki birçok şehrin yerel yönetim politikalarını özellikle atık yönetimi açısından, akıllı şehir yaklaşımı ile güncellediğinde, özellikle enerji yönetimi açısından dışa bağımlılığın büyük ölçüde azalacağı, her türlü hesaplama ve modelleme ile anlaşılabilmektedir.

1.1. Tezin Amacı, İçeriği ve Katkısı

OECD'nin Türkiye üzerine hazırlamış olduğu çevre performans raporunda Türkiye'nin pek çok çevre sorunu ile karşı karşıya kaldığı belirtilmiştir. Bu rapora göre ülkemizde hızla artan enerji talebini karşılamak adına büyük oranda (%88) fosil yakıtlarına bağlı kalındığı ve bu yakıtların (özellikle petrol ve doğalgaz) büyük bir kısmının ise ithal olarak elde edildiği bilinmektedir. Ülkemiz bu raporda, enerji ihtiyacı en çok artış gösteren ülke konumunda olmakla birlikte, enerji alanında kendisine yetebilme oranının sadece %25 olduğu belirtilmektedir. Türkiye'nin Dünya'da en çok kömür santrali işleten bir ülke olduğu ve enerji kaynağı karbon yoğun olup, sera gazı emisyonlarının son 10 yılda diğer ülkelere nispeten daha fazla artış gösterdiği rapor edilmiştir. Bunun yanında yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimdeki ve kullanımındaki artış da (ülkemiz enerji kaynakları potansiyeli açısından dünyanın önde gelen ülkeleri arasında olmasına rağmen) nispeten daha düşüktür. [OECD, 2019]. Türkiye'de sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar iki katından fazla artış göstermesi beklenmektedir. Bundan dolayı iklim ve enerji hedefleri açısından uzun vadeli, düşük emisyonlu ve sağlam bir kalkınma stratejisinin uygulanmasına ihtiyaç vardır.

Sera gazı salınım oranlarının sektörlere göre dağılımında katı atıklar %22,1 metan gazı salınım oranı ile önemli bir paya sahip olmaktadır [Web 1, 2019]. Atık yönetiminde yapılacak iyileştirmelerle endüstriyel işlemlerin, hammadde kullanımının, enerjinin ve tarımının sebep olduğu emisyon değerlerinde düşüş olacağı ve bu oranın düşeceği çok nettir. Dolayısı ile döngüsel ekonomi çerçevesinde, sürdürülebilir kalkınma ilkeleri dikkate alınarak değerlendirilen atık yönetiminde, geri

kazanım faaliyetlerinin artarak, hammadde tüketimi ve enerji tüketiminin azaltılması, atıktan enerji eldesi ile fosil kaynaklı yakıtların tüketiminin azaltılması ile hedeflenen düşük karbon salınımına ulaşılabilir olacaktır.

Bahsi geçen konular çerçevesinde ele alınan bu tez çalışması kentsel katı atık yönetim uygulamasını beş ana bölümde ele almıştır. Çalışmanın temel konseptinin sürdürülebilir akıllı şehirlerde atık yönetimi üzerine olmasından dolayı sürdürülebilirlik ve akıllı şehirler temalarına ilişkin bilgiler çalışmanın ikinci bölümünde yer almaktadır. Aynı zamanda akıllı şehirlerin bir alt kümesi olan çevre ile bağlantısı irdelenerek daha da özelde akıllı şehirlerde katı atıkların yönetimine yönelik çalışmalardan bahsedilmiştir.

Tezin ana konusu olan kentsel katı atıkların yönetilmesine yönelik literatür ve mevzuat çerçevesinde değerlendirme üçüncü bölümde ele alınmıştır. Atığın ne olduğu, türleri ve bertaraf yöntemleri ve teknolojilerine yönelik bilgilere yer verilmiştir. Atık yönetiminde uyulması gerekli yasal düzenlemeler ve belediyeleri görev ve yetkileri irdelenmiş, kentsel katı atıkların yönetimine yönelik bilimsel çalışma örneklerine yine bu bölümde yer verilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde çalışmanın uygulama aşamasında çevresel değerlendirmeyi analiz etmek adına kullanılan Yaşam Döngüsü Analiz (YDA) programının özelliklerinden bahsedilmiştir. YDA destekli kentsel katı atık yönetim değerlendirilmesine ilişkin ülkemizde ve dünyada yapılmış bilimsel çalışma örnekleri de yine bu bölümün sonunda yer almaktadır.

Tezin beşinci bölümünde ise uygulama çalışmasını ikinci ayağı olan çok kriterli karar verme sistemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) hakkında genel bilgiler yer almaktadır. Devamında ise kentsel katı atıkların yönetilmesi alanında AHP desteği ile yapılmış ulusal ve uluslararası çalışma örneklerine yer verilmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde ise uygulamanın nasıl yapıldığı anlatılmaktadır. Yerel ölçek boyutunda ele alınan Ümraniye ilçe belediyesine ait bölgesel özelliklerden bahsedilerek, uygulanabilir olası alternatif atık yönetim modellerinin YDA ve AHP'nin kombinasyonu ile birlikte değerlendirilmesi ele alınmıştır. Bu bölüm üç alt bölümden oluşmaktadır. Öncelikle ilçeye yönelik sahadan elde edilmiş olan atık miktar ve kompozisyonları dikkate alınarak mevcut senaryo dışında altı adet alternatif atık yönetim modeli oluşturulmuştur. Daha sonra literatürden alınan bilgiler ve atık kompozisyonları çalışmanın birinci uygulama bölümü olan YDA analizi için

kullanmış olduğumuz SimaPro 9.0 programına işlenmiştir. Programın çalıştırılması sonucunda yerel, bölgesel ve küresel ölçekte çevresel etki sonuçları ortaya çıkmıştır. Daha sonra uygulamanın ikinci ayağı olan AHP için uzman görüşü almak adına beş ana kriter ve bu kriterlerin kapsam ve açıklamalarından oluşan uzman görüşlerinin alınması üzerine doküman hazırlanmıştır. Bu aşamada katı atık alanında gerek akademide gerek yerel yönetim ve kamu kurumlarında, gerekse atık bertaraf teknolojilerinin kullanıldığı özel sektör iştiraklerinde çalışan uzman kişilerin çevresel, ekonomik, sosyal, teknolojik ve yasal ölçütleri dikkate alarak AHP kriterler tablosuna göre değerlendirmeleri istenmiştir. Uzman görüşleri neticesinde matrisler hazırlanmış ve Excel programında oluşturulan bir formülüzasyon alt yapısı ile ideal atık yönetim modelinin seçilmesi işlemi yapılmıştır.

Çalışmanın yedinci ve sekizinci bölümlerinde ise çalışmanın çıktıları değerlendirilmiş, sonuca ilişkin önerilere yer verilmiştir. Atık yönetimi doğru planlanmadığında çevresel olarak ciddi sıkıntıların yansımalarını direk olarak yerel ölçekte kısa zamanda görebildiğimiz, bir kısım etkilerinin ise yıllar içinde küresel ölçekte zamana yayılmış bir şekilde görebileceğimiz sıkıntılar doğurmaktadır.

Çevresel etkilerin yanı sıra şehirlerde atıkların yönetilmesi hususunda etkili olan diğer önemli parametreler ekonomi ve sosyolojidir. Sürdürülebilirliğin üç önemli saçı ayağı olan bu üç başlığa teknolojik ve yasal etkileri de ilave ederek katı atıkların yönetimi çok boyutlu ele alındığı takdirde, katı atıkların yönetiminin faydalı hale getirilebileceğini söylemek mümkündür. Bu çalışma örnek bir yerel ölçek modeli üzerinden yapılmış olup, ülke genelinde kullanımının desteklenerek, diğer tüm yerel yönetimlere de fayda sağlaması hedeflenmiştir. Bunun neticesinde ülkemiz genelinde büyük ölçüde sürdürülebilirliği sağlanabilen kentsel atık yönetim modelinin kurgulanıp uygulatılması amaçlanmıştır. Bu faaliyetin sonuçlarının sadece ülkemizin karbon ayak izi değerini düşürerek yerel ve bölgesel ölçekte ekolojik dengeyi korumakla sınırlı olmadığını küresel ölçekte potansiyel etkilerini de azaltarak küresel ısınma tehdidi ile başa çıkmada katkı sağlaması beklenmektedir. Elbette çevresel boyut dışında ekonomik açıdan da ülke ekonomisine büyük katkılar sağlaması beklenmektedir. Ülke içerisinde değerlendirilen katı atıkların varlığı ile atık ihracatına belki de son verilmesi özellikle hammadde ve enerji konularında kendi kendine yetebilen bir ülke haline gelebilmesi çalışmanın temelinde yatan gerçek anlam ve amaçlardan biri olarak sayılabilir.

2. AKILLI KENT YAKLAŞIMI

2.1. Sürdürülebilir Akıllı Kentler

Çevresel sürdürülebilirliği olan Akıllı Kentleri (AK) irdelemeden önce, akıllı kent ve sürdürülebilirlik kavramlarına öncelikle değinerek, daha sonra akıllı kentlerin bileşenlerini ve çevresel yönden etkin olan alanlarının incelemesi ve değerlendirilmesi yapılacaktır.

2.1.1. Akıllı Kent Nedir?

Akıllı Kent en geniş anlamı ile kentte bulunan kaynakları ve varlıkları bütünleştiren, bireylerin yaşamlarında sosyal, çevre, ekonomi gibi birçok alanda Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT)’in kullanıldığı kentlerin gelişim vizyonu olarak tanımlanabilmektedir [Lu, 2011], [Gonzalez and Rossi, 2011], [Web 1, 2019].

2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planında ise “Paydaşlar arası iş birliği ile hayata geçirilen, yeni teknolojileri ve yenilikçi yaklaşımları kullanan, veri ve uzmanlığına dayalı olarak gerekçelendirilen ve gelecekteki problem ve ihtiyaçları öngörerek hayata değer katan çözümler üreten daha yaşanabilir ve sürdürülebilir şehirler” olarak tanımlanmaktadır. Yine aynı eylem planında “Ekosistem varlıklarına sürdürülebilir, müreffeh ve kapsayıcı bir gelecek sunmak için fiziksel, dijital ve insani sistemlerin yapılandırılmış bir çevre ile etkin entegrasyonudur” şeklinde bir tanımlamaya da yer verilmiştir. Bu kavram statik bir sonuçtan öte vatandaş katılımını arttırarak, fiziki altyapının, sosyal sermayenin ve dijital teknolojilerin kentlerin refah düzeyini ve insanların yaşam kalitesini yükselterek, kapsayıcı, esnek ve zorluklara daha kolay ve hızlı cevap verebilir hâle getirmeyi hedefleyen uygulamaların kullanıldığı bir süreç olarak değerlendirilmektedir. Bu uygulamalar; Şekil 2.1’de yer aldığı üzere özellikle, yönetim, çevre, insan, ekonomi, yaşam, ulaşım gibi ana başlıklar altında ele alınarak, yaşama dair birçok alanda akıllı çözümler sunmaktadır [Sınmaz, 2013], [Web 6, 2021]. Tüm bu uygulamalar, akıllı çevre kavramı dışındakiler dahil ekosisteme en az düzeyde olumsuz etki eden ve var olan küresel iklim değişikliğinin de etkilerini azaltacak ve hatta iyileştirmeye yönelik çalışmaları da kapsamaktadır [ÇŞB, 2019].



Şekil 2.1: Akıllı kent uygulamalarının genel hedefleri.

Dolayısı ile en genel hali ile akıllı kentlerin, çarpık kentleşmeden uzak, temiz, kendi ihtiyaçlarını karşılayabilen sistemler içeren teknolojik altyapısı olan ‘çevreci’ ve kolay yaşanabilir bir kent kimliği yaratmaya çalıştığı söylenebilmektedir [Breurer et al,2014], [Cohen, 2013].

Şehirlerin akıllı olma yaklaşımları o kentin kendi iç dinamikleri, politikaları, çevresel, sosyolojik ve ekonomik yönden ihtiyaçları ve öncelikleri ele alınarak değerlendirilebilir. Her ne kadar dünyada akıllı kentlerin tanımlamaları, boyutları ve alt kriterleri belirlense dahi, her şehrin akıllı kent kimliğini kazanma yolunda ki uygulama ve yönetmeleri farklı olabilir. Bu durum kentlerin bu anlamda kendi içinde sürdürülebilirliğini sağlaması yönünde imkân sağlamaktadır. Bu kavramın sürdürülebilir olması ise yapılan yatırımların devamlılığı, atıl hale gelmemesi, dönüşebilmesi, modifiye edilebilmesi ile mevcutta olan çevresel, finansal ve hatta sosyal yönden olumsuz etkileri ortadan kaldırabilmesi anlamına gelmektedir [Dameri, 2013].

Bu kavramın mantığı içinde mevcut doğal kaynakları, finansal ve insan kaynaklarını daha verimli kullanabilmesi ve mevcut yönetim modellerine göre daha hızlı ve uzun vadeli çözümler sunabilmesi hedefi yer almaktadır. Özetle akıllı kentler ile amaçlanan:

- Kentin mevcut halini ve geleceğe yönelik beklentilerini, sorunlarını şehrin tüm alanlarında ve sistemlerinde tetikleyici güç hâline getirmek,
- Sosyal, fiziksel ve dijital planlamaları koordineli olarak ele alabilmek,
- Oluşan zorlukları çevik, sistematik aynı zamanda sürdürülebilir şekilde öngörebilmek, tanımlayabilmek ve karşılamak olarak sıralanabilmektedir.

Bu durumda kentin içinde organizasyonel yapılar arası etkileşim sağlanarak bütünleşik hizmet sunumu ve yenilik üretme potansiyeli ortaya çıkarılmaktadır.

Akıllı kent kavramı oluşum süreci içerisinde çok çeşitli kavram desteği ile anlam kazanmıştır. Alt kavramlar olarak, bilişim, sayısal, yetenekli, bağlantılı vs. kentler olarak ele alınabilse de uygulamada Şekil 2.2’de özetle değinildiği üzere üç temel kavram çerçevesinde çalışmalara odaklanılmıştır.

Sürdürülebilir Akıllı Şehir

- Enerji tüketimini dikkate alır.
- Enerji tasarruflarına, alternatif enerji kaynaklarına ve daha verimli ulaşım araçlarına büyük önem verilmektedir.
- Yaklaşımın en büyük avantajı, yatırımların kolayca para tasarruflarına çevrilmesidir.

Sensörlü Akıllı Şehir

- Kentin vatandaşlar tarafından nasıl algılandığına vurgu yapılır.
- Şehir; trafik sensörleri, hava kirliliği sensörleri, ses algılayıcıları, nem algılayıcıları ve kamera algılayıcıları gibi binlerce farklı sensörü dağınık bir yapıda yönetebilir.
- Bu sensörler, kentin en karmaşık sorunlarından bazılarını çözmek için kritik bilgiler sağlamaktadır. Çok miktarda veriyi yönetmek için mevcut teknolojiyi kullanmakta ve bu sayede sorunlara mantıklı bir bakış açısı sunarak çözüm sağlayabilmektedir

İşbirlikçi Akıllı Şehir

- Bu yaklaşım vatandaşlarının kentin günlük operasyonlarına katılma becerisine dayanmaktadır. Vatandaşlara sağlanan veri ile dijital katılım mekanizmalarının işletilerek, şehir yönetiminde, katılımcı politikaların geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. İşbirlikçi Akıllı şehirler, kentsel altyapı bileşenlerinin ve hizmetlerinin daha verimli kullanıldığı şehirlerdir.

Şekil 2.2: Akıllı kent kavramı yaklaşımları.

Çalışmamız kapsamında çevresel sürdürülebilirliği olan akıllı kentler ana konsept olarak ele alınmıştır. Özellikle farklı tanımlarda düşük karbon salınımı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile doğal kaynakların korunması, ekosistemin korunarak, küresel iklim değişikliği etkilerinin azaltılması hedefinin yer alması ile bu konu çalışmamıza ilham olarak yol göstermiştir.

2.2. Akıllı Kentlerde Çevresel Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, özünde ‘gelecek kuşakların ihtiyaçlarını karşılayabilme imkânı için bugünkü dünyanın ihtiyaçlarını karşılamaya’ odaklı bir yaklaşıma sahiptir. Özellikle Uluslararası Doğayı ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği

(1980)'nin hazırladığı Dünya Koruma Stratejisi (World Conservation Strategy-WCS) raporu sonrasında sürdürülebilir kalkınma araştırmalarının ne derece önemli olduğu anlaşılmıştır. Çünkü sürdürülebilir kalkınma, çevresel, sosyal ve ekonomik alanda denge ve ilişki kurarak belirlediği amaçlarda ilerlemeyi hedeflemektedir [Seydioğulları, 2013]. Kalkınmanın temelinde olan, insan refahının sürdürülebilirliği için, tasarruf artışı ile birlikte verimlilik artışı ve bu bağlamda kısıtlı olan kaynakların, gelişen teknoloji ile iş birliği içinde olması oldukça önemlidir. Fosil yakıtlarının kullanımı, temiz su kaynaklarının azalması gibi kaynak tüketimini etkileyen olumsuzluklar, hava kirliliği, kanserojenik etkinin çoğalması, sağlığı bozan maddelerin yayılımı gibi etkilerin artmasına neden olmaktadır. [Web 2, 2019]. Bu olumsuzlukların azaltılması için, ekonomik rekabetçiliğin artırılması, kentsel alanların gelişmeye yönltilmesi gibi multidisipliner çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Çevresel sürdürülebilirliğin en verimli şekilde sağlanabilmesi için Tablo 2.1'de yer alan indikatörlerin büyük oranda ele alınarak uygulanması gerekmektedir. Ancak başında da belirtildiği gibi öncelikler, şehirlerin dinamiklerine, finansal olarak karşılayabilme potansiyeline ve mevcut insan kaynağı gibi çeşitli etmenlere göre belirlenebildiği için bir kentten her şeyi sağlayabilmesi beklenmemektedir. Burada önemli olan hususlardan biri doğru planlama ve vizyon belirleme olmalıdır. Geleceğe yönelik vizyon, doğru planlama ve analiz ile entegre bir sistem şeklinde ele alınmalıdır. Aynı zamanda yönetim biriminde kurumlar arası etkileşimin de artırılarak, bir taraftan fayda sağlarken bir taraftan zarar vermenin önüne geçilebilir. Bu bağlamda, sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında yer alan kent yaşam biçimlerine yönelik hedefin dikkate alınması önemli çözüm alternatiflerinden biri olabilmektedir. Çünkü, ısınma ve elektrik ihtiyacını karşılayan kömür, petrol gibi çevre kirliliğini artırıcı kaynakların kullanımı, enerji fiyatlarındaki artışın yaşamı olumsuz etkilediği küresel ısınma, enerji kaynaklarının azalması gibi olaylar, gelecek nesillerin yaşamını tehdit ettiği bilinmektedir.

Tablo 2.1. Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabildiği akıllı kentlerde fonksiyonel alan ve göstergeler.

<i>Fonksiyonel Alan</i>	<i>Gösterge</i>
Katı Atık	Atık bırakma merkezleri ile şehir nüfusunun oranı Hane sayısına düşen geri dönüştürülebilir atık konteyner sayısı
	Evsel atık miktarların uzaktan izlenebilirliği (miktar ve rota) Evsel atık miktarlarının ayrıştırma ve değerlendirilme oranları
	Şehirde enerji üretmek için kullanılan toplam atık miktarının yüzdesi Biyobozunur atıkların komposta dönüşme yüzdesi
Atıksu	Yeniden kullanılan arıtılmış atıksu yüzdesi
	Yeniden kullanılan çamur yüzdesi (kuru madde tonu)
	Şehrin toplam enerji tüketiminin bir yüzdesi olarak atıksudan elde edilen enerji Deşarj noktalarının sensörlerle izlenebilirliği (debi ve kirlilik)
	Şehirde enerji üretmek için kullanılan toplam atıksu miktarının yüzdesi Yüzeysel akışın (runoff water) ayırık toplama sistem sonucu toplanarak arıtılması
Su	100.000 nüfus başına gerçek zamanlı BİT tabanlı içme suyu kalitesi izleme istasyonu sayısı
	Yağmur suyunun toplanma oranı ve kullanma suyundan tasarruf oranı Akıllı sulama sistemleri (nem algılayıcı sensörler ile)
Enerji	Yıllık toplam belediye enerji tüketiminin bir yüzdesi olarak kamuya açık cadde aydınlatmasının enerji tüketimi
	Yıllık kişi başı katı atık arıtımından tüketilen ve üretilen elektrik ve termal enerji (kWh)
	Şehrin kişi başına düşen enerji şebekesinin depolama kapasitesi (kWh)
	Sokak aydınlatmasında tüketilen enerji miktarı ve maliyeti
	Yenilenebilir enerji kullanım sonrası sokak aydınlatma enerji kullanım miktarı ve maliyeti
	Toplu taşımada tüketilen yakıt miktarı

2.2.1. Atık Yönetim Problemine Akıllı Şehir Çözümleri

Şehirlerde her gün artan atıkların düzenli yönetilmemesi sonucu çevreye zararlı olabildiği gibi, insanlar üzerinde çeşitli sağlık sorunlarına ve ekosistemde bulunan diğer canlılara ve döngüye zarar verebilir. Doğru yönetilemeyen atıkların şehirler üzerinde aynı zamanda ekonomik zararları vardır. Bu zararlar mevcut durumda etkisini sürdürürken gelecekte ekolojik ve ekonomik yönlerden telafi edilmesi daha güç durumlara yol açabilmektedir. Atıkların, akıllı çözümler altında finansal, sosyal ve ekolojik yönden değerlendirilerek yönetildiği bir ortamda ise zararın aksine kısa ve uzun vadede belirtilen boyutlarda önemli katkıları olabileceği yapılan birçok çalışmada ortaya konmuştur. Dünya genelinde insan nüfusunun artarak şehir yaşamına kaydığı bir eğilimde atıkların doğru yönetilme faaliyeti, belediyelerin çözüme kavuşturması gereken önemli başlıklardan bir tanesidir. Belediyeler bu soruna çözüm bulurken çeşitli paydaşları da planlamaya dahil etmektedirler. Bu paydaşlar arasında dışarıdan hizmet alınan kuruluşlar olabildiği gibi, halkın desteği önemli bir paya sahiptir. Çünkü atık yönetiminde çevresel ve finansal yönden fayda sağlanmasının birincil basamaklarından biri kaynağında ayrıştırma'dır. Doğru eğitim, bilinçlendirme ve yönlendirmeler ile vatandaşta kaynağında ayırma faaliyetinin bilinci aşılandığı zaman, bu süreç diğer basamaklarda daha hızlı ilerleyebilmektedir. Dolayısı ile toplama ayırma faaliyetinin çevresel ve finansal risklerinden büyük oranda kurtulunmuş olmaktadır. Böylece atık yönetimine sosyal alanı da dâhil ederek sürdürülebilirliğin sağlanması kuvvetlendirilmektedir. Akıllı atık yönetimi kullanılacak teknolojilerin yanında aynı zamanda doğru planlamayı, planlamada görev alacakları da doğru yönlendirmeyi, yani akıllı planlamayı gerektirir [Web 1, 2019]. Dolayısı ile çevresel yönden akıllı şehir olunması, akıllı teknolojiler, akıllı politika, akıllı insan gücü ile daha kısa sürede, daha düşük maliyetle ya da kendini kısa sürede kâra dönüştürebilen yatırımlarla, çevresel ayak izinin çok daha düşük olduğu bununla birlikte yer küremizin mücadele içinde olduğu küresel iklim değişikliğinin etkilerini azaltıcı yönde katkılarının olabileceği faaliyetlerin yapılması ile gerçekleştirilebilir.

Çalışmamızda bu konunun vurgulanmasının nedeni ise çevresel yönden sürdürülebilirliği sağlanan atık yönetiminin uygulanmasında öncelikle çevresel ayak izi –karbon salınımı düşük bir atık yönetim planlamasının kullanılan bir yazılım

programı desteği ile seçilerek, sonraki adımda ise karar verme sistem programını kullanarak aynı zamanda teknolojik, sosyal ve ekonomik indikatörleri de dahil ederek, uzman tecrübeleri katkısı ile ideal bir atık yönetim planlamasının seçilmesini sağlamaktır. Bu faaliyet bir mühendislik yaklaşımı olup, ‘akıllı şehir’ konseptini destekleyici katkı sağlamaktadır.

Dünya bankası raporuna göre dünya genelinde her yıl iki milyar tondan fazla kentsel katı atık üretilmektedir. Yapılan hesaplamalar neticesinde 2050 yılına kadar yıllık üretilen atık miktarı %70 artış göstererek 3.4 milyar ton ulaşacağı öngörülmektedir [Kaza et al., 2018]. Bu rakam, şehirlerde yaşanabilirliği ve özellikle halk sağlığını korumak adına geleneksel toplama ve yönetim modellerinin yeterli olmadığını, daha yenilikçi çözümlerle etkin toplama ve arıtma yapılması gerektiğini, üzerinde ciddi planlar yapılması gereken bir konu olduğunu yerel yöneticilere hatırlatmaktadır. Ancak maalesef dünyada da olduğu gibi çoğu şehirde mevzuata uygunluğu karşılamak adına zorunlu hallerde yatırım yapıldığı görülmektedir. Doğrusal bir ekonomiden döngüsel bir ekonomiye geçiş yapmak isteyen şehirler artık proaktif hale gelerek, atık yönetimini bir harcama kalemi olarak değil, kentsel yaşam kalitesini iyileştirme fırsatı olarak ele almaya başlamışlardır. Bu soruna akıllı şehirler çerçevesinden bakıldığında nasıl çözümler karşımıza çıkmaktadır?

Özellikle akıllı şehirler yaklaşımında; sürdürülebilirliğin ve enerji verimliliğinin sağlanması, döngüsel ekonominin temel prensipleri arasında yer almaktadır. Üretim süreçlerinde kullanılan her şeyin tekrardan değerlendirilmesi, sürecin dışına hiçbir maddenin çıkarılmaması ve sürecin içine de hiçbir maddenin dâhil edilmemesi döngüsellliğin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır.

2.3. Dünyada ve Türkiye’de Çevresel Sürdürülebilir Akıllı Kent Uygulamaları

Ülkemizde de Dünyada olduğu gibi atıkların toplanması için ayrılan bütçe, belediye genel bütçesinin ortalama % 10 - % 25’lik bir dilimini kapsamaktadır. Ancak birçok yerde bu bütçenin verimli bir şekilde yönetilmemekte olduğu da bilinen bir gerçektir. Sosyal olarak normal akışın dışında bir durum olduğunda çöplere yansıdığı bir gerçek. Kimi zaman çöp konteynerlerinin doluluk oranının çok üzerinde atık birikimi olduğu ve bunların konteyner etrafından birikmeye devam ettiği görülmektedir. Dışarıya taşan çöplerin ise ne gibi sorunlara yol açtığı herkesçe bilinmektedir.

Genellikle böyle durumlarda ilk iş çöp toplama sıklığı arttırmak ya da yeni konteyner talebi olmaktadır. Ancak bu durum her zaman olmadığında yeterince dolmayan konteynerlerin toplanması için gereksiz enerji, maliyet, iş gücü ve fazladan karbon ayak izi anlamına gelmektedir. Tüm bu sorunlara yönelik olarak akıllı çözümlerden biri de nesnelerin internetinden (IoT) yararlanmak olacaktır. Öncelikle veriler analiz edilerek ilişkilendirilir ve deponun ne zaman boşaltılması gerektiği tahmin edilebilir. Bu şekilde akıllı yönlendirme yazılımı ile konteynerlerin boşalması gerektiği zaman ya da şehir tercih ettiği zaman rotalama ayarlanabilmektedir. Böyle bir çalışma atık toplama hizmetlerinin kalitesini iyileştirdiği gibi verimliliğini de artırır, aynı zamanda yakıt giderleri ve genel bakım giderlerinde de önemli tasarruflar sağlayabilmektedir

IoT tabanlı çözümler belediye atıkların toplanması ve yönetilmesi için önemli çözümlerdir. Ancak Akıllı şehirlerin önemli bileşenlerinden biri de Akıllı insan bileşenidir. Döngüsel ekonominin temel ilkelerinden biri, atıkların kaynağa dönüştürülmesi faaliyetidir. Bu sürecin doğru yönetilmesi ancak vatandaşın sorumluluk bilinci ile anlam kazanır ve verimli olur. Vatandaş atıklarını kaynağında ayırdığında, geri dönüşüm süreçlerini mümkün olduğunca desteklediğinde, ev çöplerini mümkün olduğunca azaltmaya kararlı olduğu sürece, akıllı şehirlerde atıkların akıllıca sürdürülebilirliğin sağlanması gerçekleşebilir.

Dünyada şehirlerin akıllı atık yönetimi ile yönetilme sürecine örnekler üzerinden bakacak olursak; öncelikle sürdürülebilirliğin başkenti olan Finlandiya, Helsinki'den başlayabiliriz. Bu şehirde dünyanın en gelişmiş yer altı atık yönetim sistemi yer almaktadır. Bu sistem Envac otomatik atık toplama sistemi olarak geçer ve atığın yer altına gizlenmiş bir dizi pnömatik tüpler yolu ile geri dönüşüm ya da diğer bertaraf tesislerine ulaşmasını sağlar. Bu teknolojinin kullanımı için belirli alanlarda erişilebilir toplama kutuları veya atık girişleri kullanılır. Karışık, kağıt –karton ya da organik atıklar burada toplanarak atık istasyonu tarafından günlük olarak izlenir. İstasyon tankların dolu olduğu bilgisini atık tesisine taşır. Her gün yaklaşık 19 ton atığın toplandığı şehirde atıkların toplanması veya taşınması için her hangi bir çalışana ihtiyaç duyulmaz dolayısı ile daha az yakıt ve gürültü kirliliği anlamına gelmektedir [Web 4, 2021].

Kaliforniya, San Francisco da ise 2020 sıfır atık hedefi ile birlikte zorunlu gıda atığı kompost yasasını yürürlüğe konulmuştur. Bu şekilde yaş atıklar ve geri dönüşebilir atıklar sensor teknolojileri ile akışkan yatak üzerinde ayırmaya gider ve bu sayede depolama alanlarına gönderilen atık miktarlarının oldukça hızlı bir şekilde

düştüğü görülmektedir [Web 5, 2021].

İsveç, Stockholm örneğinde ise şehrin ortasında ülkedeki en büyük biyoyakıt tesisi bulunmaktadır. Bu tesiste şehrin kendi enerji ihtiyacını karşılamak üzere kereste fabrikası atıkları biyoyakıt olarak kullanılmaktadır. Bu sayede atıktan enerjiye dönüşüm ile akıllı bir model hayata geçirilmiş olmaktadır [Web 6, 2021].

Ülkemizde ise akıllı şehir uygulamalarının hayata geçirilmesi, Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları ve Vizyon 2023 politika belgeleri ile dünyadaki akıllı şehir tartışmaları dahilinde kalkınma planları ve programları ile gündeme alınmıştır [Bilici ve Babahanoğlu, 2018]. Uygulamaya geçirilen ilk akıllı şehir uygulama örneği, Yalova'da 'Bilişim Vadisi Projesi' olarak adlandırılan bir ekotek yerleşim yerinin kurulum çalışmasıdır. Bilişim temelli Akıllı Şehir projeleri daha sonra, İstanbul, Ankara, İzmir, Kocaeli, Bursa, Eskişehir gibi kentlerle devam etmiş, diğer şehirlerde de gündeme gelerek hayata geçirilen projeler yapılmıştır [Alkan, 2015]. Özellikle 11. Kalkınma Planında (2019-2023) yaşanabilir ve sürdürülebilir şehirler olarak akıllı şehirlere atıfta bulunulmuştur. İnsan odaklı, doğal hayata ve tarihi mirasa saygılı, temel kentsel hizmetlerin adil ve erişilebilir şekilde sağlandığı, yere hizmetlerin yerindelik ilkesi ile yürütüldüğü, yalam kalitesi yüksek ve dayanıklı yerleşim vurgusu yapılmıştır [Kalkınma Bakanlığı, 2019].

Akıllı şehirciliğe bir örnek de Bursa'da uygulanan E-belediyecilik faaliyetleridir. Akıllı dijital programlar ile CBS uygulamaları ile kurum içi veri paylaşımlarını kolaylaştırarak aynı zamanda 3 boyutlu gerçek yaşamla bütünleştiren veri tabanı sağlanmıştır. 3 boyutlu turizm atlası ile ise şehre turistik amaçla gelen ziyaretçilerin Bursa'nın tarihi, kültürel ve doğal değerlerini tanıtmak için kültürel gezi rotaları tasarlanmıştır. Akıllı çevrecilikte Bursa Kent Katı Atık Depolama Alanı'nda metan gazından enerji üretimi, rüzgâr enerji santralleri ve güneş enerji santralleri aracılığıyla elektrik enerjisi üretimi, hafriyat takip sistemlerinin uygulandığının altı çizilmektedir [Gürsoy, 2019], [Anonim, 2019].

İstanbul Metropolündeki akıllı şehir çevre sağlığı uygulamaları ise akıllı sulama, enerji, su ve atık yönetimi alanlarında yoğunlaşmış olup, şehiriçi hafriyat atığı, belediye atığı, tıbbi atıklarının akıllı toplama, akıllı bertarafını hedefleyen bir sistemle her türlü gelişme kontrol ve denetim altına alınmaktadır. Hava Kalitesi İzleme Merkezi, akıllı sayaç sistemi, İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi gibi teknoloji tabanlı tesisler ve izleme yöntemleri de diğer uygulamalar arasındadır [Gürsoy, 2019], [Örselli ve Akbay, 2019].

3.KENTSEL KATI ATIKLARIN YÖNETİMİ

Kentsel katı atıkların küresel iklim değişikliği üzerindeki etkileri tartışmasıdır. Özellikle çöplüklerden metan emisyonu da dâhil olmak üzere CO₂ gibi önemli sera gazı kaynakları iklim değişikliği üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Atıkların sera gazı üzerindeki etkilerinin yanı sıra, çevre için doğru olanları yapmanın politik olarak popüler olduğu bir alandır da aynı zamanda. Örneğin birçok insanın katı atıkları yönetme şeklini oluşturmak, makul ölçekte yakıt tasarruflu araba kullanmaya ikna etmekten çok daha kolaydır [Belien et al.,2011], [Ackerman, 2000], [Anand, 2010].

Bu nedenle atık yönetimi, karbon emisyonlarında bir azalmanın izlenebileceği umut verici bir alandır ve iklim değişikliğinin azaltılmasına yönelik herhangi bir kapsamlı stratejinin parçası olmalıdır.

Atık yönetiminin iklim değişikliği üzerinde aşağıdakilere atfedilebilen en az beş tür etkisi vardır: (1) düzenli depolama metan emisyonları; (2) endüstriyel enerji kullanımında ve geri dönüşüm ve atık azaltımından kaynaklanan emisyonlarda azalma; (3) atıklardan enerji geri kazanımı; (4) işlenmemiş kâğıda olan talebin azalması nedeniyle ormanlarda karbon tutulması ve (5) uzun mesafeli atık taşımacılığında kullanılan enerji [Ackerman, 2000].

Katı atık yönetiminin tüm dünya ve ülkemiz için ne kadar önemli olduğuna kısaca değindikten sonra katı atıklara yönelik olarak tanımlamalar, yönetim bileşenleri, sınıflandırmalar, değerlendirme ve yönetimine ilişkin bilgilere değinilecektir.

3.1. Kentsel Katı Atıkların Sınıflandırılması ve Temel Bileşenleri

Katı atık olgusunun tanımının, literatürde ve mevzuatta birbirinden farklı tanımları olmakla birlikte, genel olarak; “son kullanıcısı tarafından artık istenilmeyen, uzaklaştırılması insan ve çevre sağlığı açısından gerekli olan, her türlü katı formdaki maddeler şeklinde ifade edilmektedir”[Anand, 2010]. 2872 sayılı Çevre Kanunu’nun 2. maddesine göre ise katı atık; “üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeleri ifade etmektedir” [ResGaz, 2]. İnsan faaliyetleri sonucu açığa çıkan atığın fiziki olarak düşük değerde veya değersiz olması, o atığın

karişık olması ve bileşiminin bilinmemesi ile ilgilidir [Öztürk, 2010]. Katı Atık Yönetmeliğinde ise; “üreticisi ve/veya tüzel kişi ve/veya kişiler tarafından çevreye atılan ya da bırakılan herhangi bir madde ve/veya materyale katı atık” denilmektedir [ResGaz, 3]. Avrupa Birliğine ’ne göre ise atık; “sahibinin attığı, atmaya niyet ettiği veya atması gereken herhangi bir nesne veya madde” olarak tanımlanmaktadır [EU Directive, 2008]. Atık kavramının aslında tam olarak tek bir tanım altında toplamının ne kadar güç olduğunu, bu tanımlamanın esasında ekonomik, sosyolojik ve gelişmişlik düzeyi ile alakalı olarak farklı yapılabildiği literatür çalışmalarından da anlaşılabilmektedir.

Atık kavramının en belirleyici özelliği, atığı üretenin, bu maddeyi gözden çıkartması ya da bu niyete sahip olmasıdır. Literatürde katı atık kavramı genel olarak gaz, sıvı veya radyoaktif atıkların dışında kalan atıklar için kullanılmaktadır. Ancak, atıkların üretim ve işleme sürecine yeniden sokulması sonucunda artık daha fazla atık anlamı taşımayıp katı ya da yarı katı maddeler olarak adlandırılmaktadır [Tchobanoglous and Kreith, 2002], [Christensen, 2011] . Kentsel katı atıklar özellikle tehlikeli atık kapsamına girmeyen atıklar için kullanılmaktadır. Çöp dediğimiz kavram nihai bertarafa giden materyal olarak geri dönüşümü olmazken, katı atık kavramı daha ziyade geri kazanılması gereken maddeler olarak algılanmaktadır.

Kentsel katı atık ise insanların gündelik yaşamları sonucunda ortaya çıkan katı atık olarak tanımlanmıştır. Kentsel katı atıklara genel olarak; çöp, evsel katı atık ya da belediye atığı da denilebilmektedir [Anand, 2010]. Çevre Kanunu’nda “tehlikeli ve zararlı atık kapsamına girmeyen; konut, sanayi, işyeri, piknik alanları gibi yerlerden gelen atık” olarak tarif edilmiştir [ResGaz, 2]. 29314 sayılı Atık Yönetim Yönetmeliğinde ise Belediye atıkları: Yönetmeliğin ek-4’ünün 20 kodlu bölümünde tanımlanan ve yönetiminden belediyenin sorumlu olduğu, “evlerden kaynaklanan ya da içerik veya yapısal olarak benzer olan ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklar”, şeklinde tanımlanmıştır [ResGaz, 3].

3.1.1. Kentsel Katı Atıkların Sınıflandırılması

Kentsel katı atıklar en genel özelliklerine göre organik ve inorganik olmak üzere iki temel gruba ayrılır. Kaynaklarına göre ise belediye sınırları içinde, kentsel, endüstriyel ve tehlikeli, tarımsal ve hayvansal, hastane atıkları, zirai atıklar, arıtma

tesisinden kaynaklı atıklar ve özel atıklar olmak üzere sekiz ana gruba ayrılmıştır. Aşağıda atık türlerine ilişkin tanımlamalar yer almaktadır.

Evsel Atıklar; Evlerde ve aynı zamanda kurumlarda ya da ticari kuruluşlarda yaşamsal faaliyetler sonucunda meydana gelen atıklardır. Genellikle çöp olarak bilinirler ve çoğunlukla zararsız atık grubuna ait atıkları içerirler. Özellikle gıda tüketimi sonucu organik muhtevası yüksek olan bu atıkların içerisinde pil, boya vb. zararlı ve tehlikeli atıklar da bulunabilmektedir. Bununla birlikte ambalaj atıkları, sokak ve park bahçe atıkları, kül, cüruf, mezbaha atıkları, hal-pazar yeri atıkları, sanayi ve endüstri kaynaklı tehlikeli olmayan atıklar ve diğer inorganik atıklar olarak çeşitlenebilir. Atıkların oluşum miktarı ve kompozisyonları; bölgenin sosyo-ekonomik yapısı, demografik yapısı, iklim şartları, beslenme alışkanlıkları, eğitim seviyesi ve mevsim şartlarına göre değişebilmektedir. Yerleşim yerlerinden kaynaklanan evsel atıkların toplanması, taşınması belediyelerin sorumluluğundadır [Christensen, 2011], [Tchobanoglous et al., 2003].

Zararlı ve Tehlikeli Atıklar; Çevre ve insan sağlığı üzerinde potansiyel olumsuz etkileri önlemede ve uzaklaştırmada özel işlemler gerektiren atıklardır. Bu atıklar; kimyasal, biyolojik ve fiziksel özellikte zehirleyici, yanıcı-yakıcı, yok edici veya diğer bir madde ile etkileşimi sonucu zararlı ve tehlikeli olabilen asit, kurşun, civa, arsenik gibi ağır metal bileşiklerini içerebilen, kendiliğinden tepkimeye yatkın olan reaktif atıklardır [Liu and Liptak, 1999], [Bouis, 1999].

Zararsız Atıklar; Tehlikeli ve zararlı atık kapsamına girmeyen inorganik ve organik maddelerdir. Mutfak atıkları ve yemek artıkları, kağıt, karton, kül, metal, cam, plastik, inşaat ve hafriyat atıkları ile diğer sentetik maddeler bu gruptan sayılabilir. Katı atıklar, kaynaklarına göre değişik gruplar altında incelenebilir [Gönüllü, 2004], [ResGaz, 14].

Endüstriyel Atıklar; Endüstriyel faaliyetler sırasında ve/veya endüstriyel faaliyetlerin sonucunda oluşan ticari aktivitelerden kaynaklanan atıkları kapsamaktadır. Endüstriyel katı atık yönetiminde çevrenin ve doğal kaynakların korunması anlamında geri kazanım ve arıtma tesisi uygulamaları önem taşımaktadır. Atıklara örnek olarak genel fabrika süprüntüleri, paketleme malzemeleri, plastikler, tahta, bıçkı tozu, deri, kauçuk, yağlı çamur, katran artıkları ve mezbahaların organik atıkları verilebilir [Christensen, 2011], [Gönüllü, 2004].

Ticari ve Kurumsal Atıklar; Ticari işletmelerin ve kurumların faaliyetleri sonucu ve kurumlardan ortaya çıkan atıklardır. Evsel atıklar kadar organik madde içermeyen

atık gruplarıdır. Lokanta, mağaza, büfe, okul, liman, askeri yerleşim, ofis, stadyum vb. ortak kullanım alanlarından toplanan atıklar bu kapsamda yer almaktadır. Bu atıklar genellikle belediye tarafından evsel atıklarla birlikte toplanır [Christensen and Fruergaard, 2011], [Gönüllü, 2004].

Park, Bahçe ve Pazar Yeri Atıkları; Sokak süprüntüleri, yeşil alan düzenlemeleri, park bahçe, toptancı halleri, mesire yerleri ve plajlardan toplanan atıklar, araba hurdaları, su arıtma tesislerinden ortaya çıkan çamurlar bu gruptadırlar. Kentin sosyo-ekonomik yapısına göre bu atıkların kompozisyonundaki yüzdesel oranlar değişebilmektedir. Örneğin sanayileşmiş kentler, az sanayileşmiş kentlere göre daha fazla atık çeşitleri göstermektedir [ResGaz, 14].

Özel Atıklar; Uzaklaştırılması özel önem gerektiren atıklar bu gruptadır. Radyoaktif atıklar, zararlı ve tehlikeli endüstriyel atıklar, evsel atıklar içerisindeki boya, inceltici, temizlik maddeleri, piller vb., lastik tekerlekler, atık su çamurları, inşaat ve yıkıntı atıkları ile hastane atıkları bu gruptandır [ResGaz, 3].

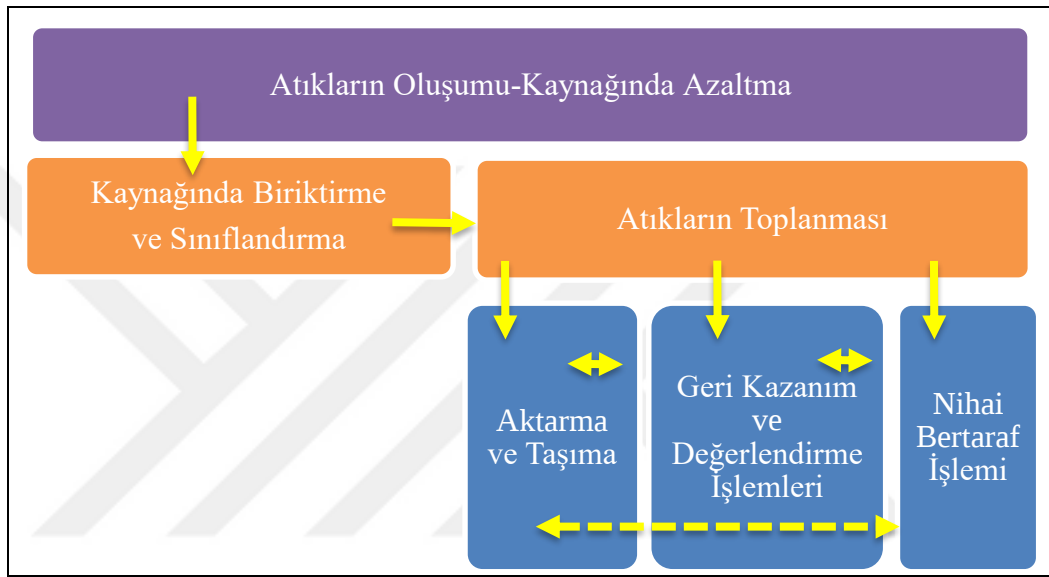
Hayvansal ve Tarımsal Atıklar: Hayvan yetiştiriciliği ve kesimi, çiftlik faaliyetleri ile süt temini gibi hayvansal faaliyetler sonucu oluşan atıklardır. Aynı zamanda bitki yetiştirme ürün hasatı gibi çeşitli tarımsal faaliyetler sonucunda ortaya çıkan atıklar da bu grupta değerlendirilmektedir [ResGaz, 3].

Hastane Atıkları: Hastanelerde, veteriner kliniklerinde, diş polikliniklerinde oluşan patolojik, kesici-delici, genotoksik, farmasötik, kimyasal, ağır metal, basınçlı kap ve radyoaktif atıklar, hastane atıklarını oluşturur. Bu atıklara, evde yapılan sağlık işlemleri (diyaliz, insülin enjeksiyonları) sırasında oluşanlarla birlikte sağlık bakımı sırasında oluşan atıklar da dahildir. Sağlıkla işlemler sırasında oluşan atıkların %75-90' ı risksiz veya halk sağlığını tehdit etmeyen nitelikte atıklarken geri kalan kısmı riskli atıkları oluşturur [ResGaz, 9].

Oluşan katı atıkların içerik özellikleri ve miktarı toplumların sosyoekonomik özellikleri, beslenme alışkanlıkları, coğrafya, iklim gelenekler, meslekler ve sektörler gibi değişik şartlardan etkilenmektedir. Katı atıkların miktar-hacim ve içerik olarak özelliklerinin bilinmesi, gerekli verilerin uygun yöntemlerle toplanması katı atık yönetim sistemi planlaması ve uygulamalarında etkinliğin sağlanmasında son derece önemlidir.

3.1.2. Kentsel Katı Atık Yönetiminin Temel Bileşenleri

Kentsel katı atıkların sürdürülebilir bir yapıda ile devamlılığının sağlanabilmesi için, atıkların oluştuğu kaynağında azaltma ve biriktirme, sınıflandırma, toplama, taşıma ve transfer, geri kazanım süreçlerinin sonrasında nihai bertarafı kapsayan ana bileşenlerin uygulanması gerekmektedir [Henriksen et al., 2006]. Bu bileşenler birbiri ile bağlantıda olup, genel olarak aşağıda Şekil 3.1’de yer aldığı gibidir.



Şekil 3.1: Katı atık yönetiminin temel bileşenleri.

Şekil 3.1’de gösterilen süreçleri adım adım inceleyecek olursak: öncelikle Katı Atık Yönetiminin ilk aşaması, çevreden alınan birtakım hammaddelerin işlenerek, nihai ürünlere çevrilip, kullanıldıktan sonra ortaya çıkması, katı atıkların üretimidir. Her gün miktar olarak artış, nitelik olarak çeşitlilik gösteren katı atık üretimi, günümüz katı atık yönetiminde, birçok araştırmacı ve uygulayıcının “azaltma” ilkesiyle yoğunlaştığı bir aşamadır. Başarılı bir katı atık yönetimi, kaynakta, yani evlerde ve işyerlerinde çöplerin mümkün olduğunca az üretilmesiyle başlar. Çünkü çöp miktarı azaldıkça, ilk yatırım maliyetleri de, işletme maliyetleri de azalmaktadır [Ağdağ, 1997]. Evlerden ve işyerlerinden kaynaklanan atıklardan geri kazanılabilecek malzemenin kaynakta ayrılarak, çöpe dönüştürülmemesi, çöpün miktarını önemli ölçüde azaltacaktır. Ancak bu hedef, halkın bilinç düzeyi ve katılım isteği ile yakından ilgilidir. Öte yandan çöpün miktarı ve kompozisyonu, yani içindeki cam, kâğıt, metal, plastik gibi maddelerin oranı, geri kazanım ve yeniden kullanım amacıyla kaynakta

ayrı toplanıp toplanmamasının rasyonelitesini belirleyecektir. Bu durum elbette ki, bu maddelere pazarda talep olup olmadığı ile yakından ilişkilidir [Web 3, 2019]. Herkesin birleştiği nokta, bir taraftan atık toplama ve bertarafına yönelik en ileri teknolojiler geliştirilirken, diğer taraftan çıkan atığın azaltılmasının gereklilik olduğu şeklindedir [Palabıyık ve Altunbaş, 2004]. Katı Atık yönetiminde Şekil 3.1’den anlaşılacağı gibi, “Toplama-Taşıma-Geri kazanım-Bertaraf” aşamaları, birbirine bağımlı, birbirini etkileyen ve tamamlayan halkalardan oluşan bir bütün olarak düşünülmelidir. Toplama-taşıma; kentsel katı atığın kaynağından farklı yöntemler ile toplanarak, bertaraf edilmek üzere bölgeden uzaklaştırılmasıdır. Bu işlemler sırasında insan ve çevre sağlığı için risklerin minimize edilmesi gerekli ve şarttır.

Ülkemizde Kentsel katı atıkların yönetimi, Çevre Kanunu kapsamında yerel yönetimlerin sorumluluğundadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülen ilgili atık yönetmeliklerine göre; kentsel katı atığın toplanması, taşınması, ara depolanması, nihai bertaraf için taşınması ve bertaraf edilmesi için, Büyük Şehir Belediyeleri, İl ve İlçe Belediyeleri ile İl Özel İdaresince yönetilmesi gerekmektedir. Mahalli İdareler, atık yönetimi yürütmek amacıyla; doğrudan yatırım yapmak, tesis kurmak, hizmet alımı yapmak veya son yıllarda oldukça yaygınlaşan Mahalli İdare Birlikleri oluşturarak atık yönetim planları oluşturmaktadırlar. Kentsel katı atığın toplanması, Belediye bünyesinde Çevre Koruma Daire Başkanlıkları, Atık Yönetimi Daire Başkanlıkları, Temizlik İşleri, Fen İşleri gibi birimlerin altında yürütülmektedir.

Belediyeler, genellikle kentsel katı atık yönetim uygulamalarının birinci ayağı olan atık toplama ve taşıma işlerini “Kent Temizliği” olarak yürütmektedirler. Kurumlar bu işleri kendi imkânları ile yaptıkları gibi yüklenici firmalardan hizmet alımı kapsamında yaptırabilmektedirler.

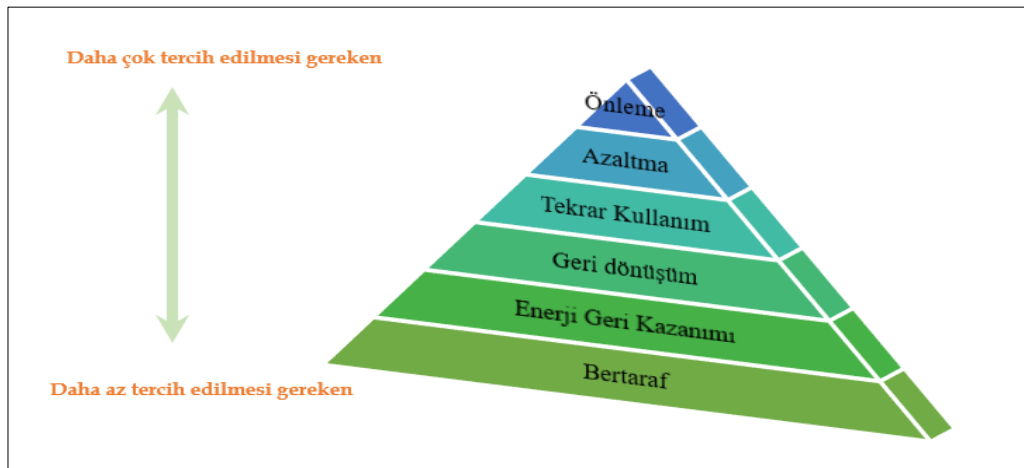
Katı Atık Yönetimi (KAY) atıkların oluşumundan nihai bertarafına kadar devam eden süreçleri farklı yönetim ve bilim disiplinleri altında incelemekte ve yönetim sürecine dahil edebilmektedir. Bu alanlar Çevre ve Halk Sağlığı, ekonomi, mühendislik, imar ve şehircilik, şeklinde olabilmektedir. Hedeflenen KAY için bu disiplinlerin ortak paydada buluşması KAY için çok daha verimli çözümler sunmaktadır. KAY’ de kentsel katı atığın, toplanıp nihai bertaraf edilmesine kadar geçen sürede; miktarı ve bileşenleri sürekli değişken bir eğilim halinde seyretmekle birlikte özellikle toplama ve taşıma maliyetleri oldukça yüksektir. Dünyanın birçok gelişmiş- az gelişmiş ülkesinde KAY’ de çöpler genel olarak üretilip biriktirilip, toplanıp, taşındıktan sonra, kısa süre öncesine kadar, doğrudan düzenli veya düzensiz

öp sahalarına gömölür, burada depolanırdı. Ancak günümüz modern KAY sistemlerinde üretim-biriktirme-toplama/taşıma-depolama doğrusal yolu artık özellikle gelişmiş ölkeler kullanılmamakta, mutlaka işlemlerin arasına işleme-geri kullanım/geri dönüşüm/geri kazanım- aşaması konulmaktadır. Günümüz KAY felsefesinin ana temasını oluşturan bu aşamada, çöp tanımında yer alan “işe yaramaz” ifadesi reddedilmektedir. Oluşan atığın, maddenin yaşam döngüsü içinde bir bölüm olarak kabul edip, o maddenin yaşamına devam etmesi ve döngüyü sürdürmesi için gerekli teknolojiler geliştirmekte ve uygulanmaktadır.

3.2. Kentsel Katı Atıkları Değerlendirme Yöntemleri

Atık Yönetimi yönetmeliğinde de belirttiği gibi, atık yönetimi; atık oluşumunun önlenmesi, kaynakta azaltılması, tekrar kullanılması, özelliğine ve türüne göre ayrılması, biriktirilmesi, toplanması, geçici depolanması, taşınması, ara depolanması, geri dönüşümü, enerji geri kazanımı dâhil geri kazanılması, bertarafı, bertaraf işlemleri sonrası izlenmesi, kontrolü ve denetimi faaliyetlerini kapsamaktadır [ResGaz, 3].

Katı atıkların yönetiminde temel olarak üç ana hedef ele alınmalıdır. Bu hedefler; öncelikle ve en önemlisi atıkların oluşmasını engellemek/ kaynak noktasında atıkları azaltmak, ikincil olarak atıkların tekrar kullanımını sağlamak ve/veya geri dönüşümünü sağlamak ve son olarak atığın en ekonomik ve çevreye zarar vermeyecek biçimde güvenli bir şekilde bertarafını sağlamaktır. Şekil 3.2’de klasik atık yönetim piramidi görölmektedir. Bu piramit ölkemizde yaşanan gerçek uygulamayı şematize etmektedir.



Şekil 3.2: Katı atık yönetimi piramidi.

Atık yönetimi üzerine yapılan tüm çalışmalar bu piramidin tersine dönüşmesi için çaba sarf etmektedir. İdealde ulaşılması istenen nokta ‘sıfır atık’ noktasıdır. Ancak gerçekte buna ulaşmak hiçbir zaman mümkün olamayacağı için her koşulda düzenli depolamaya ihtiyaç duyulacaktır. Esas hedef düzenli depolama alanlarına giden atık miktarını olabildiğinde minimize etmektir.

Katı atıkların toplanması, taşınması, değerlendirilmesi ve uygun şekilde depolanması çok boyutlu ele alınan bir yönetimi içermektedir. Atıkların değerlendirilmesine karar verilirken atığın kaynağında oluştuğu nokta dikkate alınarak doğru bir şekilde planlama yapılması gerekmektedir.

29314 sayılı Atık Yönetimi Yönetmeliği’ne göre bertaraf ifadesi; ikincil amacı enerji geri kazanımı olsa dahi geri kazanım olarak kabul edilmeyen ve yönetmelik ekinde yer alan işlemlerden herhangi biri olarak kabul edilmektedir, şeklinde tanımlanmaktadır [ResGaz, 3].

Kentsel katı atıklar için farklı ihtiyaçları bir arada sunabilen nihai bertaraf yöntemleri bulunmaktadır. Bertaraf yöntemleri niteliğinin; çevreye duyarlı, uzun vadede ihtiyaçları karşılayabilecek ve ekonomik olması beklenmektedir [Bilitevski at al.,1994]. Kentsel katı atıklar yaygın olarak; düzenli depolama, kompostlaştırma, vahşi depolama, termal işlemler ve geri kazanım yöntemi ile uzaklaştırılmakta ve değerlendirilmektedir.

3.2.1. Kaynakta Azaltım

Atıklar içerisinde ekonomik fayda sağlayan ve geri kazanabilir olanların sistemden oluştuğu noktada atık üreticisi tarafından ayrı toplanılmasıdır. Kaynağında ayrı toplama doğru bir katı atık yönetim planlaması gerektirmektedir. Toplanan atıklar sonrasında ayrı bir şekilde değerlendirilerek ve ekonomiye yeniden kazandırılması amaçlanmaktadır. Kaynağında ayrı toplanabilen maddeler; kağıt-karton, metal, elektronik eşyalar, plastik, cam, araç lastikleri, her türlü hurda malzemeler olabilmektedir.

Atıkların kompozisyonu, oluşum miktarı, mevsimsel ya da günlük değişimleri, atığın oluştuğu toplumun sosyo-ekonomik durumu ile doğrudan ilişkilidir. Bireylerin eğitim ve gelir seviyesi tüketim alışkanlıklarını ve atıklar konusundaki bilinç düzeyinde belirleyici bir göstergedir. Kaynağında ayrı toplayabilmek belirli bir eğitim

ve bilinç seviyesi gerektirir. Bu eğitim ve bilinç kazandırma faaliyeti beraberinde kaynağında atık azaltım yaklaşımını da kazandırır. Atıkların kaynağında azaltılması atık yönetim hiyerarşi piramidinin ilk basamağıdır. Ortaya çıkan atık geri dönüşümü olabilen bir atık olsa dahi mümkün olduğunca oluşmamasını sağlamak bu yaklaşımın ana hedefidir. Bu durum günlük yaşantımızda ürün/malzemelerin daha uzun süreli kullanımına özen göstererek, kullan at ürünlerin kullanımını mümkün olduğunca azaltmak gibi eylemlerle desteklenebilmektedir.

Kaynakta azaltım yaklaşımında amaç minimum düzeyde atık oluşturmaktır. Özellikle ticari işletmelerde kullanılan madde miktarını azaltarak ya da paketleme için daha az ürün kullanarak daha az atık oluşumu sağlanabilmektedir. Özellikle geri dönüşüm için kullanılabilir ambalaj bölümlerinin ayrılması, kullan-at ürünler yerine tekrar kullanılabilen ürün üretilmesi. Halk ve sanayinin bilinçlendirilmesi ile kişi başına üretilen atık miktarında % 25 oranında azalma sağlanabilir [Gülmez, 2016].

Atık azaltım konusu sadece hanelerde yaşayan bireylerin bireysel uğraşları ile gerçekleşen bir faaliyet değildir. Aynı zamanda dünyada ve ülkemizde katı atıkların yüksek oranda oluşum kaynağı olan büyük-orta-küçük işletmeler bazında da değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım işletmelerin kurumsal kimliklerinin bir parçası haline getirilmeli üretimde daha az atık oluşumu hedef alınarak iş akışları bu doğrultuda yenilenmelidir.

3.2.2. Geri Kazanım

Geri Kazanım, atıkların herhangi bir kimyasal ya da biyolojik işleme tabi tutmadan atığın bünyesindeki plastik, metal, cam, kâğıt gibi ürünlerin ayrılarak sonrasında uygulanan işlemlerle yeniden kullanıma kazandırılmasıdır. Geri kazanım genel olarak; tekrar kullanım ve geri dönüşüm faaliyetlerini de içeriğinde kapsamaktadır.

Özellikle 80’li yıllarda ortaya çıkan geri kazanım yaklaşımı ile özellikle doğal kaynak ve hammadde kullanımında tasarruf sağlaması, aynı zamanda depolama alanı ihtiyacının önemli oranda azaltılması nedeni ile dünyanın birçok ülkesinde önemi kavranmaya başlanmıştır.

Geri kazanım genel olarak ele alındığında sadece atıkların başka maddelere geri dönüşümü olmamaktadır. Katı atıkların içeriğindeki muhtelif maddeleri hammadde ve yakıt kaynağı olarak kullanmak veya katı atıklarda kompost gübre veya başka

kaynaklar üretmek ve faydalanmak katı atıkların geri kazanılması olarak değerlendirilebilmektedir [Öztürk ve ark., 2015].

Günümüzde Dünyada ve Türkiye’de geri kazanım atık yönetim yaklaşımı olmanın ötesinde, etik bir karaktere de bürünerek, sistemli ya da sistemsiz olarak büyük oranda uygulanmaktadır. Geri kazanım yaklaşımı toplumlarda çevre bilincinin önemli bir sembolü haline gelmiştir. Gelişmiş ülkelerde geri kazanım vatandaş tarafından özellikle sahiplenilmiş ve bir yaşam biçimi haline dönüştüğü felsefeler ortaya çıkmıştır. Türkiye ise geri kazanım; sokak toplayıcıları ve çöp müteahhitleri sayesinde nispeten iyi bir ulusal puana sahip olmasına rağmen, sosyal destek, ortalama eğitim ve kültür seviyesine dayalı olarak oldukça azdır [Özkan, 2000].

Geri kazanım faaliyeti, enerji geri dönüşümünü de kapsayan bir yöntem bütünüdür. Atıkların yakılarak ya da biyolojik yollarla enerjiye dönüşümü atıkların geri kazanımının günümüzde kullanılan en yaygın yöntemi olup, doğal kaynakların tüketimini azaltıcı, dolayısı ile karbon emisyonunu düşürücü etkiye sahip bir bertaraf yöntemidir.

Genel olarak kağıt/karton, metal, cam, plastik gibi atıkların geri kazanımı sağlanarak çeşitli ürünler elde edilebilmektedir.

Geri kazanım işleminin sağladığı faydalar ise aşağıda sıralanmıştır;

- Hammadde kullanımında azalma oluşur.
- Çevrede bulunan atıkları hacmi ve miktarı azalacaktır.
- Depolama alanlarının kullanım süreleri uzar.
- Enerji tasarrufu sağlar.
- Doğal kaynak kullanımı azalır.
- Çevre duyarlılığı artar.

Sağlıklı ve verimli bir geri kazanım sisteminin birincil basamağı hanelerden, okullardan, otel, ofis veya iş yerlerinden başlar. Kaynağında ayrıştırmanın temiz bir şekilde yapıldığı, ambalaj atıklarının ıslak çöplerle karışmadığı ya da hiçbir tehlikeli atık ile temas ederek kontamine olmadığından emin olmak gerekir. Ancak bu şekilde ayrıştırılan çöplerin geri kazanımı gerçekleştirilebilir. Aksi halde ıslak, yağlı ya da kontamine olmuş ambalaj atıkları kaynağında ayrılrsa bile geri kazanımı mümkün olmamaktadır. Geri kazanılabilir atıkların toplanması iki yöntemle gerçekleştirilebilir:

- Tüketicinin getirmesini sağlamak.
- Tüketiciden almak.

Getirtme yönteminde, bireyler atıklarını belirli bir uzaklığı kat ederek toplama kumbaralarına ya da atık toplama istasyonlarına getirirler. Depozito uygulaması da aynı şekilde tüketicinin getirdiği uygulamaya dahildir.

Alma yönetiminde ise tüketici tarafından ayrı biriktirilmiş geri kazanılacak atıklar evlerin önünde ya da kaldırımlardan, toplayıcı organizasyon tarafından toplanarak, toplama merkezlerine taşınması işlemi uygulanır.

3.2.3. Termal Bertaraf Yöntemleri

Termal prosesler içeriğinde yanabilen atıkların kütsel yoğunluğunun fazla olduğu atık kompozisyonlarının enerji geri kazanımı ve diğer yan ürünlere dönüşmesinin sağlanması amacıyla yakılarak nihai bertaraf edildiği yöntemdir. Yakma yöntemi ile atık hacminin azalması ve bazı zararlı maddelerin (organik ve bakteriyel) yok edilmesi ve ortaya çıkan ısı ile enerji geri kazanımını sağlanmaktadır.

3.2.3.1.Yakma

Yakma işlemi organik maddelerin ortamda termik olarak oksijenle kimyasal reaksiyonu sonucu gerçekleşmektedir. İşlem sonucunda oksitlenmiş bileşikler, ısı ve alev oluşur. Yakmanın etkili olması için atıkların içerisinde bulunan yanabilir madde miktarının fazla olması ve kalorifik değerin yüksek olması oldukça önemlidir.

Diğer bertaraf yöntemlerine göre kurulum ve işletme maliyetleri oldukça yüksek olmaktadır. Yakma işlemi sırasında ortaya çıkan zehirli gazların giderilmesi ve işlem sonucunda oluşan tehlikeli atıkların, kül ve cürufun depolanması da giderilmesi gereken önemli bir problemdir.

Yakma işlemi sırasında uygulanması zorunlu olan aşamalar aşağıda yer almaktadır.

- Yakılacak olan malzemenin kurutularak nem miktarı düşürülmelidir.

- Aktarma-dönüştürme aşamasında yakılacak olan madde gazlardan arındırılarak içinde bulunan yanabilir maddeler uçucu kısımlara ve katı-karbona ayrılmaktadır.
- Ateşleme aşamasında yanma işlemi ek bir ısıya ihtiyaç duymadan dışarıya ısı vermesi sağlanır.
- Bu aşamada kuru ve yarı kömürleşme başlamıştır. Katı olan karbon kısımların büyük kısmı yanmaktadır.
- Yakmanın tamamlandığı fazda geriye kalan karbon mineralleri de yakılmaktadır.

Yakma tesislerinde oluşan enerjiyi değerlendiren çalışmalarda 1 ton katı atığın yakılması sonucu 0,3 ton kömür veya 200 L fuel-oil ın ısı değeri kadar bir ısının oluştuğu ve yakma işlemi ile elde edilen buhar gücünün bölgesel ısıtmalarda kullanılabileceği tespit edilmiştir. Aynı zamanda atık ısının tuz giderme tesislerinde buharlaşma kaynağı olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu sayede deniz suyu veya hafif tuzlu sudan tatlı su elde etmede de kullanılabilmektedir. Oluşan buhar havaalanı pistlerinde, yol ve kaldırımlarda kar ve buz eritmek için kullanılabilmektedir.

Yakma işleminin gerekli tedbirler alınmaz ise çevre üzerinde çok ciddi etkileri vardır. Bu etkiler aşağıda sırayla anlatılmaktadır:

i) Hava Kirliliği: atığın yakılması sonucu çeşitli nedenlerle ve şekillerde hava kirliliği oluşmaktadır.

- Yanma işlemi başladığında hava atık yatağından geçerek beraberinde kül, toz ve kömür parçacıklarını baca gazı ile birlikte sürüklüyor.
- Atığın ısıdan ayrışması esnasında, tam yanmanın oluşmadığı, yeterli havanın olmadığı anlarda, alev sönebiliyor ya da fırının içindeki baca gazlarının bekleme süresi kısalabiliyor. Böyle bir durumda baca gazında katran, kurum partikülleri, CO ve uçucu organikler olabiliyor.
- Yanacak olan atık içerisinde; klor, sülfür, flor ve azot gibi bileşikler ve toksik, korozyon gazların oluşmasına neden olabilecek diğer elementler içerebilir.
- Azot ve oksijen; NO_x i oluşturacak şekilde birleşebilir.
- Metaller ve tuzlar birleşerek, mikrondan daha küçük aerosoller oluşabilir.

Tüm bu risklerden dolayı ortaya çıkan kirlenici unsurların en aza indirgenmesi için

atıkların yakma teknolojisine göre yakılması ve uygun filtrelerin kullanılması gerekmektedir.

- ii) Koku ve sızıntı problemi: Atıklar yakma fırınlarına bırakılmadan önce içerisindeki çürüyebilen maddeler koku problemine neden olabilmektedir. Depolama bölgesi, düşük basınçta yanmış havayı kendi üzerine çekerek, kokuların yayılmasına, yakma fırınlarında tam yanmanın sağlanamaması gibi problemlere neden olmaktadır. Bundan dolayı çürümeyi düşük seviyede tutabilmek için depolama alanının düzenli olarak boşaltılması ya da süpürülmesi ile koku yayılımı engellenebilir.
- iii) Su kirliliği: Yakma sistemlerinde su kirliliği genel bir problem olmamakla birlikte uygun şekillerde kimyasal arıtma ile SKKY’nde belirtilen limit değerlerin sağlanması gerekmektedir.
- iv) Klorlu bileşiklerin neden olduğu korozyon ve kirlilik: Yakma işlemi sırasında katı atıklar içerisinde bulunan klorlu bileşikler (HCl), FeO ile reaksiyona girerek FeCl_2 oluşturur. FeCl_2 ise proses içindeki kazan, fırın ve boru gibi sistem parçalarında korozyon etkiye yol açarak yük kayıplarına neden olabilmektedir. FeCl_2 bazı durumlarda ise yanma sonunda oluşan atıklara karışarak su ve toprak kirliliğine neden olabilir. Yakma sonucunda oluşan bakiye kül konsantre halde inorganik madde içerir ve bu küller arazide depolandığı zaman yeraltı suyuna karışarak kirlilemesi mümkündür.
- v) Uçucu maddelerin tam yanmaması: Yakma tesisleri normal şartlarda tam yanmanın oluşmasını sağlayacak şekilde dizayn edilmektedirler. İşlem sırasında bekleme süresi, yanma sonrası sıcaklık ve türbülans karıştırmanın yeterli olması gereklidir. Tesisin iyi işletilmemesi durumunda tam yanma sağlanamayabilir. Tam olmayan yanma, baca gazı kompozisyonun izlenmesi ile tespit edilebilir. Düzeltilmesi için ise yükleme oranının, işletme sıcaklığının, baca çekişinin ve birincil ve ikincil havanın dağıtımının uygun şekilde ayarlanması ile düzeltilebilir. En önemli sorunlardan bir tanesi çok küçük miktarlarda dioksinler gibi klorlanmış, polisiliklik aromatik bileşiklerin ortaya çıkmasıdır. Klor içeren polisilik hidrokarbonlar uçucu kül üzerinde absorbe olurlar ve buradan sökülmeleri oldukça zordur. Potansiyel çevresel etkilerinin tahmin edilmesi hala tartışma konusudur.

vi) Endüstriyel ve evsel çöpler içinde bulunabilen metaller ve tuzlar, alev içinde buharlaşarak fırının daha soğuk bölümlerinde yoğunlaşır. Oluşan küçük parçacıklar daha büyük parçalar üzerinde tutunamıyorsa, toplanmaları zordur. Uçucu metaller; alüminyum folyo, teneke kutular, kadmiyum pilleri ve civadan kaynaklanabilirler. Bu metaller ve tuzların buharlaşma dercesi, işletme sıcaklığı, oksitlenme veya indirgenme koşulları ve tutucuların varlığı gibi komplike ve birbiri ile ilintili etkenlere bağlıdır.

- Yakma Tesislerinin Maliyet değerlendirmesi

Tüm dünyada çöplerin toplanması ve bertarafı, belediyeler için önemli bir maliyet kalemidir. Mutlak bir değer olmayan bu maliyet, insan gücü, yakıt, servis sıklığı ve kalitesi gibi birim maliyet seviyelerine göre değişkenlik göstermektedir. Yakmanın ise başlangıç yatırım maliyeti çok yüksek olsa da, mesafelerin ve nüfus yoğunluğunun çok olduğu bölgeler için, taşıma maliyetlerini ve depolama alanı maliyetlerini düşüreceği için önemli bir yatırım olarak görülebilir. Yakmanın temelde maliyet kalemleri;

- ekipman ve yapı amortisman maliyetleri,
- yatırım kredisine ödenen faiz,
- bakım, tamir ve yenileme,
- işletme personelinin maaşları,
- enerji, prosese suyu ve kimyasallar,
- atık uzaklaştırma şeklinde sıralanabilir.

Yakmanın maliyetlerini karşılayabilmesi için üretilen elektrik ve buhar gücünün ekonomik bir mesafede satışının yapılması önemlidir. Yakmanın uzun vadede fizibil olması için nüfus ve atık projeksiyonunun da doğru yapılması gerekmektedir. Yakma prosesi için yukarıda bahsi geçen bilgilere ek olarak avantajları ve dezavantajları [Türkeş, 2011] Tablo 3.1’de listelenmiştir.

Tablo 3.1: Yakma İşleminin Avantajları ve Dezavantajları.

<i>Avantajları</i>	<i>Dezavantajları</i>
Organik maddelerin kısa sürede gaz ve kül hale gelmesi sağlanmaktadır. Atık hacmi azalmaktadır.	Depolama alanında depolanan kül ve cüruflar içerisindeki kolay çözünen inorganik maddeler yeraltı sularına karışabilmektedir.
Yanma işlemi tamamlandıncaya, atık sterilize olmaktadır.	Cürufların su ile soğutulması ve bacadan çıkan gazların su ile yıkanması sırasında 1 ton çöpe karşılık 1m ³ atık su oluşmaktadır.
Yanma sonucu oluşan ısı enerjisinden sıcak hava üretimi, sıcak su üretimi, buhar üretimi gibi alanlarda yararlanılabilmektedir.	Yakma aşamasında iyi yakılamayan katı atıklar sebebi ile kötü kokulu baca gazları oluşur. Yakma tesisine yakın oturan bireyler için, yakma tesisinden kaynaklı, tesisin gürültüsü, toz ve egzoz gazları yakın çevrede yaşayanlar için rahatsızlık verici olabilmektedir.
Yakma işlemi sonrasında atıkların kapladıkları hacimler yaklaşık olarak %60-70 oranında azalmaktadır.	Yakma tesisinde yaklaşık 1 ton çöp yakılması sonucu, atığın %65'i gaz halinde kirli hava olarak atmosfere salınır.
	Yakma tesislerinin yatırım maliyeti düzenli depolamaya göre hava kirliliğinin kontrol edilmesi de dâhil yaklaşık olarak 10 katıdır.

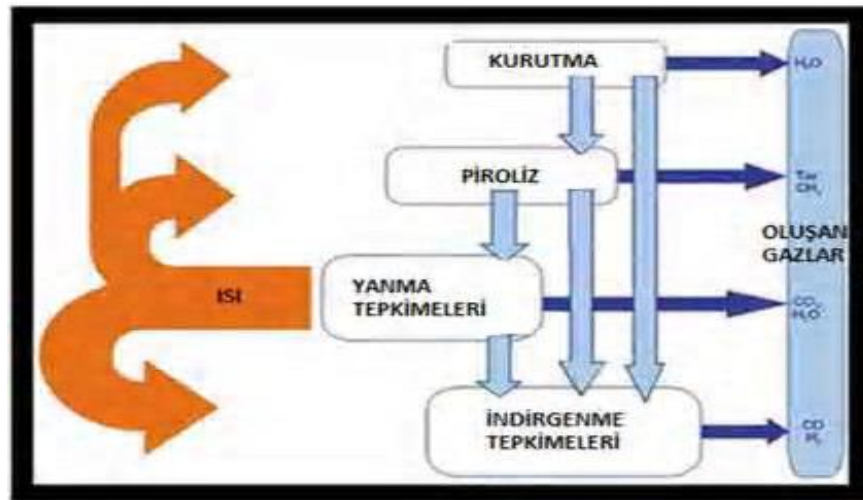
3.2.3.2. Piroliz

Piroliz bir termal proses yöntemidir. Yakma prosesinden farklı olarak atık, oksijenli ya da oksijensiz bir reaktörde ısıtılması sonucu ısı parçalanma ile bozunarak gaz çıkışına neden olur. Bu yöntemde atıklar olduğu gibi veya öğütülerek reaktöre verilmektedir. Dışarıdan brülörlerle ısıtılan reaktörden yanabilir baca gazı kömürlü katı atık ile katranımsı yağlı maddeler veya kül ve cürufun söndürülmesinden oluşan bir atık su elde edilmektedir. Konvansiyonel yakma prosesleriyle enerji geri kazanımı sağlanmakla birlikte yakma prosesine göre daha pahalı yatırım maliyetine sahiptir [Tchobanoglos et al., 1993].

3.2.3.3. Gazifikasyon

Gazlaştırma, katı yakıtların ısı çevrim teknolojisi ile yanabilen bir gaza dönüştürülmesi işlemidir. Reaksiyon; hava, sınırlandırılmış oksijen, buhar ve bunların birleşimi ile başlar. Gazlaştırma prosesi; başlangıçta bir kurutma işlemin ardından 4 aşamada gerçekleşmektedir. Şekil 3.3’de gazlaştırma prosesinin basamakları şematik olarak gösterilmiştir.

- Atık içeriğindeki karbon(C) ve hidrojen (H), ekzotermik reaksiyonlar ile okside olarak ısı açığa çıkarırken, karbondioksit ve suya dönüşmektedir. Yanma sonucu yanmayan inorganik minerallerin bulunduğu kül de açığa çıkar.
- Organik maddelerin oksijensiz ortamda termal parçalanma sürecidir. Oksijensiz ortamda karmaşık organik moleküller 500-600⁰C de parçalandığında yanabilir, yanmaz gazlar, katran ve zift açığa çıkar
- Organik maddelerin havasız ortamda, 150-500⁰C arası farklı sıcaklık bölgelerinde kimyasal parçalanmaya uğradır safhadır. Karbonlaştırma işlemi sonucu açığa çıkan gaz bileşenleri: %50 CO₂, %35 CO, %10 CH₄, %5 diğer hidrokarbon ve H₂’dir.
- Isıtma 1000 ⁰C’ye kadar çıktığında karbon su buharı ile tepkimeye girerek CO₂ ve H₂ üretilir. Bu gazlar ikinci bir işlemle indirgeme reaksiyonu gerçekleştirilerek CO ve H gazlarına dönüşürler. Gazlaştırmada nem oranı arttıkça gazın ısı değeri düşmektedir.



Şekil 3.3: Gazlaştırma prosesinin basamakları.

- Gazlaştırma prosesinin basamakları

Gazlaştırma teknolojilerinde singaz (sentez gazı) üretilmektedir. Bu gaz % 85 oranında karbon monoksit ve hidrojen ve daha küçük oranlarda da karbondioksit ve metan gazlarından oluşmaktadır. Sentez gazın kalorifik bir değeri olduğundan, yakma tesislerinde elektrik üretiminde kullanılabilir.

Termal bertaraf yöntemleri tipik reaksiyon koşulları ve ürünlerinin yer aldığı karşılaştırma tablosu Tablo 3.2.'da verilmiştir.

Tablo 3.2. Termal bertaraf yöntemleri tipik reaksiyon koşulları ve ürünler.

	Yakma	Piroliz	Gazifikasyon
Reaksiyon Sıcaklığı (°C)	800-1450	250-700	500-1600
Yanma odası Basıncı	1 bar	1 bar	1,45 bar
Ortam	Hava	İnert-Azot	O ₂ , H ₂ O
Stokiyometrik Hava Oranı	>1	0	<1
Gaz Halindeki Ürünler	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂	CO, H ₂ O, H ₂ , N ₂	CO ₂ , CO, H ₂ O, H ₂ , CH ₄ , N ₂
Katı Halindeki Ürünler	Kül, Cüruf	Kül, Kömür	Cüruf, Kül
Sıvı Halindeki Ürünler		Piroliz Yağı, Su	

3.2.4. Kompostlaştırma

Kompostlaştırma bilinen en eski ve en doğal bertaraf yöntemlerinden biridir. Kentsel katı atık içerisindeki organik kökenli katı atıkların (özellikle park, bahçe ve pazar yeri atıkları) oksijenli-oksijensiz ortamda biyobozunması ile yüksek verimli gübre benzeri ürünün oluşması işlemidir [Bilitevski et al., 1994]. Bu sayede; organik atıkların geri kazanılması, suni gübreye ihtiyacın azalması, toprağın beslenmesi, toprakta faydalı organizmaların miktarının artırılması böylece bazı bitkisel kaynaklı rahatsızlıkların engellenebilmesi, toprak erozyonunun azalması ve çevresel kirliliğin önüne geçilmesi gibi sosyal, ekonomik ve çevresel yönden çok sayıda fayda sağlayan bir bertaraf yöntemidir. Örneğin yapılan bir çalışmada 80ton/ha taze kompostun toprağa verildikten sonraki süreçte toprakta aktinomisetlerin sayısının iki kat, bakterilerin ise 15-16 kat arttığı görülmüştür [Boldrin et al., 2009], [Cadena et al., 2009].

Evsel atıklar içerisinde kompostlanabilenler arasında; park bahçe atıkları olarak, yapraklar, bahçe-çim kırpıntıları, meyve-sebze atıkları, pamuk veya yünden yapılmış eski ve yırtık bezler, kumaş parçaları, geri dönüşümü zor kâğıtlar, çay torbaları, kahve telvesi, yumurta kabukları, testere talaşı gibi ürünler sayılabilmektedir. Ancak bunun yanında, süt ve süt ürünleri, her türlü et, et atıkları ve kemikler, katı ve sıvı yağlar, hasta olan bitkiler kompostlanmayan katı atıklar arasındadır. Oluşan kompost ürünün içerisinde; bakteriler, mantarlar, aktinomisetiler, algler, protozoalar, solucanlar, karıncalar ve sinekçikler bulunmaktadır. Bu canlılar çöpü kimyasal yolla ayrıştırmaktadırlar.

Farklı kompostlaştırma yöntemleri bulunmaktadır. Aralarındaki fark havalandırma, sıcaklığın kontrolü, olgunlaşma süresi, aktarma şekli, ön ve son hazırlama işlemlerinin düzenlenmesi ile ortaya çıkar. İşlem için seçilecek teknolojiye göre prosesin hızlandırılması ve oluşan gaz emisyonlarının yayılımının kontrol altına alınması gerekmektedir. Basit, işletme emniyeti yüksek ünitelerden oluşması istenmektedir [Yıldız vd., 2009].

Kompostlamayı doğrudan etkileyen faktörler ise; atığın tane boyutu, atığın içerisindeki karbon/azot miktarı, atık içerisindeki su miktarı, atık kütlelerinin sıcaklığı ve pH düzeyi, oksijen miktarı, içerisinde bulunması istenmeyen zehirli ve zararlı kimyevi ürünlerdir. Kompost toprakla iyi karışmalı ve yeterince nemli tutulmalıdır. Kompost toprağın su tutma kapasitesini ve havalandırma yeteneğini, besin maddesi tutma özelliğini de arttırmaktadır. Kompostlama faaliyetinin aşamaları ise aşağıda sıralanmaktadır.

- i) Ayırma: Kompost olamayan cam, metal, plastik, cüruf gibi katı atıkların ayrıştırılması.
- ii) Parçalama- öğütme: Ayrışma işlemini hızlandırarak, bakteri ve mantarların üremelerini kolaylaştırmaktadır.
- iii) Fermantasyon: Öğütülen atıklar çürütücü bir reaktöre konulur veya yığın hale getirilerek bakteri faaliyetleri hızlandırılır. İşlem ortalama 3-6 gün arası sürer ve sonrasında olgunlaşma için 2 haftalık bir zamana ihtiyaç duyulur.
- iv) Depolama: İşlemleri biten taze kompost kararlı yapıda ise düşük kaliteye sahip arazilerin ıslahında kullanılır. Aynı zamanda elenerek de bahçe ve çiçeklerin üretiminde kullanılabilir. İstenen düzeyde kararlı yapıya sahip olmayan

olgunlaşmamış kompost ise depolanabilir. Olgunlaşmış kompostun yapısı tarıma uygun toprakla aynı dokudadır.

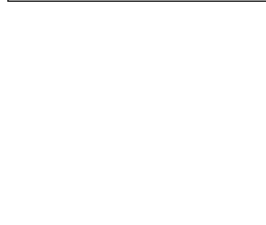
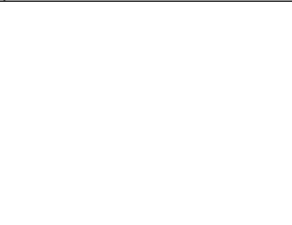
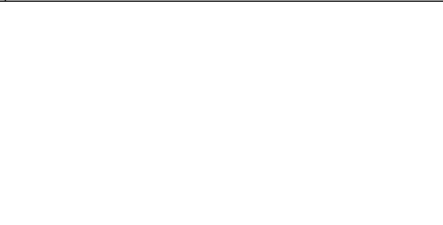
Ülkemizde kompostun gübre olarak kullanımı gittikçe artmaktadır. Özellikle birçok belediye kendi kompost gübresini üreterek park bahçe yeşil alanlarında toprak düzenleyici olarak kullanmaktadır. Bu durum hem yeşil alanların erozyonunu engellemekte hem de bu alanlardan toprağa, havaya ve suya karışan kimyasalların azalmasını sağlamaktadır. Kompost elde etmek için çok sayıda teknik yöntem vardır. Tablo 3.3’de bu yöntemlerin özeti yer almaktadır.

Tablo 3.3: Kompost elde etmenin teknik yöntemleri.

Giesser yöntemi	Atık 8-12 cm olacak şekilde kıyılır ve arıtma çamuruyla karıştırılıp yığında kompostlaştırılması sağlanır.
Flensburg yöntemi	Atıklar ön parçalama işlemine tabi tutulur, daha sonra arıtma çamuru ile karıştırılır. Ön ayrıştırma tamburda yapılır. 4-6 ay sonra olgun kompost elde edilmiş olunur.
Alzey (Hazemay) yöntemi	Atıklar ön parçalama işlemine tabi tutulur, daha sonra mıknatıs ayırma aleti ile metaller ayıklanır. Sonrasında 8-10 ay yığında kompostlaşmaya bırakılır.
Brikallere yöntemi	Önceden parçalanmış çöpler ile arıtma çamurları karıştırılarak briketler elde edilir. Briketler içinde ayrışma ve olgunlaşma devam etmektedir.
Dano biyo-stabilizatör yöntemi	Atıklar ön işlem görmeden tambura girer, 48 saat sonra çıkar, sonra yığında olgunlaşmaya bırakılır. 4-6 ay sonra olgun kompost olarak kullanılması mümkündür.

Kompostlaştırma faaliyeti genel olarak açık ve kapalı sistem olarak ikiye ayrılmaktadır. Bununla birlikte işletme şartları, kullanılan makine ve ekipmanlara göre de kendi içinde dallara ayrılmaktadır. Genel olarak kullanılan altı sistem olup, Tablo 3.4’de kısaca özetlenmiştir [ÇŞB, 2012]

Tablo 3.4: Kompostlaştırma sistemleri

Pasif ya da açık yığında Kompostlaştırma	Küçük ve orta büyüklükte yerler için uygundur ve basit bir sistemdir. Organik maddeler yığın haline getirilir ve karıştırılmadan stabil ürün oluncaya kadar ayrışmaları beklenir. Pasif kompostlaştırmanın bir dezavantajı, yığın kontrol edilemez, çok fazla ıslanır ve sıkışır, anaerobik koşulların başlaması ve koku oluşumu riskidir.	
Aktarmalı yığın kompostlaştırma (yükleyici is makinaları kullanarak) Aktarmalı yığında kompostlaştırma (Özel aktarma makinaları)	En çok kullanılan kompostlaştırma yöntemlerindendir. Atık yığınları, prosesi aktif ve verimli bir şekilde yönetebilmek için çevrilerek karıştırılırlar. Karıştırmanın en önemli katkısı atığın gözenekli yapısını artırarak yığına hava girişini artırmasıdır.	
Havalandırmalı statik yığında kompostlaştırma	Açıkta yapılan ya da bir yapıyla kapatılan kontrollü yığınlardır Pasif havalandırmalı statik yığınlar, yığının içine gömülü bir ucu açık delikli borular vardır. Yığındaki sıcak gazlar yükselirken, tabandaki borulardan yığın içerisine taze hava girişi olur ve yığından yukarı doğru salınır. Basınçlı havalandırma ise hava üfleyici (blower) ile yığının tabanından sağlanır. Alternatif olarak negatif basınç ya da emme ile havanın yığından geçmesi de sağlanabilir. Hücreler yan yana birbirine yapışık şekilde oluşturularak diğer proseslere göre daha az yer kapladığı için kompost alanı daha verimli kullanılmaktadır. İşletme kolaylığı açısından her bir tekil hücrenin havalandırması için ayrı blower kullanılmaktadır.	

Tablo 3.4: Devamı.

Reaktörde kompostlastırma	Atık bir bina, kanal ya da reaktör içinde toplanır. Bu sistemler kompost prosesinin daha iyi kontrol edilmesini sağlayan ve ilk yatırım maliyeti en yüksek kompost teknolojileridir. Kapalı ortam içerisinde hızlı fermentasyon (aktif kompostlastırma) ve sonrasında yavaş fermentasyon gerçekleştirilir. Günümüzde uygulanan teknolojilerde aktif kompostlastırma reaktörde gerçekleştirilirken, yavaş kompostlastırma aktarmalı yığın metodu ile yapılmaktadır. Kapalı sistemlerde ürün daha kısa sürede oluşur, koku problemi, gerekli işgücü ve yer ihtiyacı daha azdır. Aktif kompostlastırma için geçen süre 1-2 hafta arasındadır. Yavaş kompostlastırma ile birlikte kompostun olgunlaşması için toplam olarak 4-12 hafta gerekmektedir.	
Bahçe tipi kompost	Bahçe ve evlerde üretilen organik atıkların yerinde kompostlaştırılmasını sağlayan bu sistemler dünya genelinde yaygın olarak kullanılmakta olup, pek çok modele sahiptir.	

- Kompost Tesislerinin Maliyet Değerlendirmesi

Kompostlaştırma tesislerinde yatırım ve işletme giderleri yerel koşullara, uyulacak çevre standartlarına, seçilen teknolojiye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Birim giderleri, yatırım giderleri ile işletme giderleri toplamının, üretilen bir ton kompost başına düşen değeri olarak hesaplanmaktadır. Fermantasyon süreci sırasında kütle azalması görülür. Kütlenin %50'si buharlaşma, bozuşma ve (CO₂ ve başka gazlara dönüşüm) ve sızıntı nedeniyle kaybolur. Bundan dolayı, hammaddenin ton başına düşen birim gideri yaklaşık olarak kompostun ton başına düşen birim giderinin yarısı olarak hesaplanır. Malzeme kaybı, kompostlaştırılan atığın nem içeriğine bağlıdır.

Belediye ölçeğinde bir faaliyet yapılacaksa, gider kalemleri olarak; personel, enerji (karıştırma, taşıma, havalandırma) su (biyofiltre/ kompostun nemlendirilmesi, yıkayıcı, temizlik), nakliye, yakıt (yükleyici ve hareketli ekipmanlar için) ve yedek parça giderleri sıralanabilir. Maliyeti belirleyici en büyük etken seçilecek teknoloji yöntemidir. Burada belediyenin koşulları ve ayrılacak bütçe de belirleyici olabilmektedir.

3.2.5. Düzenli Depolama

Kentsel katı atıkların nihai bertarafında en çok kullanılan yöntemlerden biri olan düzenli depolama alanları belediyelerin en önemli çevre sorunlarından biridir. Atıkların bertarafında farklı alternatifler olmakla birlikte ekonomik olarak gelişmekte olan ülkelerde ekonomik avantajı dolayısı ile evsel atıkların bertarafında kullanılmaktadır. Katı atıklar geçirimsizliği sağlanmış özel membranlarla büyük dolgu alanlarında gömülmektedir. Gömülen atıkların zemin ve yeraltı sularına ve atmosfere zarar vermeyecek şekilde depolanması gerekmektedir. Bunun için sızıntı sularının ve karışan yağış sularının ayrı bir drenaj sistemi ile toplanarak ayrılması ve geçirimsiz bir tabakanın oluşturularak yüksek kirlilik içerikli sızıntı suyunun yer altı sularına karışması engellenmektedir [Bouis et al., 1999].

Düzenli depolama tesislerinde, atıklar belirli bir yoğunluk ve hacime ulaştığında iş makineleri ile sıkıştırılmaktadır. Uygun sıkıştırma yüksekline geldiğinde ise inert malzemeler ile üzeri kapatılmaktadır. Sıkıştırma sonucu oluşan koku ve gazının atmosfere yayılımını engellemek için depo yeri gaz bacaları ile donatılmaktadır.

Oluşan bu gazlar biyobozunma sonucu oluşan değerlendirilebilen CH₄, H₂S ve CO₂ gazlarıdır. Bu gazların uzaklaştırılması ve değerlendirilmesi düzenli depolama alanlarının yönetiminde büyük bir pay sahibidir. Aksi halde çevre ve insan sağlığına çok büyük oranda tehdit ve risk içermektedir.

Düzenli depolama uygulaması esasında ekonomik taşıma mesafesi alanında uygun arazi bulunması durumunda yatırım maliyeti nispeten ekonomik bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Kapasitenin arttırılması mümkün olabilmektedir. Kullanılan araziler kapatıldıktan sonra uygun şartlara getirilip rekreasyon amacıyla kullanıma açılabilir. Ancak kapatma işleminden sonra periyodik kontrollerin yapılması gerekmektedir.

Düzenli depolama alanlarında depolanan atık çeşitleri: yeşil alanlardan ve park-bahçelerden atılan bitki artıkları, evsel katı atıklar, zararlı atık olamayan evsel atık özelliklerinde sanayi ve ticarethane katı atıkları, iri katı atıklar, evsel atık su arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları, zararlı atık sınıfına girmeyen sanayi arıtma tesisi çamurlarıdır [Bayer, 2005].

Düzenli depolama alanları planlanırken özellikle yer seçiminde aşağıdaki hususların dikkate alınması gerekmektedir.

- En yakın yerleşim birimine en az 1 km mesafede olmalıdır.
- Havaalanına en yakın 3 km uzaklıkta olmalıdır.
- İçme, kullanma ve sulama suyu temin edilen yer altı ve yer üstü suların koruma bölgelerine inşa edilmemelidir.
- Deprem fay hattı üzerinde olmamalıdır.
- Sulak alanlara inşa edilmemelidir.
- Hakim rüzgar yönüne inşa edilmemelidir.
- Kapatılmasından en az 40 yıl sonra yerleşime açılabilmesi, rekreasyon alanı vb. şekilde kullanılması sağlanmalıdır.
- Depolama sahasının ömrü en az 10 yıllık ihtiyaca cevap verecek şekilde olmalıdır.

Düzenli depolama yukarıda sıralanan kriterlere dikkat edilse dahi bir takım riskler teşkil etmektedir. Bu riskler; depolama sonrasında oluşan gaz ve sıvı sızıntıların kontrol altına alınamaması, tamamlanmış tesislerde bakım olmadığına

göçüklerin meydana gelebilmesi, yerleşim alanlarına yakın yerlerde kurulan alanlara halkın tepkisi, nüfusu yüksek bölgelerde ekonomik taşıma mesafesinde alan bulma zorluğu olarak sayılabilmektedir [Talu, 2006].

3.3. Kentsel Katı Atıkların Yönetim Yapısı ve Süreçleri

3.3.1. Sürdürülebilirlik Açısıyla Katı Atık Yönetimi

Sürdürülebilir akıllı şehirler başlığı altında detaylı bir şekilde ele alınan sürdürülebilirlik kavramı kentsel atıkların yönetilmesi açısından da değerlendirilmektedir. Atıkların yönetim süreçleri kapsamlı bir şekilde ele alındığında; tüm aşamaların, toplanma, nakliye, düzenli depolama, kayıt aşamaları, uygun bertaraf yöntemi seçimi ile o yönetimin sürdürülebilirliğinin izlenmesi, işlemlerin faaliyete başlamadan planlama aşamasında tüm doğal kaynakların sürekliliğinin sağlanması, çevresel olarak verimli, ekonomik açıdan fizibil ve sosyal açıdan kabul edilebilir olması önemli ve gereklidir.

Özellikle çevresel performans atıkların sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesinde önemli bir göstergedir. Çevresel performansı değerlendiren kriterler aşağıda özetlenmiştir.

- Daha az doğal kaynak tüketimi: Atıkların yönetilmesi sürecinde yer alan tüm uygulamaların daha az su, enerji ve genel olarak daha az doğal kaynak tüketimi odaklı olup, yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif olarak değerlendirildiği ve yeşil alanların artırıldığı bir yönetim planlaması.
- Daha az emisyon: Geri kazanım, geri dönüşüm ve yeniden kullanım gibi atık minimizasyonu faaliyetlerinin uygulanmasının desteklenmesi ile havaya, suya ve toprağa verilen emisyonların azaltılması

Sürdürülebilir atık yönetiminde esas hedef daha az atık oluşumu sağlamak ve mümkün olduğu durumlarda bu atığın bir kaynak olarak kullanarak doğanın ve canlıların daha az zarar görmesini sağlamaktır. Dolayısıyla atık oluştuğu andan itibaren sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında çevresel, ekonomik, sosyal hedeflerle uyumlu olacak şekilde değerlendirilmesi esas alınmalıdır.

3.3.2. KKAY’de Ekonomik Araçlar

Belediyeler için atık yönetimi; yüksek bütçeli başlangıç ve yatırım maliyeti olan önemli bir hizmet kalemidir. Hizmetten doğan maliyetler ise atığı oluşturanlar tarafından karşılanmalıdır. Endüstriyel ve ticari atıkların yönetimi atık üreticileri tarafından karşılanmaktadır. Hanelerden kaynaklanan atıkların maliyeti ise genellikle belediye çöp vergileri veya emlak vergileri ile karşılanmaktadır. Atık yönetimi için doğrudan ödenen vergilere ek olarak, insanların tüketim ve atık üretim davranışlarını da değiştirebilecek bazı ekonomik araçlar da kullanılabilir. Ülkemizde de uygulanan bazı ekonomik araçların neler olduğuna aşağıda kısaca değinilmiştir.

- **Emisyon Kredileri:** Düşük karbon salınımı yapan işletmelerin karbon satması ve limit üzerinde emisyon salınımı yapanların ise emisyon kredisi satın alarak dengeleme işlemi olarak literatürde ve ekonomide yerini alan bir kavramdır. Emisyon kredileri henüz atık sektöründe çok yaygın olmasa da İngiltere’de 2003 yılında çıkarılan Atık ve Emisyon Ticareti Kanunu biyobozunur atıkların depolanması ile ilgili emisyon kredilerini mümkün kılmaktadır.
- **Ürüne Bağlı Bertaraf Harcı:** Bazı atık türlerinin güvenli şekilde bertarafı için kullanım ömrünün sonundaki atık bertaraf maliyetleri satın alma sırasında fiyatın içine atık bertaraf ücreti olarak yansıtılır (peşin geri dönüşüm ücreti). Bu ücret tüketici tarafından satın alma sırasında KDV den ayrı bir kalem olarak ödenebilir [Walls, 2006]. Özellikle elektrik/elektronik eşyalarda, küçük ev aletleri gibi ürünlerde uygulaması yapılmaktadır.
- **Depozito Geri Ödeme Sistemleri:** Ülkemizde 25.04.2022 tarihli “Zorunlu Depozito Yönetim Sistemi Uygulamalarına ilişkin Usul ve Esaslar” ile zorunlu uygulamaya başlatılan sistem ile tüketici almış olduğu ambalajlı ürünün bertaraf ücretini ürün fiyatına ilave olarak öder, daha sonra ise ürünü geri dönüşüme kazandırmak istediğinde ürünü teslim ettiği noktada peşin ödemiş olduğu bedeli iade alır. Bu sistemdeki mantık vatandaş geri dönüşüm faaliyetine aktif katılımcı bir şekilde dahil etmektir. Depozito uygulamasına tabi ürünler ilgili esasta cam, PET, Alüminyum, HDPE, Kompozit ürünleri altında sınıflandırılmıştır [ResGaz, 15].

- Çevre Dostu Sübvansiyonlar: Daha temiz teknolojilerin kullanımının teşvik edilmesi adına destekler etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Özellikle geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı alanında sağlanan teşvikler bu alandaki yatırımları arttırarak ekonomik katkılar sağladığı gibi kısa ve uzun vadede çevresel olarak etkiyi azaltıcı yönde rol oynamaktadır.
- Atık Borsası: Üretim sonucu oluşan atıkların geri kazanılarak, başka bir üretimde ikincil hammadde olarak değerlendirilmesi için bu tür atıklara biçilen bedel sistemine denir. Döngüsel ekonomi ya da endüstriyel simbiyozun bir parçası olan bu sistem ile deponi sahasına giden atık miktarı azaltarak bertaraf giderlerinden tasarruf sağlanmış olmaktadır.

Yukarıda bahsi geçen ekonomik araçlar, vatandaş ya da üreticileri daha az atık üretimine teşvik etmek, ürettiği atığın bertarafından sorumlu olarak hareket etmesini sağlamaktadır. Dolayısı ile belediyeler için ekonomik araçlar öncelikle gelir getirmesi amacının ötesinde çevresel boyutunun öncelikli olması önemlidir. Kişiler ise bu ödemeleri yaparak kirletme hakkına sahip olduğu algısından uzak daha fazla farkındalık için de yaklaşım sergilemelidir.

3.3.3. Türkiye’de KKAY İçinde Yer Alan Aktörler ve Roller

Türkiye’de atık yönetimine yönelik yasal düzenlemeler Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) tarafından hazırlanmaktadır. Bakanlık, oluşturduğu yasal düzenlemelerin uygulanıp uygulanmadığının kontrolünü yapan ve bu konuda gerekli ise yaptırım ve cezaları işleyen en yetkili üst kurumdur. Ancak düzenleyen ve kontrol eden arasında sistemde en önemli aktör uygulatan ve uygulayanlardır. Bu bölümde ülkemizde katı atıkların yönetilmesi sürecinde rolü olan kurum ve kuruluşlardan kısaca bahsedilecektir.

3.3.3.1. Bakanlık ve Belediyeler

Şehirlerde atık yönetiminde hizmetlerini sunan, uygulayıcı kurumlar yerel yönetimler olan Belediyelerdir. Belediyelerin çevre koruma alanındaki temel görevi, yetkileri idari kolluk hizmeti özelliğindedir. Bunun yanında vatandaşın ortak

gereksinimlerini karşılamakla görevli olan belediyelerin, çevre konusunda tüm hizmetleri yerine getirmesini de hukuk sistemi sağlamaktadır. Çevre korunması ve yönetimi konusunda belediyelerin Tablo 3.5.'de özetle belirtildiği gibi çeşitli yasal yetki ve görevleri bulunmaktadır. Belediyelerin çalışma alanı ise büyükşehir ve diğer belediyeler olmak üzere iki farklı yapılanma ile gerçekleştirilmektedir. Büyükşehir Belediyeleri (BB) dışında kalan ve diğer illerin ve ilçelerin belediyelerinde atık yönetim birlikleri (AYB) modeli ile atık toplama ve bertaraf hizmetlerinin yürütülmesi teşvik edilmektedir [Öztürk, 2015].

Tablo 3.5: Kurumların atık yönetimi konusunda ki görevleri.

<u>Büyükşehir Belediyeleri:</u> Hizmet Alanı: İl Sınırı <u>İlçe/Belde Belediyeleri:</u> Hizmet alanı: Belediye sınırları içi	<u>BB Çevre Koruma Dair Başkanlığı:</u> - Entegre Atık Yönetim Planı Hazırlamak - Aktarma Merkezleri yapım/işletim - Atık işleme ve bertaraf tesisleri yapım/işletim <u>İlçe/Belde Belediyeleri</u> - Atık yönetim planlarını(AYP) ilçe ölçeğinde uygulamak (toplama, geri kazanım, yerel kompost vs) - Atık toplama aktarma/depolama tesislerine taşıma(yakın mesafede ise)
<u>Diğer Belediyeler</u> Atık Yönetim Birlikleri (AYB): Hizmet alanı: Genelde il sınırlarını esas alarak oluşturulan, atık toplama havzaları içindeki belediyeler <u>Birlik Üyesi Belediyeler</u> Hizmet alanı: Belediye sınırları içi	AYB Yönetimi: - Birlik hizmet alanı için Entegre AYP hazırlayıp uygulamak - Aktarma merkezi yapım/ işletimi - Aktarma merkezleri ile düzenli depolama ve arıtma tesisleri arasında taşıma - Düzenli depolama ve atık arıtma tesisleri yapım /işletim - Maddesel geri kazanım tesisleri için yer belirleme <u>Birlik Üyesi Belediyeler:</u> - AYP ilçe/belde ölçeğinde uygulama - Atık toplama/aktarma merkezleri veya düzenli depolama tesislerine taşıma - Ambalaj atıkları geri dönüşüm (ikili toplama ve/veya kumbara +geri dönüşüm merkezleri ve yerel kompost faaliyetleri yürütme

Tablo 3.5: Devamı.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	Bakanlık: - AB ile uyumlu Katı Atık Ana Planı ve AYP, iklim değişikliği ulusal Eylem planı hazırlamak, uygulamaları izlemek - AYP onaylamak ve uygulamaları izlemek - Atık bertaraf/arıtma tesisleri ile ilgili ÇED ve işletme izin sürecini yönetmek
--------------------------------------	--

3.3.3.2. Atık Üreticisi

Atık üreticisi olmak kavramı gerçek ve tüzel olmak üzere iki ayrı kişilik üzerinden değerlendirilmektedir. Gerçek kişilik vatandaşlar olup, atık kaynağı; haneler, iş yerleri (ofis, fabrika, hastane gibi), okullar, üniversiteler gibi bulunduğu herhangi bir alanda atık üreten kişi olarak attığı atıktan birinci derecede sorumludur. Tüzel kişilik ise işletmeler, hastaneler, sağlık merkezler, fabrikalar, eğitim kurumları, çeşitli kamu/özel kuruluşlar ve özellikle endüstri tesisleri, organize sanayi bölgeleri vb. atığın oluştuğu ve kaynağının bilinmediği ya da direkt üretimden kaynaklı olarak oluştuğu alanlar olarak ele alınır. Burada oluşan atıklar ilgili yönetmelikler gereği kurumların ya da birimlerin sorumluluğu altında yönetilir. Atıkların yönetiminde mevzuata aykırı bir durum gerçekleştiğinde sorumlu kurumun kendisidir (ilgili yönetim birimi). Atık üreticisi direkt olarak Çevre kanunu “kirleten öder” prensibi ile birinci dereceden atığından sorumludur.

3.3.3.3. Geri Kazanım Sektörü

Geri kazanım sektörü başlığı esasında geniş bir alanı kapsamaktadır. Başta ambalaj atıklarının toplanma ve ayırma işlemini yapan belediye iştiraki olan ya da bağımsız olan işletmeler. Bu atıkların toplanmasında özellikle ülkemizde büyük rolü olan sokak toplayıcıları, kaynağında ayrıştırılmayan atıkları konteynırlar içinden toplayarak aslında ülkemizde bu alanda çok önemli bir rol üstlenmişlerdir. Bu konunun toplumsal, ekonomik ve yasal boyutu başka bir tartışma konusu olup, çevresel olarak ambalaj atıkların değerlendirilmesine katkı sağlamakla birlikte, düzenli depolama alanlarına gitmesini de engellemiş olmaktadır. Bu anlamda çevresel fayda, çalışmamızda ele aldığımız örnek ilçenin yaşam döngüsü analiz çalışmasından da

anlaşılabilmektedir. Bunların dışında ayrılan atıkların her bir türüne göre bu atıkları ürün olarak değerlendiren fabrikalar; doğal kaynakların daha az kullanımına katkı sağladığı gibi aynı zamanda ekonomik döngüye de katkı sağlamaktadırlar. Geri kazanım kapsamında atıktan enerji üretilmesi, organik atıklardan kompost eldesi gibi faaliyetleri de kapsamaktadır. Bu faaliyeti yapan işletmelerin de yasal şartlara uyma koşulu ile atıkların yönetilme sürecinde önemli rollere sahip olduğunu belirtmek gerekir.

3.3.3.4. Sivil Toplum Kuruluşları (STK) ve Vakıflar

STK'lar özellikle dünyada geçmişten beri atıklar konusunda çok büyük rol oynarken, ülkemizde ancak son yıllarda sayılarının arttığını söylemek mümkündür. Bu kuruluşlar ve bireysel inisiyatifler gönüllülük ilkesi ile hareket ederek, kimi zaman belediyeler ve bakanlık ile iş birliği yapmaktadırlar. Özellikle sürdürülebilirlik amaçlarının altını çizerek, insanların çöplerini tanımaları, doğru değerlendirmeleri, gerektiğinde çöp oluşturmamaları ya da kendi içinde dönüşümünü sağlamaları konusunda bilinçlendirme çalışmaları, eğitimler kimi zaman da katılımcıların aktif rol alabileceği çalıştaylar düzenlemektedir. Bu çalışmaların ülkemizde daha geniş bir alana yayılması, toplumun her bölgesinin ve kesiminin atıklar konusunda bilinçlendirilmesi atık yönetiminde çok önemli bir basamak olmaktadır. Bundan dolayı bu kuruluşlar KKAY konusunda önemli bir role sahiptirler.

Türkiye'de bakanlıktan resmi onaylı olarak geri dönüşüm faaliyetine katkıda bulunan, belediyeler ve kurumlarla resmi anlaşma yaparak onların geri dönüşüm faaliyetlerinde sorumluluklarını yerine getirmesini sağlayan vakıflar da yer almaktadır. Bu vakıflar aynı zamanda STK'lar gibi toplumun çevre ve özellikle atıklar konusunda bilinçlendirmek üzere çeşitli eğitimler, toplantılar, reklam panoları, TV reklamları ya da kamu spotları düzenleyerek ülkemizde daha geniş bir alana seslerini duyurmaktadırlar.

3.3.4. KKAY Yönelik Ulusal ve Uluslararası Yasal Düzenlemeler

Dünya'da katı atıkların yönetilme süreci ülkelerin, eyaletlerden oluşan ülkelerde ise eyaletlerin kendi iç yönetmelikleri ve kuralları çerçevesinde değerlendirilmektedir.

Bundan dolayı bu başlık altında sadece AB ülkelerinde geçerli olan KAY'ne yönelik yasal düzenlemeler ele alınmıştır. Aşağıda Tablo 3.6'da düzenleme tarihleri ve kapsamaları özet şeklinde verilmiştir.

Tablo 3.6: AB ülkelerinde geçerli olan KAY'ne yönelik yasal düzenlemeler.

Yasal Düzenleme	Düzenleme Tarihi	Kapsam
Katı Atık Çerçeve Direktifi	EEC/1975	AB genelinde atık yönetimi ile ilgili temel bir yaklaşım sunarak atık terminolojisini kapsar. Özellikle 'kirleten öder' prensibinin uygulanmasını sağlamak.
Tehlikeli Atıkların Sınır Ötesi Taşınımına ve Bertarafına İlişkin Basel Sözleşmesi	1989	Atıkların bertarafı için yüksek standartlar getirerek, atıkların taşınması için de sınırlandırmalar oluşturulmuştur.
Düzenli Depolama Direktifi	EEC/1999	Amacı düzenli depolama sırasında ortaya çıkan emisyonların yüzeysel sulara, toprağa, havaya, yer altı sularına, karışmasını önlemek ve azaltmak adına düzenli depolama ihtiyacını en aza indirmek. Atıkların düzenli depolanması için yerleşim, tasarım, izleme ve gözetim ile ilgili genel şartları tayin eder.
Ambalaj Atıkları Direktifi	EEC, 1994	Ambalaj üretimi yapan firmalara ambalajların tasarımı konusunda zorunluluklar getirmiştir. Ambalaj içindeki ağır metal konsantrasyon seviyesini ve ambalajların bileşimindeki gerekli malzemeleri belirtmiştir.
Atık Yakma Direktifini	2000/76/AT	Enerjinin geri kazanımına yönelik avantajlar sunmaktadır.
Entegre Kirlilik ve Kontrolü (IPPC) Direktifi	2005	Endüstriyel işletmeler için tek bir izin sistemi oluşturulmuş, atık ile ilgili faaliyetler çerçevesinde hava, su ve toprağa salınan emisyonlar için standartlar ortaya konulmuştur.

Ülkemizde atık yönetimine yönelik yasal ve yönetsel düzenlemeler, 1930 çıkarılmış 1580 nolu Belediye Kanuna dayanmaktadır. Daha sonra oluşturan tüm yasal düzenlemeler ise uzun yıllar sonra çıkarılan 1983 Çevre Kanunu (8. Madde- "her türlü atık ve artığı doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama vermek, depolamak ve benzeri faaliyetlerde bulunmak yasaktır.") baz almaktadır. Özellikle AB uyum

sürecinde daha da geliştirilen uyumlaştırılan yasalar ve düzenlemeler oluşturulmuştur. Bu yasal düzenlemelere Tablo 3.7’de özet bir şekilde yer verilmiştir.

Tablo 3.7: Ülkemizde AB uyumu sürecinde Atık Yönetimi konusunda uygulanan yasal düzenlemeler.

Yasal Düzenleme	Düzenleme Tarihi	En Genel Kapsamı
Sıfır Atık Yönetmeliği	12.07.2019	Hammadde ve doğal kaynakların etkin yönetimi ile sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda atık yönetimi süreçlerinde çevre ve insan sağlığının ve tüm kaynakların korunmasını hedefleyen sıfır atık yönetim sisteminin kurulmasına, yaygınlaştırılmasına, geliştirilmesine, izlenmesine, finansmanına, kayıt altına alınarak belgelendirilmesine ilişkin genel ilke ve esasların belirlenmesidir.
Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	ÇŞB, 1991	Katı atıkların yönetimi konusunda, idari ve teknik açıdan hükümleri kapsar.
Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik	ÇŞB, 2008	AB atık çerçeve direktifinin muadili olarak yürürlüğe girmiştir.
Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği	ÇŞB, 2011	Ambalaj atıklarının çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı olarak alıcı ortama verilmesi ve düzenli depolama sahalarında depolanarak bertarafı yasaktır. Ambalaj ürünleri piyasaya sürenler, ürünlerin atığa dönüşmesi sonrası uygulanması gerekli her türlü faaliyetin maliyetinden sorumludur.
Ulusal Atık Yönetimi Eylem Planı	ÇŞB, 2016	Türkiye’nin AB ile uyumlu atık yönetim planlamasına ilişkin EHCIP ve Katı Atık Ana Planı Projeleri ile AB destekli Entegre Çevre uyumlaştırma Stratejisi Projesi çıktılarına dayandırılmaktadır. 81 ilin atık yönetim durum analizi yapılmış ve 2023 hedef alınarak iyileştirilmesi gereken sistem ve planları kapsamaktadır.

Tablo 3.7: Devamı.

Büyükşehir Belediyesi Kanunu (52116)	23.07.2004-25531	Özellikle 7. Madde: “KAYP yapmak, yaptırmak; katı atıkların kaynakta ayrı toplanması ve aktarma istasyonuna kadar taşınması, katı atıkların ve hafriyatın yeniden değerlendirilmesi, depolanması ve bertaraf edilmesine ilişkin hizmetleri yerine getirmek ve bu amaçla tesisler kurmak..” şeklinde görev ve sorumluluklara değinilmiştir.
Belediye Kanunu (5393)	13.07.2005-25874	Özellikle 14. Ve 15. Maddeler: “katı atıkların toplanması, taşınması, ayrıştırılması, geri kazanımı, ortadan kaldırılması ve depolanması ile ilgili bütün hizmetleri yapmak, yaptırmak görevi belediyelere verilmiştir.”
Belediye Gelirleri Kanunu		Çevrede var olan atıkların azaltılması ve bunların faydaya dönüşmesi esas alınmıştır. “Atık üreticileri, atık yönetim hizmetlerine katılım sağlamalıdır.” 97.maddesi ile atık üreticilerini hizmete ortak göstermektedir.

Tablo 3.8: Atıkların Yönetilmesine Yönelik Yönetmeliklerin listesi.

İlgili Yönetmelik Adı	Resmi Gazete Tarih - Sayı
Atıksu Altyapı ve Kentsel Katı Atık Bertaraf Tesisleri Tarifelerinin Belirlenmesinde Uyulacak Usul ve Esaslara İlişkin Yönetmelikte Değişiklik	2.02.2019
Kalıcı Organik Kirleticiler Hakkında Yönetmelik	14.11.2018
Atık Yönetimi Yönetmeliği	02.04.2015 - 29314
Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği	27.12.2017- 30283
Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği	22.05.2012- 28300
Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	25.01.2017- 29959
Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik	06.10.2010
Kentsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik	3.08.2010
Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği	31.08.2004- 25569
Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği	18.03.2004-25406
Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği	25.11.2006- 26357
Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Yönetmeliği	30.12.2009- 27448
Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik	26.03.2010- 27533
Atık Yağların Yönetimi Yönetmeliği	30.07.2008

3.3.5. Dünyada ve Türkiye’de KAY’ne Yönelik Örnek Çalışmalar

Kentsel katı atıkların yönetilme biçimi ve değerlendirilmesi ülkelerin yasal düzenlemeler çerçevesinde gerçekleşmekle birlikte, ülkenin gelişmişlik düzeyi, ekonomik refah seviyesi, iklim özellikleri, coğrafi konum gibi etkenler de bu konuda etkili olmaktadır. Dünyada ve ülkemizde uygulanan sürdürülebilir kentsel katı yönetiminde ne kadar başarılı olunabildiğine dikkat çekmeye yönelik bazı örneklerle aşağıda yer verilmiştir.

İsveç; AB resmi sayfasında yayınlan bilgiye göre İsveç bugün dünyada atıklarının %99’nu geri dönüştürerek sıfır atık bir ülke konumuna yaklaşmış durumdadır. Ülkede oluşan atıkların %50 si yakılarak, üretilen enerji ile lokal ısıtma ve uzaktan soğutma işlemleri yapılmaktadır. Atıklar, kaynağında dört ana grupta (kağıt, cam, plastik organik) ayrıştırılmaktadır. Ülkede atıklar konusunda özellikle erken yaşlarda bilinç oluşturulmakta ve çevreye duyarlı olma hali yasada yer almadığı halde bir kültür halini aldığı söylenebilmektedir. Ülkede depozito uygulaması da diğer İskandinav ülkelerinde olduğu gibi çok yaygın olmaktadır. Hemen hemen her markette depozito makinaları yer aldığı belirtilebilir.

Güney Kore: 1995 yılında gıda geri dönüşüm oranı %2 olan ülkede bu oranın %95’e yükseldiği bilinmektedir. Ülke, gıda israfı ücreti almaya başlaması ile gıda atıklarını azaltmayı başarmıştır. Haneler her bir biyolojik olarak parçalanabilen gıda atığı torbası için küçük bir aylık ücret ödemektedir. Tüm atıklar belirli kategorilere ayrılarak, geri dönüştürülmeden önce düzleştirilmekte veya sıkıştırılmaktadır. Güney Kore’de hemen hemen her şey geri dönüştürülebilmektedir: örneğin çelik, kumaş, TV’ler, kanepeler ve strafor.

Singapur: Dünyadaki en düşük çöp depolama alanlarından bazıları Singapur’da yer almaktadır. Bu ülkedeki şirketler ürettikleri atıklardan ve nasıl bertaraf edeceklerinden tamamen sorumludur. Atıklar, belirlenmiş kamyonlarda toplanır ve farklı geri dönüşüm akışlarına ayrıldığı merkezlere götürülmektedir. Ülkede ağırlıklı olarak geri dönüştürülemeyen plastikler için kullanılan tek bir çöp sahası var, geri dönüştürülemeyen atıkların geri kalanı yakılmaktadır.

Almanya: Almanya, atık yönetimi ve geri dönüşümde dünyada lider sayılabilecek bir ülkedir. Geri dönüşüm planlarını uygulayarak, toplam atıklarını her yıl 1 milyon ton azaltmayı başarmıştır. Almanya, üretilen tüm atıkların %70’ini geri

dönüştürüyor, bu dünyada en fazla olanıdır. Ülke bunu atıkla ilgili politikalarıyla başardığını iddia etmektedir. Şirketler ambalajlarının geri dönüştürülebilir olup olmamasından, tüketiciler mal satın aldıklarında ise bertaraf edilmesinden sorumlu tutuluyor. Ülke, bu politikaların yanı sıra, tüm geri dönüştürülmüş ambalajların işaretlenmesi ve bu işareti kullanmak için onaylanması gerektiği anlamına gelen Yeşil Nokta politikasını uygulamaktadır. Firmalar ayrıca daha fazla ambalaj kullanıldığında ücret ödemek zorunda kalıyor, bu sadece ambalajın azalmasına değil, aynı zamanda daha ince cam, kağıt ve metal üretimine neden olmaktadır. Atık ve çöpü ayırt etmek için kullanılan beş farklı çöp kutusu kullanılmaktadır.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de atık yönetimine yönelik çalışmalar son yıllarda daha önem kazanarak, daha yenilikçi çözümler uygulamada yerini almaktadır. Ülkemizde atık yönetimine ilişkin olarak yapılan uygulamalar 30829 sayılı Sıfır Atık Yönetmeliğinin yürürlüğe girmesi ile hız kazanmıştır. 2019 yılında Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planının yayınlaması ile ise belediyeler bu çalışmalarını Akıllı Şehircilik anlayışını ile benimseyerek, çalışmalarını Akıllı Şehircilik kavramı etrafında toplamıştır. Her ne kadar bu iki çalışmada 2019 yılında yayınlansa da duyuruları çok daha öncesine dayanmakta olduğundan, bu tarihten öncesinde de belediyeler atık yönetim çalışmalarında iyileştirmelere ve yeni uygulamalarını sürdürüyor hale gelmişlerdi.

Sıfır atık projesi uygulama alanları, tüm kamu kurum ve kuruluşlarını, AVM'leri, eğlence ve dinlence alanları, sağlık ve eğitim kurumları, haneler-siteler gibi kentsel Atıkların oluştuğu büyük ve küçük ölçekli işletme ve mekanlardır . Bu noktalarda odak nokta tespiti, mevcut durum değerlendirmesi, gereksinimlerin belirlenmesi ve tedarik edilmesi, eğitimler düzenlenerek raporlar hazırlanması gibi prensipler çerçevesinde uygulandığında, atık toplama ve bertaraf çalışmaları için oldukça fayda sağlaması beklenmektedir.

Afyonkarahisar Belediyesinde 2015 tarihinden bu yana 'Sürdürülebilir Bir Çevre için Geleceğimizi Planlıyoruz' projesi altında düzenli depolama tesisine gelen organik atıklar ayrıştırılarak kompost üretiminde kullanılmaktadır. Aynı zamanda tesiste 10.000 evin elektrikliğini karşılayacak miktarda elektrik üretilmektedir. Afyonkarahisar, ülkemizde tavuk ve yumurta yetiştiriciliğinde ilk sırada yer almakta olup 18 milyon yumurta tavuğu yetiştirilmektedir. Dolayısı ile tavuk dışkısının çevresel ve insan sağlığı yönünden problem dönüşmesini engellemek adına, bu

dışkılardan gübre ve elektrik üretimi faaliyeti yapılmaktadır. Bu yolla yaklaşık 2.000 evin ısı ihtiyacı karşılanmaktadır [Web 15, 2021].

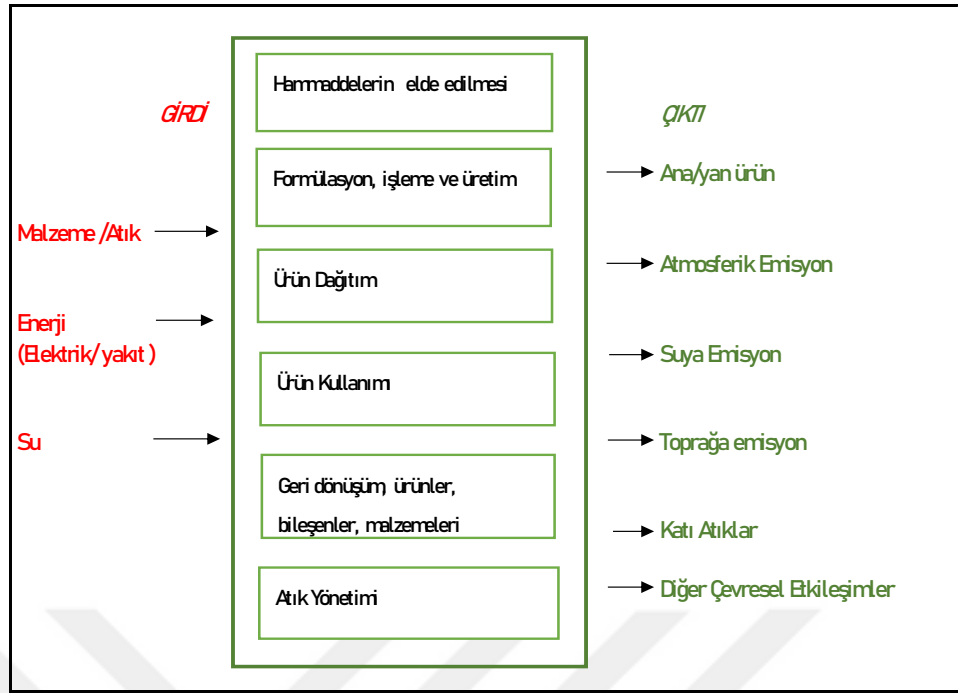
2014 yılında Eskişehir ve Bolu’da Arçelik A.Ş.tarafından kurulan atık elektrik – elektronik geri dönüşüm tesisleri Türkiye’de uluslararası standartlarda kurulmuş ilk geri dönüşüm tesisleri olarak faaliyet göstermektedir. Ürün yaşam döngüsü süreci ile de ekolojik etkilenmeleri en düşük düzeyde tutabilen ilk yerli şirket olarak bilinmektedir. Eskişehir’de 2.000 m² ve Bolu’da ise 2.160 m² alanlara kurulan tesisler EN 50574 uluslararası geri dönüşüm standartları ve AEEE Yönetmeliği’ne uygun şekilde inşa edilmiştir. Eskişehir’deki tesis, buzdolabı, klima ve soğutucular; Bolu’daki tesis ise buzdolabı haricindeki diğer büyük beyaz eşyalar ile küçük ev cihazlarının geri dönüşüm faaliyetini yapmaktadır. Tesislerin faaliyete geçmesinden bu yana geçen sürede 100.000 adet ürünün geri dönüşüm işlemi yapılarak yılda 21,5 Gwh enerji tasarrufu yapıldığı belirtilmektedir. Ülke ekonomisine sağlanan katkının 57.400 adet A+ buzdolabının bir yıllık elektrik tüketimi kadar olduğu açıklanmaktadır. İki tesisin 6 aylık toplam kazanımı olan 21,5 Gwh kazanım, 8,6 MW rüzgâr santralinin bir yıllık enerji üretimine eşittir. Bu da ortalama 3 rüzgâr tribününe eşittir. Aynı zamanda geri dönüşüm sonucu elde edilen bakır, demir, plastik ve alüminyumlar ikincil hammadde olarak ekonomik girdiye dönüştürülmektedir. Ayrıca, atık elektrikli ve elektronik eşyalardaki ozon tabakasına zarar veren ve sera etkisi yaratan gazların tesiste toplanarak bertaraf edilmek üzere çevre izin lisansı olan tesislere gönderildiği, böylelikle tesislerin ekolojik anlamda da katkı sağladığı belirtilmektedir [Web 16, 2021].

4. YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

4.1. Yaşam Döngüsü Analiz-Metodolojisi ve Gelişimi

Bir yaşam döngüsü analizi (YDA) hammaddelerin topraktan ilk çıkarılmasından, tüm atıkların oluşup yer yüzüne geri dönme noktasına kadar geçen süreçte, herhangi bir faaliyete ilişkin çevresel etkilerin bir değerlendirmesidir [Menke et al., 1996], [Vigon et al.,1993]. Bu değerlendirme, hammaddelerin üretiminden (enerji dâhil), ürünün kullanımından, nihai bertarafından ve ayrıca ürünün işlenmesinden kaynaklanan havaya, suya ve toprağa yapılan tüm yan akım salınımlarını içerir. Yaşam döngüsü değerlendirmeleri hem “doğrudan” (örneğin, üretim süreçleri sırasında emisyonlar ve enerji kullanımı) hem de “dolaylı” (örneğin enerji kullanımı, hammadde çıkarma, ürün dağıtımı, tüketici kaynaklı etkiler) etkileri belirlemek ve ölçmek için kullanılır. Bunun basit bir tasviri Şekil 4.1 ‘de görülebilir [Scientific Applications International Corporation, 2006]. YDA’nın sistematik yaklaşımı belirli bir ürün veya sürecin etkisinin gerçek bir ölçüsünü sağlar. YDA, belirli bir tesise ve genellikle sadece sahada meydana gelen faaliyetlere odaklanan endüstriyel bir sürecin çevresel denetiminden farklı olarak, firma tedarikçileri ve müşterilerinin eylemleri ile bağlantılı etkileşimlerine bakar. Sonuç bir ürünün ya da yönetim hizmetinin beşikten mezara analizidir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi, üreticilerin tasarımdan imhaya kadar ürünlerinin neden olduğu kirlilik için sorumluluk kabul ettikleri bir tutum olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım geleneksel yaklaşımdan çok farklı olarak, sorumluluğu hammadde alımıyla başlatarak, bitmiş ürünlerin satışıyla sona erdirir [Bishop, 2000], [Hauschild et al., 2015].

YDA, bir ürün veya hizmetin tüm yaşam döngüleri boyunca oluşabilecek tüm çevresel etkilerin birbiri ile bağlantılarını bütünsel olarak değerlendirerek hangi ürün ya da hizmet yöntemin (atık yönetimi metodu) kullanılacağını belirlemede karar destek sistemi olarak kullanılabilir [Henriksen et al., 2016].



Şekil 4.1: KKA’ların Yaşam Döngüsü Analizi sınırları.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi olarak kabul edilen ilk çalışma, 1960’lı yıllar ile 1970 yılları arasındaki zaman diliminde enerji sistemleri alanında yapılmıştır. O yıllarda ABD Enerji Bakanlığı, enerji kullanımının çevresel etkilerinin bazı analizleri ile birlikte, enerji gereksinimlerinin hesaplanmasına odaklanan “net enerji analizi” konusunda çeşitli çalışmalar yaptırmıştır. 1970’lerde oluşan petrol kıtlığı ve bunun sonucunda ortaya çıkan enerji krizi, daha yoğun endüstriyel enerji analizlerine yönlendirmiştir. Bu süre içerisinde Arthur D. Little ve Midwest Research Enstitüsü [Curran, 1996] araştırma grupları tarafından çevre sorunlarına odaklanan çalışmalar yürütmüştür. The Limits to Growth’ta yayınlanan küresel modelleme çalışmaları, dünyanın artan nüfusunun sınırlı malzeme ve enerji kaynakları talebi üzerindeki etkilerinin dikte edilmesiyle sonuçlanmıştır. 1969’da The Coca-Cola Company, malzeme kullanımının çevresel sonuçlarını ve birkaç farklı içecek kabı için çevresel salınımları karşılaştırmak için yaşam döngü analiz yöntemlerini geliştirmişlerdir [Meadows et al., 1972].

YDA tekniklerinin geliştirilmesindeki ilerleme, 1980’lerin ortalarında orta Avrupa’daki “yeşil hareket” in geri dönüşümün faydalarına dikkatleri çekene kadar oldukça yavaştı. Ancak küresel ısınma ve kaynakların tüketilmesine artan bir odaklanma ile endüstriyel operasyonlardan kaynaklanan kirlilik salınımları ve

bunların hem çevresel hem de ekonomik etkileri önem kazanmaya başlamış ve dolayısıyla YDA'nın endüstri tarafından kullanımı hızlı bir şekilde artışa geçmiştir. Örneğin ürün paketlemesine ilişkin YDA çalışmaları sayesinde atık akışındaki ambalaj kullanım miktarında azaltmaya gidilerek, ambalaj üretilmesinden kaynaklanan çevresel emisyonların azalmasına katkıda bulunulmuştur (gıda kapları, nakliye paketleri). Daha sonraki çalışmalarda ise YDA'nın sadece ürün temelli çevresel etki değerlendirme analizleri için değil yönetsel faaliyetlerin özellikle atıkların yönetimine ilişkin etki değerlendirmesinde de fayda sağlayabileceği anlaşılmıştır. Yapılan analiz çalışmaları çevre koruma grupları tarafından çeşitli rakip ürünlerin karşılaştırılmasının bir yolu olarak da kullanılmış ve bu şekilde "çevreci ürün" kullanım rekabeti piyasası oluşmuştur [Bishop, 2000].

Bu çalışmaların bir sonucu, özellikle tüketici kullanımı sonrası oluşan dolaylı etkilerin, doğrudan etkileri gölgede bırakmasıdır. Bu çalışmalardan elde edilen diğer bir bulgu ise, bir ürünün geri dönüştürülmesinde, yeni ürünü saf malzemelerle yapmak için tüketilenden daha fazla kaynak ve enerji kullanılabilmesine dayalı olarak, geri dönüşümün veya daha az toksik malzemelere geçişin her zaman daha avantajlı olmadığıdır.

Avrupa'da yaşam döngüsü değerlendirmelerinin kullanımı, özellikle ambalaj geri kazanımı ve geri dönüşüm hedeflerinin temeli olarak hızla yaygınlaşmaktadır. Özellikle Eco- etiketleme gibi alanlarda kullanımı için zorunlu kılınmıştır. ABD'de ise endüstri tarafından YDA'nın kullanımını zorunlu kılan düzenlemeler olmamasına rağmen, çevre yasalarının ve düzenlemelerinin çoğuna uyumda, YDA tekniklerinin kullanımının katkı sağladığı anlaşılmıştır. 1993' de ABD de alınan 12873 sayılı yürütme kararı ile satın alımlarda, geri dönüştürülmüş ürünlerin kullanımı ve atık önleme yolu ile doğal kaynakları korumak için YDA kullanımı gerekliliği oluşmuştur.

YDA emek yoğun, veri yoğun, karmaşık bir süreç olmasından dolayı bu tekniğin yaygınlaşması, kullanımı basitleştirilmiş prosedürlerin geliştirilmesini beklemektedir. YDA'nın nihayetinde çevresel mevzuatın bir parçası olacağı birçok uzmanın ortak görüşüdür [Foust and Gish, 1996].

1992 Birleşmiş Milletler Dünya Zirvesi sırasında, yaşam döngüsü değerlendirme yöntemlerinin çok çeşitli çevresel yönetim görevleri için umut verici yeni araçlar arasında olduğu konusunda büyük bir fikir dalgası oluşmuştur. 1993 yılında ISO, dünya çapında uygulanabilecek çevre yönetim araçları ve sistemleri geliştirmek için

TC-207'yi kurmuştur. Geliştirilen araçlar arasında çevre yönetim sistemleri, denetim, çevresel performans değerlendirmesi, yaşam döngüsü değerlendirmesi ve çevre dostu etiketleme bulunmaktadır [Fava and Consoli, 1996]. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin temel bileşenlerinin oluşturulması ve prosedürlerin rafine edilmesi 1990'ların başında Society for Environment Toxicology and Chemistry (SETAC) tarafından oluşturulmuştur [TS EN ISO 14040, 2006].

YDA, karar verici bir mekanizma olmamakla birlikte destekleyici bir noktada durmaktadır. Basit bir ifade ile “çevresel açıdan en iyi seçenekler nelerdir ve bu seçenekleri hangi veri ve analizler destekler?” sorularına cevap verir. Dolayısı ile sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek ve küresel iklim değişikliği etkilerini azaltmak adına bu yöntemin, potansiyel ekolojik gelişim alanlarının belirlenmesinde diğer yöntemlerle birlikte ele alınması önemlidir.

Temelde dört ana kullanıcı grubu olan YDA çalışmalarının hangi alanlarda kullanıldığı aşağıda listelenmiştir.

- i) Sanayi ve Ticari işletmeler
 - Ürün Geliştirme
 - Ürün Tasarlama
 - Şirket Politikaları Formülasyonu
 - Ürün Bilgisi
 - Müzakereler
- ii) Hükümet ve Düzenleyici Kurumlar
 - Eco-Etiketleme
 - Depozito- İade sistemleri
 - Sübvansiyonlar ve Vergilendirme
- iii) STK'lar (Tüketici Örgütleri ve Çevre Grupları)
- iv) Tüketiciler (Devlet Grupları)

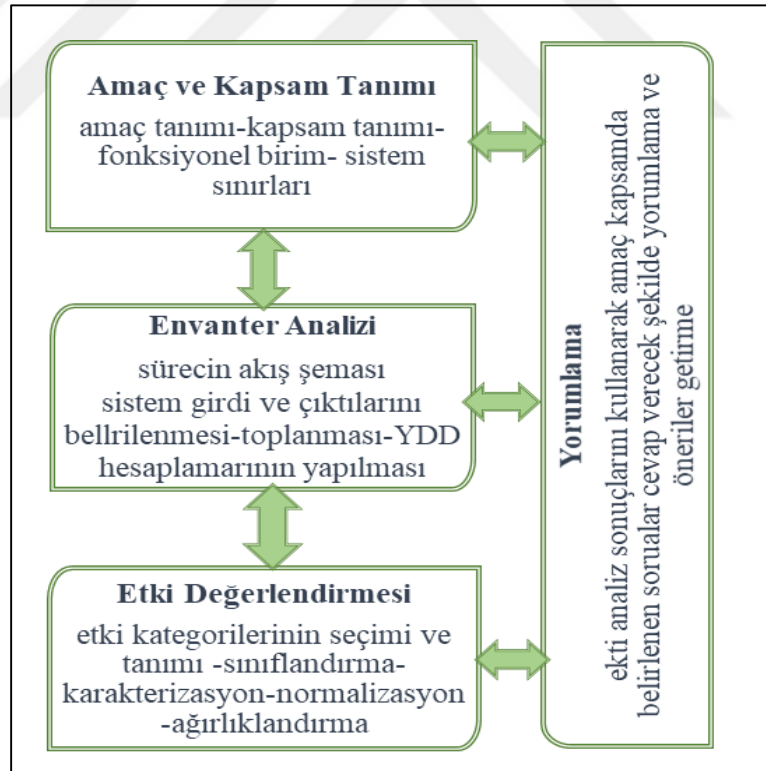
4.2. Yaşam Döngüsü Analiz Aşamaları

Çevresel Toksikoloji ve Kimya Birliği (SETAC) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) 2000 yılında bir araya gelerek dünya genelinde en iyi yaşam döngü

analizi uygulamasını gerçekleştirme çalışmasını yapmışlardır [Scientific Applications International Corporation, 2006]. En temel hali ile YDA metodolojisi:

- Bir ürünün veya hizmet oluşması sürecinde su, enerji ve diğer ham maddeler ile doğal kaynakların kullanımı sonucu ortaya çıkan çevresel emisyonların bir envanterinin çıkartılması,
- Bu girdi ve çıktılarla bağlantılı olarak meydana gelebilecek olası çevresel etkilerin analizi,
- Ortaya çıkan sonuçların sistematik ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilip, karar vericilere sunulması,

maddelerini kapsarken [Kluwer Academic Publishers, 2002], Şekil 4.2’de [ISO, 2006] yer aldığı şekliyle bir çerçeve içine oturtulmuş ve 4 ana aşama belirlenmiştir. Bu aşamalar sırasıyla; amaç ve kapsam belirleme, envanter analizi, etki analizi ve yorumlama şeklinde sıralanmaktadır. Şekil 4.2’de aşamalar ve kapsamı özetle gösterilmektedir.



Şekil 4.2: YDA Metodolojisi.

4.2.1. Amaç ve Kapsam

4.2.1.1. Amaç

Amaç tanımı, çalışmanın amacını ve çevresel karar destek sağlayan karar sürecini açıklamaktadır. Atık yönetimi açısından değerlendirildiğinde, bir atık yöneticisi için YDA'nın amacı, çevreye ve doğal kaynaklara en az zarar verecek olan yönetme belediyenin karar vermesi aşamasında örneğin plastik ürünlere ömürlerinin sonlarında uygulanan farklı işlemlerin karşılaştırılması örnek verilebilir. Bu noktada coğrafi bağlam ve bunun altyapı için önemi, atık kompozisyonu, vatandaşların bilinci, atık arıtma konusundaki mevzuatlar, uygulamada bulunan atık teknolojileri gibi konular önem teşkil etmektedir. Amaca yönelik farklı bir örnek ise atık yakma tesislerini geliştirenlerin en düşük etkiye sahip olana karar vermede farklı baca gazı temizleme teknolojilerini karşılaştırma olabilir.

Amaç tanımı, çalışmanın olası sınırlarını belirleme aşamasında kapsam tanımında belirleyici rol oynamaktadır. ISO standartlarına göre amacın belirlenmesi örneğin farklı finans taraflarının amaçların beyanının belirtilmesi açısından önemli ve gereklidir [TS EN ISO 14040, 2006].

4.2.1.2. Kapsam

Ürünlerin, süreçlerin veya faaliyetlerin sınırlarının, yaşam döngüsü boyunca oluşan çevresel etkilerini, karar verme süreçlerinde oluşturduğu etkiye göre yöntemin belirlendiği aşamadır. Çalışmanın tamamına ait planların belirlenmesine katkı sağlayan bir aşamadır. Değerlendirmenin yapılacağı içerik oluşturularak, sistem sınırları ile değerlendirme için gözden geçirilmesi gereken çevresel etkiler tespit edilir. [Scientific Applications International Corporation, 2006]

Çalışmaya, hedefi net bir şekilde belirleyerek ve elde edilecek sonuçların ne şekilde bağlantıları olabileceğini tanımlayarak başlamak çok önemlidir. Belirlenen amaç ve kapsam her zaman çalışmanın ilerleyişiyle uyumlu olmalıdır [Bjarnadottir et al., 2002].

Fonksiyonel birim: YDA metodolojisinin amaç ve kapsam adımı yer alan bir bölüm olup, esas amacı, girdi ve çıktı verilerinin normalizasyonuna matematiksel

anlamda bir referans sağlamaktır. Böylece bir YDA çalışmasını amacı, sağladığı işlevi başlangıçta belirtilmiş olur. Karıştırmanın mantıksal bir kurguda olması için aynı fonksiyonel birimin temel alınması ve ürün veya hizmetin tüm fonksiyonlarını yansıtması çok önemlidir. Fonksiyonel birim için bir referans akış belirlenmelidir. Atık yönetim çalışmalarında fonksiyonel birim seçiminde aşağıda yer alan konular dikkate alınmalıdır;

- Yönetilecek atık miktarı.
- Sistem sınırları kapsamında ele alınan atık kompozisyonu.
- Atık yönetim hizmetlerinin süresi.
- Atık yönetiminin kalitesi (yasal emisyon limitleri, kalıntı ürünleri için gereklilikler).

Seçilen zaman aralığı, bakım gibi sürekli olmayacak aktiviteler dâhil çevresel etkilere yol açan tüm faaliyetleri yansıtır. Eğer çevre üzerinde önemli etkileri olduğu düşünülen ancak yıllık periyottan daha seyrek aralıkta gerçekleşen bazı durumlar (örneğin kazalar) varsa, o zaman daha uzun bir zaman aralığı belirlenebilir.

Örneğin; bu çalışmada farklı atık yönetim sistemlerinin YDA ile karşılaştırmasında, fonksiyonel birim olarak her bir atık kompozisyon türünün ton başına oluşan çevresel etkileri değerlendirilmiştir.

Sistem sınırları: Çalışma kapsamını daha detaylı bir düzeye getiren bu kısım, YDA'da ele alınacak prosesleri/işlemleri, girdi ve çıktıları tanımlamayı sağlar. Ayrıca hangi çevresel etkilerin analiz edileceği ve hangilerinin kapsam dışında bırakılacağı da bu noktada belirlenebilir.

Zaman ölçeği: Çalışmanın sonuçlarının gelecekteki geçerliliği için gereksinimleri, başka bir deyişle çalışmanın sonuçlarının ne kadar süre geçerli olacağı belirtilmelidir. Zaman kıstası, sistem için gerekli envanter analizi sırasında toplanan veriler ve proses için teknoloji seçimi açısından önem teşkil etmektedir.

Teknolojik kapsam: Sistemin ya da prosesin hangi teknolojileri, hangi ekipman türü ve tesislerin gerekeceğinin kapsam dahilinde bilinmesi önem teşkil etmektedir.

Tahsis: Herhangi bir işleyişin hem A ürünü, hem de B ürünüyle bağlantısı olması durumunda, her bir akışın (malzeme ve enerji) bu iki ürün bazında nasıl verimli bir şekilde paylaştırılacağı belirlenmesinin gerektiği durumdur.

4.2.2. Envanter Analizi

YDA'nın ikinci aşamasını oluşturmakta olup, ilgili hizmet veya ürünün eldesi için gerekli olan su, enerji, doğal kaynak, hammadde vb. elementlerin tüketimi ile çevresel salınımlar (hava, su ve toprağa olan emisyonlar gibi) tanımlanır ve miktar yönünden belirlenir. Bu aşamada genellikle elde edilen nihai sonuç, girdi ve çıktılarıyla beraber tüm faaliyetleri içeren bir akım şemasıdır.

Envanter analizi oluşturabilmek için verilerin çok dikkatli seçilmesi gerekmektedir. Verilerin kalitesi, kesinlik, bütünlük, temsil edilebilirlik, tutarlılık ve tekrarlanabilirlik kriterleri dikkate alınarak değerlendirilmelidir [Hauschild and Potting, 2005]. Envantere dahil edilen nitel ve nicel özellikteki veriler, sistem sınırlarında verilen her bir proses için toplanmalıdır. Envanter analizi sonucunda, çevreye bırakılan kirleticilerin yanı sıra, harcanan enerji ve malzeme miktarını içeren bir liste oluşturulur [Kluwer Academic Publishers, 2002]. Bu aşamanın kritik noktalarından birisi, varsa ikincil ürünlerin kullanımından kaynaklanan akışların belirlenmesidir. Bu noktada, envanter değerlendirmelerinin yapılabilmesi için özellikle oluşturulmuş veri tabanları sıklıkla kullanılmaktadır. Böylece, bölgesel veya ulusal içerikle uyumlu olan verilerin elde edilemediği durumlarda objektif bir bakış açısı kazanılmış olur.

- **Veri Toplama:** Veri toplama envanter analizinin önemli bir aşaması olup uzun bir süre boyunca proses için kütle dengesinin kurulmasına dayanır. Veri, fonksiyonel birim için prosesin çevresel faktörler ile değişimi olarak rapor edilir. Envanter raporlamada, yaşam döngüsü boyunca değişim, fonksiyonel birim ile ilişkili her madde ve malzemenin toplam değişimine ulaşmak için değerlendirilir. Bazı etkiler sadece kullanılan teknoloji ve tesisin işletme performansına bağlı iken, bazı değişimler giriş atık bileşimi, ya da miktarı ile belirlenir [Christensen, 2011].
- **Veri Kalitesi:** YDA sonuçlarının doğru yorumlanabilmesi için toplanan verilerin kalitesi çok önemlidir. Sistem için en iyi veri, ekipmanda yapılan belirli işlemler için kütle dengeleri ile hesaplanır. Kütle dengesine bağlı olarak bazı ölçümler gerekli olabilir. Bazı özel ölçümlerin yapılması ya da sonuç vermesi zaman

alabileceğinden, en fazla etkiye sahip verilere odaklanan duyarlılık analizleri ile yönlendirme sağlanması beklenmektedir [Christensen, 2011].

Bütün proses için gerekli tüm verileri ölçümler ile elde etmek mümkün olmadığı durumda, başka yerde bulunan aynı veya benzer proses teknolojilerinden yararlanmak, bazı durumlarda ise teoriye bağlı hesaplamalar yapmak en iyi seçenek olabilmektedir. [Christensen, 2011].

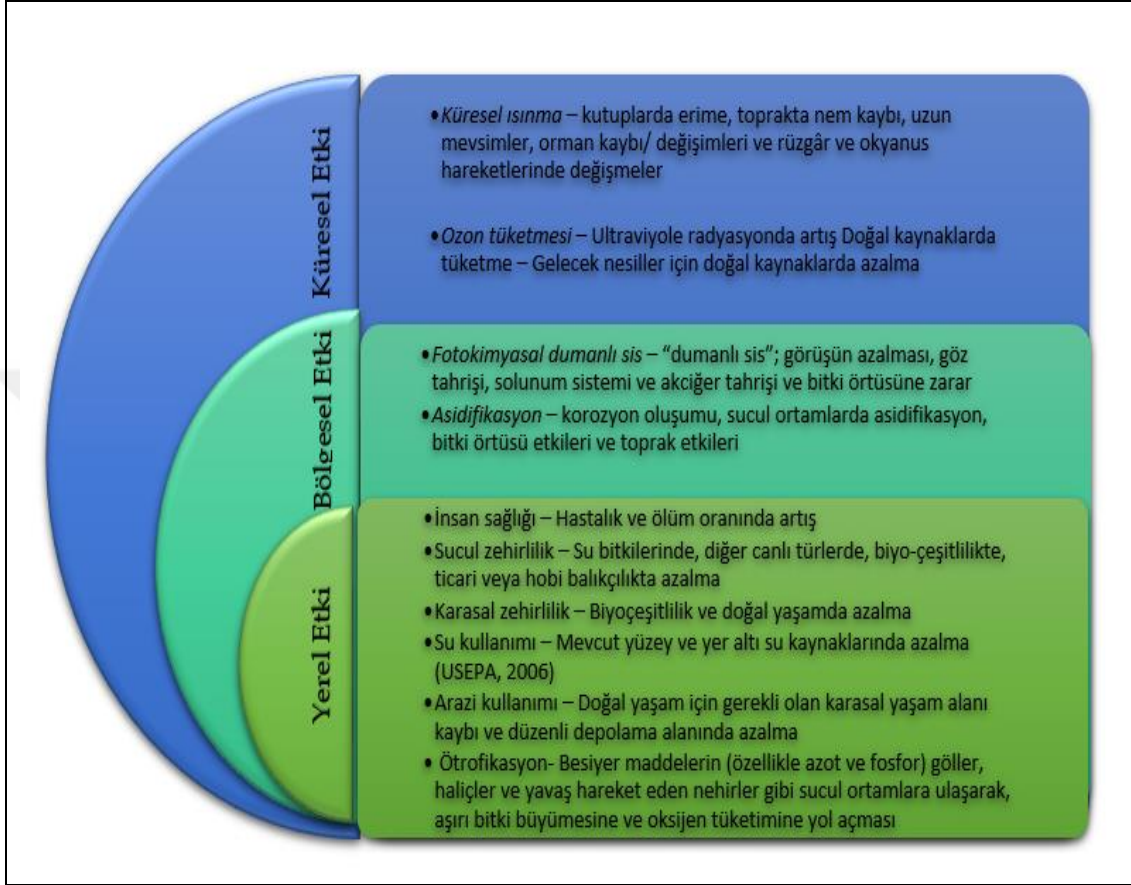
Bilgisayar Araçları ve Veri Tabanı Kullanımı: Bir sistemde ya da bir proste çok fazla malzeme, kimyasal yada enerji türleri kullanılabilir hatta ikincil ürünler açığa çıkıyorsa bir dizi enerji ürünü üretebilir. Bundan dolayı YDA'nın değerlendirilebilmesi için en yaygın proses ve malzemelerin çevresel performansla birlikte veri tabanlarının bulunması bir ön koşuldur. Bu veri tabanlarında, prosesler 'birim işlemler' şeklinde verilmekte, çevresel değişimler ile ilgili bilgiler bu prosesin çıktıları olarak yer almaktadır. YDA çalışma sisteminin modellenmesine yardımcı olmak için, envanter ve etki analizi aşamalarını da içeren çok sayıda yazılım araçları bulunmaktadır. Bu yazılım araçları ile YDA veri tabanlarına erişim sağlanır. Bugün günümüzde en yaygın kullanılan bazı YDA araçları olarak; SimaPro [Web 9, 2020], Umberto [Web 10, 2020], Gabi [Web 11, 2020] Open LCA [Web 12, 2020] ve Team [Web 13, 2020] şeklinde sıralanabilir [Pre, 2019], [Christensen, 2011].

4.2.3. Etki Analizi

Bu aşamada; prosesin ya da sürecin insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri ile enerji, su ve malzeme kullanımından kaynaklanan ekolojik etkiler ve envanter analizinde tanımlanan çevresel salınımların değerlendirmesi yapılır. Aynı zamanda etki kategorileri, kategori indikatörleri ve karakterizasyon modellerinin seçimi yapılır.

Yaşam döngüsü etki analizi, zorunlu ve zorunlu olmayan bazı elementlerden oluşur. Zorunlu elementler (etki kategorileri ve etki indikatörlerinin seçimi ile sınıflandırma ve karakterizasyon); yaşam döngüsü envanter sonuçlarını, tanımlanmış her bir etki kategorisi bazında indikatör sonuçlarına çevirir. Opsiyonel elementler; normalizasyon, gruplandırma veya ağırlıklandırma ve veri kalitesi analiz teknikleridir [Bjarnadottir et al., 2002].

Etki kategorileri etki ettiği ölçüğe göre üç ana gruba ayrılmıştır. Şekil 4.3’de etki kategorileri ve etki sonucu özet olarak verilmiştir. Ayrıca sonuçlar bölümünde her bir senaryonun etki kategorisi altında nasıl etkiyi oluşturduğu daha detaylı bir şekilde yer verilmiştir.



Şekil 4.3: Etki değerleri gösterimi.

4.2.3.1. Sınıflandırma

YDA çalışmasında ortaya çıkan sonuçların insan sağlığı, ekolojik etki ve doğal kaynakların tükenmesi gibi temel etki kategorileri ile ilişkilendirilmesidir. Örnek olarak; tüm karbondioksit emisyonlarını, küresel ısınmaya katkılarını gösterecek şekilde sınıflandırması verilebilir. Etkilerin anlamlı bir şekilde toplanabilmesi için yaşam döngüsü envanterindeki her bir öge bir veya daha fazla kategoriye atanmaktadır. Örneğin üretimdeki potansiyel değişimin sosyal çevre üzerinde etkisinin olabileceğinin dikkate alınması ya da bir işlemin artık soğutma kulesi gerektirmeyecek

şekilde değiştirilmesi, kuleden kaynaklanan su buharı bulutunu ortadan kaldırarak hem çevresel hem de estetik bir etki oluşturabilmektedir.

İki ya da daha fazla etki kategorisinde yer alan YDA sonuçlarının sınıflandırılması için, etki ettikleri kategorilere paylaştırılması ya da sonuçlarının ilintili oldukları tüm etki kategorilerine eklenmesi yöntemleri kullanılır. İlki genellikle etkilerin birbirine bağlı olduğu durumlarda ikincisi ise etkilerin birbirinden bağımsız olduğu durumlarda kullanılır. Örneğin, azot dioksit, hem asidifikasyona hem de yer seviyesi ozon oluşumuna etki ettiğinden ve bu iki etki birbirinden bağımsız olduğundan, azot dioksit emisyonu (%100) her iki etki kategorisine de eklenir. Başka bir ifade ile azot dioksitin tümü hem yer seviyesi ozon oluşumuna (%100) hem de asidifikasyon (%100) etki kategorisine eklenir denilmektedir [Christensen, 2011].

4.2.3.2. Etki kategorileri

Etki kategorisi, hangi maddelerin belirli bir çevresel probleme neden olduğunun bilimsel olarak tanımlayan alandır. Tablo 4.1’de çalışmada ele alınan etki kategorileri, açıklamaları, tesir alanlarına ilişkin özet bilgiler yer almaktadır. Örnek olarak; küresel ısınma sorunun, küresel ısınma potansiyeli etki kategorisinde tanımlanması verilebilir. Küresel ısınma potansiyeline neden olan karbondioksit ve metan ve diğer her türlü madde, “katkı sağlayan” olarak sınıflandırılır.

Tablo 4.1: YDA’da sıklıkla kullanılan etki kategorileri

Etki Kategorisi	Etki Ölçeği	YDD veri sınıflandırma	Olası Karakterizasyon Faktörü	Karakterizasyon Faktörü Açıklaması	Etki kategorisinin oluşturduğu tesir
Küresel Isınma	Küresel	CO ₂ , NO ₂ , CH ₄ , CFCs, CH ₃ Br	Küresel ısınma potansiyeli	YDA verisini karbondioksit eşdeğer verisine dönüştürür. Not: küresel ısınma potansiyeller 50, 100, 500 yıl olabilir.	Kutuplarda erime, toprakta nem kaybı, uzun mevsimler, orman kaybı/ değişimleri, rüzgâr ve okyanus hareketlerinde değişimler
Stratosferik ozon tüketimi	Küresel	CFCs, HCFCs (hidrokarbonlar) Halonlar, Metilbromid (CH ₃ Br)	Ozon tüketim potansiyeli	YDA verisini trikloroflorometan (CFC-11) eşdeğerlerine dönüştürür.	Ultraviyole radyasyonda artış. Doğal kaynaklarda tükenme. Gelecek nesiller için doğal kaynaklarda azalma
Asidifikasyon	Bölgesel Yerel	SOx, NOx, HCL, HF, NH ₄	Asidifikasyon Potansiyeli	YDA verimi H ⁺ iyonu eşdeğerine dönüştürür.	Korozyon oluşumu, sucul ortamlarda asidifikasyon, bitki örtüsü ve toprak üzerinde etkilere yol açmaktadır. Asitleştirme özelliği olan maddeler aynı zamanda sera etkisi oluşumunda da rol sahibidir.
Ötrofikasyon	Yerel	PO ₄ , NO ₃ , NO ₂ , Nitratlar, NH ₄	Ötrofikasyon potansiyeli	YDA verisin PO ₄ ⁻³ (fosfat) iyonu eşdeğerine dönüştürür.	Besiyeri maddelerin (özellikle azot ve fosfor) göller, haliçler ve yavaş hareket eden nehirler gibi sucul ortamlara ulaşarak, aşırı bitki büyümesine ve oksijen tüketimine yol açması
Fotokimyasal sis	Yerel	Non-MHC (metan olmayan hidrokarbonlar)	Fotokimyasal oksidan oluşturma potansiyeli	YDA verisini metan eşdeğerine çevirir.	Dumanlı sisli görüşün azalması, göz tahrişi, solunum sistemi ve akciğer tahrişi ve bitki örtüsüne zarar
Karasal zehirlilik	Yerel	Kemirgenleri öldürücü konsantrasyonda olan zehirli kimyasallar	LC ₅₀	LC50 verisini eşdeğerlere dönüştürür.	Biyoçeşitlilik ve doğal yaşamda azalma
Su zehirliliği	Yerel	Balıkleri öldürücü konsantrasyonda olan zehirli kimyasallar	LC ₅₀		Su bitkilerinde, diğer canlı türlerde, biyo-çeşitlilikte, ticari veya hobi balıkçılıkta azalma.
İnsan sağlığı	Küresel Bölgesel Yerel	Havaya, suya, toprağa yapılan toplam salınımlar	LC ₅₀		Hastalık ve ölüm oranında artış. Kükürt dioksitlerin neden olduğu emisyonlar ile toluen, ağır metal, benzen ve formaldehit gibi maddelerin emisyonları bu kategoriye katkı sağlayan faktörlerdir.
Kaynak Tüketimi	Küresel Bölgesel Yerel	Kullanılan mineral miktarı Kullanılan fosil yakıt miktarı	Kaynak tüketim potansiyeli	YDA verisini kullanılan kaynağın miktarına karşı rezervde kalan kaynağın miktarına dönüştürür.	
Arazi Kullanımı	Küresel- Bölgesel -Yerel	Diğer arazi değişiklikleri veya düzenli depolama sahasının kullanılma miktarı	Arazi durumu	Tahmini bir özkütle kullanarak katı atığın kütleini hacme dönüştürür.	Doğal yaşam için gerekli olan karasal yaşam alanı kaybı ve düzenli depolama alanında azalma
Su Kullanımı	Bölgesel -Yerel	Su kullanımı veya tüketimi	Su kıtlığı potansiyeli	YDA verisini kullanan kaynağın miktarına karşı rezervde kalan kaynağın miktarına dönüştürür.	Mevcut yüzey ve yer altı su kaynaklarında azalma

4.2.3.3. Karakterizasyon

Bilimsel karakterizasyon faktörleri ile her bir etki kategorisinin modellenerek sonuçların insan sağlığı ve çevresel etkileri temsil eden indikatörlere dönüştürülmesi işlemidir ve eşdeğerlik faktörleri olarak da adlandırılmaktadır. Örnek olarak, karbondioksitin ve metanın küresel ısınmaya potansiyel etkilerinin modellenmesi verilebilir.

Karakterizasyon her bir etki kategorisi için YDE (Yaşam Döngüsü Envanteri) sonuçlarının doğrudan karşılaştırılmasına olanak sağlar. Diğer bir deyişle, karakterizasyon faktörleri farklı envanter girdilerini doğrudan karşılaştırılabilen etki göstergelerine (indikatörlerine) çevirir. Örneğin, karakterizasyon kurşun, krom ve çinkonun neden olduğu karasal zehirliliğin tahmin edilmesine olanak sağlar. Karakterizasyon, farklı miktarlardaki bir grup kimyasalı aynı birime dönüştürerek, her bir kimyasalın küresel ısınmaya olan etkisini ayrı ayrı belirleme ve diğer kimyasallar ile karşılaştırma olanağı sağlar. Bu konuda yapılan hesaplama çalışmalarına örnek olarak, 5 kg metanın küresel ısınmaya 10 kg kloroformdan daha büyük bir etkisi olduğunu gösterdiği verilebilir.

4.2.3.4. Normalizasyon

Bir etki kategorisinin, farklı etki kategorileri arasında genel çevre sorununa ne ölçüde katkıda bulunduğunu gösteren sonuçların yorumlanmasını kolaylaştırmada kullanılan bir YDA aracıdır. Normalizasyon hesabında genel olarak etki göstergeleri seçilmiş referans değerlere bölünerek işlem yapılır. Referans değeri seçiminin, aşağıdaki örnekler de dâhil, pek çok metodu vardır:

- Belli bir alan (küresel, bölgesel ve yerel) için söz konusu olan tüm emisyon veya kaynak kullanımı.
- Belli bir alan için kişi başına söz konusu olan tüm emisyon veya kaynak kullanımı.
- Bir alternatifin diğerine oranı.
- Bütün seçenekler arasındaki en yüksek değer.

YDA'nın amaç ve kapsam belirleme bölümü, kullanılacak uygun bir referans değerinin seçimini de etkileyebilir. Normalize edilmiş verilerin sadece bir etki kategorisi için karşılaştırılabileceği unutulmamalıdır. Normalleştirme, bir etki kategorisi gösterge sonucunun bir referansa kıyasla ne ölçüde nispeten yüksek veya nispeten düşük bir değere sahip olduğunu gösterir. Normalleştirme, birimlerin uyumsuzluğunu da çözer, çünkü [Housechild ve Wenzel, 1998]. Bütün olası etkiler aynı birimle tahmin edilebilir ve bunların boyutlarını karşılaştırmak mümkün olabilir. Örneğin karakterizasyon faktörleri farklı bilimsel metotlar kullanılarak hesaplandığı için asidifikasyon ile sucul ortamlardaki zehirliliğin etkileri birbirleri ile doğrudan karşılaştırılamaz.

4.2.3.5. Ağırlıklandırma

Bir YDA'nın ağırlıklandırma (ya da değerlendirme) aşaması, önem veya alaka düzeyine göre farklı etki kategorilerinin atama ağırlıkları veya göreceli değerleri ile ilgilidir. Etki kategorilerinin aynı zamanda çalışmanın hedeflerini ve paydaşların değerlerini de yansıtmaları gerektiği için ağırlıklandırılmaları önemlidir. Ağırlıklandırma, etki kategorileri arasında birleştirilebilir. Bu arada, atanan ağırlıkları daha net hale getirmek için ağırlıksız veriler ağırlıklı verilerle atanmalıdır [Stranddorf et al., 2003], [Hauschild, 2015]. Örnek olarak aynı miktar hava kirleticisi, hava kalitesinin daha düşük olduğu bir bölgede, daha yüksek olduğu bir bölgeye göre daha fazla endişe verici olabilir. Ağırlıklandırma, standart bir bilimsel süreç olmadığından, kullanılan ağırlıklandırma metodunun anlaşılır biçimde açıklanması ve raporlanması önem taşımaktadır.

4.2.4. Yorumlama

Yorumlama aşaması YDE (Yaşam Döngüsü Etki) ve/veya YDED (Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi) sonuçlarından elde edilen bilgileri tanımlamak, ölçmek, kontrol etmek ve değerlendirmek için sistematik bir tekniktir. Envanter analizi ve etki değerlendirilmesinden elde edilen bulgular yorumlama aşamasında özetlenir ve çalışma için amaç ve kapsamla uyumlu bir dizi sonuç ve tavsiye içerir [ISO, 2006].

Sonuçların yorumlanması, sonuçların doğruluğundan ve çalışma hedefinin karşılandığından emin olmakla başlar [Hauschild, 2015].

Yorumlama ayrıca, çalışma kapsamının yineleme, inceleme ve olası revizyonuna, envanter ve/veya etki değerlendirmesi için veri toplamaya girdi sağlayabilir. YDA çalışmasının yorumlanmasında duyarlılık analizi, çalışmanın kısıtlamaları (sınırları) ve dışsal incelemeler göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonuç olarak, bir YDA geliştirmek için kullanılan titiz ve güvenilir bilgi, bilim elde etmeye ve insan sağlığına, kaynak yönetimine ve doğal mühendislik ortamlarına dikkat eden proses veya hizmetin geliştirilmesi için birlikte çalışan politikaya hizmet edebilmektedir.

Buna ek olarak; çalışmanın bütünlüğü, hassasiyeti ve tutarlılığını da bu aşamada doğrulamak mümkündür. Basit bir veri değerlendirme işlemi olmayan yorumlama aşamasındaki kilit nokta, nihai sonuçlardaki güvenilirlik düzeyini belirlemek ve bunlarla doğru ve verimli bir biçimde ilişki kurmaktır [Bjarnadottir et al., 2002].

4.2.4.1. Duyarlılık analizi

Yorumlama aşamasının önemli bir parçası olup, çalışma sonucu üzerinde en büyük etkiye sahip olan model varsayımlarını, süreçleri ve çevresel değişimleri tanımlar. Birçok veri girdilerinde belirsizlik olduğunda, çoklu parametrelerin belirsizliğinin kolektif etkisini göz önüne alan teknikler gereklidir. Veri kalitesi iyileştirilmesinin gerekip gerekmediğini belirlemek ve sonuçların yorumlanmasını geliştirmek için en önemli model parametreleri kümesini vurgular.

Atık yönetiminde duyarlılık analizi için özellikle aşağıdakileri dikkate almak önemli olabilir:

- Atık bileşimi,
- Araştırma sonunda teknoloji tahmini,
- Atık yönetim sistemine göre geri kazanılan enerji ve materyalin kredilendirilmesi.

4.2.4.2. Sınırlamalar

YDA işleminin karmaşıklığı ve tamamlanması için çok fazla sayıda veri gerekliliği bazı sınırlamalara yol açmaktadır. Bundan dolayı YDA çalışmasının belirli bir sistem çerçevesi içinde ele alınması işleyişi kolaylaştırarak anlamlı sonuca ulaşmada önem teşkil etmektedir.

4.2.4.3. Raporlama ve Kritik değerlendirme

YDA analiz sistemi genellikle karmaşık bir sistem olmasının yanında, çalışmanın dışındaki insanlar için çalışmanın sonuçlarını belirsiz hale getirebilen bazı kabuller içermektedir. Bundan dolayı SETAC ve ISO ‘ya göre raporun şeffaf olması için; sonuçlar, veri kaynakları ve değerleri, yöntemler, kabuller ve çalışmanın sınırları hususlarında yeterli bilgi içermesi gerekli ve önemlidir. Değerlendirme çalışması, çalışma sonunda veya esnasında YDA çalışmasını yapan grupla etkileşim içinde yapılabilir. Değerlendirme raporu yaşam döngüsü analizinin sonuç raporunda yer almalıdır.

4.3. Evsel Katı Atıklarının Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Kentsel katı atıklar, çevresel, ekonomik, teknik ve sosyal olgular dikkate alınarak yönetilmesi gereken çok disiplinli ve karmaşık bir konudur. Genel olarak en az üç aşama ile yönetilen evsel katı atıklar; toplama, taşıma ve bertaraf süreçleri içerisinde farklı etkinlikler ve etki grupları içermektedir. Örneğin atıkların toplanması; kaynağında ayrı toplama, farklı renklerde torbaların ya da konteynerlerin üretimi, kullanımı, bakımı, aynı zamanda nakil araçlarının kullanımı, transfer istasyonlarının yapımı, bakımı gibi bir çok basamakta çevresel, sosyal ve ekonomik etkiye sahiptir [Rives, 2010], [Chen, 2012]. Atıkların bertaraf süreçlerinde de aynı şekilde toplama, taşıma, ayrıştırma ve bertaraf tesisinde uygulama işlem ve sonrasında bahsi geçen tüm etki alanlarında etki değeri oluşmaktadır. Atık yönetiminin doğru, sistematik bir mühendislik hesabı ile planlanması tüm potansiyel olumsuz etkilerin özellikle çevresel alanlarda pozitif dönüşürme noktasında önem teşkil etmektedir [Clift et. al., 2000].

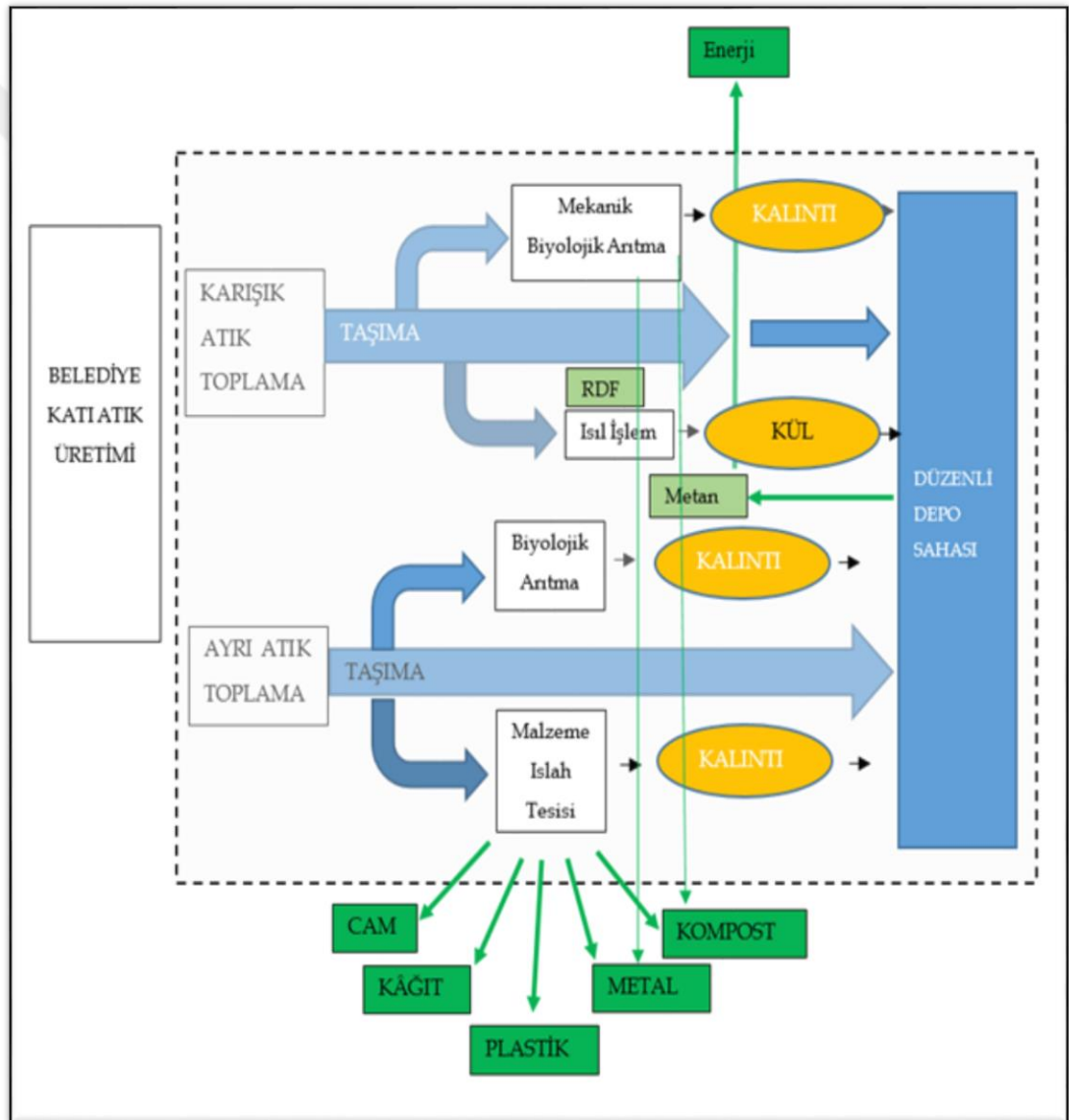
Evsel katı atıkların yönetiminde özellikle çevresel etkiyi görebilmek ve bu doğrultuda hangi basamaklarda ne gibi önlemler alınması konusunda yol gösterici bir yöntem olarak Yaşam Döngüsü Değerlendirme çalışmalarının yapılmasına Bridigt and Curran çalışmaları ile 1993'lü yıllarda başlanmıştır. Bu çalışmada kentsel katı atıkların yönetiminde YDA'nın nerde ve hangi aşamada ne şekilde uygulanabileceği yaklaşımı tartışılmıştır. Burada mevcut yönetiminin geleneksel yaklaşımın sadece atık akışını dikkate aldığından ancak YDA sürecin ilk adımından (atığın kaynağında olduğu noktadan) geçtiği tüm noktaları (tüm atık akışları) ve nihai hedefe ulaşmaya kadar ortaya çıkardığı bütün etkileri irdelediğinden, sorunları azaltmak veya ortadan kaldırmak adına yukarı akışlı çözümler sunduğundan bahsedilmektedir [Bridges and Curran, 1994].

Belediyeler için katı atıkların yaşam döngüsü analizlerinde belirlenen genel sınırlar Şekil 4.4'de gösterildiği şekildedir. Mevcut durumda ülkemizde ve dünyada halen kaynağında ayrıştırma yapmadan (ülkemizde bu oran %95) ve bir kısım ise kaynağında ayrı toplanarak bölgelerin şartları doğrultusunda uygun bulunan teknoloji ile atıkların bertarafı sağlanmaktadır. YDA sistem sınırı, atık yönetim sistemi ile çevre veya diğer ürün sistemleri arasında bir ara yüzdür. Yaşam döngüsü, bir malzeme (atık), çöpe atıldıktan sonra başlar. Şekil 4.4' de görüldüğü gibi her bir toplama yöntemini bir alt kategori olan taşıma sistemi izlemektedir. Gelişmiş ülkelerde kentsel karışık atıklar ya düzenli depolama sahasına ya da atık enerji tesisine veya mekanik biyolojik arıtma tesisine gönderilmektedir. Kaynağında ayrı toplanan atıklar; kağıt, metal, cam, plastik gibi atıklar ise geri dönüşüm tesislerine, mutfak ve bahçe atıkları gibi organik içerikli olanlar ise biyolojik arıtma tesisine gönderilmektedir [Konstadinos, 2011].

Kentsel atıkların yaşam döngüleri irdelenirken Şekil 4.4'de gösterildiği gibi her atık yönetim aşamasında farklı girdi ve çıktılar oluştuğu görülmektedir. Tüm girdi (malzeme ve enerji kaynakları) ve çıktılar (emisyon ve ürünler) yaşam döngüsü envanteri sırasında tanımlanması ve sayısallaştırılması gerekmektedir. Atıkların değerlendirilmesi sonucu oluşan ürünler/yan ürünler mavi renk ile sembolize edilmiştir. Atıkların faydalı bir ürüne dönüşme aşamasında ise havaya, suya ve toprağa bir miktar kirletici salınımı gerçekleşmektedir. YDA, atıkların hiçbir uygulama ve işleme maruz kalmadan faydalı ürüne dönüşmediğinde oluşan emisyonun etkisini karşılaştırma olanağı vermektedir. Her yönetimin uygulama sonucunda bir miktar artık oluşur ve bu artıklar düzenli depolama sahasına gönderilmektedir. Bu yüzden düzenli

depolama sahaları, malzeme veya enerji kazanımından geriye kalan ürünlerin ve diğer belediye atıklarının yaşam döngüsünün sonudur [Del Borghi et al., 2009].

Atık yönetim sistemlerinde enerji ve malzeme girdilerine ek olarak işletmelerin sermaye, ekipman ve altyapı gereksinimi önemli kalemlerdir. Bu ekipman ve altyapının oluşum süreci doğal kaynakları tüketir ve ilgili yaşam döngüleri sırasında çevreye emisyon salınımı yapmaktadırlar. Bu yükler ikincil çevresel yükler olarak bilinmekle beraber, birincil yüklerle oranla daha düşük etkiye yol açtığı varsayıldığından, kentsel atıkların yönetiminde yaşam döngüsü analizinde göz ardı edilebilmektedir [McDougall et al., 2001].



Şekil 4.4: Kentsel katı atıklar için YDA sınırları.

4.3.1. Kentsel Katı Atıkların YDA üzerine Uluslararası Alanda Kabul Gören Çalışmalar

YDA kentsel atıkların yönetiminin her alanında sıklıkla başvurulacak karar vermeyi destekleyici bir yöntemdir. YDA uygulamasında kullanılan çok sayıda yazılım programı yer almakta birlikte özellikle çalışmamız da olduğu gibi SimaPro programı kullanılarak yapılmış Dünya’da ve Türkiye’deki bazı akademik çalışma örnekleri aşağıda irdelenmiştir.

Atık toplama ve yönetimi ile ilgili olarak, farklı teknolojilerin çevresel etkilerini karşılaştıran birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin arıtma süreçlerinden yakmanın enerji geri kazanım nedeni ile çevresel etkilere toplama ve taşımadan daha büyük katkı sağladığını savunan çalışmalar olduğu gibi [Song et al., 2013], [Feo and Malvano, 2009], [Koroneos and Tsarouhis, 2012], geri dönüşüm ile karşılaştırıldığında geri dönüşümün birincil malzemelerin değişiminden dolayı çevresel faydanın daha fazla olduğu öne süren çalışmalar da bulunmaktadır [Iriarte et al., 2009], [Merrild et al., 2012], [Muñoz et al., 2010]. Zamorano ve ark., 2009 yılında yapmış oldukları çalışmada atık toplamanın verimliliğini artırmak için toplama yollarının, yönetim tesislerinin yerleşiminin ve taşıma verimliliğinin önemini vurgulamışlardır. Herva ve diğerleri, (2014), çalışmalarında artırılmış bir atık yönetim verimliliği ve enerji geri kazanım süreçlerinin entegrasyonunun ve entegre bir atık yönetimi modelinin en çevre dostu seçenek olduklarını göstermişlerdir [Buttol et al., 2007], [Thomas and McDougall, 2005]. Vergara ve ark. (2011) ise çalışmasında atık yönetimindeki sera gazı muhasebesinin, büyük ölçüde çöp gazı toplama, elektrik üretimi ve biyogenik karbon modellemenin verimliliğine bağlı olduğunu göstermiştir.

Abduli ve ark.’nın 2011 yılında yayınlanmış çalışmalarında İran, Tahran metropolüne ilişkin düzenli depolama ve kompostlaştırma faaliyetleri üzerinden belirlenen senaryolarının yaşam döngüsü karşılaştırma çalışması yapılmıştır. Eco-Indicator 99, kullanılarak yapılan çalışmada atık yönetim senaryoları %50 gaz tutucu özelliği ile sadece düzenli depolama ve düzenli depolama ile kompostlaştırma üzerine kurulmuştur. Karşılaştırmalara göre kompostlaştırma artı düzenli depolama senaryosu, düzenli depolama senaryosuna göre insan sağlığına daha az zarar vermektedir. Ancak hem mineral hem de fosil kaynaklara ve ekosistem kalitesine verdiği zararlar, depolama senaryosundan daha yüksektir. Bu nedenle, kompostlaştırma artı çöp sahası senaryosu, çöp sahası senaryosundan daha yüksek bir çevresel etkiye sahip olduğu

analiz edilmiştir. Burada düzenli depolamanın çevresel etkisinin daha az görülmesinin nedeninin gaz toplayıcı sistemin kurulu olmasından dolayı olduğu anlaşılmıştır [Abduli et. al., 2011].

2018 yılında İtalya ‘da iki şehirde atık yönetiminde sokak ve caddelerin süpürülmesinin etikleri üzerine Bartolozzi ve ark. yaptığı bir araştırmaya göre, ekipmanlar, taşıma, yakıt, atık, paketleme, elektrik ve su kullanımı gibi etkenlerden en fazla etkiye sahip olan unsurun yakıt olduğu anlaşılmıştır. Araştırma verileri arasında yakıt kullanımının iklim değişimi, partikül oluşumu, ozon incelmesi, asidifikasyon, ötrofikasyon ve kaynak kullanımı gibi sonuçlara diğer etkenlere göre %50’nin üzerinde etki ettiği anlaşılmıştır [Bartolozzi et al., 2018].



5. ÇOKLU KARAR VERME SİSTEMLERİ

Karar verme insanlık tarihi boyunca süre gelen, yaşamda yer alan sayısız konuda karşılaşılan, karar vericinin tercih ve değerlerine göre belirlenen alternatifler arasından seçim yaptığı zihinsel bir işlemdir. Karar verme işlemi bir eylemle sonuçlansın veya sonuçlanmasın, mutlaka nihai bir seçim ortaya koymaktadır. Karar verme mantığı anlam yönünden de en az iki seçenek arasında, belirlenen kriterlere yönelik değerlendirme ile sonuçlanır. İnsanlar bu kararları çoğunlukla alışlagelmiş alışkanlıklar, kimi zaman gelenek kimi zaman dini ve toplumsal kuralları gözeterek sezgisel olarak alırlar. Modern toplumlarda karar verme süreci bir sistematığe bağlı olarak yapılmaktadır.

Tekin, 1996 tanımına göre karar verme işlemi, karar vericinin farklı seçeneklerle karşılaştığı durumlarda, seçenekler arasından kendi amaç ve isteğine uygun, kişinin kendisince ya da kurumca belirlenmiş ölçütlere en uygun olanı seçebilmesi şeklinde tanımlanmıştır [Tekin, 1996].

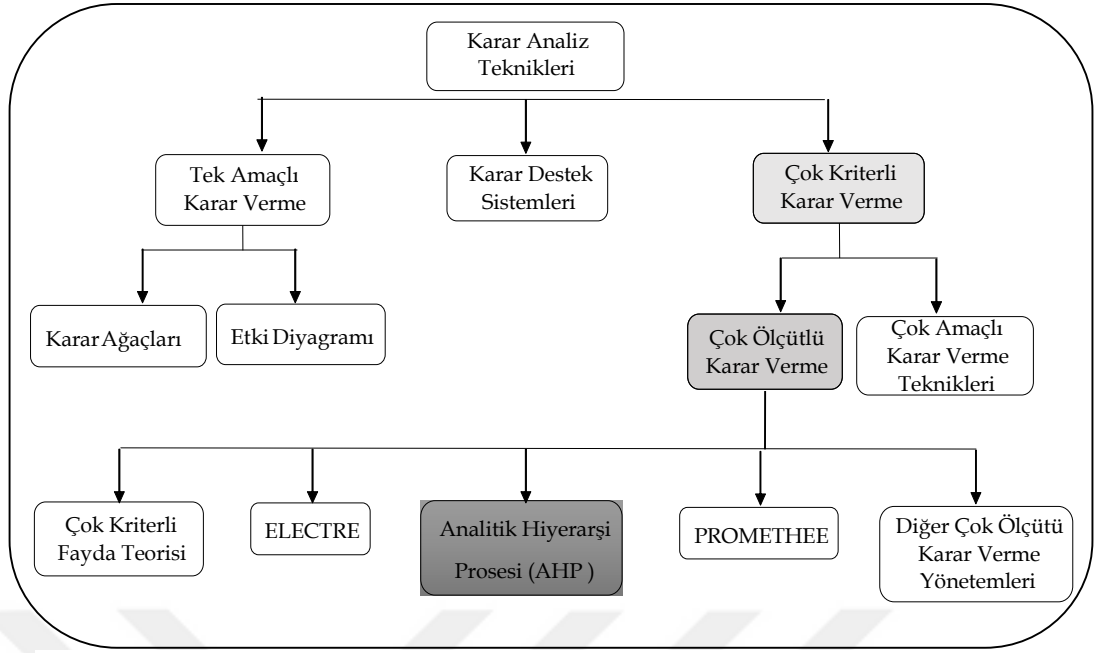
Karar verme, aşılması gereken bir sorun olarak değil, basamakları ve sistematığı olan bir problem olarak görüldüğünde buna yönelik çözüm metot ve modelleri geliştirilmiştir. Dolayısı ile bu sistematığın aşağıda sıralandığı gibi belirli aşamalardan oluşması problemin çözümünü analiz etmeyi kolaylaştırmaktadır [Timor, 2011].

Karar sürecinde problem çözme aşamaları aşağıdaki şekilde sıralanmıştır. Sıralamada da yer aldığı gibi sonuç uygulanamayacak olduğunda, model tekrar analiz edilir.

- i) Problemin Tanımlanması
- ii) Modelin Formüle Edilmesi Ve Uygulanması
- iii) Modelin Analizi
- iv) Elde Edilen Sonuçların Test Edilmesi
- v) Sonucun Uygulanması



Şekil 5.1’de Karar verme sistemine yönelik olarak geliştirilmiş analiz teknikleri yer almaktadır. Bu teknikler; ‘Tek Amaçlı Karar Verme, Karar Destek Sistemleri ve Çok Kriterli Karar Verme’ başlıkları ile üç ana metot altında şekilde de gösterildiği gibi irdelenmiştir [Zhou et al., 2006].



Şekil 5.1: Karar analiz yöntemlerinin sınıflandırılması.

5.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımı, literatürde Amerikalı araştırmacılar tarafından Çok Kriterli Karar Alma (Multicriteria Decision Making – MCDM), Avrupada ki araştırmacılar tarafından ise Çok Kriterli Karar Verme Desteği (Multicriteria Decision Aid-MCDA) şeklinde tanımlanmış olup, bir örnek kümesi içinde birden fazla kriteri esas alarak objektif bir sınıflandırma gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım 1970 li yıllarda yöneylem araştırması ve karar teorisi alanlarında kullanılmaya başlanmış olup, sonraki yıllarda iktisadi, yönetim, mühendislik gibi alanlarda kullanılmaya devam etmiştir [Timor, 2011], [Kılıç, 2005].

ÇKKV sistemi dinamik ve gelişime açık bir çalışma alanı olup, problemlerin modellenmesi, çözümlenmesi birçok bilgisayar programı aracılığı ile çeşitli paket program destekleri ya da Excel hesaplamaları üzerinden yapılabilmektedir.

5.1.1. AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi)

Birden fazla alternatif ve çok kriterli tercih süreçlerinde öncelikle akla gelen uygulamalardan biri haline gelen Analitik Hiyerarşi Prosesi, hem akademik alanda hem de pratik uygulamalarda oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle fen

bilimleri temel uygulama alanlarında kullanılan bu yöntemin, ekonomi, sosyal bilimler gibi teorik ve pratik alanlarda da kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde Sürdürülebilir Kentsel Katı Atıkların Yönetim Modelinin seçiminde belirlenen kriterler doğrultusunda alternatifler arasında yapılacak seçimde uygulayacak olduğumuz AHP hakkında genel bilgiler, işleyişindeki temel süreçler, hiyerarşi yapısının oluşturulması, kriterler ve alternatifler, matris yapısının oluşturulması ve sonuçların elde edilmesini kapsayan süreçler hakkında temel bilgiler verilecektir.

AHP, karar vermenin geniş zaman ölçeğinde ve belirlenen şartlarda, proseslerin işlerliğinin tespiti ve sürekliliği için gerekli bir hesaplama yöntemidir. Verilecek kararın doğruluğu göreceli olarak farklılık gösterebilmektedir. Dolayısı ile karar verme mekanizması, karar vericinin kim olduğu, karar verilecek alternatiflerin sayılarına, ele alınacak kriterlerden, sonuçların neden olabileceği etkilere kadar çok yönlü ve basamaklı bir sistematik üzerinden yürütülmektedir. Alınan kararın doğruluğu; elde edilen verilerin doğruluğu, bu doğrultuda belirlenen uygun alternatiflerin sunulması, kullanılacak yönteme doğrudan bağlıdır. [Sipahi ve Timor, 2010], [Timor, 2010].

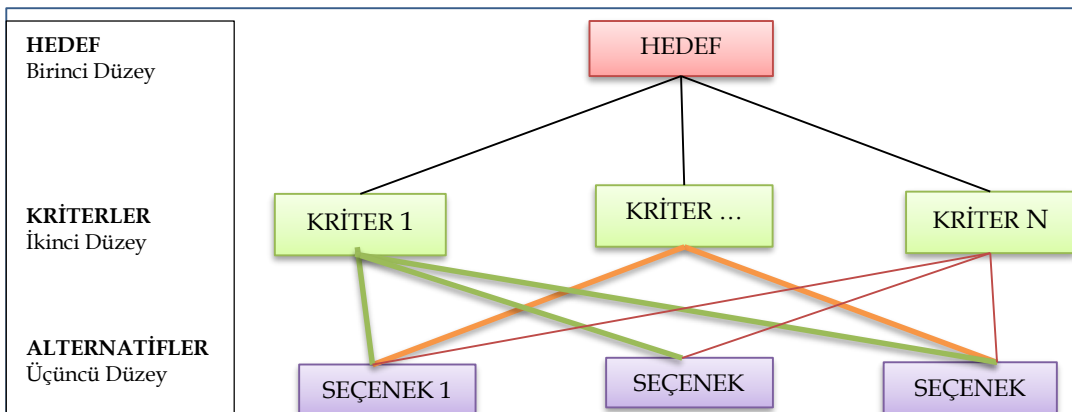
AHP sistematığında problemlere sunulan en iyi çözüm genellikle karar vericilere göre değişkenlik göstermektedir. Bundan dolayı karar verme aşamasında problem çözümde ‘en iyi çözüm yerine ‘*baskın*’/‘*uzlaşmacı*’ çözüm bulunmaya çalışılmaktadır [Brunelli, 2015].

Karar verme işlemi tek kriterli bir problem için uygulanıyorsa ‘tek kriterli karar verme’, ancak birden fazla ve aynı anda uygulanan kriterlerin içerisinde amaç fonksiyonu optimizasyonu sağlanmaya çalışılıyorsa karar vermenin bir alt dalı olan çok kriterli karar vermeden bahsedilmektedir [Ulucan, 2004]. Karar verme süreçlerinde karar vericilerin akademik ve analitik bir bakış açısı düzleminde değerlendirmeleri, olası kişisel tahminlerden kaynaklanabilecek sapmaları makul seviyede giderebileceği düşünülmektedir. Bu aşamada Thomas Saaty tarafından 1970’li yıllarda önerilen AHP modeli; mantıksal izahatta basit fakat kendi süreci içerisinde matematiksel varsayımlara ve kabullere dayanan; cari alternatifler arasında çok kriterli karar verme olanağı sunan ampirik bir modeldir [Saaty, 2004], [Lee et al., 2009].

Planlama, en iyi alternatifi seçme, optimizasyon, kaynakların etkili ve verimli kullanımı gibi bir çok problematiğin çözümünde AHP modeli 1970 'li yıllardan beri araştırmacıların en çok tercih ettiği çok kriterli karar verme modeli olarak bilinmektedir [Vaidya and Kumar, 2006]. Aynı zamanda; matematiksel alt yapısı ve esnekliğinden dolayı AHP; mühendislik, iktisat, sağlık, gıda vb. gibi birçok alanda uygulamalı araştırmalarda önemli bir performans değerlendirme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır [Sipahi&Timor, 2010].

AHP metodu kriterlerini ikişerli matris şeklinde karşılaştırma yaparak, karşılaştırmaların aynı zamanda tutarlılığını ölçer. Diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden farklı olarak kriterleri ikişerli olarak karşılaştırır ve karşılaştırmaların tutarlı olup olmadığını ölçer, bu durum bu metodu diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden ayırır [Tayyar et al., 2014]. AHP metodu karar verme işleminde birden fazla alternatif arasından seçim yaparken, gerçekçi ve faydalı sonuçlara ulaşılabilme için ilgili alanlarda uzman, bilgili kişilerin tercih edilmesi bu süreçte oldukça önem teşkil etmektedir. Aynı zamanda söz konusu uzman kişilerin ikili karşılaştırmalardaki bilgilerinin tutarlılığı aynı derece önemlidir.

AHP diğer çoklu karar verme sistemleri ile kıyaslandığında; geri bildirim kolaylığı yapısal esneklik, duyarlılık analizi, grup değerlendirme kapasitesi, hesaplama kolaylığı gibi birçok noktada daha avantajlı olduğu değerlendirilmiştir [Tayyar et al., 2014]. Yöntem basitliği, esnekliği ve tahakkuk eden sonuçlar verebilmesinden dolayı en çok kullanılan modellerden biridir. Model, alternatifleri ve seçenekleri sayısallaştırıp, hedefle ilişkilendirmesinden dolayı zor kararları çözebilir ve organize eder [Hwang and Yoon, 1981],[Brunelli, 2015]. Şekil 5.2'de AHP yönteminin basit hiyerarşik yapısı yer almaktadır.



Şekil 5.2: Analitik Hiyerarşi Prosesi yapısı.

AHP uygulamasında ikili matris sonuçlarında ortaya çıkan değerlerin tutarlı olması test edilmektedir. Veriler arasında tutarlı olmayanlar kapsam dışı bırakılarak modelin gerçeğe yakın bir değerlendirme yapma ihtimali artırılmaktadır.

Şekil 5.2’de de görüldüğü gibi AHP’nin hiyerarşik yapısında en üst aşamada karar vericinin amacı/hedefi yer almaktadır. Örneğin çalışmadan örnekle; seçilen bir çalışma bölgesi özelinde belirlenen alternatif atık yönetim senaryoları arasından kriterler ölçüsünde en ideal atık yönetim senaryosunun seçilmesi, çalışmanın AHP modeline göre hedefini oluşturmaktadır.

5.1.2. AHP Metodunun Genel Uygulama Yöntemi

Bu Metodu geliştiren Saaty’ye göre Analitik Hiyerarşi Prosesinde bir örnek hedef üzerinden gidildiğinde aşağıda sıralandığı şekilde adımlar takip edilir [Satty, 1980].

Çalışma kapsamında belirlenen alternatifler ve kriterler görece daha karmaşık olduğu için bu metotların detayları çalışmanın materyal metot bölümünde detaylı şekilde aktarılacaktır.

AHP yöntemi ile karar verme sürecinde süreç genellikle aşağıda sıralanan aşamalar takip edilerek uygulanır [Dağdeviren, 2002];

- i) Alınması gerekli bir kararın belirlenmesi ve tanımlanması,
- ii) Karara yönelik detaylı analiz ve gerekli değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi,
- iii) Kriterlerin detaylandırılıp gerekli ise alt kriterlerin oluşturulması,
- iv) Alınacak karara yönelik alternatiflerin belirlenmesi,
- v) Gerekli ise kriterlerin değerlendirilmesi aşamasında konunun uzmanlarının görüşünün alınması,
- vi) Uzman görüşlerine göre ikili matrislerin yapılması,
- vii) Matrislere göre öncelik vektörlerinin hesaplanması,
- viii) Tutarlılık analizlerinin yapılması,
- ix) Ortaya çıkan sırlamaya göre kararın alınması,
- x) Kararın uygulanması,
- xi) Kararın sonuçlarının izlenmesi ve değerlendirilmesi,
- xii) Geri beslemenin sağlanması.

Yöntemin uygulama adımlarında önemli aşamaları aşağıda adım adım detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Adımların en başında çalışmanın amacı olan hedef ya da problemi tanımlamak gelmektedir. Ulaşılmak istenen hedefe yönelik kriterler, varsa alt kriterler ve alternatifler belirlenmelidir [Dinçer ve Görener, 2011].

- *Adım 1:* Problemi (hedefi) tanımlamak ve ne tür bilgiye ihtiyaç duyulduğunu belirtmek.
- *Adım 2:* Karara ait hedef, ara basamaklarda kriterler ve en alt düzeyde alternatifler serisi olacak şekilde hiyerarşik yapıyı oluşturmak.
- *Adım 3:* Belirlenen kriterlerin bir biri arasında ikili karşılaştırmaların yapılacağı karşılaştırma matrisi oluşturulur. Karşılaştırma işleminde Saaty'nin geliştirmiş olduğu Tablo 5.1'de yer alan, 1 ile 9 arasında ölçeklendirmeye dayanan Standart Tercih Tablosu kullanılmaktadır. Uzman görüşleri ile elde edilen karşılaştırma matrisi hesabı eşitlik 5.1'de gösterilen (A) formülünde yer alan değerler risk kriterinin (satır x ve sütun y) (risk xy) karşılaştırmasını göstermektedir [Karakaya ve Dilaveroğlu, 2017]. Uzmanların belirlenmesi aşaması karar verme sürecinde önemli bir adım olmakla birlikte bu aşamada uzman sayısına dair literatürde herhangi bir alt-üst limit bulunmamaktadır [Saaty, 1980], [Saaty and Tran, 2007], [Wang et al., 2010], [Shen et al., 2010].

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (5.1)$$

- *Adım 4:* Oluşturulan karşılaştırma matrisleri normalize edilir. Bunun için bütün sütunlar ayrı ayrı toplanır ve her bir değer kendi sütun toplamına bölünür. Böylece standartlaştırılmış matris elde edilir.

Tablo 5.1: Standart tercih tablosu.

STANDART TERCİH TABLOSU		
Önem Değerleri	Değer Tanımları	Açıklama
1	Eşit Önemde	Her iki alternatifin eşit öneme sahip olması durumu
3	Biraz Daha Önemli (Az Üstünlük)	Tecrübe ve yargıya göre 1.Alternatifin 2.Alternatife göre orta derecede üstünlüğü kabul ediliyor.
5	Oldukça Önemli (Fazla Üstünlük)	Tecrübe ve yargıya göre 1.Alternatifin 2.Alternatiften fazlaca üstünlüğü olduğu kabulü yapılıyor
7	Çok Önemli (Çok Üstünlük)	1.Alternatif 2.Alternatife göre güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı görülüyor.
9	Son Derece Önemli (Kesin Üstünlük)	1.Alternatif 2.Alternatife göre tercih kanıtları çok büyük bir güvenilirliğe sahiptir.
2,4,6,8	Ara Değerler (Uzlaşma Değerleri)	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere ardışık yargı arasına düşer.

- *Adım 5:* Ağırlıkların (önceliklerin) elde edilmesi için her bir satırın ortalaması alınır.
- *Adım 6:* Ağırlıklar elde edildikten sonra karşılaştırma matrisinin tutarlılığına bakılır. Eğer matrisi tutarlı değil ise, elde edilen ağırlıklar kullanılamaz ve değerlendirme tutarsız olunan kriterde yeniden yapılır. 5.2 eşitliğini sağlayan max vektörü öncelikle elde edilmelidir. Burada A karşılaştırma matrisi, w elde edilen ağırlık matrisidir.

$$A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w \quad (5.2)$$

Eşitlik 5.3’de max kullanılarak hesaplamalar yapılır ve tutarlılığa yakınlık göstergesi olarak nitelendirilen “tutarlılık indeksi (CI)” elde edilir.

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (5.3)$$

Rasyonel karar verme işlemlerinde tutarlılık önemli bir etkindir. Karar vericiler karşılaştırma yaparken rasyonelliklerini kaybedebilirler. Özellikle karşılaştırmadaki kriter sayısı 7 den büyük ise tutarsızlık artabilmekte [Saaty and Özdemir, 2003] ve kişiler objektif karar vermeden uzaklaşabilmektedir [Millet and Saaty, 2000]. Bu yüzden de ideal kriter sayısı 5 ± 2 olarak uygulanmaktadır.

“Tutarlılık indeksi (CI)” hesaplandıktan sonra, elde edilmesi gereken başka bir değer de “Rassallık İndeksi (RI)” dır. Tablo 5.2 ‘de RI (Rassal Index) Değer Tablosu şeklinde gösterilen tabloda **n** değeri matris boyutunu yani sunulan alternatif sayısını ifade etmektedir [Saaty, 1980].

Tablo 5.2: RI (Rassal İndeks) Değer Tablosu.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

CI’nın RI’ya oranıyla ise tutarlılık oranı (CR) elde edilir. AHP uygulamalarında, CR’nin 0. 1’ den daha az olması, yapılan uygulamanın tutarlı olduğunu gösterir. Eğer bu değer 0.1 i aşarsa girilen verilerin tekrar gözden geçirilmesi durumu oluşmaktadır.

Adım 7: Bu aşama sentez işlemidir ve alternatiflerin genel puanları elde edilir. Bunun için kriterlerin görelî önem ağırlıkları ve her bir kritere göre alternatiflerin görelî önem ağırlıkları matrisi elde edilir. Daha sonra alternatif matrisi ile kriterlerin görelî önem ağırlıkları çarpılarak genel bir sonuç elde edilir [Şahin, 2017].

Uzman belirleme aşamasında uzmanların konuyla ilgili farklı alanlarda çalışmalar yapıyor olmaları ve alanlarında yetkin olmaları oldukça önemlidir. Her ana kritere göre de ilgili alanda çalışmaları bulunmasına dikkat edilerek uzmanların belirlenmesi değerlendirmede daha fazla katkı sağlayacaktır. Sonrasında görüşü alınacak uzmanlara yapılacak olan ikili karşılaştırmalar için AHP yöntemi ve belirlenen ana kriter ve alt kriterlere ait detaylı bilgilendirme yapılmalıdır [Ramanathan, 2001].

- i) AHP yöntemi karar verme uygulamalarında aşağıda sıralandığı üzere birtakım kolaylıklar ve faydalar sağlamaktadır [Vaidya and Kumar, 2006], [Timur, 2011];
 - Büyük ve karmaşık problemleri bileşenlerine ayırıp daha basit yapıya dönüştürerek çözeabilen bir modelleme aracıdır.
 - Kriterlerin ve alternatiflerin karşılaştırılması ikili olarak yapılır, böylelikle probleme ait matrisler büyütülmeksizin her bir parça bağımsız olarak kolayca çözümlenebilmektedir.

- İkili karşılaştırmalar sırasında objektif bilgiler desteği ile sübjektif hükümlere varılabilir. Bu şekilde karar verme sürecinde tek başına sayısal verilere dayalı çözüm değil de, kişisel fikir ve tecrübeler de dikkate alınır.
 - İkili karşılaştırmaların tutarlılığını test edilebilir böylelikle tutarsızlık durumunda karar verici verdiği hükümleri tekrar değerlendirerek düzeltmeye gidebilir.
 - AHP sosyal ve fen bilimleri alanlarını da kapsayacak şekilde birçok konuda uygulanabilmektedir. Dolayısı ile bu konuda yapılmış farklı uygulamalara yönelik çok sayıda çalışma bulmak mümkün olmaktadır.
- ii) AHP nin kolaylıklarının yanı sıra, AHP'nin bazı olumsuz özellikleri ve sakıncaları da bulunmaktadır. Aşağıda bu özellikler sıralanmıştır [Vaidya and Kumar, 2006];
 - iii) Karar vericinin yargısal hükümleri çerçevesinde değerlendirmenin yapıldığı bir teknik ve sonuçların bağımsız doğrulamanın bir yöntemi bulunmamaktadır.
 - iv) Yeni bir kriter eklendiğinde bütün proses yeniden çalıştırılmak zorundadır.
 - v) Probleme yeni karar alternatifleri eklendiğinde alternatiflerin tercih sırasında değişimler olabilmektedir. X, Y ve Z alternatifleri arasında; X, Y'ye tercih edilirken, modele Z eklendiğinde X ile Y arasındaki ilişkinin tersine döndüğü durumlar olabilmektedir.
 - vi) İkili karşılaştırma yapılırken, bazı durumlarda sözel hükümler ile sayısal hükümlerin birbirini tam karşılayamadığı, bazı durumlarda örneğin “tercih edilme” sözel hükmünün 1-9 ölçeğine göre sayısal değer olarak karşılığı olan 5 değerinin çok yüksek olabildiği tartışılmaktadır.
 - vii) Karşılaştırma soruları kolay olarak görünse de, karar vericinin çok sayıda hükümde bulunmasının gerektiği durumlarda AHP metodunun kullanımından kaçınıldığı ifade edilmektedir.

5.1.3. AHP'nin Atık Yönetiminde Uygulama Alanları ve Örnekleri

Literatürde farklı uzman sayıları ile yapılmış çalışmalara rastlanmaktadır. Navarro et. al., (2015) oteller ve engelli müşterileri arasında ortak yaratmayı etkileyen faktörleri AHP metodolojisi kullanarak sekiz uzman katılımı gerçekleştirmiştir. Saaty (1986) Amerika Birleşik Devletlerinde en yaşanabilir şehirler için yaptığı çalışmasında

alışmasında altı uzman ile ağırlıkları belirlemiştir. Disiplinler arası ve farklı çalışma grupları ile yapılan çalışmalarda Ramanathan ve Ganesh (1995) 64 görüşmeyi değerlendirmiş. Oddershede, et. al., (2007) ise 50 kişilik bir grup ile çalışmıştır. Bu çalışmanın çevresel sürdürülebilirlik boyutunda, gerek kamu gerekse özel sektörde faaliyet gösteren, evre mühendislerinden oluşan bir uzman grubu ile görüşmeler yapılmış, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik bileşenleri için sürdürülebilirliğin ilgili bileşenleri üzerine çalışmalarda bulunmuş, göstergelere hakim akademisyenlerle görüşmeler yapılarak, ikili karşılaştırma matrisleri elde edilmiştir. Görüşmelerden elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinden tutarsızlık oranı yüksek olan görüşmelerin elenmesi ile birlikte, her bir bileşen altında üçer uzman olmakla birlikte toplam 15 uzman görüşmesi dikkate alınmıştır [Navarro et. al., 2015], [Saaty, 1986], [Ramanathan and Ganesh, 1995], [Oddershede et al., 2007].

Yerel yönetimlerde Kentsel Katı Atıkların yönetilmesine ilişkin karar verme süreci birçok kriteri, seçeneği ve durumu göz önüne alarak değerlendirilmesi gereken, çok boyutlu bir karar verme problemidir. Özellikle yakın geçmişte literatürde bu problem farklı kriterler ve seçenekler ele alınarak farklı lokasyonlarda, dolayısı ile farklı iklim, demografik yapı, ekonomik ve sosyal yapılar için çözüm üretmede kullanılmıştır. Farklı metodolojiler denenerek yapılan çalışmalar içinde özellikle Analitik Hiyerarşi Prosesi ile yapılmış çalışma örnekleri aşağıda yer almaktadır.

Bu konuda yapılan ilk çalışmalardan biri Saaty and Gholamnezhad, (1982), yüksek seviyeli nükleer atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesine yönelik beş stratejinin ele alındığı etkin bir “analitik hiyerarşi süreci” yönteminin ve bu stratejilerin bir dizi somut ve soyut kritere göre önceliklendirildiği çalışma olmuştur. Yaklaşım, iyi kararlar kullanıldığında, karmaşık karar problemlerinin basit bir şekilde çözülebileceğini ve kısa sürede rasyonel bir karar alınabileceğini göstermektedir [Saaty and Gholamnezhad, 1982].

Kumar ve Hassan (2012), AHP ve GIS kombinasyonunu kullanarak KAY için uygun depolama sahası seçimi çalışmasını yapmışlardır ve çalışmalarında jeoloji, yerleşim alanı, ulaşım ağı, su yapısı, ormanlar ve yer altı su tablosu şeklinde altı adet kriter belirlemişlerdir. Bu alışma AHP’nin GIS ve benzeri bir program desteği ile kurgulanmasının özellikle yer seçimi gibi alanlarda daha anlamlı sonuçlar oluşturacağını savunmaktadır [Kumar and Hassan, 2013].

Bir başka çalışmada Madadian ve ark tarafından 2013 yılında İran, Tebriz de çeşitli atık yönetiminde en iyi kararı seçmek için, Kaynak Ayırma (SS), Biyolojik ve Mekanik Arıtma (BMT), Atıktan Türetilmiş Yakıt (RDF), Yakma ve Depolama gibi çeşitli uygulamaları içeren dört atık yönetim stratejisini karşılaştırmaktadır. Çalışma sekiz kriter belirlemiştir; atık yönetimi için gerekli arazi, enerji geri kazanımı, yatırım ve işletme maliyetleri, gelir-maliyet oranı (fayda), çevresel etkiler ve sürecin uygulanması ve işletilmesinin karmaşıklığı, halkın kabulü ve geri dönüşüm malzemelerinden oluşmaktadır. Çalışma, çevresel etkileri ve sosyal maliyeti en aza indiren ve halkın kabulünü artıran çeşitli çözümler önermektedir. [Madadian et al., 2013].

Bu alanda en son yapılan çalışmalardan biride Boonkanit and Suthiluck (2022), nin yapmış olduğu inşaattan kaynaklanan beton atıklarının yönetimi için en uygun yöntemin incelendiği ve değerlendirildiği çalışmadır. Araştırma yöntemleri, beton atık yönetiminin mevcut durumu ve sorunları üzerine olup, yönetimi etkileyen faktörleri önceliklendirmek ve seçim yapmak için analitik bir hiyerarşi süreci (AHP) kullanarak inşaattan beton atık yönetimi sorunlarının çözümüne ilişkin çöp sahası, geri dönüştürülmüş beton agregası (RCA) ve geri dönüştürülmüş betonun geri dönüşümü alanlarında çevresel, sosyal, ekonomik ve teknik kriterler ele alınmıştır. Sonuçlar 15 uzmanla yapılan anketler ve derinlemesine görüşmelerden elde edilmiştir. En uygun beton atık yönetimi yönteminin, geri dönüştürülmüş betonun geri dönüştürülmesi olduğu sonucu elde edilmiştir [Boonkanit and Suthiluck, 2022].

6. MATERİYAL VE METOD

6.1. Seçilen Bölgenin Genel Özellikleri

İstanbul Büyükşehir Belediye sınırları içerisinde Anadolu yakasında (doğu yaka) bulunan Ümraniye Belediyesi, belediye olarak 1963 yılında kurulmuş ancak tarihi çok eski dönemlere dayanan doğası ve stratejik konumu sebebi ile çok tercih edilen yerlerden biri olmaktadır. Ümraniye, İstanbul'un en yoğun nüfuslu ve en kozmopolit ilçelerinden biridir. Kültürel olarak da çok çeşitli sosyolojik ve etnik grupları bünyesinde barındırmaktadır.

6.1.1. İlçenin Tarihi ve Coğrafi Özellikleri

Tarihi kaynaklara göre Ümraniye civarına ilk yerleşenler Frigyalılardır. Ağaç yetişmesine uygun iklim nedeniyle her tarafın yemyeşil ormanlarla kaplandığı cennetten bir köşe haline gelen Ümraniye, daha sonra Romalılar ve Bizanslıların egemenliğine geçmiştir. Harun Reşit'in orduları ile 782 yılında Krizepolis (Üsküdar) önlerine kadar geldiği, bir yıl burada kaldığı, Bizans İmparatoriçesi İren'in ordusuna yenilerek geri çekildiği ve Bizanslılara yıllık 70.000 altın vermek zorunda kaldığı tarihi kayıtlarda yer almaktadır [Web 14, 2020].

Eski adı “Yalnız Servi” olan Ümraniye 1877-1878 yılında Osmanlı Devleti ile Rusya arasında meydana gelen 93 Harbi'nden sonra İstanbul'a göç eden muhacirlerin 1884 yılında gelip yerleşmesiyle ilk önce mahalle, ardından da köy haline gelmiştir (1906). Ümraniye kelime anlamı ile gelişmiş, kalkınmış, bayındır anlamına gelmektedir. Göçlerden sonra hızla gelişmesi ile Ümraniye diye anılır olmuştur. Osmanlılar zamanında idari olarak bazen Üsküdar bazen ise Gebze ve Yoros nahiyelerine bağlı olmuş olup, en sonunda 1928'de Üsküdar Merkez nahiyesi, 1935'te ise Üsküdar Kısıklı nahiyesi sınırları içerisinde kalarak nihayetinde 29 Mart 1962'de resmen Ümraniye Belediyesi olarak kurulmuş ve 1987 yılında ise ilçe olmuştur.

Özellikle 1970'li yıllardan sonra sanayi faaliyetlerinin yoğunlaşması ile hızlı bir gelişme göstermiştir. Sanayi, hizmet ve ticaret sektörlerindeki gelişimi ile çevre yerleşmelere hizmet verir duruma gelmiştir. Bu tarihten sonra ilçede ciddi bir gelişme

- İklim Özellikleri

İlçede hem Karadeniz hem Akdeniz iklim özellikleri görülmektedir. Kışları Akdeniz bölgesi gibi cephesel yağışların etkisi altında kalırken, yazları Karadeniz'in etkisiyle Akdeniz bölgesi kadar kurak geçmez. Yükseltinin az olması yağış miktarının fazla olmasını engeller. Her ne kadar boğazdan gelen deniz ikliminden etkilense de Çamlıca tepelerinin engellemesiyle karasal iklimin özellikleri de görülebilmekte, yağışlar İstanbul'un ortalama yağış değerlerinden birkaç derece yüksek olmaktadır.

6.1.2. İlçenin Nüfus Bilgileri

Ümraniye; yüzölçümü olarak Anadolu yakasının %2,43'lük kısmını, İstanbul genelinin ise %0,85'ini oluşturmaktadır. Demografik olarak homojen bir yapıya sahip olamayan Ümraniye'de kültürel olarak farklı sosyal-etnik grupları bünyesinde barındırıyor. İlçede ekonomik çeşitlilik de önemli bir etkidir. İlçenin son nüfus değeri (2021) 726.372 olarak tespit edilmiş olup 363.372 kadın (%49,9) ve 363.386 (%50) erkek nüfusundan oluşmaktadır. Tüm nüfus son 50 yılda Anadolu'nun her yöresinden ve Balkanlardan gelen insan göç yoluyla oluşmuştur. Son yıllarda gelen yabancı uyruklu insan göçü ile de bu nüfus nispeten ivme kazanmıştır. Nüfus açısından İstanbul'un 39 ilçesi arasında 5. Sırada (%4,59) yer almaktadır. Aynı zamanda ilçede bulunan alışveriş merkezlerinin ve ticaret merkezlerinin varlığı ile günlük olarak nüfusun bir milyonu aştığı görülebilmektedir. İlçenin iller bankası nüfus projeksiyon hesabına göre ise gelecekte 2030 yılı ve 2050 yıllarında sırasıyla 840.893 kişi ve 1.164.217 kişi nüfusa sahip olması beklenmektedir.

6.1.3. İlçenin Mevcut Atık Karakterizasyonu ve Atık Yönetimi Uygulaması

İlçede 2021 yılında 202.848 ton evsel atık toplanmıştır. Son yapılan atık karakterizasyon çalışması ise 2017 yılında yapılmış olup, Tablo 6.1'de yaz-kış ve bölge (ticari-yüksek ve düşük gelir) ayrımı ile detaylı hali yer almaktadır. Çalışmaya 2019 yılında başladığımızdan dolayı elimizde bulunan atık karakterizasyon oranları 2018 yılı atık miktarları çarpılarak atık türlerine göre yıllık ve günlük atık oluşum tablosu hazırlanmıştır. İlgili veriler Tablo 6.2'de yer almaktadır. Tablo 6.2'de yer alan

her bir türe göre hesaplanan atık miktarı YDA çalışması yapılırken SimaPro programına girilen ilk ve en temel envanter çalışması olmaktadır.

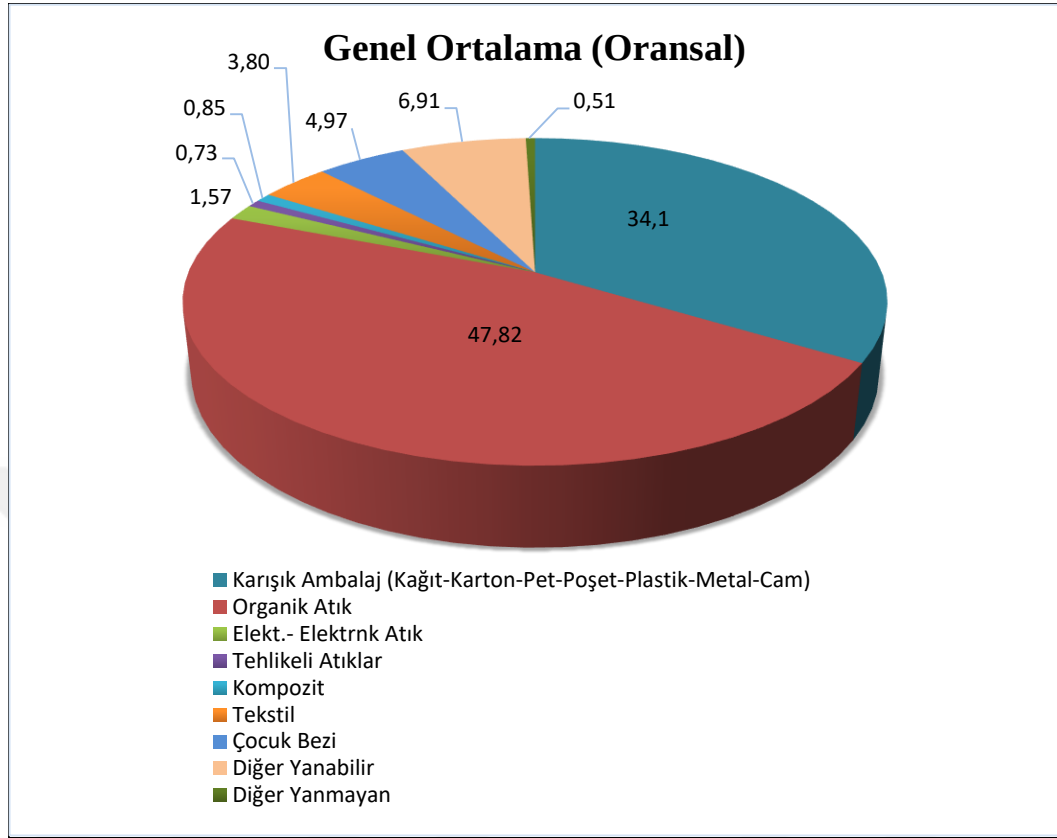
Tablo 6.1: Ümraniye atık karakterizasyon ortalamaları.

NO	Malzeme	KİŞ			YAZ			ORTALAMA			Genel Ortalama
		Düşük Gelirli Bölge	Yüksek Gelirli Bölge	Ticari Bölge	Düşük Gelirli Bölge	Yüksek Gelirli Bölge	Ticari Bölge	Düşük	Yüksek	Ticari	
1	Kağıt-Karton	3,52	13,80	19,20	8,09	6,60	10,25	5,81	10,20	14,73	10,24
2	Cam	3,01	5,43	1,98	4,95	8,55	9,77	3,98	6,99	5,88	5,62
3	Pet	1,41	1,57	2,42	0,53	1,30	3,66	0,97	1,44	3,04	1,82
4	Poşet	19,20	10,40	11,80	11,77	6,96	10,31	15,49	8,68	11,06	11,74
5	Plastikler	0,80	2,55	9,37	2,61	1,27	4,83	1,71	1,91	7,10	3,57
6	Metaller	1,30	1,23	1,15	1,06	0,72	1,36	1,18	0,98	1,26	1,14
7	Organik Atık	34,50	49,50	41,70	54,49	58,79	47,91	44,50	54,15	44,81	47,82
8	Elekt. - Elctrnk Atık	1,05	0,20	0,00	0,10	0,06	0,00	0,58	0,13	0,00	0,24
9	Tehlikeli Atıklar	0,32	1,93	0,25	1,05	0,24	0,56	0,69	1,09	0,41	0,73
10	Kompozit	3,17	0,57	0,53	0,40	0,30	0,12	1,79	0,44	0,33	0,85
11	Tekstil	7,74	1,92	4,39	4,94	2,31	1,47	6,34	2,12	2,93	3,80
12	Çocuk Bezi	18,60	3,80	0,00	3,40	3,42	0,58	11,00	3,61	0,29	4,97
13	Diğer Yanabilir	4,53	6,33	6,86	5,65	9,47	8,61	5,09	7,90	7,74	6,91
14	Diğer Yanmayan	0,66	0,70	0,19	0,97	0,00	0,56	0,82	0,35	0,38	0,51
	TOPLAM	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tablo 6.2: Atık Karakterizasyonu ve oluşan atık miktarı – 2018.

Atık Türleri	Genel Ortalama (%)	Atık Miktarı (ton/yıl)	Atık Miktarı (ton/gün)
Karışık Ambalaj (Kâğıt-Karton-Pet-Poşet-Plastik-Metal-Cam)	34,1	74496	204,1
Organik Atık	47,82	104392	286,0
Elektrik- Elektronik Atık	1,57	3424	9,4
Tehlikeli Atıklar	0,73	1583	4,3
Kompozit	0,85	1852	5,1
Tekstil	3,80	8285	22,7
Çocuk Bezi	4,97	10843	29,7
Diğer Yanabilir	6,91	15083	41,3
Diğer Yanmayan	0,51	1121	3,1

Şekil 6.2’de ise Tablo 6.2’de belirtilen oranlara dikkate alınarak hazırlanmış elma dilim atık dağılım grafiği yer almaktadır.

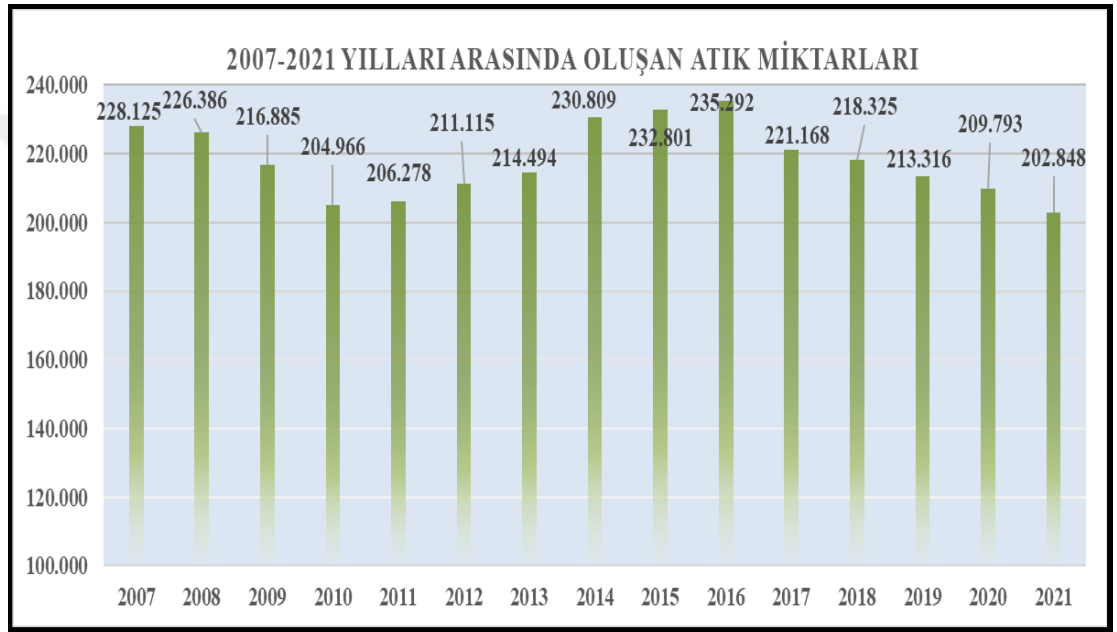


Şekil 6.2: Atık Karakterizasyon Grafiği.

İlçede kentsel/evsel atıklar yönetimi belediye temizlik işleri müdürlüğü görevi dahilinde olup, 13.07.2005 tarih ve 5393 sayılı ‘Belediye Kanunu’ kapsamında toplatılmaktadır.

Temizlik işleri katı atıkların toplanması, caddelerin süpürülmesi, sokakların, pazar yerlerinin süpürülmesi, camilerin temizliği ve bayram çalışmalarını yürütmesi işlerini kapsamaktadır. Atık toplama çalışmaları gündüz trafiğini aksatmayacak şekilde gece yapılmaktadır. Gündüz yoğun bölgeler için ise çöp taksi araçları kullanılmaktadır. Toplamda 47 sıkıştırılmalı kamyon ve iki çöp taksi ve 10.235 adet çöp konteyneri bulunmaktadır. 2021 yılında 202.848 ton evsel atık toplanmıştır. Şekil 6.2’de yer alan grafikte ise 2007-2021 yılları arasında oluşan atıkların miktar değişimi yer almaktadır. Atıklar ilçe belediyesine ait çöp toplama araçları ile geri dönüşebilir ya da karışık atık şeklinde günün belirli zamanlarında sırası ve belirli takvim dahilinde toplanır. Toplanan atıkların değerlendirilmesi aşaması ise İstanbul Büyükşehir

Belediyesi sorumluluğundadır. Geri dönüştürülebilen atıklar ilçe belediye araçları ile toplanarak 5 km’lik mesafede bulunan toplama ayırma tesisine ulaştırılmaktadır. Buradaki atıklar belediyenin anlaşmalı olduğu geri dönüşüm firması tarafından alınarak geri kazanıma gönderilmektedir. Kaynağında geri dönüştürülmeyen tüm atıklar karışık halde Hekimbaşı transfer istasyonuna ulaştırılmaktadır. Hekimbaşı transfer istasyonuna, istasyon yakınında bulunan diğer alanlardan atıklar getirilerek, belirli zamanlarda daha büyük hacimde araçlarla toplanarak Büyükşehir belediyesi işletmesi tarafından işletilen Kömürcüoda Atık depolama sahasına taşınmaktadır.



Şekil 6.3: İlçede 2007 -2021 yılları arasında oluşan atıkların değişim grafiği.

Şekilde 6.3’de bulunan grafikte atıkların iki ayrı dönemde azalma yönünde ilerlediği görülmektedir. Birinci azalış 2009 yılında Çekmeköy semtinin Belediye sınırlarından çıkarılarak bağımsız ilçeye dönüştüğü döneme denk gelmektedir. İkinci azalma eğrisi ise belediyenin sıfır atık uygulamalarına geçerek kaynağında ayırma ve ambalaj atıklarını ayrı topladığı dönemle başlamaktadır. Bu grafikten görüldüğü üzere son beş yılda atık miktarında yaklaşık %13’lük bir azalma olmuştur. Kaynağında ayrı toplama ile birlikte bu azalmanın nedenleri arasında sokak toplayıcılarının faaliyetlerinin de büyük oranda katkısının olduğu düşünülmektedir.

İlçede 2021 yılında toplamda 202.848 ton evsel atık ve günlük ise ortalama 555 ton atık toplanarak, Hekimbaşı aktarma istasyonuna 28.762 kamyon/ sefer döküm

işlemi yapılmıştır. İlçede faaliyet gösteren hizmet/üretim sektörlerinden kaynaklanan üretim atıkları (tehlikesiz) iri katı atıklar (koltuk, halı, vb.) ile tadilat atıkları ücretli olarak toplanarak ilgili döküm alanlarına nakledilmektedir. Günlük ortalama 147 ton (2018 yılı toplam 53.911 ton) katı atık ve tadilat atığı toplamış olup, toplanan bu atıkların ilgili düzenli depolama alanına nakli sırasında 6336 sefer/kamyon transfer işlemi gerçekleşmiştir.

İlçede kişi başı oluşan günlük atık miktarı ise $(555 \times 1000) / 726758 = 0,76 \text{ kg/kişi}$ atık olarak hesaplanmıştır. Bu atık miktarı geri dönüşüme giden atıklar ve sadece ilçenin gece nüfus değeri dikkate alınarak hesaplanmıştır.

6.2. YDA'da Kullanılan Yazılımın Genel Özellikleri ve Uygulama

Yaşam Döngüsü Analizi; ürünlerin ve süreçlerin çevresel olarak iyileştirilmesi, çevre etiketlemesi, eko-dizayn ve çevre politikalarının geliştirilmesi gibi farklı alanlarda kullanımı kabul gören bir araç olarak son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır. YDA'nın kullanım yelpazesi ve kullanımı arttıkça, YDA çalışmaları için gerek duyulan yazılım programlarının sayısı ve veri tabanlarının geliştirilmesinde de artışlar gerçekleşmektedir [Menke et al., 1996].

Piyasada pek çok farklı yazılım programları ve veri tabanları bulunmakta ve lisanslı olarak satın alınabilmektedir. Lisanslı programların yanı sıra çeşitli matematiksel formüller ve Microsoft excel programı kullanılarak manuel olarak yapılabilen YDA çalışmaları bulunmaktadır [VanDuinen and Deisl, 2009].

Bu çalışmanın ilk aşamasında, Hollandalı PRe Consulting firması tarafından geliştirilmiş olan YDA yazılım programı SimaPro 9.0 PhD versiyonu kullanılmıştır. SimaPro YDA yazılımı iş ve süreç sürdürülebilirliği, eko tasarım ve ürün geliştirme gibi konularda ürün ve yönetimin karbon ayakizi hesaplamalarını, çevresel ürün bildirimleri ve çevresel raporlama faaliyetleri yapan dünyanın önde gelen YDA yazılım programlarından. Program içerisinde bu çalışmaya yönelik Ecoinvent 3'ün türleri, ELCD ve Methods veritabanları kullanılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi ve raporlanması aşamasında ise SimaPro bünyesinde yer alan 2020 de güncellenmiş veriler ile ReCiPe 2016 Endpoint H (ReCiPe 2016 v1.1 endpoint method) ve EF (Environmental Footprint) Method 1.0 (Global 2010) raporlama metotları

- ii) Senaryolarda belirtilen giriş ve çıkış verilerinin SimaPro YDA yazılım programına işlenmesi- *yaşam döngüsü envanteri*.
- iii) Çevresel etkiler için YDA programı etki sonuçlarının değerlendirilmesi -*yaşam döngüsü etki değerlendirmesi*.
- iv) Son adım, YDA değerlendirmelerinden elde edilen sonuçları kullanarak en çevre dostu atık yönetimi senaryosunu seçmektir- *sonuçların yorumlanması*.

6.2.1. YDA Uygulama Basamakları

6.2.2.1. Amaç ve Kapsam Tanımı

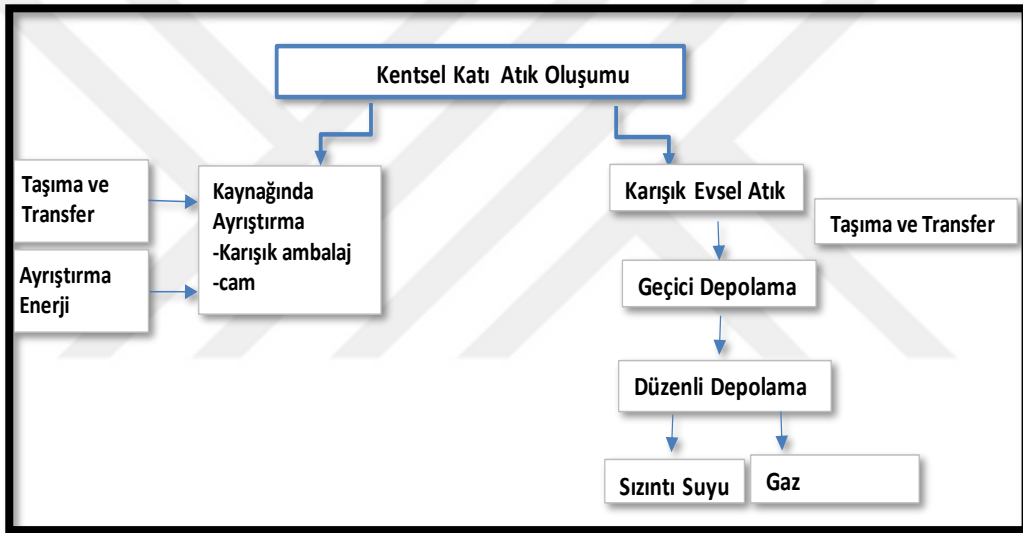
Çalışmanın yaşam döngüsü analiz bölümüne yönelik belirlenen amaç ve kapsamı; Ümraniye bölgesi için farklı katı atık yönetim senaryolarının çevresel etkilerini tanımlayarak karşılaştırmak ve bu karşılaştırma ile mevcut uygulamanın çevresel olarak iyileştirilmesi ya da çevresel olarak en olumlu sonuçları olan alternatif senaryonun önerilmesidir.

Atık karakterizasyon oranları dikkate alınarak oluşturulmuş senaryolar Tablo 6.3'te gösterilmektedir. Aynı zamanda aşağıda tüm senaryo açıklamalarının her birinin altında yazılım programına prosese göre atık türü bazında girilen dağılım oranları yer almaktadır.

Tablo 6.3: Senaryoların dağılımı.

	Geri Dönüşüm %	Düzenli Depolama %	Kompost %	Yakma %
Senaryo - 0	5	95	-	-
Senaryo - 1	20	60	20	-
Senaryo - 2	30	40	30	-
Senaryo - 3	20	40	-	40
Senaryo - 4	10	30	10	50
Senaryo - 5	20	20	30	30
Senaryo - 6	30	10	30	30

• S-0 (Depolama-Geri Dönüşüm): Bölgede hali hazırda uygulanan KAY uygulamasıdır. Katı atıkların %95'i evlerden ve sanayilerden ayrıştırılmadan toplanmakta ve aktarma istasyonuna taşınmaktadır. Daha sonra tüm atıklar daha büyük araçlarla ana depolama alanına gönderilir. Katı atıkların sadece %5'i kaynağında ayrıştırılarak belediye araçları ile toplanarak geri dönüşüm firmasına teslim edilmektedir. Depolama alanından sadece bir kısım depolama gazı toplanır. Bu senaryoda, depolama gazı kapasitesinin %60'ının tutulacağı varsayılmaktadır. Şekil 6.5'de S-0'ın yönetim şeması yer almaktadır. Şekil 6.6'da S-0 senaryosunda belirtilen bertaraf yöntemi için ayrılan atık türlerinin SimaPro programına girildiği hali görülmektedir. Her senaryo için benzer tablo senaryo açıklamalarının altında yer almaktadır.



Şekil 6.5: S-0 mevcut durum atık yönetim uygulaması.

Materials and/or waste types separated from waste stream	Material / Waste type	Percentage
Recycling	Metal	0,5 %
Recycling	Plastics	1,5 %
Recycling	Kağıt	1 %
Recycling	Karton	1 %
Recycling	Cam	1 %
Add		
Waste streams remaining after separation		Percentage
Landfilling		100 %
		Comment

Şekil 6.6: S-0 Atıkların Dağılımı.

• S-1 (Depolama-Geri Dönüşüm-Kompostlama): Birinci senaryoda kaynağında ayrı toplanan katı atıkların %20'u geri dönüşüme, %20'unun kompost tesisine ve kalan tüm atıkların elektrik (LFG) üretmek için düzenli depolama alanına gönderilmesi planlanmıştır. Senaryo 1'de belirtilen bertaraf yöntemlerine göre atıkların dağılımı Şekil 6.7'da gösterilmektedir.

Materials and/or waste types separated from waste stream	Material / Waste type	Percentage
Recycling	Cam	4 %
Recycling	Plastik	2,5 %
Recycling	Metal	0,5 %
Recycling	Kağıt	2 %
Recycling	Poşet	5 %
Recycling	Karton	5 %
Recycling	Pet	1 %
Compost	Organik Atık (48)+Kompozit (1)	20 %
Add		
Waste streams remaining after separation		Percentage
Landfilling		100 %
Add		

Şekil 6.7: S-1 Atıkların Dağılımı.

• S-2 (Depolama-Geri Dönüşüm-Kompostlama): İkinci senaryoda kaynağında ayrı toplanan katı atıkların %30'u geri dönüşüme, %30'unun kompost tesisine ve kalan tüm atıkların elektrik (LFG) üretmek için düzenli depolama alanına gönderilmesi planlanmıştır. Senaryo 2'de belirtilen bertaraf yöntemlerine göre atıkların dağılımı Şekil 6.8'da gösterilmektedir.

Materials and/or waste types separated from waste stream	Material / Waste type	Percentage
Recycling	Karton	6,5 %
Recycling	Paper	2,5 %
Recycling	Cam	5,5 %
Recycling	Pet	1,5 %
Recycling	Poşet	10 %
Recycling	Metal	0,8 %
Recycling	Plastik	3,2 %
Compost	Organik Atık (48)+Kor	30 %
Add		
Waste streams remaining after separation		Percentage
Landfilling		100 %

Şekil 6.8: S-2 Atıkların Dağılımı.

• S-3 (Depolama-Geri Dönüşüm-Yakma): Üçüncü senaryoda kaynağında ayrı toplanan katı atıkların sırasıyla %20 ve %40 oranında geri dönüşüm ve yakma tesisine geri kalan %40 oranında katı atıkların ise elektrik (LFG) üretmek için düzenli depolama alanına gönderilmesi planlanmıştır. Senaryo 3’de belirtilen bertaraf yöntemlerine göre atıkların dağılımı Şekil 6.9’da gösterilmektedir.

Materials and/or waste types separated from waste stream	Material / Waste type	Percentage
Recycling	Karton	5 %
Recycling	Metal	0,5 %
Recycling	Plastik	2,5 %
Recycling	Paper	2 %
Recycling	Cam	5 %
Recycling	Pet	1 %
Recycling	Poşet	4 %
Incineration	Çocuk Bezi	4 %
Incineration	Tekstil	3 %
Incineration	Yanabilenler	6 %
Incineration	Organik Atık (48)+Kompozit (1)	27 %
Add		
Waste streams remaining after separation		Percentage
Landfilling		100 %
		Comment

Şekil 6.9: S-3 Atıkların Dağılımı.

• S-4 (Entegre Atık Yönetimi): Dördüncü senaryoda katı atıkların %10'unun kaynağında ayrı toplama ile geri dönüşüme gönderilmesi, %50'sinin yakma tesisine, organik atıkların %10'unun kompost tesisine gönderilmesi planlanmıştır. Kalan %30 katı atık ise düzenli depolama sahasına gönderilmesi planlanmıştır. Senaryo 4’de belirtilen bertaraf yöntemlerine göre atıkların dağılımı Şekil 6.10’da gösterilmektedir.

Materials and/or waste types separated from waste stream	Material / Waste type	Percentage
Recycling	Metal	0,5 %
Recycling	Kağıt	2 %
Recycling	Cam	4 %
Recycling	Plastik	2,5 %
Recycling	Pet	1 %
Incineration	Yanabilenler	6 %
Incineration	Çocuk Bezi	4 %
Incineration	Tekstil	3 %
Incineration	Karton	6 %
Incineration	Organik Atık (48)+Kompozit (1)	31 %
Compost	Organik Atık (48)+Kompozit (1)	10 %
Add		
Waste streams remaining after separation		Percentage
Landfilling		100 %
		Comment

Şekil 6.10: S-4 Atıkların Dağılımı.

• S-5 (Entegre Atık Yönetimi): Beşinci senaryoda, kaynağında ayrı toplanan katı atıkların %20'si geri dönüşüme, %30'u yakma tesisine, organik atıkların %30'u kompost tesisine ve kalan %20'nin katı atık depolama sahasına gönderilmesi planlanmıştır. Senaryo 5'de belirtilen bertaraf yöntemlerine göre atıkların dağılımı Şekil 6.11'de gösterilmektedir.

Materials and/or waste types separated from waste stream	Material / Waste type	Percentage
Recycling	Karton	6,5 %
Recycling	Kağıt	2,5 %
Recycling	Cam	5,5 %
Recycling	Pet	1,5 %
Recycling	Metal	0,8 %
Recycling	Plastik	3,2 %
Compost	Organik Atık (48)+Kompozit (1)	30 %
Incineration	Tekstil	3 %
Incineration	Çocuk Bezi	4 %
Incineration	Yanabilenler	6 %
Incineration	Organik Atık (48)+Kompozit (1)	17 %
Add		
Waste streams remaining after separation		
Landfilling	Percentage	Comment
	100 %	

Şekil 6.11: S-5 Atıkların Dağılımı.

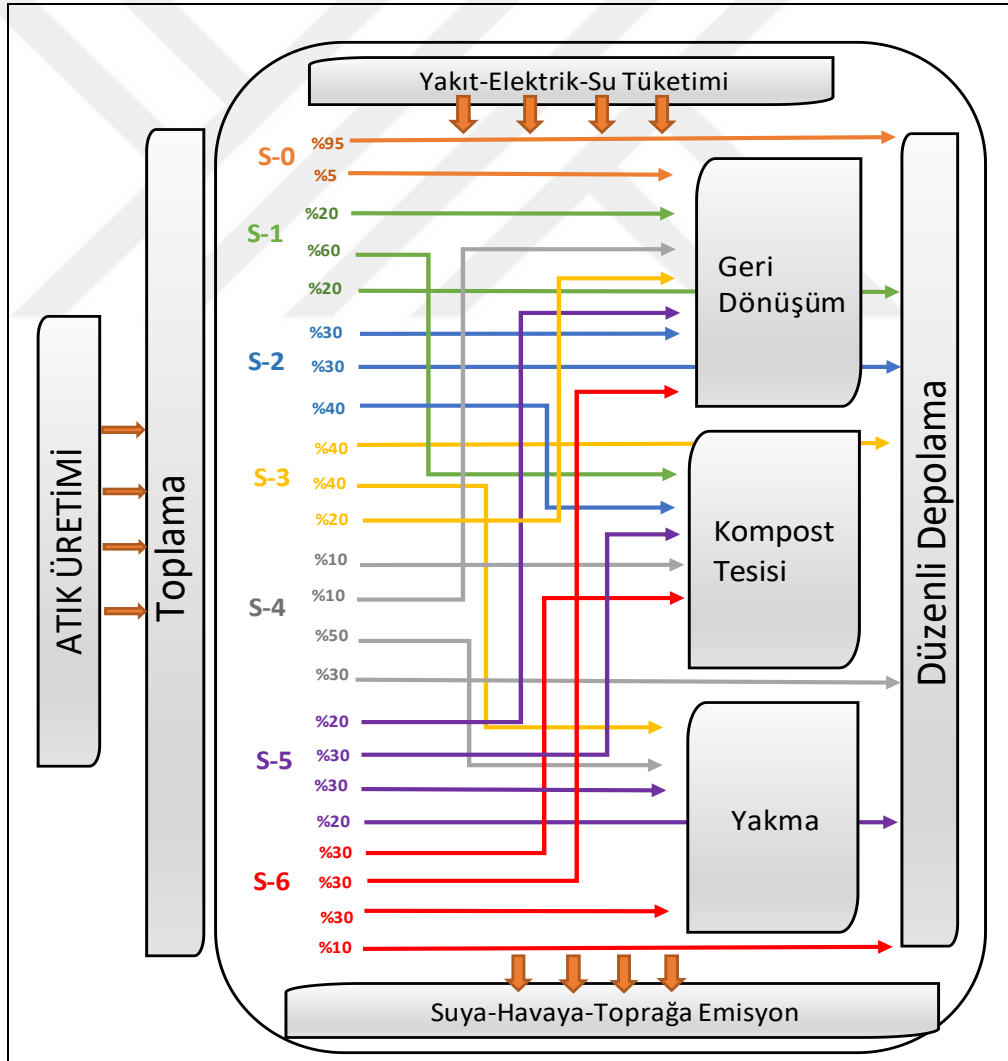
• S-6 (Entegre Atık Yönetimi): Bu son senaryoda, kaynağında ayrı toplanan katı atıkların %30'u geri dönüşüme, %30 atık yakma tesisine, organik atıkların %30'u kompost tesisine ve geriye kalan %10'luk katı atığın ise düzenli depolama sahasına gönderilmesi planlanmıştır. Senaryo 6'de belirtilen bertaraf yöntemlerine göre atıkların dağılımı Şekil 6.12'de gösterilmektedir.

Materials and/or waste types separated from waste stream	Material / Waste type	Percentage
Recycling	Karton	6,5 %
Recycling	Paper	2,5 %
Recycling	Cam	5,5 %
Recycling	Pet	1,5 %
Recycling	Poşet	10 %
Recycling	Metal	0,8 %
Recycling	Plastik	3,2 %
Compost	Organik Atık (48)+Kompozit (1)	30 %
Incineration	Çocuk Bezi	4 %
Incineration	Tekstil	3 %
Incineration	Yanabilenler	6 %
Incineration	Organik Atık (48)+Kompozit (1)	17 %
Add		
Waste streams remaining after separation		
Landfilling	Percentage	Comment
	100 %	

Şekil 6.12: S-6 Atıkların Dağılımı

- Sistemin Sınırı

Sistemin sınırı, katı atıkların kaynağında toplanması aşamasından sonra başlar ve nihai bertaraf ve depolama ile sona ermektedir. Şekil 6.14’de tüm senaryoların dahil edildiği sistem sınırları yer almaktadır. Tüm katı atık yönetim faaliyetleri tek bir alanda planlanmıştır. Bu nedenle, tüm senaryolarda kat edilen mesafe neredeyse aynı olduğu kabulünden, süreçteki yakıt tüketimi ve sistemdeki nakliye etkisi hariç tutulmuştur. Proses sırasında tüketilen su, elektrik ve yakıt girdileri ile elde edilen enerji çıktıları sistemin çıktısı olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, düzenli depolama sahalarında anaerobik parçalanma sonucu oluşan biyogazın %60 verimle yakalanacağı varsayılarak yerinde enerji dönüşüm tesis ile enerji elde edilmesi planlanmıştır.



Şekil 6.14: Sistem sınırı.

- Fonksiyonel Birim

Bu çalışmanın fonksiyonel birimi, bölgede üretilen 1 ton katı atıktır. Malzeme ve enerji girdileri sonucunda oluşan tüm emisyonlar bu fonksiyonel birime göre hesaplanmıştır.

6.2.2.2. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi

Yaşam döngüsü envanteri (YDE), sistem sınırlarındaki ölçümlere ve açıklamalara dayanmaktadır. Bu yöntem, bir ürünün veya bir faaliyetin tüm yaşam döngüsü boyunca tüm enerji ve malzeme gereksinimlerini, atmosferik emisyonlarını, su ve katı atık emisyonlarını hesaplar [Hauschild et al., 2018]. Bu aşamada YDA çalışması için gerekli süreç girdi ve çıktı verileri toplanmıştır. YDA yazılım programı proses simülasyonu kullanarak girdi ve çıktı etkilerini hesaplamaktadır. Bu çalışmada, atık yönetiminde kullanılan hammadde ve enerji girdileri ile ilgili bilgiler çoğunlukla veri tabanından sağlanmıştır. Süreci değerlendirmek için bilimsel literatür ve veri tabanı tek başına yeterli olmamaktadır. Aynı zamanda gerçek saha çalışması ele alındığından bölgeye ait atık karakterizasyon verileri ve bu verilerden yola çıkarak alternatif senaryo oranları da sisteme işlenmiştir. Bu çalışmada, %60 verimle yakalanacağı varsayılan düzenli depolama sahalarında anaerobik parçalanma sonucu oluşan biyogazın yerinde (in-sitü) enerji dönüşüm tesisi ile enerji elde edilmesi planlanmıştır. Deponi gazı olan metan ve karbondioksit emisyonlarını tahmin etmek için kullanılan en yaygın yazılım olan Deponi Gazı Emisyon Modeli (LandGEM) uygulaması, çöp sahasındaki organik maddenin bozunması sonucu zamanla oluşan gazın hacmini ve bileşimini hesaplamada kullanılmıştır [USEPA, 2005]; [Kalantarifard and Yang 2012]; [Palacio et al., 2018]. LandGEM sonuçlarına ilişkin hesaplamalar EK-B bölümünde yer almaktadır. Hesaplamalarda Tablo 6.4'da yer alan suya emisyon değerleri ve literatürden elde edilen sızıntı suyunun karakteristik parametreleri de kullanılmıştır. Ayrıca depolamadan kaynaklanan sızıntı suyunun %80'inin tutularak arıtmaya gönderildiği, %20'sinin ise toprağa sızması sonucu yeraltı su kaynaklarıyla karıştığı da dikkate alınmıştır. İstanbul katı atık düzenli depolama sahalarında açığa çıkarılan atık hücrelerinden sızan su miktarı 0,20 m³/ton olarak hesaplamada kullanılmıştır [Öztürk, 2007].

Depolama alanlarından sızan ve yeraltı suyuna karışan sızıntı suyunun kirlilik yükünü bulmak için 6.1 ve 6.2.a ve 6.2.b’de belirtilen örnek hesaplamada, KOİ ve BOİ yük değerleri gösterilmiştir.

$$0,20 * \%20 = 0,04 \text{ m}^3/\text{ton} \quad (6.1)$$

$$\text{KOİ Kons.} = 12,840 * 0,04 = *1000/1000 = 513,6 \text{ g/ton} = 0,516 \text{ kg/ton çöp} \quad (6.2.a)$$

$$\text{BOİ Kons.} = 8410 \text{ mg/L} * 0,04 = 336,4 \text{ g/ton} = 0,336 \text{ kg/ton çöp} \quad (6.2.b)$$

Bertaraf yöntemlerine göre sistem girdi ve çıktılarının yer aldığı envanter tablosu, literatürden alınan bilgiler ve LandGEM uygulaması sonucu oluşan veriler ile oluşturularak aşağıda Tablo 6.4’de sunulmaktadır. Tüm senaryolarda atık bertaraf yönetimlerine göre bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabullerde senaryoda belirtilen oranda geri kazanımın gerçekleşmesi için ayırmanın kaynakta yapıldığı varsayılmaktadır. Geri dönüşüm için malzeme geri kazanım hesabında sistem çıktıları olarak plastik, kağıt ve metalin malzeme kayıp oranları sırasıyla %28, %17 ve %5 olarak hesaplanmıştır. Cam malzeme için malzeme kaybı olmadığı varsayılmıştır. [Yay, 2015]. Kompostlama için açık kazık teknolojisi kullanıldığı ve üretime bağlı olarak Azot-N, Fosfor-P ve Potasyum-K minerallerinin 1000 kg işlenmiş gıda atığı başına 400 kg kompost çıkışı esas alınarak, N için 3 kg/t, P için 1,4 kg/t atık ve K inorganik mineraller için 3,8 kg/t geri kazıldığı kabul edilmiştir [Boldrin et al., 2009]. Yakma işlemi için, enerji geri kazanımlı bir toplu yakma tesisi kullanıldığı kabul edilmektedir. Karma evsel atıklar ve kalori değeri yüksek yanıcı atıklar (bebek bezleri, bazı kartonlar, odun atıkları, tekstil ürünleri) yakılarak enerji geri kazanımı dikkate alınmaktadır. Elde edilen enerji kazancının ton başına yaklaşık 550 kWh olduğu varsayılmaktadır.

Tüm girdi ve çıktılar SimaPro programına daha önceden tüm atık türleri ve miktarları girilmiş olan her bir bertaraf yöntemi için ayrı ayrı işlenmiştir. Daha sonra programda her bir senaryo için girdi çıktı verileri bilinen bertaraf yöntemi seçilerek tüm analizin yapılması sağlanmıştır. Program her bir senaryo için ayrı ayrı analizin yapılmasını sağlarken, karşılaştırma yapılmasını da sağlamaktadır. Yapılan analiz ve karşılaştırma sonucu; iklim değişikliği, asitlenme, kaynak tükenmesi, ekotoksiste, ve ozon tabakası incilmesi parametrelerinin her birinin kendi birimi ile oluşması sağlanır.

Tablo 6.4: Sistem envanter tablosu

Girdi						Çıktı		
1 ton için Girdi ve Çıktılar	Dizel (L)	Elektrik KWh	Su (L)	Fuel Oil (l)	Katkı Maddeleri	Çıktılar	Havaya Emisyon	Suya emisyon
Depolama	1.1 ^a	13 ^a				^b Elektrik Enerjisi Kazancı: 85 KWh	CO ₂ : 0.9254 Methane: 0.03372 NMVOC: 0.0002187 NO ₂ : 6.8 Kg SO ₂ : 0.53kg HCl: 0.03kg HF: 0.03kg Kadmiyum: 0.00071kg Nikel: 0.000095kg	KOİ:0.513kg BOİ ₅ :0.3364 Nitrojen Bileşikleri: 0.0808kg Fosfat:0.0016kg Askıda Katılar: 0.034 Krom:0.000036 Nikel:0.000092kg Bakır:0.000012kg Sülfür:0.000016kg Sülfat:0.00052kg Klorür:0.017kg Çinko:0.000084kg Demir:0.0012kg
Geri Dönüşüm	0.87 ^a	24 ^a	32 ^a					
Yakma	0.25 ^c	184 ^c	514 ^c	0,5	NaOH:5kg g CaCO ₃ :4kg gNH ₃ : 2kg	Elektrik Enerjisi Kazancı: 550 KWh	CO ₂ :0.00559kg Partiküller:0.000671kg Nitrojen Oksitleri:0.846kg Amonyak: 0.53kg	
Kompost (aerobik)	1.53 ^c	37 ^c	0.33 ^d			Potasyum Klorür: 3.8kg/ton Fosfor Fertilizer:1.4kg/ton Nitrojen Fertilizer:3 kg/ton ^e	CO ₂ (biogenic):261.31kg CO ₂ (fosil):42.33kg SO ₂ :0.0012kg H ₂ S:0.00017kg Amonyak:0.023kg CO:1.78kg	Nitrogen:0.0011kg TOC:0.046kg COD:0.14kg

^a: [(Bjelić *et al.*, 2017)] ^b: Landgem Calculations ^c: [(Istrate, *et al.*, 2021)] ^d: [(Cadena *et al.*, 2009)] ^e: [(Parkes, *et al.*, 2015)]

Özellikle çöplüklerden kaynaklanan sera gazları CO₂ ve CH₄'tür. Bununla birlikte, CO₂ genellikle bir sera gazı olarak kabul edilmez, çünkü fotosentezlenmiş organik maddenin parçalanmasından kaynaklanır. Metan da organik maddeden kaynaklanır, ancak metanın difüzyon hızı karbondioksitten çok daha hızlıdır. Çöp gazının yaydığı metan havada çok yavaş oksitlenir ve atmosferdeki metan konsantrasyonu zamanla artar. Bu durum dünyadan yayılan kızılötesi radyasyonun yansımalarını artırarak sıcaklığın artmasına neden olur. 100 yıllık bir süre boyunca CH₄'ün radyasyon yoğunluğu, CO₂'ninkinden ağırlıkça 25 kat daha fazladır. Depolama alanlarından kaynaklanan tüm metan konsantrasyonları, toplam antropojenik sera gazı emisyonlarının %5'ini oluşturur [Bogner et al. 2008]; [Christensen, 2011].

6.2.2.3. Yorumlama

Bu aşamada, çeşitli çevresel etkiler kullanılarak yaşam döngüsü envanterine dayalı olarak değerlendirme yapılmıştır. YDED, çevresel etki kategorilerinin, tanımlama modellerinin ve kategori göstergelerinin seçilmesi, envanter sonuçlarının düzenlenmesi (sınıflandırma), kategori gösterge sonuçlarının hesaplanması (tanım), normalleştirme, gruplandırma ve ağırlıklandırma adımlarından oluşmaktadır. Bileşenlerindeki belirsizlikler ve modeller arasındaki farklılıklar nedeniyle YDA yönteminin en zayıf ancak en önemli bölümlerinden biri olmaktadır. Khandelwal ve ark. (2018) entegre atık yönetiminin yaşam döngüsüne ilişkin 153 çalışmayı inceledikleri çalışmalarında SimaPro programı ile en fazla uygulamanın CML, ReCiPe ve Impact 2002 yöntemleri kullanılarak yapıldığı belirtilmişlerdir. Literatür araştırmalarımıza göre SimaPro-EF (Çevresel Ayak İzi) yöntemi kullanılarak yürütülen Entegre atık yönetimi YDA çalışmasına rastlanmamıştır. Bu çalışmada işlenen tüm veriler, SimaPro 9.0.0.49 PhD versiyonunda yer alan Ecoinvent kütüphaneleri kullanılarak farklı etki kategorilerinde yazılımlar tarafından değerlendirilmiştir. Değerlendirmede kullanılan yöntemler ReCiPe 2016 Endpoint H (ReCiPe 2016 v1.1 endpoint method, Hierarchist versiyon) ve çalışmada belirlenen senaryoların yaşam döngüsü değerlendirmesini oluşturmak için EF (Çevresel Ayak İzi) yöntemleridir. Bu yöntemlerle, sisteme girilen herhangi bir sayıda senaryonun çevresel etkilerini ikili veya toplu olarak karşılaştırmak mümkündür.

YDA'nın yorumlanması aşamasında, envanterden elde edilen bulgular ve etki analizi aşaması, çalışma kapsamında belirlenen hedef ve limitler dikkate alınarak yorumlanmaktadır. Yorum, çalışmanın vazgeçilmez ve önemli bir parçası olan duyarlılık analizini de içermektedir. Duyarlılık analizi, seçilen göstergelerin, işlevsel birimlerin ve senaryo sonucunun güvenilirliğini ve kesinliğini anlamayı sağlar. Bu aşamada Recipe Endpoint H Metodu kullanılmıştır. Türkiye ve Avrupa'da (İsviçre hariç) elektrik tüketiminin etkisi, hangisinin daha düşük çevresel etkiye sahip olduğunu görebilmek adına enerji kazanımları değer olarak en küçük ve en büyük olan olması nedeni ile S-2 ve S-4 dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Tablo 6.5'te, her bir senaryoda enerji tüketimini karşılaştırmak için dizel, elektrik ve su kullanımı hesaplama sonuçları yer almaktadır. YDA hesaplamalarında ihtiyaç duyulan elektrik, SimaPro 9.0'da elektrik ülke karması bulunan Türkiye'nin ulusal elektrik kayıtlarındaki orta gerilim kullanımından türetilmiştir. Türkiye'deki elektrik üretim kaynakları oransal olarak kömür/linyit (taşkömürü + ithal kömür + linyit + asfaltit) %28,45; doğal gaz 37,81 akaryakıt %1,22; Hidro %25,76 ve yenilenebilir enerji ve atık %5,31 (rüzgâr, katı biyokütle, jeotermal dâhil) şeklindedir. Avrupa elektrik kayıtlarının orta gerilim kayıtlarına ihtiyaç duyduğu durumlarda (İsviçre hariç Avrupa), ülke karması kapsamında bir piyasa grubu kullanılmıştır. Aynı programa dayalı olarak, Avrupa'daki veri elektrik karışımı şu şekildedir: AB'de üretilen elektriğin %56'sı düşük karbon kaynaklarından, diğer kaynaklar ise; %27 nükleer, %42 fosil yakıtlar ve %28 yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmiştir. Avrupa elektrik üretimi karışımı, daha fazla yenilenebilir enerji kaynağı kullanmak için düşük karbon emisyonu vergisi almaktadır. YDA sonuçları Tablo 6.6'de yer alan parametreler ölçeğinde değerlendirilmiştir.

Tablo 6.5: Her bir senaryo için hesaplan tüketimi miktarları.

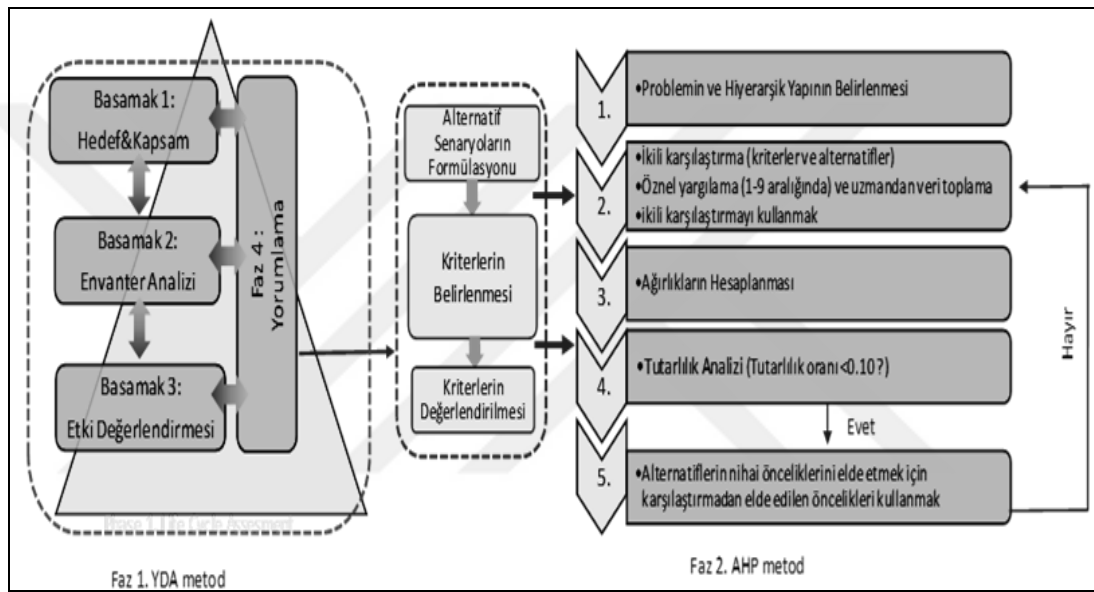
Girdiler	Unit	Senaryolar						
		S-0	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
<i>Dizel</i>	L	1.09	8.23	1.09	0.71	0.67	0.86	0.84
<i>Elektrik</i>	kWh	13.55	20.00	23.50	83.60	98.30	73.7	74.8
<i>Su</i>	L	1.60	6.47	9.70	205.60	260.23	160.70	163.90
<i>Elektrik Gerikazanım</i>	kWh	80.75	51.00	34.00	254.00	300.50	182	173.5

Tablo 6.6: Etki Kategorileri.

Etki Kategorisi	Etki Ölçeği	YDD veri sınıflandırma	Olası Karakterizasyon Faktörü
Küresel Isınma	Küresel	CO ₂ , NO ₂ , CH ₄ , CFCs, CH ₃ Br	Kutuplarda erime, toprakta nem kaybı, uzun mevsimler, orman kaybı/ değişimleri ve rüzgâr ve okyanus hareketlerinde değişimler
Stratosferik ozon tüketimi	Küresel	CFCs, HCFCs (hidrokarbonlar) Halonlar, Metilbromid (CH ₃ Br)	Ultraviyole radyasyonda artış Doğal kaynaklarda tüketme – Gelecek nesiller için doğal kaynaklarda azalma
Fotokimyasal ozon oluşumu (HH)	Küresel		
Asidifikasyon (karasal ve sucul)	Bölgesel Yerel	SO _x , NO _x , HCL, HF, NH ₄	Korozyon oluşumu, sucul ortamlarda asidifikasyon, bitki örtüsü etkileri ve toprak etkileri
Ötröfikasyon (karasal ve sucul)	Yerel	PO ₄ , NO,NO ₄ , Nitratlar, NH ₄	Besiyeri maddelerin (özellikle azot ve fosfor) göller, haliçler ve yavaş hareket eden nehirler gibi sucul ortamlara ulaşarak, aşırı bitki büyümesine ve oksijen tüketimine yol açması
Solunum İnorganikleri	Yerel	Non-MHC (metan olmayan hidrokarbonlar)	Fotokimyasal oksidan oluşturma potansiyeli
İnsan sağlığı (Kanser olmayan insan sağlığına etkisi)	Küresel Bölgesel Yerel	Havaya, suya, toprağa yapılan toplam salınımlar	LC ₅₀
Kaynak Tüketimi, Enerji Taşıyıcıları	Küresel, Bölgesel, Yerel	Kullanılan mineral miktarı Kullanılan fosil yakıt miktarı	Kaynak tüketim potansiyeli

6.3. AHP Uygulama Basamakları

YDA Etki Analiz Sonuçlarının elde edilmesi sonrasında, uygulamanın ikinci aşaması olan Analitik Hiyerarşi Prosesi programı kullanılmıştır. Bu bölümde katı atık yönetimi seçimine karar verebilmek adına, belirlemiş olduğumuz kriterlerin ve senaryoların, karar verici konumunda olan uzmanlar tarafından değerlendirilerek öncelikli senaryonun excel üzerinde yapılan uygulama ile belirlenmesi konusu, hesap detayları ile anlatılmıştır. Şekil 6.14’ de çalışmanın basamakları şematize edilmiştir.



Şekil 6.14: YDA ve AHP metodlarının kombinasyonu.

6.3.1. Problemin Tanımlanması ve Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Ümraniye ilçe belediyesi sınırları içinde oluşan kentsel atıkların aşağıda şekil 6.9’da belirtilen ve 6.3.2’de detaylarının verildiği kriterlerin konunun uzmanları tarafından değerlendirilerek, en ideal atık yönetim senaryosunun seçilmesi bu çalışmada karar verilmesi gereken problem olarak belirlenmiştir. Senaryoların belirlenmesi aşaması Bölüm 6.2’de YDA aşamasında detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Kriterlerin belirlemesi ise, yaptığımız çalışmanın sürdürülebilir kentsel katı atık yönetiminin seçimi olmasından ötürü, sürdürülebilir kalkınmanın üç önemli sacayağı olan çevre, ekonomi ve sosyal etki kriterlerine öncelikli dayandırılmıştır. Teknolojik etkinin önemi ise, proses seçiminde özellikle teknolojik gelişmeler önemli rol

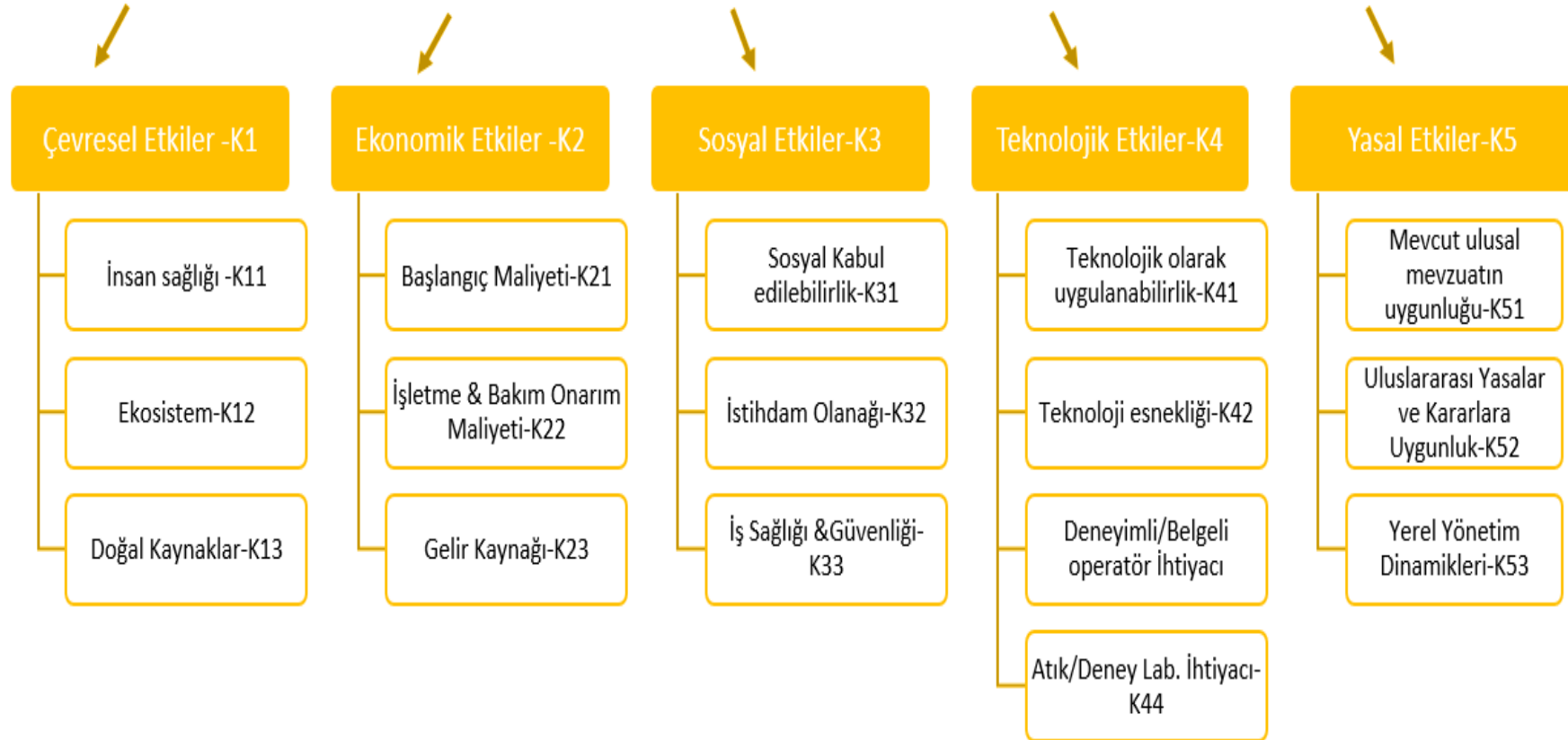
oynamaktadır. Örneğin yakma sonucu enerji eldesi veya depo gazından enerji eldesi konusunda kullanılan teknolojiler atıkların yönetiminde önemli bir kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında yasal etkinin değerlendirilmesi ise yine belirleyici bir rol oynamaktadır. Ülkemizde ve Dünyada her ne kadar yasal mevzuat süreci belirlese dahi, bazı durumlarda sahada gerçek uygulamayı yapan uzmanlar tarafından bazı durumların kolaylaştırıcı olmadığı görülebilmektedir. Bu durumda bazı durumlarda yasaların revize edilmesi gerekli olabilmektedir. Bu çalışmada uzman görüşleri talep edilirken bu yöndeki görüşleri de sözlü olarak talep edilmiştir.

6.3.2. Uzman Seçimi

Uzman seçimi ise, bu çalışmanın sonucunda belirleyici rol oynayan önemli bölümlerden biridir. Özellikle kentsel katı atıkların yönetiminde veya değerlendirilmesi konusunda aktif olarak sahada (geri dönüşüm faaliyeti yapan özel bir işletmede ya da kamusal olarak belediyede bu süreci yöneten tarafta olunması) ya da akademik olarak katı atıkların yönetilmesi konusunda çalışmalar yapmış kişilerin olmasına özen gösterilmiştir. Bu noktada yaklaşık 20 kişiye değerlendirme yapılması talebinde bulunulmuştur. Toplamda 11 uzmanımızdan dönüş alınmıştır. AHP çalışmalarında karar verici olarak uzman seçimine en az ya da en çok şeklinde sayı kısıtlaması getirilmemiştir. Hesaplamalar baskın seçim üzerinden yapıldığından ve uzmanların farklı görüşlere sahip olabileceği dikkate alındığından sayı belirlenirken bu durum dikkate alınmıştır.

Çalışma Şekil 6.15’de belirtilen ve aşağıda detayları yer alan beş ana kriter üzerinden yapılmıştır. Karar vericilerin seçimlerini daha sağlıklı yapabilmeleri adına ana kriterlerin altında alt kriterler belirlenmiş ve bunların açıklamaları da uzmanlara sunulmuştur. Ancak bazı AHP hesaplamalarında kullanılmayabildiği gibi ve hesaplamaları daha kompleks olmayan düzlemde çözebilmek adına alt kriterler Excel hesaplamalarında dikkate alınmamıştır.

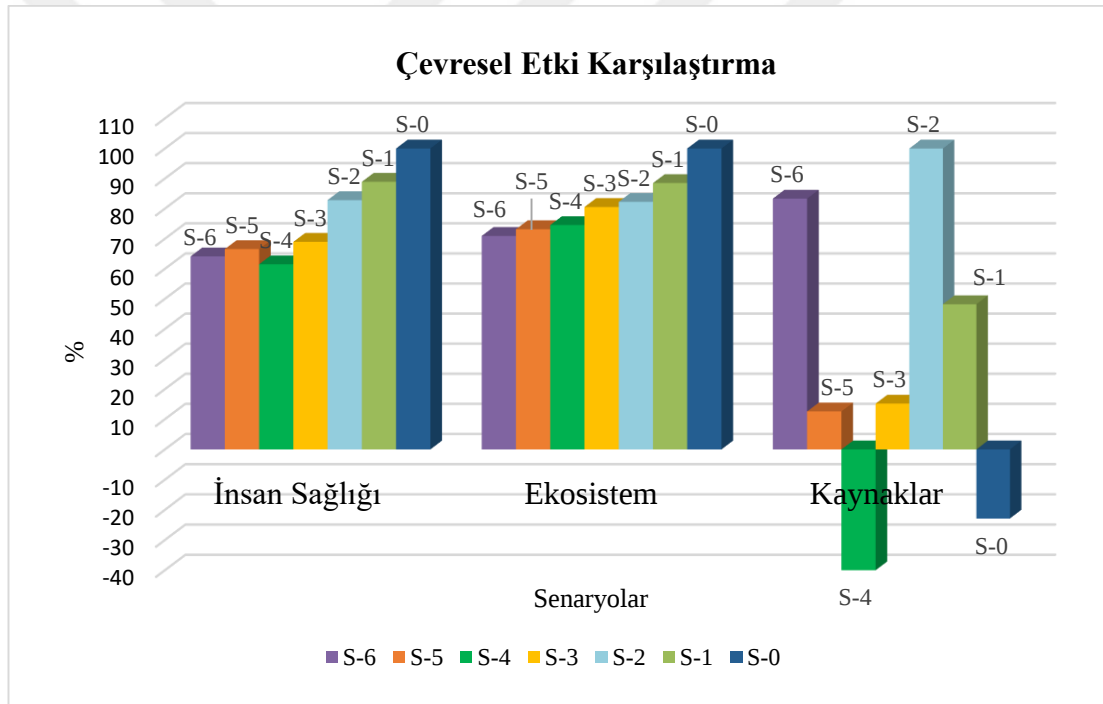
Sürdürülebilir Katı Atık Yönetim Sistem Seçim Kriterleri



Şekil 6.15: Sürdürülebilir Katı Atık Yönetimi Sistem Seçim Kriterleri.

i) Çevresel Etkiler (K1): Çevresel etkiler bölüm 6.2’ de ve Sonuçlar bölümünde detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Çevresel etkiler değerlendirilirken aşağıda özetle belirtilen alt kriterlere ilave olarak Şekil 6.16’da gösterilen Yaşam Döngüsü Değerlendirme analizi neticesinde ortaya çıkmış sonuçlar grafiğinin de dikkate alınması önemli olmaktadır.

- İnsan sağlığı-K11: Direkt ve indirekt insan sağlığı üzerinde etkiler. Özellikle kanser yapıcı etki, sonulum üzerindeki etkiler.
- Ekosistem-K12: Hava kirliliği, toprak kirliliği ve su kirliliği üzerindeki etkisi
- Doğal Kaynaklar-K13: Malzemelerin ve enerjinin geri kazanımı ile doğal kaynakların tüketiminde sağlanan tasarruf ve alandan tasarruf.



Şekil 6.16: Çevresel Etki Karşılaştırması.

ii) Ekonomik Etki (K2): Ekonomik kaynaklar tüm toplumlarda sınırlıdır, bu durum yatırımların önceliklendirilmesinde, karar verme aşamasının her zaman önemli bir parçası olmuştur. Sürdürülebilirlik açısından da bakıldığında maliyetlerin atık yönetimde önemli bir parametre olduğu gerçeği göz önünde bulundurulmalıdır. Atık yönetimde ekonomik etkiyi bütün önemli kalemlere bir ekonomik değer yüklenerek ve aynı zamanda sistemde oluşan tüm emisyon kaynakları için fiyat tahminleri yapılarak analiz etmek mümkün. Ekonomik etki

atık yönetim sisteminde özellikle ulusal sınırlar dahilinde ele alınır, çünkü yerel idareler dış maliyetlerle çok ilgilenmez. Gelecekte oluşacak maliyetlerin bugün yapılan yatırım üzerinden düşündüğümüzde daha da azalacağı düşünülmektedir. Ekonomik parametreler ve değerlendirmeler, toplama sisteminin belirlenmesinden, nihai bertaraf yönteminin belirlenmesi aşamasına kadar olan tüm süreçlerde önemli ve belirleyici bir faktördür. Atık bertaraf maliyetleri ortalama bir ülkede toplam yurt içi gelirinin %0,1 ila %0,4 'üne tekabül etmektedir [Pearce and Turner,1994]. Atık yönetiminde maliyet hesaplamalarında doğrudan oluşan maliyetler hesaba katılır, ancak sistemi bütünü ile değerlendirmek sistemdeki faaliyetleri diğer toplumsal faaliyetlere ile mukayese edilmek adına sistemle direk ilgili ekonomik ve ekonomi dışı tüm maliyetler de göz önünde bulundurulmalıdır. Doğrudan hesap edilebilen finansal maliyetler atık yönetimi ile ilgili tüm maddi konuları dahil etmektedir. Bu hususlar başlangıç maliyet dediğimiz yatırım maliyeti, işletme ve bakım onarım maliyeti ve ek olarak atık yönetiminden elde edilen gelirler de tüm ekonominin bir parçası olmaktadır. Atık yönetiminde sistemden kaynaklanan çevresel yüklerin maddi olarak karşılığı çevresel maliyet olarak tanımlanıp, topluma direkt olmamakla birlikte dolaylı maliyetler yani dışsal maliyetler oluşturabilmektedir. Örneğin bertaraf işlemi sonucu oluşan emisyonlardan kaynaklı toplumda oluşabilecek solunum yolu rahatsızlıklarına sebebiyetin doğurduğu maddi kayıpların karşılığını belirleyerek tüm ekonomik hesaplamalar dahil edilebilir.

Çalışmamızda Yaşam Döngüsü Analizi bize bu konuda bazı ipuçları verse dahi, AHP'nin ekonomik ölçütlerini değerlendirirken bu denli detaylı bir maliyet analizi ortaya koyulmamaktadır.

- Başlangıç (Yatırım- Sabit Maliyetler) Maliyeti -K21; Yatırım maliyeti; sistemin kurulabilmesi için ödenen yatırım planlaması aşamasında belirlenmiş sabit maliyetlerdir. Bu maliyetler çoğunlukla bertaraf tesisinin arazi maliyeti, inşaat ve yapım aşamasında oluşan maliyetler ve kullanım aşamasında kullanılacak ekipmanların maliyetleri olarak geçmektedir. Bu aşamada başlangıç maliyetleri bir çok tekniğin, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde benzer şekilde olmasından dolayı, bu kalemler hesaplanırken uluslararası ölçek dikkate alınabilir. Sadece bazı durumlarda basit ekipmanlarda yerel ürünler kullanıldığında bu kalem o günün

şartlardaki maliyet dikkate alınarak eklenebilir. Çalışmamızda uygulamada kullanılması planlanan bertaraf seçeneklerinin her birinde oluşan başlangıç yatırım maliyetleri literatür araştırmaları ve yerel ölçekteki şartlar da dikkate alınarak belirlenmiştir.

- İşletme ve Bakım Onarım Maliyeti (Değişken Maliyetler) - K22; İşletmeler maliyetleri açısından değerlendirildiğinde; değişken maliyetler sistemin kurulumundan ömür doluncaya kadar olan süreçte nakit akışına yansıyan maliyetler olarak geçmektedir. Bu kalemler sistemin işletilmesi ve bakımı için gerekli olan giderlerdir. Daha da detaylandırarak olursak; işletme aşamasında kullanılan elektrik, su, sistemde kullanılan yakıt, araçlarda kullanılan yakıt, personel giderleri, araç bakım masrafları, ekipmanların bakım onarım masrafları gibi gider kalemlerini kapsar. Bu giderlerin hesaplanması genellikle yıllık bazda olur. Ancak ülkenin ekonomik şartlarına göre yıldan yıla değişkenlik gösterebilir.

- Gelir-K23: Gider kalemlerinin yanı sıra atık yönetiminde atık ürünlerinin malzeme (kağıt, cam, plastik, kompost) ya da enerji olarak geri dönüşü sonucunda satılması ile elde edilebilmektedir. Örneğin kompostun piyasa fiyatı ürünün kalitesine bağlı olarak değişebilmektedir. Üretilen elektrik ise şebekeye verildiğinde piyasa fiyatı belirlenebilmekte, oluşan ısı enerji ise yerinde kullanılabilir.

Bertaraf metodunda önerilen yöntemlerin uygulanması sonucu ortaya çıkabilecek gelir getirici unsurlar dikkate alınmaktadır. Örneğin yakma tesisi kurulması durumunda başlangıç-işletme vs. gibi giderlerin dışında enerji eldesi olarak katkısı, bunun maliyete dönüştürüldüğünde oluşabilecek kazanç hesabı yine literatür bilgilerinden derlenerek değerlendirmeye sunulmuştur.

Geri dönüşüm tesisi değerlendirildiğinde, satış ve dönüşüm sonucu elde edilen hammadde kaynağı dikkate alınabilmelidir. Düzenli depolama sahası değerlendirildiğinde ise oluşan biyogazın enerjiye dönüşümü ve tesis işletilmesinde maliyeti düşürmesi yönündeki katkısı değerlendirilmelidir.

Ekonomik etkiler göz önüne alınarak senaryoların değerlendirmesinin, aşağıda Tablo 6.7’de yer alan bertaraf yöntemlerinin ortalama ton başına gelir ve gider değerleri dikkate alınarak yapılması istenmektedir.

Tablo 6.7: Bertaraf yöntemlerinin maliyetlerine ilişkin veriler.

Başlangıç(Yatırım-Sabit Maliyetler) Maliyeti-K21;	Geri Kazanım	35 \$/ton
	Kompost	40 \$/ton
	Enerji Geri Kazanımlı Yakma	180 \$/ton
	Enerji Geri Kazanımlı Düzenli Depolama	25 \$/ton
İşletme ve Bakım Onarım Maliyeti (Değişken Maliyetler)-K22;	Geri Kazanım	20 \$/ton
	Kompost	50 \$/ton
	Enerji Geri Kazanımlı Yakma	150 \$/ton
	Enerji Geri Kazanımlı düzenli Depolama	15 \$/ton
Gelir Kaynakları-K23:	Geri Kazanılabılır Nitelikteki atığın satışı	Kağıt-Karton: 65 \$/ton Plastik: 150 \$/ton Metal: 65 \$/ton Cam: 13 \$/ton Geri kazanılabilir ürünlerin satışına yönelik olarak ortalama 60 \$ /ton dikkate alınmıştır.
	Yakma	550kWh /ton elektrik enerjisi üretiliyor Üretilen birim elektrik satışı: 0,12 \$/ kWh
	Düzenli Depolama	Biyolojik olarak bozunabilir atık başına 85kWh/ton biyogaz oluşuyor. Üretilen birim elektrik satışı: 0,12 \$/ kWh

Aşağıda verilen tabloda yapılan hesaplamalar yukarıda tabloda literatür araştırması sonucu elde edilmiş ortalama değerlerdir. Gerçek maliyet değerleri ülkelere, bölgelere ve hatta illere göre değişiklik gösterebilmektedir. Ancak aralarındaki birim bedel farklılıklarının anlaşılması için yardımcı olabilecek niteliktedir. Taşıma maliyeti ele alınmadan sadece yatırım, işletme ve bertaraf sonucu elde edilen kazanım maliyetleri dikkate alınmıştır. Özellikle yakma bertaraf yöntemini değerlendirirken ortalama 4-5 yıl içerisinde kendini amorti edebildiği araştırmalar sonucu bilinmektedir. Tablo 6.8’de yukarıda yer alan maliyet tablosu ve senaryo oranları dikkate alınarak hesaplanmış her bir senaryonun maliyetine ilişkin senaryo bazında ortalama maliyet tablosu yer almaktadır.

Tablo 6.8: Senaryo bazında ortalama bertaraf yöntemi maliyetleri.

Senaryo	Düzenli Depolama (\$ (Enerji Geri Kazanımı)	Geri Dönüşüm (\$)	Yakma (\$)	Kompost (Aerobik parçalanma) (\$)	Toplam Maliyet (\$)
S-0	28,31	-0,25	0	0	28,06
S-1	17,88	-1	0	15,4	32,28
S-2	11,92	-1,5	0	23,1	33,52
S-3	11,92	-1,5	105,6	0	116,02
S-4	8,94	-1	132	7,7	147,64
S-5	5,96	-1	79,2	23,1	107,26
S-6	2,98	-1,5	79,2	23,1	103,78

iii) Sosyal Etki (K3)

- Sosyal Kabuledilebilirlik-K31; atıkların uygun şekilde bertarafının değerlendirmesi açısından bölge halkının bu konuda farkındalığının olup olmaması, eğitim düzeyi, ilçe belediyesi tarafından düzenlenen eğitim faaliyetlerinin sıklığı ve etkisi, okullarda çocuklara verilen eğitimlerin sayısı.-Halkın kaynağında ayrıştırma konusundaki eğilimi, mevcut atıklar arasından kaynağında ayrıştırılan atıkların oranı dikkate alınabilir. Örneğin ilçe sınırlarında yapılabilecek bir yakma tesisine halkın olumlu olumsuz değerlendirmelerinin ne yönde olabileceği değerlendirilebilir.

- İstihdam Olanağı-K32; Önerilen senaryoların bölgede sağladığı yeni iş imkanları sunması ve istihdamı artırması açısından önem derecesi değerlendirilmiştir.

- İş güvenliği&sağlığı-K33: Önerilen alternatif senaryoların uygulama aşamasında iş sağlığı ve güvenliği açısından ne gibi riskler teşkil ettiğinin irdelenmesi istenmektedir.

Sosyal etkiler değerlendirilirken bu konu hem sahadan alınan bilgiler hem uzman görüşü hem de literatür bilgisi ile desteklenebilir. Bu noktada atık yönetimi için sunulan alternatif senaryoların her biri nüfusun tamamı için ne ölçüde erişilebilir ve uygulanabilir sorusunu sorarak bu konunun irdelenmesi istenir.

iv) Teknolojik Etki (K4):

- Teknolojik olarak uygulanabilirlik-K41; Teknolojik uygulanabilirlik aynı zamanda teknolojik güvenilirliği de temsil eder, bu durumda şu koşul dikkate alınır, bertaraf teknolojisi daha önce uygulanmış ve randıman alınmış mı sorusu değerlendirilmektedir.
- Teknoloji esnekliği-K42; Uygulamada ele alınan teknoloji alan ya da kapasiteye göre modifiye, remodifiye edilebilir mi ve uzun yıllar kullanılabilir mi soruları değerlendirilmektedir.
- Deneyimli/Belgeli operatör İhtiyacı K43; uygulamada ele alınan yönetimin işletilmesi sırasında deneyimli ya da operasyona ilişkin belgeye sahip personel ihtiyacı işletme maliyeti olarak değerlendirilirken aynı zamanda işletmenin randımanlı ve uzun ömürlü çalışması için gerekli midir sorusu değerlendirilmektedir.
- Atık/Deney Lab. İhtiyacı-K44; İşletme maliyeti olarak da değerlendirilebilen K44 kriteri ikili karşılaştırma yapılırken değerlendirilmesi katkı sağlayacak bir kriterdir. Numune ölçümleri/analizleri için teknik ekipmanla donatılmış alan bu konuda uzman akredite personel ihtiyacının olup olmaması değerlendirilmektedir.

v) Yasal Etki (K5):

- Mevcut ulusal mevzuatın uygunluğu-K51: Önerilen senaryoların ulusal mevzuat tarafından desteklenebilir olması. Örneğin atıklar kaynağında ayrıştırmada öncelikle atık yönetim yönetmeliğine uygun şekilde geri kazanıma kazandırılması önceliği değerlendirmede etken olmaktadır.
- Uluslararası Yasalar ve Kararlara Uygunluk-K52: Atık yönetiminin yerel bir mevzu olmasının yanında atıkların taşınımı, ticareti gibi konular ve AB uyumu gibi konularda bertaraf metodu belirlemede uluslararası yasaların ve kararlara uygun olması, örneğin Dünyada sürdürülebilir şehirlerde öncelikli tercih edilen bertaraf yöntemleri dikkate alınarak değerlendirme yapılabilir.
- Yerel Yönetim Dinamikleri-K53: En uygun atık yönetim seçimi ilçe özeli için planlandığı için bu noktada karar verme sürecinde yerel yönetim idaresi ve mevzuat bertaraf yöntemlerine uygun yatırım ve işlemlerinin ne ölçüde desteklediği

değerlendirilmektedir. Bu konuda görüşü alınan uzmanlar özellikle yerel yönetim yöneticileri olabilmektedir.

6.3.3. Matris Basamakları ve Analiz Süreci

Bu bölümde aşağıda yazılan işlemler birinci basamakta öncelikli kriterlerin belirlenmesi için, ikinci basamakta ise her bir kriter ele alınarak öncelikli senaryonun seçiminde sırası ile takip edilmiştir.

i) Karşılaştırma Matrislerinin oluşturulması

- İlgili uzmanlardan kriterler ve alternatiflere uygun verileri toplamak. (Uzmanlar öncelikli kriter ve alternatifi belirleyerek önem derecesine karar verir, değerler Tablo 6.9’ da yer alan uzman değerlendirmeleri tablosuna işlenir.)

Tablo 6.9: Uzman değerlendirmeleri.

Kriterler	Uzman Görüşü	
	Öncelikli Kriter	Önem Değeri
Çevresel Etki (K1) - Ekonomik Etki (K2)		
Çevresel Etki (K1) - Sosyal Etki (K3)		
Çevresel Etki (K1) - Teknolojik Etki (K4)		
Çevresel Etki (K1) - Yasal Etki (K5)		

- Her bir matris için simetrik matris değerinin elde edilme işlemi. (köşe matris altında/üstünde kalan değer hesaplanması (1/veri) şeklinde hesaplanması) Hesaplar Tablo 6.10 gösterildiği şekili ile yapılmaktadır.
- Tüm alternatiflerin her bir kriter bazında normalizasyon değerinin bulunması

Tablo 6.10: Matris Tablosu.

Kriterlerin Karşılaştırılması	Çevresel Etki (K1)	Ekonomik Etki (K2)	Sosyal Etki (K3)	Teknolojik Etki (K4)	Yasal Etki (K5)
Çevresel Etki (K1)	1	1/3		4	
Ekonomik Etki (K2)	3	1			
Sosyal Etki (K3)			1	1/3	
Teknolojik Etki (K4)	1/4		3	1	
Yasal Etki (K5)					1
Toplam					

ii) Elde edilen Matrislerin ‘öncelikler vektörüne’ dönüştürülmesi için her bir kriterin sütünün ortalaması alınır ve aşağıda yer alan işlemler uygulanır;

- Normalizasyon matrisinin her satırının geometrik ortalamasının alınması (görelî ağırlık matrisi),
- Görelî ağırlık matrisi ile temel matrisi çarparak tutarlılık sütununun oluşturulması,
- Görelî ağırlık sütununu tutarlılık matrisi ile bölerek ham oran sütunun hesaplanması.

iii) Uyum Oranı (Consistency Rate - CR) hesabının yapılması (Uyum Oranı hesabı ile AHP de karşılaştırmalar arasındaki tutarlılık test edilmektedir. Oranının 0,1 den küçük olması istenir. 0,1 den büyük bir değer çıktığı takdirde yargıların yeniden değerlendirilmesi gerekecektir.)

- Ham oran sütununun aritmetik ortalaması alınarak λ_{max} değeri bulunur.
- CI (tutarlılık göstergesi) değeri $(\lambda_{max}-1)/(n-1)$ formülü ile hesaplanır.
- RI (Rassal İndeksi) belirlenir. (Tablo 5.2 Rassal Değer Tablosu
- CR (Tutarlılık Oranı) CI/RI formülü ile hesaplanır.

- iv) Tüm alternatiflerin hesaplamaları tamamlandıktan sonra kriterler ve alternatifler ortak tablosuna vektör değeri yerleştirilerek nihai tablo oluşturulur. Bu tablo karşılaştırma matrisleri tablosudur. Karşılaştırma matrislerinin oluşması için öncelikle uzman değerlendirmelerinin ortalamasının bulunduğu kriterler seçim tablosunun oluşturulması gerekmektedir.

Daha sonra Normalizasyon dediğimiz her bir hücrenin içinde bulunduğu sütunun toplamına bölünmesi işlemi yapılır. Normalizasyon tablosundaki her bir satırın ortalaması alınarak öncelik vektörü sütunu oluşturulur. Öncelik vektöründeki sayısal değerler ağırlıklar anlamına gelmektedir. Ağırlık sütunun toplamının her zaman 1 olması gerekmektedir. Bu değeri her zaman kontrol ederek işlemlere devam edilmesi gerekmektedir.

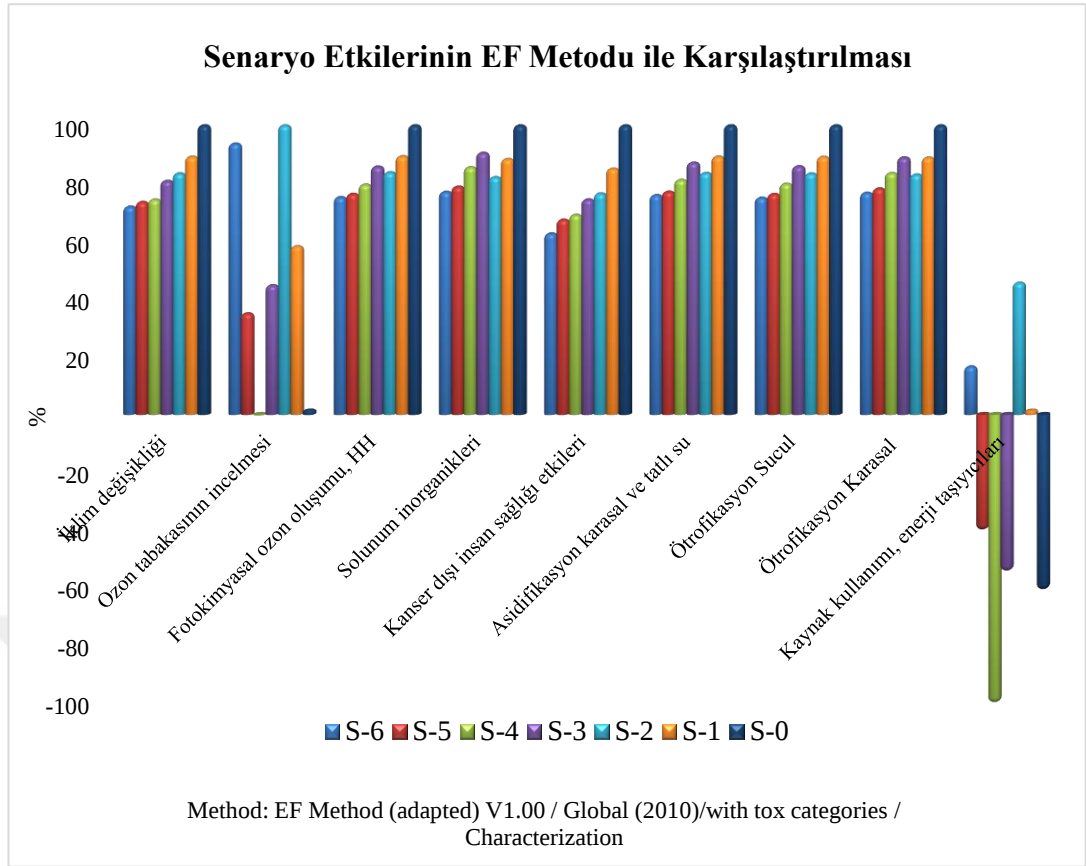
Ağırlık testlerinden sonra yanıtların tutarlı olup olmadığını belirlemek için tutarlılık testleri yapıyoruz. Cr tutarlılık değeri için ise CI değerine ihtiyacımız var. CI değeri için ise Lamda değeri gerekli. Lamda (λ_{max}) değeri ise Normalizasyon tablosunun sonunda yer alan Ei sütunun ortalaması alınarak elde edilmektedir. Ham oran sütununun aritmetik ortalaması alınarak λ_{max} değeri bulunur. $(\lambda_{max} - n) / (n-1)$ formülü ile tutarlılık göstergesi (CI) hesaplanır, Matris boyutlarına göre sabitlenmiş, Rassal Tutarlılık (RI) indeksi belirlenir, CI/RI formülü uygulanarak, Tutarlılık Oranı (CR) hesaplanır.

7. SONUÇLAR

Yapılan çalışma birbirini takip eden iki aşamadan oluştuğundan dolayı, iki ayrı bölümde irdelenmiştir. Öncelikle belirlenen senaryoların karşılaştırmalı YDA analizi sonuçları değerlendirilmiştir. Ardından yaşam döngüsü sonuçları yani çevresel etkinliği ölçülmüş senaryoların belirlenmiş diğer dört kriter olan sosyal, ekonomik, teknolojik ve yasal kriterlere göre konunun uzmanlarına ikili karşılaştırma yaptırılarak, sonuçlar analitik hiyerarşi prosesine göre hesaplanarak değerlendirilmiştir.

7.1. YDA'ye Göre Etki Analizi

Çalışmanın bu bölümünde Ümraniye ilçesine ait farklı katı atık bertaraf senaryolarının (S1-S6), SimaPro 9.0 yazılımından Ecoinvent veri tabanında bulunan farklı hesaplama yöntemleri (EF ve ReCiPe) kullanılarak belirlenen ve hesaplanan YDA sonuçları değerlendirilmiştir. Senaryo 1 ve 6 için, elde edilen ve oluşturulan (Ümraniye Belediyesinden teminde edilen ve literatürden derlenerek mevcut bölgenin atık verilerine göre işlenen) tüm veriler SimaPro programına işlenerek EF yöntemi ile farklı etki kategorileri (Küresel Isınma, Ozon tabakasının incilmesi (ODP), İnsan toksisitesi, Deniz sucul ekotoksitesitesi, Fotokimyasal oksidasyon, Asitleşme, Ötrofikasyon) seçilmiştir. Elde edilen her bir kategorinin etkilerinin sonuçların birbirlerine göre yüzdelik farklılık haline dönüştürülmüş ve Şekil 7.1'te yer verilmiştir.



Şekil 7.1: EF metoduna göre analiz sonuçları.

- İklim Değişikliği: KAY için küresel ısınma etki kategorisinin en önemli kaynağı, depolama alanından biyogaz üretimi ve dolayısıyla biyogazın doğrudan atmosfere salınmasıdır. Bu nedenle, düzenli depolamadaki katı atık miktarı ne kadar düşük olursa, kategorinin etki değeri de o kadar düşük olur. Düzenli depolamanın %10 kadar düşük olduğu S-6 senaryosunda, en düşük küresel ısınma etkisi üretilir. En yüksek emisyon oranı $1,85E+08$ kg CO₂ eq değeri, atık depolama oranının en yüksek olduğu S-0 için hesaplanmıştır. Gerçekten de, depolama sahalarında yakma sahalarına [Rana vd., 2019] ve ayrıca aerobik kompostlaştırmaya [Banar vd., 2009]; [Hong et al., 2010]; [Lee et al., 2007] kıyasla daha yüksek miktarda metan gazı üretilmektedir. Düzenli depolama alanlarındaki metan emisyonunun kontrol edilmesi sonucunda, sera gazı emisyon potansiyelinin kapsamını önemli ölçüde etkileyebilir (Bueno et al. 2015).

- Ozon Tüketim Potansiyeli (ODP): Düzenli depolama alanlarından çıkan metan emisyonları, fotokimyasal oksidasyon üzerinde oldukça olumsuz etkilere neden olur. Bu etki esas olarak katı atık arıtma tesislerinde kullanılan ham petrol, fuel oil ve doğal gazın bir sonucu olan metan bromotrifluoro halon1301'den kaynaklanmaktadır [Cobut et al., 2013]. S-2 ve S-6 senaryoları, sırasıyla 2,59 kg CFC-11 eşdeğeri ve 2,42 kg

CFC-11 eşdeğeri ile bu etki kategorisinde %30 ile en yüksek kompost aktivitesine ve en yüksek etkiye sahiptir. Aerobik kompostlama sırasında atmosfere salınan biyolojik CO₂ ve Azot türevlerinin bu etkiye neden olabileceğini söylemek mümkündür.

- Fotokimyasal ozon oluşumu-İnsan Sağlığı (POF-HH): Tüm senaryolar POF üzerinde olumsuz etkiye sahipken, en yüksek depolama oranına sahip S-0 senaryosu, 1.56E6 kg NMVOC eq. Özellikle eksik yanma ürünleri gibi tamamen indirgenmemiş maddeler de güneşin UV etkisi ile daha kalıcı ve toksik türevlere dönüşebilmektedir. Bu nedenle, depolama seçeneklerinin daha fazla kullanılmasıyla bu zararlı etki daha da artmaktadır. Ayrıca, geri dönüşüm yoluyla organik maddelerin geri kazanılması veya enerji üretilmesi için alternatif yaklaşımların uygulanması, bu etki parametresinin azaltılmasını destekleyebilir [Ibáñez-Forés et al., 2018].

- Solunum İnorganikleri: Solunum yolu inorganikleri insan sağlığına zararlı bir etkidir ve bu etkiye NO₂ ve SO₂ neden olur. LCA analizi sonucu, bu etkinin daha çok düzenli depolama ve kompostlama faaliyetlerinde bir emisyon kaynağı olarak ortaya çıktığını göstermektedir. Aynı zamanda VOC'ler (uçucu organik bileşikler) her iki durumda da solunum üzerinde etkilidir. Mevcut durum %95 depolama ile en yüksek etkiye neden olurken, Şekil 4'te en düşük etkiye S-6 senaryosunun sahip olduğu görülmektedir.

- Kanseri dışı insan sağlığı etkisi: İnsan için Karşılaştırmalı Toksik Birim (CTUh), yayılan bir kimyasalın birim kütlesi başına toplam insan popülasyonunda morbiditede öngörülen artışı ifade eder (kilogram başına vaka sayısı). SWM'deki tehlikeli bir kimyasalın insan yaşamı üzerindeki büyük etkisini gösteren kritik çevresel parametrelerden biridir. Benzin kullanımına bağlı olarak özellikle nakliye sırasında toksisite salınımı meydana gelmektedir. Bu nedenle, düzenli depolama oranının çok yüksek olduğu mevcut uygulamanın (S-0), 1 kübik ton başına 0.00071 kg emisyon yükü ile havaya yüksek kadmiyum emisyonu nedeniyle kanseri dışı insan sağlığı üzerinde daha yüksek bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Istrate et al. 2021 yılında yaptıkları çalışmada toprağa kompost uygulanması sonucunda ağır metallerin etkisiyle kanseri dışı bir etki oluştuğunu ancak yakmanın etkisinin yok denecek kadar az olduğunu vurgulamıştır.

- Asitlenme karasal ve tatlı su: Asitlenme, SO_2 , NO_x ve HCL ve NH_3 gibi kirleticilerden yükselen her kg SO_2 eşdeğeri (kg SO_2 eq/kg emisyon) başına üretilen H^+ iyonlarının sayısı olarak tanımlanabilir. Protonlar, zayıf tamponlama kapasitesine sahip bir ortamda karasal ve tatlı sularda asitlenmeye neden olabilir. Bu asitlenme sonucunda karasal alan ve tatlı su ekosistemleri yok edilmekte hatta yok olmaktadır. Asitleşme potansiyeli, özellikle düzenli depolamanın en yoğun kullanım olduğu S-0'da daha yüksek ve entegre atık yönetim sistemi S-4 senaryosunda daha az. Bunun nedeni, enerji üretimi ve katı atıkların taşınması sırasında ortaya çıkan SO_2 ve NO_x emisyonlarıdır. Yakmanın kompostla kıyaslandığı S-3'te, nispeten daha yüksek bir asitleştirme etkisine sahip olduğu görülmektedir. Kompostlama, yakma ve geri dönüşüm oranlarının eşit olduğu entegre bir sistem olan S-6, düşük depolama oranı nedeniyle asitlendirme etkisi en düşük seviyededir. Dolayısıyla S-0, yüksek NO_2 ve SO_2 emisyonları ile %95 düzenli depolama oranı nedeniyle en yüksek etkiye sahiptir. Yakma işlemi sırasında atıklardaki kükürt ve nitrojen SO_x ve NO_x gazlarına dönüşerek asitlenmenin artmasına neden olur. Jeswani ve Azapagic, 2016 da çalışmalarında, yakmanın asitlenme potansiyelinin depolama sahasına göre daha yüksek etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

- Ötrofikasyon deniz-karasal: Ötrofikasyon, deniz veya göl suyunun doğal süreçlerden veya çiftçilik gibi insan yapımı faaliyetler yoluyla mineral tuzlar ve besinlerden zenginleştirilmesidir [Emery et al., 2007]. Sonuç, nitrojen, karbon, fosfor gibi maddelerin yüzey suyuyla karıştırılmasıyla oluşur ve hem su hem de karasal ekosistemi etkiler. Ötrofikasyon potansiyeli sırasıyla deniz ve karasal etki için birim kg N eq ve mol N eq olarak ifade edilebilir. En yüksek ötrofikasyon etkisi, depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı suyunun alıcı ortama girmesinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, en yüksek depolama oranına sahip S-0 senaryosu, hem deniz hem de kara ekosistemleri üzerinde en yüksek ötrofikasyon etkisine sahiptir. Tablo 7.1'de verilen normalizasyon değerlerine göre, yüksek NO_2 emisyon konsantrasyonu nedeniyle karada ötrofikasyon etkisi denizden daha fazladır.

- Kaynak kullanımı, enerji taşıyıcıları: Kaynakların kullanımı ve enerji taşıyıcıları, Çevresel Ayak İzi için önemli parametrelerdir. Bu sorun potansiyel olarak birçok sorunun kaynağıdır. EF modeline göre, bu parametre, abiyotik kaynak tüketen fosil yakıtlar ve enerji taşıyıcıları için daha düşük ısıtma değeri ADP'ye (Abiyotik Tükenme Potansiyeli) dayanmaktadır. Kaynak kullanımı, kütle birimleri olarak belirtilen enerji taşıyıcıları-akımı (EF'deki gibi sadece net kalorifik değer değil), karakterizasyon

faktörü ise MJ olarak verilen sağlanan yakıtın daha düşük ısıtma değerlerine karşılık gelir. Bu parametrenin düşük etkisi, yüksek yakma seçeneği olan bir senaryodur ve bunu, düzenli depolama biyolojik kaynaklı bir enerji geri kazanımı olarak kabul edilebileceğinden, yüksek depolama ile S-0 izlemektedir. S-2'de, özellikle yüksek oranda kompostlama faaliyeti ve yüksek kapasiteli makinelerin kullanımı nedeniyle büyük arazi ihtiyaçlarından kaynaklanabilecek önemli bir yüksek çevresel etki ve kaynak kullanım etkisi vardır. Bu grafikte en ilgi çekici olanı %10 depolama kapasiteli S-6 entegre sistemidir ve bunun nedeni düşük depolama kapasitesi ile düşük enerji geri kazanımıdır.

Her senaryonun her bir etki faktörlerinin EF yöntemine göre normalizasyon değerleri Tablo 7.1'de verilmiştir. Bu tabloya göre fotokimyasal ozon oluşumunun etkisinin en yüksek etki değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu etkiyi karasal ötrofikasyon ve iklim değişikliği izlemektedir. Tüm bu etki alanlarında S-0 en yüksek olumsuz etkiye sahiptir.

Tablo 7.1: Normalizasyon Değerleri.

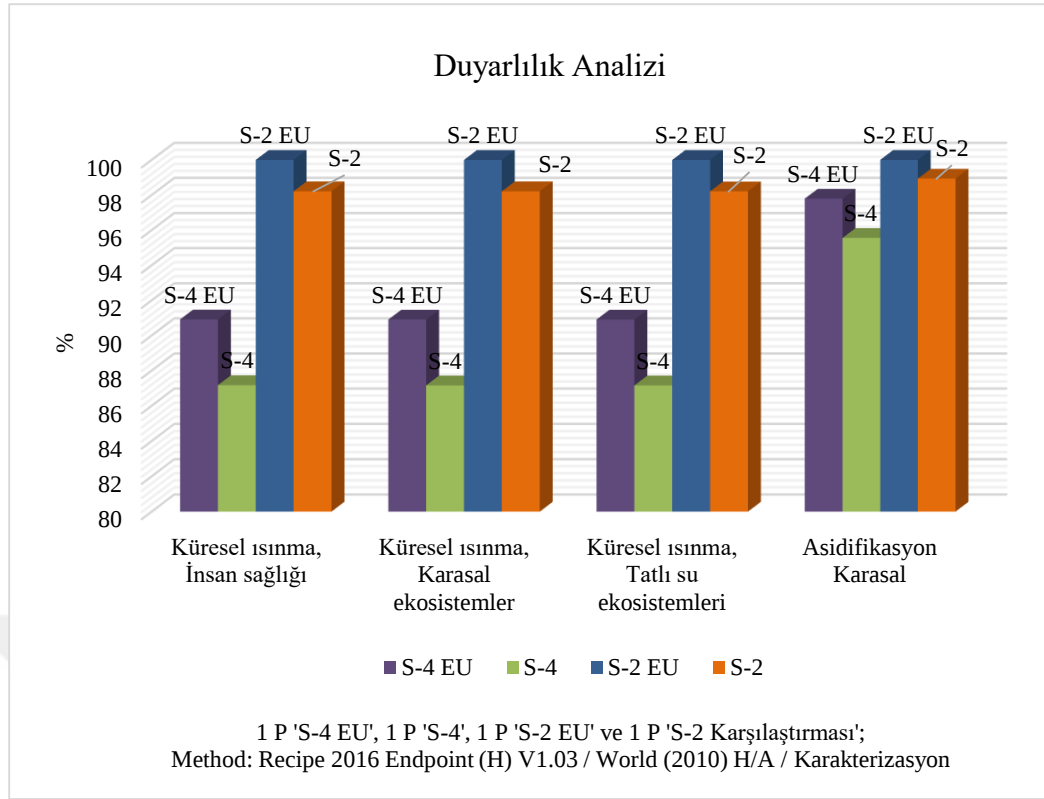
İndikatör	Normalizasyon						
Yöntem:	EF Metod (adapted) V1.00 / Global (2010)/with tox categories						
Etki Kategorisi	S-6	S-5	S-4	S-3	S-2	S-1	S-0
İklim değişikliği	1.72E+04	1.75E+04	1.77E+04	1.93E+04	1.99E+04	2.13E+04	2.39E+04
Ozon tabakasının incilmesi	1.04E+02	3.88E+01	-3.91E-01	4.96E+01	1.11E+02	6.45E+01	1.73E+00
Fotokimyasal ozon oluşumu, HH	2.90E+04	2.94E+04	3.06E+04	3.30E+04	3.23E+04	3.44E+04	3.85E+04
Solunum inorganikleri	3.69E+03	3.77E+03	4.10E+03	4.33E+03	3.93E+03	4.23E+03	4.79E+03
Kanser dışı insan sağlığı etkileri	8.46E+03	9.10E+03	9.33E+03	1.01E+04	1.03E+04	1.15E+04	1.35E+04
Asitleştirme (karasal ve tatlı su)	1.64E+04	1.66E+04	1.75E+04	1.88E+04	1.80E+04	1.92E+04	2.16E+04
Karasal ötrofikasyon	-5.20E+03	-4.67E+03	-5.91E+03	-6.18E+03	-3.88E+03	-	-3.67E+03
Ötrofikasyon deniz	1.52E+04	1.54E+04	1.62E+04	1.74E+04	1.69E+04	3.73E+03	2.02E+04
Kaynak kullanımı, enerji taşıyıcıları	3.94E+02	-9.46E+02	-2.36E+03	-1.28E+03	1.08E+03	3.59E+01	-1.43E+03

Duyarlılık analizi: Duyarlılık analizi, yorumlama aşamasının önemli bir parçasıdır. Bu analiz, YDA sonuçlarının güvenilirliğini ve kesinliğini analiz etmek için Recipe End Point H Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 7.2'de sırasıyla S-2 ve S-4'ün en düşük ve en yüksek elektrik geri kazanım değerleri dikkate alınarak Türkiye ve Avrupa'da (İsviçre hariç) elektrik tüketiminin etkisi

karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada enerji geri kazanımı dikkate alınmıştır. Şekil 7.2'deki duyarlılık analizi sonuçlarına göre Türk elektriğini simgeleyen S-2 ve S-4'ün Avrupa karma elektriğine kıyasla özellikle küresel ısınma etkileri, insan sağlığı, karasal ekosistemler, tatlı su açısından nispeten düşük çevresel etkilere sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni şu şekilde açıklanabilir, senaryolar kapsamında, Türkiye'de, çöp sahasından elektrik enerjisinin geri kazanılması ve daha az karbon bazlı enerji ile yakılması nedeniyle yüksek oranda karbon bazlı enerji kullanılması ve böylece daha çevre dostu bir sonuç ortaya çıkmasıdır. Atık yönetiminde enerji geri kazanım teknolojilerinin uygulanması maliyetli yatırımlar olsa da çevresel etki açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Tablo 7.2'de, her bir senaryoda enerji tüketimini karşılaştırmak için dizel, elektrik ve su kullanımı hesaplanmıştır.

Tablo 7.2: Senaryolar için hesaplanan tüketim miktarları.

<i>Girdiler</i>	<i>Unit</i>	<i>Senaryolar</i>						
		S-0	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
<i>Dizel</i>	L	1.09	8.23	1.09	0.71	0.67	0.86	0.84
<i>Elektrik</i>	Kwh	13.55	20.00	23.50	83.60	98.30	73.7	74.8
<i>Su</i>	L	1.60	6.47	9.70	205.60	260.23	160.70	163.90
<i>Elektrik Gerikazanım</i>	Kwh	80.75	51.00	34.00	254.00	300.50	182	173.5



Şekil 7.2: Duyarlılık Analizi Grafiği.

7.2. AHP'ye Göre Değerlendirme Sonuçları

Analitik Hiyerarşi Prosesi aşaması, seçilmiş kriterlerin (K1-5) kendi içinde ve alternatif olarak belirlemiş olduğumuz atık yönetim senaryolarının her bir kriter bazında ayrı ayrı konunun uzmanı olarak seçilmiş 11 çevre mühendisi tarafından karşılaştırmalı analiz ve bu değerlendirmelerden baskın seçimlerin ortalamalarının alınarak hesaplamaya dahil edilmesi ile nihai sonuca ulaşıldığı bir süreçtir. Bu aşamaya geçmeden önce çalışmanın temel amacını oluşturan YDA&AHP kombinasyonun çalışmada ne tür avantaj sağladığını belirtmek gerekmektedir. AHP çalışması nitel bir değerlendirme olup, sadece uzmanların deneyimleri ve eğitimleri ölçüsünde anlam kazanmaktadır. Ancak atık yönetimi gibi nicel etkileri olan bir sistemin aynı zamanda veriye dayalı olarak değerlendirilmesi çalışmanın sonuçlarını daha da anlamlı kılmaktadır. Bundan dolayı nicel etkileri olan çevresel boyutun YDA'sının yapılması, çevresel yönden insan sağlığı, ekosistem ve kaynak kullanımı ana etkileri altında analiz edilerek karara varılması, çalışmanın sonucunda ulaşılmak istenen en temel sorun olan küresel iklim değişikliği üzerindeki etkisi düşük bir atık

yönetim planına ulaşmayı kolaylaştırmaktadır. Bunun yanında AHP'nin önemi ise daha sürdürülebilir, aynı zamanda teknolojik ve yasal yönden desteklen bir atık yönetim planına yaklaşmayı kısmen nicel veriler desteği ile yorumlayarak, uzmanların deneyim ve bilgi desteği ile nitel bir yaklaşım sunmaktır.

Uygulamada AHP sürecinde, uzmanlarımızın kriterleri ikili karşılaştırma ile değerlendirmeleri istenmiştir. Bu değerlendirme bölüm 5 Tablo 5.1'de yer alan Saaty'nin geliştirmiş olduğu 'standart tercih tablosu' dikkate alınarak yapılmıştır. Değerlendirmeler yapılırken uzmanlara ön bilgi verilmiş olup, sonuçlar birbirlerinden bağımsız bir şekilde elde edilmiştir. Aşağıda Tablo 7.3'de yer alan tüm uzman sonuçlarına baktığımızda birbirinden bağımsız farklı sonuçların da olduğu görülmektedir. Bu durumda AHP uygulamasının sistem mantığı içinde bulunan ağırlıklı tercihlerin ele alınmasından yola çıkarak, ağırlıklı ortalamayı bozmayacak bir birine yakın aralıkta olan değerlerin ortalaması ile ikili karşılaştırma matris tablosu oluşturulmuştur. Burada seçmiş olduğumuz uzman sayısı çalışmayı destekler nitelikte olup, ne çok yetersiz ne de karışıklık oluşturabilecek (çalışma manuel yapılıyor olduğundan böyle bir ihtimal mümkün olabilmektedir) kadar fazladır.

Tablo 7.3: Uzman değerlendirme sonuçları.

Katılımcılar	1. Uzman		2. Uzman		3. Uzman		4. Uzman		5. Uzman		6. Uzman	
	Öncelikli Kriter	Önem Değeri	Öncelikli Kriter	Önem Değeri	Öncelikli Kriter	Önem Değeri	Öncelikli Kriter	Önem Değeri	Öncelikli Kriter	Önem Değeri	Öncelikli Kriter	Önem Değeri
K1-K2	K-1	3	K1	3	K1	5	K1	7	K2	3	K-1	7
K1-K3	K-1	5	K1	9	K1	3	K1	9	K1	3	K-1	9
K1-K4	K-1	7	K1	5	K1	5	K1	9	K1	7	K-1	5
K1-K5	K-1	3	K1	3	K1	3	K1	9	K1	5	K-1	5
K2-K3	K-2	7	K2	3	K3	3	K2	3	K2	3	K-2	5
K2-K4	K-2	7	K2	7	K2-K4	1	K4	3	K2	5	K-2-K-4	1
K2-K5	K-2	3	K2-K5	1	K5	3	K5	3	K2	5	K-5	3
K3-K4	K-3/K-4	1	K3	3	K3	3	K4	3	K3	3	K-4	3
K3-K5	K-5	7	K5	7	K5	2	K5	3	K3	3	K-5	3
K4-K5	K-5	5	K5	5	K5	3	K5	3	K5	3	K-5	3
7. Uzman		8. Uzman		9. Uzman		10. Uzman		11. Uzman		Genel Ortalama		
K1	3	K1	3	K1	5	K1	3	K1	5	K1	3,9091	
K1-K3	1	K1	5	K1	4	K1	7	K1	4	K1	4,4000	
K1	4	K1	3	K1	7	K4	3	K1	7	K1	4,5455	
K5	9	K1-K5	1	K1	4	K1	5	K1	5	K1	4,3000	
K2	5	K2	3	K3	3	K2	5	K3	3	K2	4,0000	
K2	5	K2-K4	1	K2	3	K4	3	K2	1	K2	4,3333	
K5	9	K5	3	K5	3	K5	7	K5	3	K5	3,5000	
K3	5	K4	3	K3	5	K4	7	K3	6	K3	4,0000	
K5	9	K5	5	K3	3	K5	9	K3	5	K5	4,4286	
K5	9	K5	3	K4	3	K4	5	K5	3	K5	4,1111	

- İkili Karşılaştırma Matrisi

Uzmanlardan elde edilen sonuçların ortalamaları ile oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi aşağıda Tablo 7.4'de verilmiştir. Tablo 7.5'te ise karşılaştırmaların normalizasyon hesabı yer almaktadır. Normalizasyon hesaplamaları excel üzerinde oluşturulmuş formülüzasyon ile yapılmıştır. Hesaplamaya yönelik ilgili açıklama bölüm 5'de yer almaktadır.

Tablo 7.4: Kriterler ikili karşılaştırma

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1	3,90909	4,40000	4,54545	4,30000
K2	0,25581	1	4,00000	4,33333	0,28571
K3	0,22727	0,25000	1	4,00000	0,22581
K4	0,22000	0,23077	0,25000	1	0,27273
K5	0,23256	3,50000	4,42857	3,66667	1
Toplam	1,93564	8,88986	14,07857	17,54545	6,08425

K1-Çevresel Etki, K2- Ekonomik Etki, K3-Sosyal Etki, K4-Teknolojik Etki, K5-Yasal Etki

Tablo 7.5: Kriterler Normalizasyonu.

	K1	K2	K3	K4	K5	ÖNCELİK VEKTÖRÜ
K1	0,51662	0,43972	0,31253	0,25907	0,70674	0,44694
K2	0,13216	0,11249	0,28412	0,24698	0,04696	0,16454
K3	0,11741	0,02812	0,07103	0,22798	0,03711	0,09633
K4	0,11366	0,02596	0,01776	0,05699	0,04483	0,05184
K5	0,12015	0,39371	0,31456	0,20898	0,16436	0,24035
Toplam	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

Tablo 7.5 normalizasyon hesabı sonrasında elde edilen öncelik vektörü sütununa göre katılımcıların ağırlık olarak yaklaşık %45'in K-1 (çevresel kriter)'i öncelikli belirlediği sonucu çıkmaktadır. Bunun yanında katılımcıların yasal kriterlerin de ikincil olarak dikkate alınması gerektiği vurgusunu, öncelik vektörü sütunundan %24'lük dilim ile görebilmekteyiz. Sonrasında katılımcıların sırası ile K-2

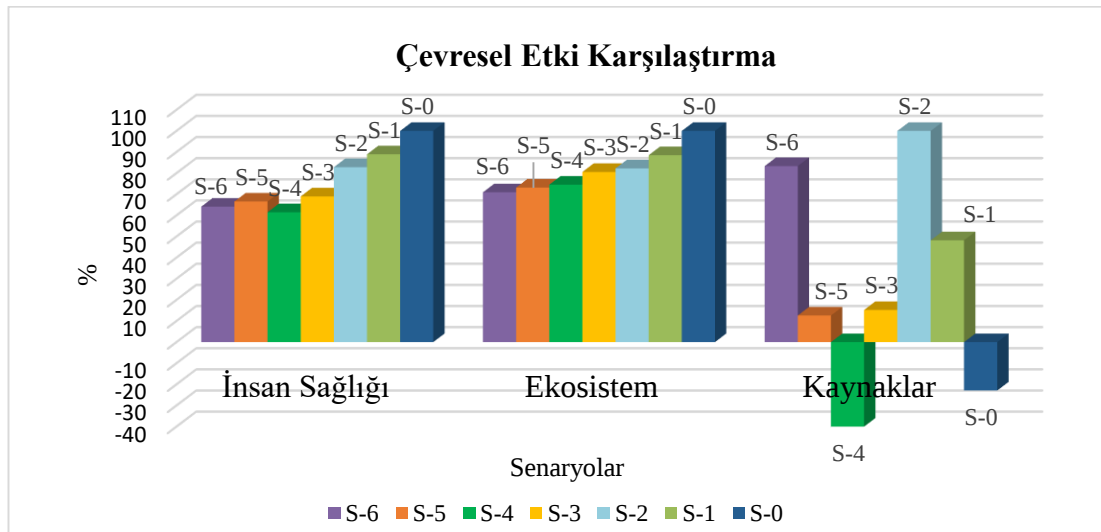
(ekonomik), K-3 (sosyal) ve son olarak K-4 (teknolojik) tercihlerine ağırlık verdiği anlaşılmaktadır.

Bu bölümün bir sonraki ana aşaması ise, tüm alternatiflerin ikili karşılaştırmaları için her bir kriter bazında ayrı ayrı değerlendirilmesi yer almaktadır. Aynı şekilde bu aşamada da baskın olan ortalamalar alınarak aşağıda yer alan her bir tabloya yerleştirilerek matris hesabı yapılmıştır. Daha sonra normalizasyon ve ağırlıklandırma sütunları oluşturulmuştur. Aşağıda alternatif karşılaştırmaları sırasıyla çevresel, ekonomik, sosyal, teknolojik ve yasal boyutta ayrı ayrı irdelenmiştir.

i) Kriter-1 Çevresel Değerlendirme Bazında Alternatiflerin Seçimi

- İnsan sağlığı-K11: Direkt ve indirekt insan sağlığı üzerinde etkiler. Özellikle kanser yapıcı etki, sonulum üzerindeki etkiler.
- Ekosistem-K12 Hava kirliliği, toprak kirliliği ve su kirliliği üzerindeki etkisi
- Doğal Kaynaklar-K13 Malzemelerin ve enerjinin geri kazanımı ile doğal kaynakların tüketiminde sağlanan tasarruf ve alandan tasarruf.

Kısaca etki alanı belirtilen ve Şekil 7.3’de yer alan grafikte de YDA’ ya göre etki ölçüm oranlarının karşılaştırmaları bulunan çevresel etkinlik kriterinin uzmanlar tarafından yapılmış ikili karşılaştırma sonuçlarına göre baskın seçim ortalamaları Tablo 7.6’da görülmektedir.



Şekil 7.3: Çevresel etki karşılaştırması

Tablo 7.6: K1 Kriteri için Alternatiflerin Karşılaştırılması.

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S0	1	0,31034	0,25000	0,19643	0,11628	0,12500	0,14103
S1	3,22222	1	0,31250	0,21277	0,13889	0,15068	0,15714
S2	4,00000	3,20000	1	4,71429	0,14754	0,19149	0,22222
S3	5,09091	4,70000	0,21212	1	0,20408	0,24390	0,30303
S4	8,60000	7,20000	6,77778	4,90000	1	3,00000	4,00000
S5	8,00000	6,63636	5,22222	4,10000	0,33333	1	3,11111
S6	7,09091	6,36363	4,50000	3,30000	0,25000	0,32143	1
TOPLAM	37,00404	29,41035	18,27462	18,42348	2,19012	5,03251	8,93453

S0 %5 Geri Dönüşüm + %95 Düzenli Depolama
S1 %20 Geri Dönüşüm + %60 Düzenli Depolama + %20 Kompost
S2 %30 Geri Dönüşüm + %40 Düzenli Depolama + %30 Kompost
S3 %20 Geri Dönüşüm + %40 Düzenli Depolama + %40 Yakma
S4 %10 Geri Dönüşüm + %30 Düzenli Depolama + %10 Kompost + % 50 Yakma
S5 %20 Geri Dönüşüm + %20 Düzenli Depolama + %30 Kompost + % 30 Yakma
S6 %30 Geri Dönüşüm + %10 Düzenli Depolama + %30 Kompost + % 30 Yakma

Çevresel kriter baz alınarak yapılan değerlendirmede uzmanların ağırlıklı olarak senaryo 4'ü seçmişlerdir. Seçimler noktasında uzmanların gerekçeleri istenmiş olup, bir kısım uzmanın özellikle enerji geri kazanımından kaynaklı olarak bu seçimi yaptığı belirtilmiştir. Aynı zamanda Şekil 7.3'de görüldüğü gibi kaynak tüketimi açısından çevresel yönden artı değere sahip olması bu seçimde etkili olduğu belirtilmiştir. İkincil ağırlıklı puanlama ise senaryo 5 üzerinde yapılmıştır. Ancak AHP hesaplamalarında nitel görüşün hesaplamalarda etkinliğinin olmadığını tekrar belirtmek gerekir. Senaryo-5'in kaynak tüketimi açısından çevresel zararının senaryo-6 dan daha düşük olduğu görülmektedir. Dolayısı ile yaşam döngüsü analizinin bu seçimler üzerinde etkili olduğu yorumu yapılabilmektedir.

ii) Kriter-2 Ekonomik Değerlendirme Bazında Alternatiflerin Seçimi

- Başlangıç (Yatırım- Sabit Maliyetler) Maliyeti-K21
- İşletme ve Bakım Onarım Maliyeti (Değişken Maliyetler)-K22
- Gelir Kaynakları-K23

Ekonomik kriter baz alınarak yapılan değerlendirmede katılımcıların yorumlarına katkı sağlamak adına literatürden derlenen bilgilerle hazırlanan Bölüm 6 Tablo 6.8'de en düşük maliyetin düzenli depolama yönetiminin en fazla olduğu senaryolarda (S-0, S-1 ve S-2) olduğu görülmüştür. Ancak önceki bilgiler ışığında bu senaryolar genellikle seçim dışı bırakılmıştır. Dolayısı ile uzmanlar ağırlıklı olarak

değerlendirmeleri son iki senaryo olan (S-6 ve S-5) üzerinden yapmışlardır. Nihai olarak öncelikle senaryo 6 ve ikincil olarak senaryo 5 katılımcılar tarafından seçilmiştir. Tablo 7.7’de K2’ye göre alternatiflerin karşılaştırma matris değerleri yer almaktadır.

Tablo 7.7: K2 Kriteri için Alternatiflerin Karşılaştırılması.

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S0	1	0,26667	0,23529	0,19149	0,18605	0,13725	0,14286
S1	3,75000	1	0,18919	0,22500	0,20455	0,21569	0,15094
S2	4,25000	5,28571	1	0,23810	0,36364	0,20000	0,18367
S3	5,22222	4,44444	4,20000	1	0,28571	0,24242	0,17949
S4	5,37500	4,88889	2,75000	3,50000	1	0,21875	0,20000
S5	7,28571	4,63636	5,00000	4,12500	4,57143	1	0,26316
S6	7,00000	6,62500	5,44444	5,57143	5,00000	3,80000	1
TOPLAM	14,22222	27,14708	18,81893	14,85101	11,61137	5,81412	2,12012

S0 %5 Geri Dönüşüm + %95 Düzenli Depolama
S1 %20 Geri Dönüşüm + %60 Düzenli Depolama + %20 Kompost
S2 %30 Geri Dönüşüm + %40 Düzenli Depolama + %30 Kompost
S3 %20 Geri Dönüşüm + %40 Düzenli Depolama + %40 Yakma
S4 %10 Geri Dönüşüm + %30 Düzenli Depolama + %10 Kompost + % 50 Yakma
S5 %20 Geri Dönüşüm + %20 Düzenli Depolama + %30 Kompost + % 30 Yakma
S6 %30 Geri Dönüşüm + %10 Düzenli Depolama + %30 Kompost + % 30 Yakma

iii) K-3 Sosyal Değerlendirme Bazında Alternatiflerin Seçimi

- Sosyal Kabul edilebilirlik-K31: Kamuoyunun kaynağında ayrı toplama ve geri dönüşüm faaliyetlerine olan katılımı, nüfusun tamamı için ne ölçüde uygulanabilir. Bertaraf metodunun yaşam alanlarına yakın olma durumunda oradaki sosyal çevreyi etkileyebilme durumu.
- İstihdam Olanağı-K32; Önerilen senaryoların bölgede sağladığı yeni iş imkânları sunması ve istihdamı arttırması açısından önem derecesi değerlendirilmiştir.
- İş güvenliği & sağlığı-K33: Önerilen alternatif senaryoların uygulama aşamasında iş sağlığı ve güvenliği açısından ne gibi riskler teşkil ettiğinin irdelenmesi istenmektedir.

Sosyal kriter baz alınarak yapılan değerlendirmede katılımcıların ağırlıklı olarak senaryo 6’yı seçtikleri görülmüştür. Sosyal kriterlere göre yapılan senaryo seçimlerine ilişkin matris hesapları tablosu Tablo 7.8’de yer almaktadır. Burada önemli bir sosyal olgu olan vatandaş katılımı ile geri dönüşüm bilincinin artırılması ve

sıfır atığa yaklaşarak düzenli depolama seçeneğinden uzaklaşma yaklaşımı üzerinde durulması katılımcıları en düşük düzenli depolama seçeneği olan S-6' ya yaklaştırarak entegre bir atık yönetimi önerdiği görülmektedir. İkincil ağırlıklı seçim olarak ise kompostlaştırma faaliyetinin daha fazla ve eşit olduğu senaryo 2 ve senaryo 5 katılımcılar tarafından neredeyse eşit düzeyde seçildiği görülmüştür. Özellikle geri dönüşüm faaliyetinin gerek istihdam gerekse sosyal kabul edilebilirlik açısından diğer bertaraf yöntemlerine göre vatandaş açısından daha etkin katılımın olduğu bir yöntem olması seçimde etkili olduğu genel değerlendirme sonuçlarında belirtilmiştir. Aynı şekilde kompostun istihdam açısından katkısının çok az olduğu düşünülse dahi sosyal fayda açısından, organik tarımı destekleme yönünden önemli katkılar sunması, bu sonuçlara katkı sağlamasını destekler niteliktedir.

Tablo 7.8: K3 Kriteri için Alternatiflerin Karşılaştırılması.

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S0	1	0,20370	0,17460	0,21277	0,19149	0,16949	0,16393
S1	4,90909	1	0,23256	0,21875	0,19355	0,18000	0,20000
S2	5,72727	4,30000	1	4,83333	0,22222	4,33333	0,17073
S3	4,70000	4,57143	0,20690	1	0,25000	0,22449	0,19298
S4	5,22222	5,16667	4,50000	4,00000	1	0,20588	0,18182
S5	5,90000	5,55556	0,23077	4,45455	4,85714	1	0,22857
S6	6,10000	5,00000	5,85714	5,18182	5,50000	4,37500	1
TOPLAM	33,55859	25,79735	12,20197	19,90121	12,21440	10,48820	2,13804

S0 %5 Geri Dönüşüm + %95 Düzenli Depolama
S1 %20 Geri Dönüşüm + %60 Düzenli Depolama + %20 Kompost
S2 %30 Geri Dönüşüm + %40 Düzenli Depolama + %30 Kompost
S3 %20 Geri Dönüşüm + %40 Düzenli Depolama + %40 Yakma
S4 %10 Geri Dönüşüm + %30 Düzenli Depolama + %10 Kompost + % 50 Yakma
S5 %20 Geri Dönüşüm + %20 Düzenli Depolama + %30 Kompost + % 30 Yakma
S6 %30 Geri Dönüşüm + %10 Düzenli Depolama + %30 Kompost + % 30 Yakma

iv) K-4 Teknolojik Değerlendirme Bazında Alternatiflerin Seçimi

- Teknolojik olarak uygulanabilirlik-K41: Önerilen Teknoloji daha önce uygulanmış ve randıman alınmış mı? Teknolojik olarak güvenilir mi?
- Teknoloji esnekliği-K42: Uygulanması planlanan teknoloji, alan ya da kapasiteye göre modifiye, remodifiye edilebilir mi ve uzun yıllar kullanılma imkanı var mı? Dışa bağımlı olmadan yurtiçinde üretilen teknolojinin yaratılma imkanı açısından değerlendirilmesi.

-Deneyimli/Belgeli operatör ihtiyacı-K43: Bertaraf metodu uygulanırken alanında uzman operatöre ihtiyaç var mı?

-Atık/Deney Lab. İhtiyacı-K44: Önerilen bertaraf yöntemi numune ölçümleri ve analiz için donanımlı laboratuvara gereksinimi var mı?

-Hızlı tamamlanma-K45: Karar vericiler açısından projenin tamamlanma süresi ne kadar kısa?

Teknolojik kriter baz alınarak yapılan değerlendirmede katılımcıların ağırlıklı olarak yakma faaliyetinin ağırlıklı olduğu senaryo 4'ü seçtikleri görülmüştür. Teknolojik kriterlere göre yapılan senaryo seçimlerine ilişkin matris hesapları tablosu Tablo 7.9'de yer almaktadır. Bu seçimde etken olarak yakmanın teknolojik açıdan uygulanmış olması, yüksek verimle enerji geri kazanımını sağlaması, remodifiye edilebilme gibi özelliklerinden dolayı uzmanlar tarafından ağırlıklı olarak seçildiği seçimler sonrasında yazılı ve sözlü olan paylaşılan görüşler üzerinden yorumlanabilmektedir. Bunun yanında ikincil olarak senaryo-6'nın katılımcılar tarafından seçildiği görülmüştür.

Tablo 7.9: K4 Kriteri için Alternatiflerin Karşılaştırılması.

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S0	1	0,20370	0,17460	0,21277	0,19149	0,16949	0,16393
S1	4,90909	1	0,23256	0,21875	0,19355	0,18000	0,20000
S2	5,72727	4,30000	1	4,83333	0,22222	4,33333	0,17073
S3	4,70000	4,57143	0,20690	1	0,25000	0,22449	0,19298
S4	5,22222	5,16667	4,50000	4,00000	1	0,20588	0,18182
S5	5,90000	5,55556	0,23077	4,45455	4,85714	1	0,22857
S6	6,10000	5,00000	5,85714	5,18182	5,50000	4,37500	1
TOPLAM	33,55859	25,79735	12,20197	19,90121	12,21440	10,48820	2,13804

S0 %5 Geri Dönüşüm + %95 Düzenli Depolama

S1 %20 Geri Dönüşüm + %60 Düzenli Depolama + %20 Kompost

S2 %30 Geri Dönüşüm + %40 Düzenli Depolama + %30 Kompost

S3 %20 Geri Dönüşüm + %40 Düzenli Depolama + %40 Yakma

S4 %10 Geri Dönüşüm + %30 Düzenli Depolama + %10 Kompost + % 50 Yakma

S5 %20 Geri Dönüşüm + %20 Düzenli Depolama + %30 Kompost + % 30 Yakma

S6 %30 Geri Dönüşüm + %10 Düzenli Depolama + %30 Kompost + % 30 Yakma

v) K-5 Yasal Değerlendirme Bazında Alternatiflerin Seçimi

-Mevcut ulusal mevzuatın uygunluğu-K51: Önerilen senaryoların ulusal mevzuat tarafından desteklenebilir olması.

-Uluslararası Yasalar ve Kararlara Uygunluk-K52: Atık yönetiminin yerel bir mevzu olmasının yanında atıkların taşınımı, ticareti gibi konular ve AB uyumu gibi konularda bertaraf metodu belirlemede uluslararası yasalara ve kararlara uygun olması.

-Uluslararası Yasalar ve Kararlara Uygunluk-K52: Atık yönetiminin yerel bir mevzu olmasının yanında atıkların taşınımı, ticareti gibi konular ve AB uyumu gibi konularda bertaraf metodu belirlemede uluslararası yasalara ve kararlara uygun olması.

-Yerel Yönetim Dinamikleri-K53: En uygun atık yönetim seçimi ilçe özeli için planlandığı için bu noktada karar verme sürecinde yerel yönetim idaresi ve mevzuat bertaraf yöntemlerine uygun yatırım ve işlemlerinin ne ölçüde desteklediği değerlendirilmektedir. Mevcut yasal durumun bu alana yönelik uyumlaştırıcı ve destekleyici hale getirilmesi.

Yasal kriterler değerlendirilirken katılımcılardan özellikle mevcut ulusal yasalara uygunluğu ve yerel yönetim dinamikleri gibi kriterleri dikkate almaları istenmiştir. Bu doğrultuda yapılan değerlendirmede katılımcıların ağırlıklı olarak senaryo-6 seçtikleri görülmüştür. Geri dönüşüm faaliyetinin en yüksek ve düzenli depolamanın en düşük olduğu bu senaryoda mevcut mevzuatı destekler niteliktedir. Özellikle 'Ambalaj Atıkları Kontrol Yönetmeliğinde' de belirtilen hedefleri doğrultusunda (2021-2025 yılları arasında %55 geri dönüşüm hedefi) , %30 geri dönüşüm senaryosu ilçenin mevcut karışık ambalaj atığı oranı olan %34 oranını kapsamaktadır. Dolayısı ile bu seçimin anlamlı olduğu yorumu yapılabilmektedir. İkincil ağırlık olarak ise senaryo-5 katılımcılar tarafından seçilmiştir.

Yasal kriterlere göre yapılan senaryo seçimlerine ilişkin matris hesapları tablosu Tablo 7.10'de yer almaktadır.

Tablo7.10: K5 Kriteri için Alternatiflerin Karşılaştırılması.

	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S0	1	0,20588	0,18421	0,20000	0,17949	0,16667	0,15217
S1	4,85714	1	4,00000	0,20588	0,21429	0,20588	0,17949
S2	5,42857	0,25000	1	0,20690	0,21429	0,18182	0,16279
S3	5,00000	4,40000	4,83333	1	0,28571	3,83333	0,20690
S4	5,57143	4,66667	4,66667	3,50000	1	0,22727	0,16000

Tablo7.10: Devamı.

S5	6,00000	4,85714	5,50000	0,26087	4,40000	1	0,19048
S6	6,57143	5,57143	6,14286	4,83333	6,25000	5,25000	1
TOPLAM	34,42857	20,95112	26,32707	10,20698	12,54377	10,86497	2,05182

S0 %5 Geri Dönüşüm + %95 Düzenli Depolama
S1 %20 Geri Dönüşüm + %60 Düzenli Depolama + %20 Kompost
S2 %30 Geri Dönüşüm + %40 Düzenli Depolama + %30 Kompost
S3 %20 Geri Dönüşüm + %40 Düzenli Depolama + %40 Yakma
S4 %10 Geri Dönüşüm + %30 Düzenli Depolama + %10 Kompost + % 50 Yakma
S5 %20 Geri Dönüşüm + %20 Düzenli Depolama + %30 Kompost + % 30 Yakma
S6 %30 Geri Dönüşüm + %10 Düzenli Depolama + %30 Kompost + % 30 Yakma

Tablo 7.6 ile Tablo 7.10 yer alan alternatif senaryo seçim değerlendirmelerinin vektörel ağırlık değerleri ve kriterlerin vektörel ağırlık değerleri Tablo 7.11’de bir araya getirilmiştir. Daha sonra alternatiflerin vektörel ağırlıklarının her birinin ayrı ayrı kriter ağırlıkları ile çarpımı sonucu an Tablo 7.12 oluşturulmuştur. Bu tabloda yer alan her bir senaryo satırı kendi içinde toplandığında bizi nihai sıralamaya yani tüm çalışmanın sonucuna ulaştırmaktadır. Nihai sıralama ise Tablo 7.12’nin son sütununda yer almaktadır.

Tablo 7.11: Kriterler ve Senaryolar - Vektörel Ağırlık Tablosu.

Ağırlık	0,4469	0,1645	0,0963	0,0518	0,24035
Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5
Alternatifler					
S-0	0,02223	0,01956	0,02446	0,02269	0,02418
S-1	0,03724	0,05202	0,04881	0,04513	0,06920
S-2	0,09397	0,08758	0,16763	0,07159	0,04872
S-3	0,07698	0,12415	0,07088	0,10929	0,15903
S-4	0,37350	0,14791	0,12456	0,31367	0,15476
S-5	0,23561	0,23134	0,16753	0,16830	0,16803
S-6	0,16047	0,29437	0,30552	0,26932	0,37607
Toplam	1,00000	0,95693	0,90938	1,00000	1,00000

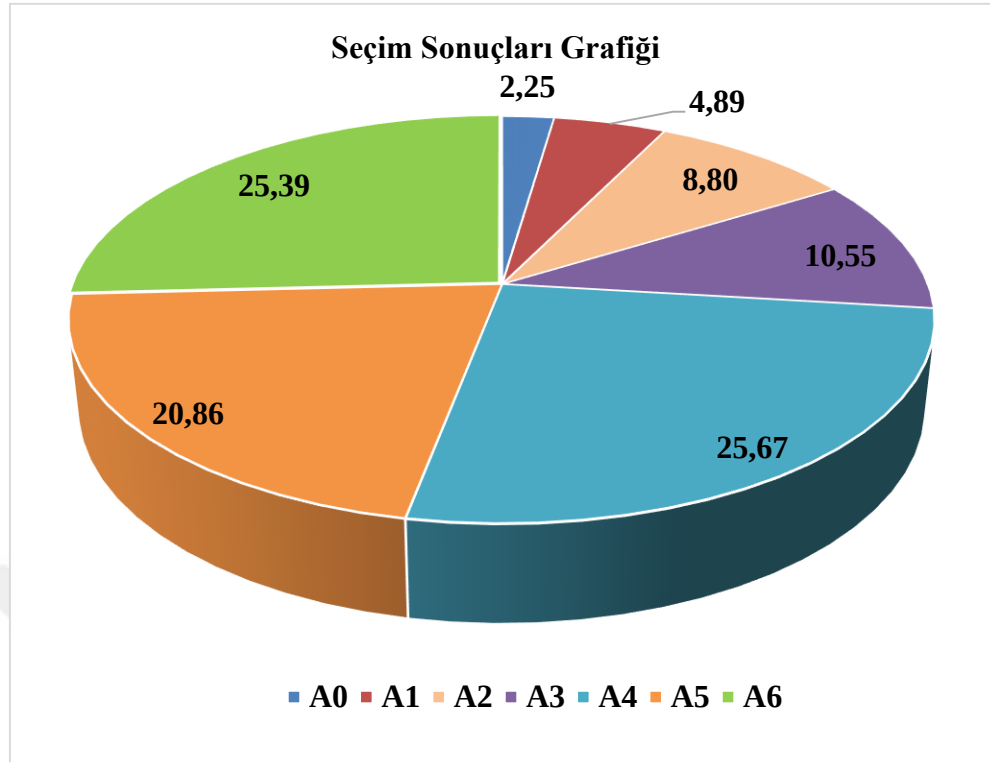
Tablo 7.12: Değerlendirme sonuçları.

KRITERLER	K1	K2	K3	K4	K5	Alternatiflerin	Sıralama
ALTERNATIFLER	Toplamı						
S-0	0,0099	0,0032	0,0024	0,0012	0,0058	0,0225	7
S-1	0,0166	0,0086	0,0047	0,0023	0,0166	0,0489	6
S-2	0,0420	0,0144	0,0161	0,0037	0,0117	0,0880	5
S-3	0,0344	0,0204	0,0068	0,0057	0,0382	0,1055	4
S-4	0,1669	0,0243	0,0120	0,0163	0,0372	0,2567	1
S-5	0,1053	0,0381	0,0161	0,0087	0,0404	0,2086	3
S-6	0,0717	0,0484	0,0294	0,0140	0,0904	0,2539	2

Her bir kriter bazında yapılan tüm değerlendirmeler ve uzmanların alternatif senaryo seçimleri üzerinden yapılan hesaplamalar ile ortaya çıkan nihai çalışma sonucuna göre en ideal ve sürdürülebilir senaryonun S-4 olduğu Tablo 12’de de görülmektedir. S-4 seçiminden sonra uzmanların çok yakın alternatif olarak S-6’yı uygun gördükleri ve üçüncül alternatif olarak ise S-5 uygun gördükleri sıralamadan anlaşılmaktadır.

Aşağıda Şekil 7.4’da yer alan grafikte Tablo 7.12’da oluşan sonuçların dağılımı yer almaktadır. Şekil 7.4’daki grafik; uzmanların ayrı ayrı yapmış olduğu her bir değerlendirmeye yönelik seçimlerinin senaryolar üzerinden ağırlıklı seçim sonuçlarının ortalamalarını göstermektedir.

Bu grafikten senaryo-4 ve senaryo-6’nın uzmanlar tarafından neredeyse eşit derecede önemli görüldüğü anlaşılmaktadır. Aynı zamanda grafikten senaryo-2 ve senaryo-3’ünde birbirine yakın aynı düzeyde uzmanların olurluğunu aldığı ve benzer değerlerde önem derecesine sahip olduğu ve anlaşılabilmektedir.



Şekil 7.4: Sonuçlar grafiği.

Mevcut uygulama olan S-0'ın (%95 depolama ve %5 kaynağında ayrırma ile geri kazanım) ise Tablo 7.12'deki sıralamada sonuncu sırada yer aldığı ve uzmanlarca uygulanmasının tercih edilmemesi gerektiği yorumu anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak çevresel etkinliğin nicel bir ölçüm olan YDA desteği ile yapıldığı, bu değerlendirmenin başlangıç ve referans kabul edilerek, sürdürülebilirliğe yaklaşmak adına ekonomik, sosyal, teknolojik ve yasal kısıtları da dikkate alarak ve kentsel katı atık alanında uzman kişilerce yapılan değerlendirmeler ile analitik hiyerarşi prosesi hesaplamaları kullanılarak belirlenen kentsel katı atık bertaraf 126 seçimi çalışması sonucu gösteriyor ki; yakma prosesinin ağırlıklı olduğu (%50) yada aynı değerde düzenli depolamanın en düşük oranda olduğu entegre katı atık yönetiminin ilçe de mevcut uygulamaya nispeten büyük oranda alternatif olabileceği anlaşılmaktadır. Bu çalışma senaryo alternatif oranları kendi için de birine daha yakın değerlerle de denendiğinde ya da uzman sayısını arttırarak yada azaltarak da yapıldığında farklı sonuçlar verebilmektedir. Ancak çalışmanın bütününden çevresel etkinlik grafiği ile seçimler arasında nispeten benzerlik olduğu da anlaşılmaktadır.

8. ÖNERİLER

Çalışma kapsamında, Türkiye'nin en büyük metropolü, dünyanın ise ilk on sıralamasında yer alan İstanbul şehrinin, yine birçok alanda İstanbul geneli ile benzerlik gösteren Ümraniye ilçesi ele alınarak pilot ölçekte bir saha çalışması yapılmıştır. Saha çalışmasına yönelik verilerden atık miktarları ve karakterizasyonuna ilişkin değerler Ümraniye Belediyesi'nden temin edilmiştir. YDA programında emisyonu yönelik sistem girdi ve çıktı verileri ise çeşitli literatür araştırma sonuçlarından elde edilmiştir. Aynı şekilde AHP aşamasında özellikle ekonomik kriterlere yönelik olarak maliyet bilgileri yine çeşitli ulusal ve uluslararası çalışmalardan ve alanında uzman saha çalışanlarından derlenmiştir. Ancak kullanılan verilerin bölgeye yönelik çalışma temelinde yeterli olduğunu söylemek mümkün değildir. Bundan dolayı çalışmada oldukça önem teşkil eden verilerin sağlanması ve oluşturulabilmesi için yerel yönetimlerde atık birimlerinde çalışan uzman personelin bölgeye özel modellemede kullanılabilecek tüm verileri sağlayabilmesi ve bu yönde çalışmalar yapmaları son derece önemlidir.

Tamamlanan çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular, mevcut uygulama ve Türkiye'deki atıkların yönetilmesi hususunda ki genel durum ve mevzuat da göz önüne alındığında birtakım öneriler ortaya çıkmıştır.

Belediyelerin genel olarak atıkların yönetilmesi konusunda ilgili birimleri oluşturarak, her aşamasında ve kademesinde alanında uzman ekipler aracılığıyla atık yönetim sürecini yönetmesi gerekmektedir.

Yediden yetmiş, her yaştan ve her kesimden vatandaşa atık hiyerarşisinde de belirtildiği gibi öncelikle atıkların oluşmasının önlenmesinin önemi anlatılmalıdır.

Mevzuatın atıkların yönetilmesi konusunda uygulamada karşılaşılan aykırı davranışlara karşı yerel yönetimler tarafından da caydırıcı nitelikte cezai işlem uygulamasına izni vermesi, aykırı durumlara müdahaleyi hızlandırarak kolaylaştırabilecektir. Atıkların yönetilmesi hususundaki mevzuatta yapılacak yenilik ve değişikliklerde özellikle yerel yönetimlerin uygulamada karşılaştığı zorluklarında dikkate alınarak belediyelerde kentsel atıkların yönetilmesi alanındaki birim uzmanların görüşlerinin alınması önem teşkil etmektedir.

Aynı zamanda yine bu hususta atıkların yönetilmesi konusunda akademik çalışmalar yapan bilim insanlarının da görüşlerinin alınması, uygulama sonucunda ortaya çıkabilecek sonuçların veriler doğrultusunda değerlendirilmesi ve aynı zamanda dünyada ki uygulamaların analiz edilerek, yeni görüşler sunmaları, atıkların yönetilmesi konusunda dünyaya paralel daha sürdürülebilir öneriler sunmaları oldukça önemlidir.

Çalışmada kullanılan AHP uygulamasında önerilen ana kriterler üzerinden değerlendirme yapıldığında, kentsel atıkların yönetiminin çevre mühendislerinin uzmanlık alanı olsa dahi, bu konunun multidisipliner bir yaklaşım ile ele alınıp iktisat, kamu yönetimi ve sosyoloji alanındaki uzmanların da görüşlerinin alınmasının daha sürdürülebilir bir atık yönetimi için ne derece önemli olduğu anlaşılmıştır.

Geri kazanımın sadece çevresel anlamda fayda sağlamadığı aynı zamanda çok büyük bir ekonomik girdi payına sahip olduğu gerçeğinden yola çıkarak özellikle sanayide ve iş yerlerinde oluşan atıkların yönetilmesi konusunda doğrusal bir modelden uzaklaşarak döngüsel ekonomi modeli yaklaşımına gidilmesinin gerekli ve önemli olduğu anlaşılmaktadır. Endüstriyel simbiyoz yaklaşımının belediyeler tarafından da benimsenerek hanelerden kaynaklı atıkların değerlendirilmesi konusunda da ele alınabileceği hususu üzerinde çalışmalar yapılması önem teşkil etmektedir. Özellikle birbirine çok yakın ilçe belediyeleri, mevcutta değerlendirme için yeterli alan, teknoloji ya da gerekli finansal imkânlara sahip olmadığında bir hammadde gibi atıkları en ekonomik yol ile transfer ettirerek geri dönüşüm faaliyetinin gerçekleştirilmesi hizmetinden yararlanabilir.

Halkın, geri dönüşüm, atık azaltımı ve kaynağında ayırma gibi faaliyetlere katılımının sağlanması ve teşvik edilmesi, uygulanan ya da uygulanması önerilen teknoloji yada yenilikçi çözümler kadar önem teşkil etmektedir. Aksi takdirde halk tarafından anlaşılmayan, benimsenmeyen hiçbir uygulamanın hayata geçirilmesinin öneminin olmadığı gibi sürdürülebilirliğinin sağlanması da imkânsızdır. Halkın katılımının sağlanması ise öncelikle halkı bilgilendirmek, eğitmek ve sürece dâhil etmekle mümkündür. Kimi durumda bu teşvik ve ödül sistemi ile kimi durumda ise cezai işlemlerle sağlanabilmektedir.

Atık yönetim sürecine katkıda bulunabilecek bir diğer bileşen ise sivil toplum kuruluşları olmaktadır. Bu kuruluşlar işin resmi sorumluluğunu almamakla beraber, süreçte diğer paydaşlara yol gösterici, aktivasyon enerjisi kazandırabilen bir konumda

bulunmaktadırlar. Bu katkı özellikle halk ve yerel yönetimler arasında köprü vazifesi görme ve aynı zamanda önemli bir destek sistemi oluşturmaktadır.

TÜİK verilerine göre belediyelerde oluşan atık miktarlarının 32,2 milyon ton olduğu, bu atıkların %67,2'sinin düzenli depolama tesislerine, %20,2'sinin belediye çöplüklerine (vahşi depolama) ve sadece %12,3'nün geri kazanım tesislerine gönderildiği bilinmektedir. Bu doğrultuda hem enerji kaynakları açısından dışa bağımlılığı azaltmak adına, hem iklim krizinin başlıca aktörlerinden olan sera gazı emisyonları salınımının düşürülmesi açısından ülkemizdeki atık yönetim uygulamasının artık daha kapsamlı bir politika ile benimsenmesi ve farklı türdeki kentsel katı atıkların ayrı toplanması ve geri dönüştürülmesinin teşvik edilmesi oldukça önem ve gereklilik arz etmektedir. Dolayısı ile yerel yönetimlerin atık yönetim planlarını bu hedefleri göz önüne alarak yeniden revize etmesi, planlamayı çevresel, ekonomik, sosyal, teknolojik ve yasal ölçütleri de ele alarak değerlendirmesi oldukça önemlidir. Mutlidisipliner bir düzlemde insan faktörünü de ele alarak planlanan sistemler, günümüzde şehirlerin daha yaşanabilir, hayatı kolaylaştıran, insan ve çevre faktörünü odak haline getirmiş akıllı şehirler modeline yaklaştırmaktadır.

Halihazırda gezegenimizin kendini yenileme kapasitesinden daha fazla kaynak kullanmaktayız ve bu yüzden daha az enerji, su, malzeme ve genel anlamda daha az kaynak kullanmak zorundayız.

Bütün bu öneriler ışığında bir ilçe örneğinden hareketle, ülkemizde ve dünyada yerel yönetimlerde kentsel atıkların daha sürdürülebilir bir çerçevede doğaya en az düzeyde olumsuz etki bırakmalarını, elde edilebilecek en üst düzeyde ekonomik katkı ve bu ekonomik katkının yine çevre konusunda ki yatırımlara aktarılmasının sağlanmasının ne derece önemli olduğunun vurugusu yapılmak istenmiştir. Küresel iklim krizinin etkilerini yaşadığımız şu günlerde, insanoğlu olarak dünyamızda yaratmış olduğumuz tahribatı ve zararı kısmen de olsa telafi etmeyi, gelecek nesillere ve doğada yaşayan diğer canlılara bırakabileceğimiz daha yaşanabilir bir dünyaya katkı sağlamayı beklemekte ve hedeflemekteyiz.

KAYNAKLAR

- Abduli M. A., Naghib A., Yonesi, M., Akbari, A., (2011), "Life cycle assessment (LCA) of solid waste management strategies in Tehran: landfill and composting plus landfill", *Environmental monitoring and assessment*, 178(1), 487-498.
- Ackerman F. (2000), "Waste Management and Climate Change, Local Environment", 5:2, 223-229,
- Ağdağ O.N., (1997), "Kentsel katı atıkların yönetiminde sistem analizi", 1. Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu, 237-247, Gaziantep, Türkiye, 20-22 Kasım.
- Alkan, T.,(2015), "Akıllı Kentler ya da 21yy Şehirleri", *Bilişim Dergisi*,43 (182).
- Anand S., (2010), "Solid Waste Management", 1st Edition, Mittal Samuel ILCP Press.
- Anonim, (2019), "Akıllı Şehirler Beyaz Bülteni", Çevre Şehircilik Bakanlığı, 6-132.
- Avsar Y., Uksal F., Bilgili L., (2022), "Environmental gains in the collection of packaging waste obtained in Uskudar district by changing the collection type", *Journal of the Air & Waste Management Association*, 72(3), 281-293.
- Ayberk S., (1995), "Katı Atık Ders Notları", Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmit.
- Banar M., Cokaygil Z., Ozkan, A., (2009), "Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey", *Waste management*, 29(1), 54-62.
- Bartone C.R., (1997), "Strategies for improving urban waste management: a view from the World Bank", *International Conference on Development and Environmental Impact*, Riyadh, Saudi Arabia, 21-23 September.
- Bartolozzi I., Baldereschi E., Daddi T., & Iraldo F. (2018), "The application of life cycle assessment (LCA) in municipal solid waste management", A comparative study on street sweeping services. *Journal of Cleaner Production*, 182, 455-465.
- Bay M., (2018), "Belediyelerde Atık Yönetimi ve Politikaları: Karaman Örneği", *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11(61), 769-781.
- Belien J., De Boeck L., Van Ackere J., (2011), "Municipal solid waste collection problems: A literature review", *Hub Research Papers*, 34, 1-37.
- Biliciler H., (1987), "Bornova'da Bazı Birikimlerin Katı Atıklar ve Bertaraf Yöntemleri", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Bilici, Z . ve Babahanoğlu, V.,[2018], "Akıllı Kent Uygulamaları ve Konya Örneği", *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, Vol. 9(2), 24-139.

Bilitewski B., Marek K., Hardtle G., (1994), "Waste Management", 3rd Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Bishop P. L., (2000), "Pollution Prevention, Fundamentals and Practice", McGraw-Hill, Inc., New York.

Bjarnadottir H. J., Friðriksson G. B., Johnsen T., Sletsen H., (2002), "Guidelines For the Use of LCA in the Waste Management Sector", Espoo: Nordtest).

Bjelić D., Markić D. N., Pešić Ž. Š., Sorak M., Kikanović O., Vukić L., Mihajlov A., (2017), "Environmental assessment of municipal solid waste management in Banjaluka, Bosnia and Herzegovina", *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 16(5), pp. 1161–1170.

Bogner J., Pipatti R., Hashimoto S., Diaz C., Mareckova K., Diaz L., Gregory R., (2008), "Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report", *Working Group III (Mitigation), Waste Management & Research*, 26(1), 11-32.

Bouis A., Evans A., Ketchum H., Liu H., Zegel C., (1999), "Hazardous Waste", 1st Edition, CRC Press LLC.

Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., Favoino, E., (2009), "Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions", *Waste Management & Research*, 27(8), 800-812.

Bozkurt S., (2012), "Evsel Nitelikli Katı Atıkların Geri Dönüşüm Olasılıkları ve Bertaraf Yöntemlerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.

Breuer J., Walravens N., Ballon P., Breuer J., Walravens N., & Ballon P. (2014). "Beyond Defining the Smart City: Meeting Top-Down and Bottom-Up Approaches in the Middle. *Journal of Land Use, Mobility and Environment*", 7(Article), 153–164.

Bridges J S, and Curran M A., (1994), "Life cycle assessment for municipal solid waste management. Report for 1993-1994". United States.

Brunelli M., (2015), "Introduction to the Analytic Hierarchy Process", Springer International Publishing,

Bueno G., Latasa I., Lozano P. J., (2015), "Comparative LCA of two approaches with different emphasis on energy or material recovery for a municipal solid waste management system in Gipuzkoa", *Renewable and sustainable energy reviews*, 51, 449-459.

Cadena E., Colón J., Sánchez A., Font X., Artola A., (2009) "A methodology to determine gaseous emissions in a composting plant", *Waste Management*, 29(11), 2799-2807. doi: 10.1016/j.wasman.2009.07.005.

Calabrò P. S., Pontoni L., Porqueddu I., Greco R., Pirozzi F., Malpei F., (2016), "Effect of the concentration of essential oil on orange peel waste biomethanization: Preliminary batch results", *Waste management*, 48, 440-447.

Chang Y. F., Lin C. J., Chyan J. M., Chen I. M., Chang J.E., (2007), "Multiple regression models for the lower heating value of municipal solid waste in Taiwan", *Journal of Environmental Management*, 85, 891-899.

Chang Y. J., Lin M. D., (2013), "Compromising economic cost and air pollutant emissions of municipal solid waste management strategies by fuzzy multiobjective optimization model", *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63 (6), 712-723.

Chen X, (2012), "Life Cycle Assessment (LCA) of Five Municipal Solid Waste Management Systems (MSWMS): A Case Study of Nanjing, China".

Cheng S., Chan C. W., Huang G. H., (2003), "An integrated multi-criteria decision analysis and inexact-mixed integer linear programming approach for solid waste management", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16, 543-554.

Christensen T., (Ed.), (2011), "Solid waste technology and management", John Wiley & Sons.

Christensen Thomas H. and Fruergaard Thilde (2011), "Commercial and Institutional Waste", *Solid Waste Technology & Management*, United Kingdom: Wiley.

Christensen, T. H., Andersen L., (2011), "Construction and Demolition Waste", *Solid Waste Technology & Management* (Ed. Thomas H. Christensen), United Kingdom: Wiley. Blackwell Publishing Ltd.

Clift R., Doig A., Finnveden G., (2000), "The application of life cycle assessment to integrated solid waste management: Part 1—Methodology", *Process Safety and Environmental Protection*, 78(4), 279-287.

Cobo S., Dominguez-Ramos A., Irabien A., (2017), "From linear to circular integrated waste management systems: A review of methodological approaches", *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 279-295.

Cohen B., (2013), Boyd Cohen: "The Smart City Wheel." Retrieved March 25, 2019, from <https://www.smart-circle.org/smartcity/blog/boyd-cohen-the-smart-city-wheel/>

Cobut A., Blanchet P., Beauregard R., (2013), "The environmental footprint of interior wood doors in non-residential buildings - part 1": life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production* 109:232–46

Curran M. A., "Environmental Life Cycle Assessment. New York": McGrawhill-1996

ÇŞB, (2012), “Kompostlaştırma Tesisleri İçin Alan Seçimi Ve Teknolojiler Kompost Kalitesi Ve Kompost Üretimi İçin Kriterler”, Yerel Yönetimlerin Çalışmasına Yardımcı Olacak Kılavuz Kitapçıklar, Ankara, 45-47.

ÇŞB, (1983), Belediye Kanunu No: 2872. Resmi Gazete, Tarih: 11.08.1983, Sayı: 18132.

ÇŞB, (2017), “Atık yönetimi sempozyumu 2017 sonuç bildirgesi”, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Antalya.

ÇŞB, (2015), “Belediye Atıklarının Yönetimi ve İlgili Mevzuat”, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetim Dairesi Başkanlığı, Ekim, 2015, Ankara.

ÇŞB, (2016), “Katı Atık Yönetim Eylem Planı”, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Mart 2016, Ankara.

Dağdeviren M., (2007), “Integrated Modelling The Performance Evaluation Process with Fuzzy AHP”, Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sigma, 25(3), 268-282.

Dameri R.P., (2013), “Searching for Smart City Definition: a Comprehensive Proposal”, International Journal of Computers & Technology, 11(5):2544-2551.

Del Borghi A., Gallo M., Del Borghi M., (2009), "A survey of life cycle approaches in waste management", The International Journal of Life Cycle Assessment, 14(7), 597-610.

Dinçer H., Görener A., (2011), “Analitik Hiyerarşi Süreci ve Vikor Tekniği İle Dinamik Performans Analizi: Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama”, İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi Yıl:10 Sayı:19.

Emery A., Davies A., Griffiths A., Williams K., (2007), "Environmental and economic modelling: A case study of municipal solid waste management scenarios in Wales", Resources, Conservation and Recycling, 49(3), 244-263.

European Union (EU) Parliament, (2008), “Directive 2008/98/EC of The European Parliament and of The Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives”.

Fava, J. A., and Consoli, F. J. (1996). “Application of life cycle assessment to business performance”. Environmental Life Cycle Assessment.

Foust T.D., and Gish D.D.,1996, “Future Perspective”, In Environmental Life-Cycle Assessment, ed M.A. Curran, New York: McGraw-Hill.

González J. A. A., Rossi A. (2011), “New trends for smart cities”, Competitiveness and Innovation Framework Programme.

Gönüllü T. M., (2004), “Endüstriyel Kirlenme Kontrolü” Cilt 1, 1st ed. İstanbul: Birsen yayınevi.

Gören S., Sengül A., Anıl İ., Mehan H., (2009), “Avrupa Birliği çevre yönetmeliklerine uyum sürecinde İstanbul’un entegre katı atık yönetimi uygulamaları”, Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 33-40, İstanbul, Türkiye, Haziran.

Gregory G., (1998), “Decision Analysis”, New York: Plenum Pres, 58-78.

Gülmez M., (2016), “Yerel yönetimlerde kentsel katı atık yönetimi-derince belediyesi örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

Gürsoy, O., (2019), “Akıllı Kent Yaklaşımı ve Türkiye'deki Büyükşehirler İçin Uygulama İmkanları”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Harrison C., Eckman B., Hamilton R., Hartswick P., Kalagnanam J., Paraszczak J., Williams P., (2010), “Foundations for smarter cities”, IBM Journal of research and development, 54(4), 1-16.

Hauschild M. And Wenzel H. (1998), “Environmental assesment of product”mich. Vol.-2-Scientific background. Chapman and Hall, London, UK

Hauschild M., Potting J., (2005), "Spatial differentiation in Life Cycle impact assessment-The EDIP2003 methodology", Environmental news, 80, 1-195.

Hauschild M. Z., Mark AJ H., (2015), "Introducing life cycle impact assessment." Life cycle impact assessment. Springer, Dordrecht,. 1-16.

Hauschild M. Z., (2018), "Introduction to LCA methodology", In Life cycle assessment, 59-66, Springer, Cham.

Hong J., Li, X., Zhaojie C., (2010), "Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China", Waste management, 30(11), 2362-2369.

Henriksen T., Damgaard A., and Astrup F. T., (2016), "The link between data choices and reality in life cycle assessment modelling of waste management technologies" University College London, United Kingdom Eds, ECI Symposium Series.

Hwang C.L., Yoon K., (1981), “Multiple attribute decision making: methods and applications”, New York, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Ibáñez-Forés V., Coutinho-Nóbrega C., Bovea M. D., de Mello-Silva C., Lessa-Feitosa-Virgolino J., (2018), "Influence of implementing selective collection on municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study" Resources, Conservation and Recycling, 134, 100-111.

Istrate I. R., Galvez-Martos J. L., Dufour J., (2021), "The impact of incineration phase-out on municipal solid waste landfilling and life cycle environmental performance: Case study of Madrid, Spain", *Science of the Total Environment*, 755, 142537. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142537.

Ital B., Prakash S. M., (2017) "Comparative Life Cycle Assessment of Different Municipal Solid Waste Management Options in Selected Wards of Bangalore." *International Journal of Civil Engineering and Technology* 8 (2): 300–308.

Jeswani H. K., Azapagic A., (2016), "Avaliação da sustentabilidade ambiental da recuperação de energia de resíduos sólidos urbanos no Reino Unido", *Waste Management*, 50, 346-363.

Kalantarifard A., Yang G. S., (2012), "Estimation of Methane Production by LandGEM Simulation Model from Tanjung Langsat Municipal Solid Waste Landfill, Malaysia", *Maejo Int. J. Sci. Technol.* 1(9): 481–87.

Kalkınma Bakanlığı, (2013), "Bilgi Güvenliği, Kişisel Bilgilerin Korunması ve Güvenli İnternet Ekseni Mevcut Durum Raporu", *Bilgi Toplumu Stratejisinin Yenilenmesi Projesi*, Ankara.

Kalkınma Bakanlığı, (2019), "On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)", *Türkiye Cumhuriyeti Strateji ve Bütçe Başkanlığı*, Ankara

Karakaya G., Dilaveroğlu A., (2017), "Analitik Hiyerarşi Yöntemi İle Sosyal Güvenlik Kurumu İçin Risk Yönetimi ve Değerlendirilmesi", *Vergi Sorunları Dergisi*, 348, 134-142.

Kathirvale S., Yunus M. N. M., Sopian K., Samsuddin A. H., (2003), "Energy potential from municipal solid waste in Malaysia", *Renewable Energy*, 29, 559-567.

Kaza S., Yao, L., Bhada-Tata P., Van Woerden F. (2018), "What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050", *World Bank Publications*.

Kılıç S. B., (2005), "Avrupa birliğine üye ve aday ülkelerin bazı temel makro ekonomik kriterlere göre sınıflandırılması: çok kriterli karar alma analizine dayalı bir modelin tahmini", *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14 (2), 339-352.

Konstadinos A., 2011. "Life Cycle Assessment in Municipal Solid Waste Management", *Integrated Waste Management-1*, Mr. Sunil Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-307-469-6 .

Korucu M. K., (2015), "Evsel Nitelikli Atık İşleme ve Bertarafında Dışsal Maliyetlerin Yöntem Belirleme ve Yer Seçimi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi" *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi.

Kluwer Academic Publishers, (2002), "Handbook on Life Cycle Assessment", Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Kumar A., Samadder S. R., (2017), "A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste" *Waste Management*, 69, 407-422.

Laurent A., Bakas I., Clavreul J., Bernstad A., Niero M., Gentil E., Christensen T. H., (2014), "Review of LCA studies of solid waste management systems—Part I: Lessons learned and perspectives", *Waste management*, 34(3), 573-588.

Lee A. H., Chen H. H., Kang H. Y., (2009), "Multi-Criteria Decision Making On Strategic Selection Of Wind Farms, Renewable Energy", 34(1), 120-126.

Lee S. H., Choi K. I., Osako M., Dong J. I., (2007), "Evaluation of environmental burdens caused by changes of food waste management systems in Seoul, Korea", *Science of the Total Environment*, 387(1-3), 42-53.

Liu D. H., Lipták B. G., (1999), "Hazardous Waste and Solid", 1st Edition, CRC Press LLC.

Liu G., Hao Y., Dong L., Yang Z., Zhang Y., Ulgiati S., (2017), "An emergy-LCA analysis of municipal solid waste management", *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 131-143.

Lu S., (2011), "The Smart City's systematic application and implementation in China", *International Conference on Business Management and Electronic Information*, IEEE, Guangzhou, CHINA, 116-120, 13-15 May.

Martinez-Sanchez V., Levis J. W., Damgaard A., DeCarolis J. F., Barlaz M. A., Astrup T. F., (2017), "Evaluation of externality costs in life-cycle optimization of municipal solid waste management systems", *Environmental Science & Technology*, 51(6), 3119-3127.

Massarutto A., (2015), "Economic aspects of thermal treatment of solid waste in a sustainable WM system", *Waste management*, 37, 45-57.

McDougall F.R., White P., Franke M., Hindle P., (2001), "Integrated Waste Management: A Life Cycle Inventory" (2nd ed.). Blackwell Science, Oxford Uni.

Meadows D.H., Meadows D.L. Randers J. And Behrens W., (1972), "The Limits to Growth: A report for the club of Rome's Project on the Predicament of mankind", New York : Universe Books

Menke D. M., Davis G. A., Vigon B. W., (1996), "Evaluation of life-cycle assessment tools", Gatineau, Canada: Environment Canada.

Modestra J. A., Matsakas L., Rova U., Christakopoulos P., (2022), "Prospects and trends in bioelectrochemical systems: Transitioning from CO₂ towards a low-carbon circular bioeconomy", *Bioresource Technology*, 364, 128040.

“OECD Çevresel Performans İncelemeleri: Türkiye”, (2019), Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Örselli E., Akbay C., (2019), “Teknoloji ve Kent Yaşamında Dönüşüm: Akıllı Kentler”,Uluslararası Yönetim Akademi Dergisi,C.2,S.1 , 228-241.

Öztürk İ., (2010), “Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları”, 1. Baskı, Seçkin Yayıncılık.

Öztürk İ., Arıkan O., Altınbaş M., Alp K., Güven, H., (2015), “Katı atık geri dönüşüm ve arıtma teknolojileri el kitabı”, 1. Baskı, Türkiye Belediyeler Birliği.

Pachauri R. K., Reisinger A., (2008), "Climate change 2007. Synthesis report", Contribution of Working Groups I, II and III to the fourth assessment report.

Palabıyık H., Altınbaş D., (2004), “Kentsel Katı Atıklar ve Yönetimi – Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politik ve Yönetimsel Perspektifler”, 1. Baskı, Beta Yayınevi.

Palacio C. E., Santos J. J. C. S., Renó M. L. G., Júnior J. C. F., Carvalho M., Reyes A. M. M., Orozco D. J. R., (2019), "Municipal solid waste management and energy recovery", Energy Conversion-Current Technologies and Future Trends.

Parkes O., Lettieri P. and Bogle I. D. L. (2015) “Life cycle assessment of integrated waste management systems for alternative legacy scenarios of the London Olympic Park”, *Waste Management*, 40, pp. 157–166. doi: 10.1016/j.wasman.2015.03.017.

Pearce D and Turner R.K. (1994), “Economics and solid waste mangment in the devoloping World”, CSERGE Working Paperr WM94-04. The Centre For Social and Economic Research On The Global Environment, Norwich UK.).

Petit-Boix A., Llorach-Massana P., Sanjuan-Delmás D., Sierra-Pérez J., Vinyes E., Gabarrell X., Sanyé-Mengual E., (2017), "Application of life cycle thinking towards sustainable cities: A review", *Journal of cleaner production*, 166, 939-951.

Pires A., Martinho G., Chang N. B., (2011), "Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques", *Journal of environmental management*, 92(4), 1033-1050.

Pre, various authors. 2019. “SimaPro Database Manual Methods Library.” http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/nl/deed.en_US.

Ramanathan R., (2006), “Data Envelopment Anaysis For Weight Derivation and Aggregation in The Analytic Hierarchy Process”, *Computers & Operations Research*, Vol. 33, ss. 1289–1307.

Rana R., Ganguly R., Gupta A. K., (2019), "Life-cycle assessment of municipal solid-waste management strategies in Tricity region of India", *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21(3), 606-623.

Reference Document on the best available techniques for waste incineration, (2006), “European Commission Integrated Pollution Prevention and Control”, Brüksel, 78.

ResGaz 1, (1982), Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, 9 Ocak 1982 tarih ve 17844 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 2, (1983), Çevre Kanunu, 11 Ağustos 1983 tarih ve 18132 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 3, (2015), Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2 Nisan 2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 4, (1984), Büyükşehir Belediyeleri Kanunu, 9 Temmuz 1984 tarih ve 18453 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 5, (2010), Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 26 Mart 2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete

ResGaz 6, (2011), Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 24 Ağustos 2011 tarih ve 28035 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 7, (2012), Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği, 22 Mayıs 2012 tarih ve 28300 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 8, (2015), Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği, 5 Haziran 2015 tarih ve 29378 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 9, (2017), Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 25 Ocak 2017 tarih ve 29959 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 10, (2019), Atık Yağların Yönetimi Yönetmeliği, 21 Aralık 2019 tarih ve 30985 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 11, (2004), Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 18 Mart 2004 tarih ve 25406 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 12, (2004), Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği, 31 Ağustos 2004 tarih ve 25569 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 13, (2006), Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği, 25 Kasım 2006 tarih ve 26357 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 14, (2019), Sıfır Atık Yönetmeliği, 14 Temmuz 2019 tarih ve 30829 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 15, (2021), Ambalaj Atıkları Kontrol Yönetmeliği, 25 Nisan 2022 tarih ve 31523 sayılı Resmi Gazete.

Rives J., (2010), "LCA comparison of container systems in municipal solid waste management", *Waste Management*, 30 (6): 949-957.

Saaty T. L., Tran L. T., (2007), "On The Invalidity of Fuzzifying Numerical Judgments in The Analytic Hierarchy Process", *Mathematical and Computer Modelling*, 46, 966.

Saaty T., (1980), "The Analytic Hierarchy Process", Mc Graw Hill, New York.

Salihoğlu G., Poroy Z., Salihoğlu N., (2019), "Life cycle assessment for municipal waste management: Analysis for Bursa", *Pamukkale University journal of engineering sciences*, 25(6).

Santibañez-Aguilar J. E., Ponce-Ortega J. M., González-Campos J. B., Serna-González M., El-Halwagi M. M., (2013), "Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste", *Waste management*, 33 (12), 2607-2622.

Satty T. L., (2004), "Decision Making-The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP)", *Journal of systems science and systems engineering*, 13(1), 1-35.

Scientific Applications International Corporation, (2006), "Life Cycle Assessment: Principles and Practice", Cincinnati: U.S. EPA.

Shen Y., C., Chang S., H., Lin G., Yu H., C., (2010), "A Hybrid Selection Model For Emerging Technology", *Technological Forecasting & Social Change*, 77, 156.

Sınmaz S., (2013), "Yeni gelişen planlama yaklaşımları çerçevesinde akıllı yerleşme kavramı ve temel ilkeleri", *Megaron*, 8(2), 76.

Sipahi S., Timor M., (2010), "The Analytic Hierarchy Process And Analytic Network Process: An Overview Of Applications", *Management Decision*, 4(5), 775-808.

Solano E., Dumas R. D., Harrison K., Ranjithan S. R., Barlaz M. A., Brill E. D., (2002b), "Life-cycle-based solid waste management II: illustrative applications", *Journal of Environmental Engineering*, 128, 993-1005..

Stanisavljevic N., Levis J. W., Barlaz M. A., (2017), "Application of a Life Cycle Model for European Union Policy-Driven Waste Management Decision Making in Emerging Economies", *Journal of Industrial Ecology*, 22(2), 341-355.

Stranddorf H.K., Hoffmann L., Schmidt A., 2003, "LCA Technical Report: Impact categories, normalisation and weighting in LCA, update on selected EDIP97-data", Edited by FORCE Technology/dk-TEKNIK.

Suess M. J., Ugurlu A., (1994), "Katı atık yönetimi", Ankara, Çevre Mühendisleri Odası Yayını, 32(1), 1-2.

Şahin S., (2017), "Kamu İhale Usulleri", Kuram Kitabevi, İstanbul.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2017), “Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı 2023”, Ankara.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2019), “Ulusal Akı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı 2020-2023”, Ankara.

Talu N., (2006) “Yerel Çevre Eylem Planları Türkiye Strateji Raporu”, Bölgesel Çevre Merkezi REC Türkiye Yayını, Ankara.co

Tayyar N., Akcanlı F., Genç E., Erem I., (2014), ” BİST’e Kayıtlı Bilişim ve Teknoloji Alanında Faaliyet Gösteren İşletmelerin Finansal Performanslarının Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Gri İlişkisel Analiz (GİA) Yöntemiyle Değerlendirilmesi”, Muhasebe ve Finansman Dergisi, (61), 19-40.

Tchobanoglous G., Eliassen R., Theisen H., (2003), “Solid Waste Management”, McGraw-Hill, Mc Graw Hill Inc., Singapore.

Tchobanoglous G., Kreith F., (2002), “Handbook of solid waste management”, 2nd Edition, McGraw-Hill.

Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S., (1993), “Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues”, 3th Edition, McGraw-Hill. <https://lib.ugent.be/catalog/rug01:000312687>.

Tekin M., (1996), “Üretim Yönetimi”, Arı Ofset, Konya.

Thi Kim Oanh L., Bloemhof-Ruwaard J. M., Van Buuren J. C., Van Der Vorst J. G., Rulkens W. H. (2015), “Modelling and evaluating municipal solid waste management strategies in a mega-city: The case of Ho Chi Minh City”, Waste Management & Research, 33 (4), 370-380.

Timor M., (2010), “Yöneylem Araştırması”, Türkmen Kitabevi, İstanbul.

Timor M., (2011), “Analitik Hiyerarşi Prosesi”, Türkmen Kitabevi, İstanbul.

Trulli E., Ferronato N., Torretta V., Piscitelli M., Masi S., Mancini I., (2018), "Sustainable mechanical biological treatment of solid waste in urbanized areas with low recycling rates" Waste Management, 71, 556-564.

TS EN ISO 14040, (2006), “Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework.”

Türkeş M. (2006). “Küresel iklimin geleceği ve Kyoto Protokolü”, Jeopolitik, 29, 99-107.

Türkiye Belediyeler Birliği, (2011), “Çevre Kanunu ve Katı Atık Yönetimi ile ilgili Yönetmelikler”, Türkiye Belediyeler Birliği Yayını, Ankara, 2011.

Türkiye Cumhuriyeti Kalkınma Bakanlığı, (2013), Bilgi ve İletişim Teknolojileri Destekli Yenilikçi Çözümler Eksenli Mevcut Durum Raporu, Şubat.

Ulucan A., (2004), “Yöneylem Araştırması: İşletmecilik Uygulamalı/Bilgisayar Destekli Modelleme”, Siyasal Kitabevi, Ankara.

USEPA- United States Environmental Protection Agency, (2005), “Landfill Gas Emissions Model. United States Environmental Protection Agency, Version 3.02 User’s Guide,” no. May: 48. <http://www3.epa.gov/ttnca1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>.

Vaidya O. S., and Kumar S. (2006), “Analytic Hierarchy Process: an Overview of Applications”, European Journal of operational research, 169(1), 1-29.

Van Duinen M., Deisl N., (2009), “Handbook to Explain LCA Using the GaBi EDU Software Package”, Boston, PE Americas.

Vigon B. W., Tolle D. A., Cornaby B. W., Latham H. C., Harrison C. L., Boguski T. L., Hunt R. G., and Sellers J. D., (1993), “Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles”, U.S. EPA, EPA/600/R-92/245, Cincinnati, OH.

Wang H., Che Z., H., Wu C., (2010), “Using Analytic Hierarchy Process And Particle Swarm Optimization Algorithm For Evaluating Product Plans”, Expert Systems with Applications, 37, 1024.

Web 1, <http://anahtar.sanayi.gov.tr/tr/news/kentlerin-e-donusumu-akilli-kentler/416>, (Erişim Tarihi: 05/09/2019)

Web 2, <http://www.akillisehirler.org/wp-content/uploads/2016/08/Xsights-Ak%C4%B1l%C4%B1-KentlerMasa-Ba%C5%9F%C4%B1-%C3%87al%C4%B1%C5%9Fmas%C4%B1.pdf>, (Erişim Tarihi: 05/09/2019).

Web 3, (2019), <https://www.ebelediye.info/dosya/belediyelerde-kati-atik-yonetimi>, (Erişim Tarihi: 05/08/2019).

Web 4, <https://www.envacgroup.com/> (Erişim Tarihi: 15/07/2021).

Web 5, <https://smartcity.press/san-francisco-most-innovative-city-in-us/> (Erişim Tarihi: 15/07/2021).

Web 6, <https://smartcitysweden.com/focus-areas/climate-environment/waste-management/> (Erişim Tarihi: 21/09/2021).

Web 7, <https://www.theworldcounts.com/challenges/planet-earth/state-of-the-planet/world-waste-facts/story>, (Erişim Tarihi: 05/09/2019).

Web 8, <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management#:~:text=In%202020%2C%20the%20world%20was,kilograms%20per%20person%20per%20day> (Erişim Tarihi: 10/08/2020).

Web 9, www.pre.nl, (Erişim Tarihi: 10/08/2020).

Web 10, www.umberto.de, (Erişim Tarihi: 10/08/2020).

Web 11, www.gabi-software.de, (Erişim Tarihi: 10/08/2020).

Web 12, <https://www.openlca.org/>, (Erişim Tarihi: 10/08/2020).

Web 13 www.ekobilan.com/ukteam.ph, (Erişim Tarihi: 10/08/2020).

Web 14, <http://www.umraniye.gov.tr/umraniyenin-tarihi-20.09.2021>, (Erişim Tarihi: 10/08/2020).

Web 15, <https://www.afyon.bel.tr/news/1/8570/entegre-kati-atik-bertaraf-tesisinde-sona-gelindi.aspx>, (Erişim Tarihi: 17/03/2021).

Web 16, <https://www.dunya.com/sirketler/arcelikten-sektorun-ilk-geri-donusum-tesis-haberi-287696>, (Erişim Tarihi: 17/03/2021).

Xin-gang Z., Yuan-feng Z., Yan-bin L., (2019), "The spillovers of foreign direct investment and the convergence of energy intensity", Journal of cleaner production, 206, 611-621.

Yay, A. S. E., (2015), "Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya", Journal of Cleaner Production, 94, 284-293.

Yıldız S., Ölmez E., Kiriş A., (2009), "Kompost teknolojileri ve İstanbul'daki uygulamaları", Kompostlaştırma sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı, İstanbul, 18-19.

Yildiz S., Yaman C., Demir G., Ozcan H. K., Coban A., Okten H. E., Goren S., (2013), "Characterization of municipal solid waste in Istanbul, Turkey", Environmental Progress & Sustainable Energy, 32 (3), 734-739.

Zhou P., Ang B. W., Poh K. L., (2006), "Decision analysis in energy and environmental modeling: An update", Energy, 31 (14), 2604–2622.

Zhou Z., Tang Y., Chi Y., Ni M., Buekens A., (2018), "Waste-to-energy: A review of life cycle assessment and its extension methods", Waste Management & Research, 36(1), 3-16.

ÖZGEÇMİŞ

Serpil ÖZTAŞ, ortaokul ve liseyi Gebze Anadolu Lisesi'nde okudu. 2008 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2005-2006 döneminde Danimarka'nın Odense şehrinde Erasmus öğrencisi olarak bir yıl süre ile Çevre Mühendisliği alanında öğrenim gördü. 2010 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansını tamamladı. 2010-2015 yılları arasında çevre danışmanlık alanında özel sektörde çalıştı. 2015 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği alanında doktora eğitimine başladı. Bu süreçte Akıllı Şehir uzmanlık sertifikasına sahip oldu. 'Sürdürülebilir Akıllı Şehirler' alanında YÖK 100/2000 bursu almaya hak kazandı ve dört yıl süre ile desteklendi. Sonrasında Marmara Belediyeler Birliği'nden halen devam etmekte olan doktora eğitim bursunu almaya hak kazandı. Bu süreçte 2019 yılında GTÜ'den tez çalışmasına yönelik 2019-A-102-20 nolu BAP proje desteği alınmıştır. Çeşitli ulusal ve uluslararası kongrelerde Yaşam Döngüsü Analizi, Döngüsel Ekonomi, Analitik Hiyerarşi Prosesi, Sıfır Atık, Akıllı Şehirler, Sürdürülebilirlik konuları üzerine sunumlar ve bildiri metinleri bulunmaktadır. Bu alandaki araştırma çalışmaları devam etmektedir.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Öztaş S., Erses Yay S., Bektaş N., (2022), “Evaluating municipal solid waste management using life cycle analysis: a case study”, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 44:4, 9255-9271, DOI: 10.1080/15567036.2022.2128938

Ek B: Doktora Süresince Katılınmış Olan Seminer ve Sempozyumlar

Öztaş S., Bektaş N., (2017), “Çevresel Sürdürülebilirliği Olan Akıllı Şehirler”, GTU Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, Kocaeli.

Öztaş S., Bektaş N., (2018), “Sustainable Solid Waste Management Applications for Smart City Concept”, YTU Eurasia Waste Management, İstanbul.

Öztaş S., Bektaş N., (2018), “Kentsel Katı Atıkların Ekonomiye Geri Kazanımının Önemi”, 1.Çevre Mühendisliği Kaynak Geri Kazanımı Uluslararası Kongresi, İstanbul.

Bektaş N., Öztaş S., (2019), “Döngüsel Ekonomi Ve Sıfır Atık Yaklaşımı”, Sürdürülebilir Atık Yönetimi, Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sisteminde Yerel Yönetimler Sempozyumu, Ankara.

Öztaş S., Bektaş N., (2019), “The Use of LCA in Environmental Engineering”, 1st International Conference on Environment, Technology and Management, ICETEM, Niğde.

Öztaş S., Bektaş N., (2019), “Kentsel Katı Atıkların Ekonomiye Geri Kazandırılmasının Önemi”, XIII. Ulusal- I. Uluslararası Çevre Mühendisliği Kongresi, GTU, Kocaeli.

Öztaş S., Bektaş N., (2019), “Sıfır Atık Yaklaşımı ile Kentsel Katı Atık Yönetimi Şehircilik ve Mutlu Şehirler”, Kartepe Zirvesi, Uluslararası Akademik Bildirler El Kitabı, Kocaeli

Öztaş S., Bektaş N., (2020), “The Use of Decision Support Systems for Evaluating Municipal Solid Waste Management Options”, 5th Eurasia Waste Management Symposium, YTU.

Bektaş N., Öztaş S., (2021), “Akıllı Şehirlere Genel Bakış ve Çevre Uygulamaları”, Kocaeli BB-Akıllı Şehir Çalıştayı, Kocaeli.

Öztaş S., (2021), “İklim Adaleti için Yeniden ve Birlikte”, “Yerel Yeşil Politikayı Veriyle Yeniden Düşünmek”, “Değer Zincir Analizi Yaklaşımı ile Atık Yönetiminde Çevresel Etki Değerlendirmesi” konulu oturumların konuşma raporlamaları, MARUF21 (Marmara Urban Forum, Panel Kitabı, İstanbul.

Demirkaya Z., Öztaş S., Bektaş N., (2021), “Evaluation of Different Solid Waste Management Alternatives of Gebze District Using Life Cycle Analysis”, 5th International Conference on Natural Resources and Sustainable Environmental Management, NRSEM, Kıbrıs.

Öztaş S., Bektaş N., (2021), “Sustainable Solid Waste Management with Zero Waste Approach”, 5th International Conference on Natural Resources and Sustainable Environmental Management, NRSEM, Kıbrıs.

Öztaş S., Bektaş N., (2022), “Evaluation of the Environmental Dimensions of Sustainability in Terms of Businesses”, 6th Eurasia Waste Management Symposium YTU, İstanbul.

Ek C: Landgem Program Rapor Özeti



Şekil C1.1: LandGEM açılış ekranı.

- Summary Report

Description/Comments:

First-Order Decomposition Rate Equation:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_o \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad (C1.1)$$

Where;

Q_{CH_4} = annual methane generation in the year of the calculation ($m^3/year$)

i = 1-year time increment

$n = (\text{year of the calculation}) - (\text{initial year of waste acceptance})$

$j = 0.1\text{-year time increment}$

$k = \text{methane generation rate (year}^{-1}\text{)}$

$L_o = \text{potential methane generation capacity (m}^3\text{/Mg)}$

Input Review

- Landfill Characteristics

Landfill Open Year 2019

Landfill Closure Year (with 80-year limit) 2020

Actual Closure Year (without limit) 2020

Have Model Calculate Closure Year? No

Waste Design Capacity

- Model Parameters

Methane Generation Rate, k 0,065 year^{-1}

Potential Methane Generation Capacity, 84 $\text{m}^3\text{/Mg}$ L_o

NMOC Concentration 600 ppmv as hexane

Methane Content 50 $\% \text{ by volume}$

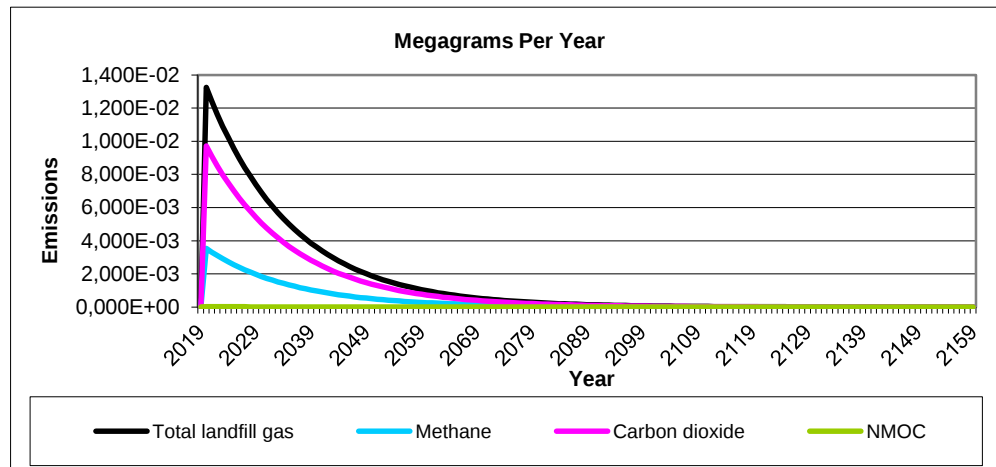
- Gases / Pollutants Selected

Gas / Pollutant #1: Total landfill gas

Gas / Pollutant #2: Methane

Gas / Pollutant #3: Carbon dioxide

Gas / Pollutant #4: NMOC



Şekil C1.2: Yıl bazında oluşan gazların azalış grafiği.