

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL ORGANİK ATIK BERTARAF YÖNTEMLERİNİN YAŞAM  
DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE İNCELENMESİ: ANTALYA ÖRNEĞİ**

**Kemal AKTAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2015**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL ORGANİK ATIK BERTARAF YÖNTEMLERİNİN YAŞAM  
DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE İNCELENMESİ: ANTALYA ÖRNEĞİ**

**Kemal AKTAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(Bu tez Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından  
2014.02.0121.017 nolu proje ile desteklenmiştir.)**

**2015**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL ORGANİK ATIK BERTARAF YÖNTEMLERİNİN YAŞAM  
DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE İNCELENMESİ: ANTALYA ÖRNEĞİ**

**Kemal AKTAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 11/12/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bülent TOPKAYA .....

Prof. Dr. Osman YALDIZ .....

Yrd. Doç. Dr. Zerrin GÜNKAYA .....

## ÖZET

### KENTSEL ORGANİK ATIK BERTARAF YÖNTEMLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE İNCELENMESİ: ANTALYA ÖRNEĞİ

KEMAL AKTAŞ

**Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Danışman: Prof. Dr. Bülent TOPKAYA**  
**Aralık 2015, 52 sayfa**

Son yüzyılda dünya nüfusu yaklaşık olarak üç katına çıkmıştır. Bununla birlikte katı atık üretimine büyük etkisi olan tüketici alışkanlıkları, gelir ve eğitim durumu da önemli ölçüde değişmiştir. Atık üretimindeki ve kompozisyonundaki bu kritik değişiklikler katı atık sorununu yönetmeyi zorlaştırmaktadır. Katı atığın yönetilmesi, artan çevre ve sağlık bilinci ile birlikte belediyeler tarafından çözülmesi gereken öncelikli sorun haline gelmiştir. Bu tez çalışmasında, Antalya ilinde oluşan organik atıklardan alınan örneklerden atığın nem tayini, elementel ve ağır metal analizi yapılmıştır. Elde edilen veriler ve literatürden alınan bilgiler ile senaryolar oluşturulmuş, Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) metodolojisi kullanılarak çevresel etkileri belirlenmiştir. Yaşam döngüsü analizini uygulayarak, atık bertaraf senaryolarını oluşturmak ve etkileri karşılaştırmak için GaBi 6 yazılımı kullanılmıştır. Düzenli depolama, kompostlama ve anaerobik ayrıştırma oluşturulan senaryolardır. Senaryo sınırları atığın üretiminden tesise getirilmesine kadar olan kısmı kapsamamaktadır. Oluşturulan senaryoların YDA ile değerlendirilmesi sonucu kompostlama yöntemi belirlenen etki kategorilerinde çevreye daha az zarar veren yöntem olarak belirlenmiştir. YDA metodolojisinin amacı seçilen yöntemlerin önceden belirlenmiş olan etki kategorilerinde karşılaştırılmasıdır. Yalnızca belirli etki kategorilerinde karşılaştırılan yöntemlerden elde edilen sonuçlar YDA metodolojisinin son ve yoruma açık bölümü ile değerlendirilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Sürdürülebilir atık yönetimi, Organik atık, Düzenli depolama, Kompostlama, Anaerobik Ayrıştırma, Yaşam döngüsü analizi (YDA).

**JÜRİ:** Prof. Dr. Bülent TOPKAYA (Danışman)  
Prof. Dr. Osman YALDIZ  
Yrd. Doç. Dr. Zerrin GÜNKAYA

## **ABSTRACT**

### **EVALUATION OF MUNICIPAL ORGANIC WASTE MANAGEMENT USING LIFE CYCLE ASSESSMENT: CASE STUDY OF ANTALYA**

**KEMAL AKTAS**

**M.Sc. Thesis in Environmental Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Bulent TOPKAYA**

**December 2015, 52 pages**

In the last century, the world population has tripled. And also consumer habits, welfare and education status which have a big impact on solid waste production changed dramatically. Managing solid waste problem is getting difficult due to critical changes in waste production and composition. Solid waste management (SWM) has become more important municipal issue because of the rise of environmental and health awareness. In this thesis, determination of moisture, elemental and heavy metal analysis of waste samples in Antalya municipality are made. These data and literature are used to create scenarios and determine environmental impact with using Life Cycle Assessment (LCA) methodology. In order to apply LCA, create waste disposal scenarios and compare result GaBi 6 software are used. Landfill, composting and anaerobic digestion are scenarios which are created. Scenario limits doesn't include production and transportation of the waste. According to chosen impact categories, the scenario which has the least impact on environment is composting through evaluation of LCA. The results from methods which are compared on specified impacts categories are evaluated through last and open to interpretation part of LCA.

**KEYWORDS:** Sustainable waste management, Organic waste, Landfill, Composting, Anaerobic Digestion, Life Cycle Assessment (LCA).

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Bulent TOPKAYA (Supervisor)

Prof. Dr. Osman YALDIZ

Asst. Prof. Dr. Zerrin GUNKAYA

## ÖNSÖZ

Türkiye’de oluşan katı atıkların yaklaşık olarak % 98’i depolamaya gitmektedir ve bu katı atıkların % 50’si organik atıklardan oluşmaktadır (TÜİK 2010). Karbon bakımından zengin bir kaynağın, enerji üretiminde ya da materyal dönüşümünde kullanılması yerine depolanması, sızıntı suyu ve sera gazları oluşturmaktadır. Oluşan sızıntı suyu, içeriği sebebiyle arıtılması zor ve maliyeti yüksektir. Ayrıca, katı atıkların depolanması küresel ısınmaya etkisi olan ve ozon tabakasına zarar veren gazların oluşumuna yol açmakta ve yaşam koşullarını zorlaştırmaktadır. Bu tez kapsamında, organik atıkların bertaraf edilmesi için düzenli depolama, kompostlama ve anaerobik ayrıştırma senaryoları karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda en uygun senaryo belirlenmiş ve katı atık yönetimi için öneriler sunulmuştur.

Bu tezin şekillenmesinde ve tamamlanmasında her türlü teorik desteği ve laboratuvarında bütün imkanları sağlayan, çalışmanın tüm aşamalarında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, çalışmaktan gurur duyduğum danışman hocam Prof. Dr. Bülent TOPKAYA’ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Değerlendirme ve tavsiyeleri ile tezimin tamamlanmasını sağlayan tez jürimde bulunan Prof. Dr. Osman YALDIZ ve Yrd. Doç. Dr. Zerrin GÜNKAYA’ya teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ayça ERDEM ve Yrd. Doç. Dr. Gönül TUĞRUL İÇEMER’e teşekkür ederim.

Tecrübesiyle bana yol gösteren ve tezimin tamamlanmasında yardımcı olan Dr. İ. Ethem KARADİREK, Dr. Murat VAROL, Dr. Güray DOĞAN ve Dr. Mustafa YILDIRIM’a teşekkür ederim.

Tüm kararlarımda beni destekleyen ve bugüne ulaşmamı sağlayan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına, 2210-C Öncelikli Alanlara Yönelik Yüksek Lisans Burs Programı (1649B02140376) ile destek veren TÜBİTAK’a teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI.....	2
2.1. Kentsel Katı Atık Yönetimi.....	2
2.1.1. Entegre katı atık yönetimi.....	3
2.1.2. Katı atığın kaynağı ve kompozisyonu.....	5
2.1.3. Katı atığın toplanması ve taşınması.....	7
2.2. Organik Atık Yönetimi.....	9
2.2.1. Depolama.....	11
2.2.1.1. Düzenli depolama.....	11
2.2.1.2. Vahşi depolama.....	12
2.2.2. Kompostlama.....	12
2.2.3. Anaerobik ayrıştırma.....	15
2.3. Yasal Mevzuat.....	18
2.3.1. Ulusal mevzuat.....	18
2.3.2. Avrupa birliği (AB) mevzuatı.....	19
2.4. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA).....	20
2.4.1. Amaç ve kapsam.....	21
2.4.2. Envanter analizi.....	22
2.4.3. Etki analizi.....	23
2.4.4. Yorumlama.....	24
2.4.5. Yaşam döngüsü analizi (YDA) ile ilgili kullanılan yazılımlar.....	24
2.5. Yaşam Döngüsü Analizi ve Atık Yönetimi İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	25
2.6. Tez çalışmasının literatürdeki yeri.....	30
3. MATERYAL VE METOT.....	31
3.1. Atık Örneklerinin Alınması ve Saklanması.....	31
3.2. Amaç ve Kapsam.....	31
3.3. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi.....	32
3.3.1. Deneysel çalışmalar.....	32
3.3.1.1. Nem içeriği analizi.....	32
3.3.1.2. Ağır metal analizi.....	32
3.3.1.3. Elementel analiz.....	32
3.3.2. Atık formülünün oluşturulması.....	32
3.4. Etki analizi.....	33
4. BULGULAR.....	34
4.1. Nem Tayini Sonuçları.....	34
4.2. Ağır Metal Analizi Sonuçları.....	34
4.3. Elementel Analiz Sonuçları.....	35
4.4. Enerji İçeriği Analizi.....	35
4.5. Yaşam Döngüsü Analizi Envateri.....	36

4.5.1. Düzenli depolama envanteri.....	36
4.5.2. Kompostlama envanteri.....	37
4.5.3. Anaerobik ayrıştırma envanteri.....	39
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	41
6. KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ	



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

%	Yüzde
°C	Derece santigrat
Ag	Gümüş
C/N	Karbon azot oranı
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
CO	Karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksit
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
H	Hidrojen
K	Potasyum
Kg	Kilogram
Kwh	Kilovatsaat
Mg	Magnezyum
ML/g	Mililitre/gram
VS	Uçucu katı madde
Mn	Mangan
N	Azot
Na	Sodyum
NH <sub>x</sub>	Azot hidrojen bileşikleri
NO <sub>x</sub>	Azot oksit bileşikleri
Ni	Nikel
O	Oksijen
P	Fosfor
pH	pH değeri
Pb	Kurşun
S	Kükürt
SO <sub>2</sub>	Kükürt dioksit
UV	Ultraviyole
VOC <sub>s</sub>	Uçucu organik bileşikler
Zn	Çinko

## **Kısaltmalar**

AB	Avrupa Birliği
ARGE	Araştırma ve geliştirme
COR	Kritik operasyon yönetimi
DEA	Veri geliştirme analiz
EKY	Entegre katı atık yönetimi
EPA	evre koruma ajansı
ISO	Uluslararası standart organizasyonu
JRC	Birlemiř araştırma merkezi
KKA	Kentsel katı atık
NLGP	Lineer olmayan hedef programı
RDF	Artık yakıt
REPA	Kaynak ve evre profil analizleri
TKM	Toplam katı madde
TS	Türk standartları
TÜİK	Türkiye istatistik kurumu
UES	Ulusal evre stratejisi
UKM	Uçucu katı madde
YDA	Yaşam döngüsü analizi
YDE	Yaşam döngüsü envanteri
YDEA	Yaşam döngüsü etki analizi
WRAP	İngiltere atık ve kaynak programı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Atık yönetim hiyerarşisi.....	4
Şekil 2.2. Kişi başına düşen yıllık (kg) atık üretimi.....	6
Şekil 2.3. Farklı gelir seviyelerine sahip ülkelerin atık kompozisyonu.....	6
Şekil 2.4. Düzenli depolama sahası detaylı çizimi.....	11
Şekil 2.5. Anaerobik ayrıştırma prosesi akış şeması.....	15
Şekil 2.6. Anaerobik ayrıştırmanın mekanizması.....	16
Şekil 2.7. Yaşam döngüsü analizi aşamaları.....	21
Şekil 2.8. Yaşam döngüsü analizi çerçevesi.....	22
Şekil 4.1. Atık örneklerinin yüzdesel olarak nem tayini sonuçları.....	34
Şekil 5.1. Yaşam döngüsü analizi karakterizasyon sonuçları.....	42
Şekil 5.4. Oluşturulan senaryoların kaynak kullanımı ve emisyonların dağılımı.....	43

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Katı atığın kendi içinde sınıflandırılması.....	2
Çizelge 2.2. Depo gazından enerji üretim tesisleri.....	12
Çizelge 2.3. Aerobik kompostlama proseslerinin özellikleri.....	13
Çizelge 2.4. Yaşam döngüsü analizi etki kategorileri.....	23
Çizelge 3.1. Atık bertaraf yöntemleri senaryolarının içeriği.....	31
Çizelge 4.1. Ağır metal analizi sonuçları.....	34
Çizelge 4.2. Elementel analiz sonuçları.....	35
Çizelge 4.3. Organik atığın enerji içeriğinin hesaplanması.....	35
Çizelge 4.4. Yaşam döngüsü etki analizi düzenli depolama tesisi envanteri.....	36
Çizelge 4.5. Yaşam döngüsü etki analizi kompost tesisi envanteri.....	38
Çizelge 4.6. Yaşam döngüsü etki analizi anaerobik ayrıştırma tesisi envanteri.....	39
Çizelge 5.1. Yaşam döngüsü etki analizi sonuçları.....	42
Çizelge 5.2. Yaşam döngüsü etki analizi normalizasyon sonuçları.....	43

## 1. GİRİŞ

Katı atık, insan ve hayvan aktivitelerinden oluşan istenmeyen ve kullanışsız olarak atılan katılardır (Tchobanoglous vd 1993). Organik atık ise park ve bahçe atıkları, mutfak ve gıda atıkları ve gıda sanayinden gelen atıklardır (JRC 2011). TÜİK 2010 verilerine göre Türkiye’de oluşan yaklaşık 26 milyon ton katı atığın 14 milyon tonu organik atıktır ve bu atıklardan yılda yaklaşık olarak 200 bin tonu kompost olmaktadır. Yüzdesel olarak ise, % 1’inin kompost tesisine gönderildiği, % 98’inin gömüldüğü ve kalan %1’in de diğer yöntemlerle uzaklaştırdığı görülmektedir. Antalya bazında baktığımızda oluşan yaklaşık 900 bin ton katı atığın; yaklaşık olarak 600 bin tonu düzenli depolamaya, 240 bin tonu belediye çöplüklerine, 55 bin tonu kompost tesisine götürülerek, 2 bin tonu açıkta yakılarak ve 3 bin tonu da diğer yöntemlerle bertaraf edilmektedir (TÜİK 2010).

Karbon bakımından zengin bir kaynağın, enerji üretiminde ya da materyal dönüşümünde kullanılması yerine depolanması, sızıntı suyu ve sera gazları oluşturmaktadır. Oluşan sızıntı suyu, içeriği sebebiyle arıtılması zor ve maliyeti yüksektir. Ayrıca, katı atıkların depolanması küresel ısınmaya etkisi olan ve ozon tabakasına zarar veren gazların oluşumuna yol açmakta ve yaşam koşullarını zorlaştırmaktadır. Düzenli depolamaya alternatif olarak organik atıklardan kompost yapılabilir ya da anaerobik ayrıştırma yapılarak elde edilen biyogazdan elektrik enerjisi üretilebilir.

Eski adıyla Çevre ve Orman Bakanlığı 2006 yılında yayınladığı AB Entegre Çevre Uyum Stratejisinde (UÇES); katı atık tesislerinin gerekli kapasiteyi oluşturmasını ve uygun yöntemlerin kullanılarak katı atıkların geri kazanımını sağlaması gerektiğini belirtmiştir. Bu tez çalışmasında, katı atıkların bertaraf yöntemlerinin karşılaştırılması için oluşturulan senaryolardan, belirlenen etki kategorilerinde çevreye en az zarar veren yöntem seçilecektir. Bu 2023 yılına kadar yapılması planlanan 731 milyon avro yatırımın iyi şekilde finanse edilmesini sağlayacaktır (Çevre ve Orman Bakanlığı 2006).

Yaşam döngüsü analizi (YDA) bir proses ya da birçok prostesten oluşan bir sistemin üretimin ilk aşamasından tüketimin son aşamasına kadar, beşikten mezara, çevresel etkilerinin bulunmasını sağlayan bir yöntemdir. Yaşam döngüsü analizi metodolojisi bir prosesin üretim, kullanım ve bertaraf aşamalarını ve bu aşamalardaki proseslerin girdilerini ve çıktılarını hesaplayarak çevresel etki değerlendirmesi yapar. Bir proses ya da bir sistemin etkileri YDA sistemi içinde bulunan etki kategorileri kapsamında değerlendirilir.

Bu tez çalışmasında, yaşam döngüsü analizi ile Antalya’da karışık toplanan ve hiçbir işlem yapılmadan düzenli depolama sahasında gömülerek bertaraf edilen kentsel organik atıkların sürdürülebilir yönetimi için en uygun yöntemin bulunması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, mevcut yöntemlerden, düzenli depolama, kompostlama ve anaerobik ayrıştırma yöntemleri belirlenen etki kategorileri bazında karşılaştırmış ve çevreye verilen olumsuz etkiler belirlenmiştir.

## 2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

### 2.1. Kentsel Katı Atık Yönetimi

İlkel çağlardan beri insanlar ve hayvanlar dünyadaki kaynakları kullanarak yaşamlarını sürdürmekte ve atık üretmektedir. İlk çağlarda insanlık nüfusunun az ve kullanılmayan arazinin fazla olması nedeniyle atıklar sorun oluşturmazken; günümüzdeki artan nüfus, sanayileşme ve tüketim ihtiyacı, yetkilileri oluşan atıkların bertarafı için çözüm üretmeye zorlamaktadır.

Öztürk (2010) tarafından bildirildiğine göre; atık düşük değerde, kullanım dışı veya faydasız kalıntı olarak ifade edilmektedir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) atığı ‘sahibinin istemediği, ihtiyacı olmadığı, kullanmadığı, arıtma ve uzaklaştırılması gereken maddeler’ olarak tarif etmektedir.

Atıklar fiziksel özelliklerine göre katı, sıvı ve gaz olarak sınıflandırılmaktadır. Katı atık da kendi içinde: orijinal kullanımına göre, madde grubuna göre, fiziki özelliklerine göre, kaynağına göre ve emniyet düzeyine göre sınıflandırılmaktadır (Öztürk 2010). Katı atığın sınıfları ve bu sınıflara ait içerikler Çizelge 2.1’de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Katı atığın kendi içinde sınıflandırılması (Öztürk 2010)

Katı Atık Sınıfları	İçerik
Orijinal kullanımına göre	Ambalaj atığı, mutfak atığı vb.
Madde grubuna göre	Cam, kâğıt, plastik, metal vb.
Fiziki özelliklerine göre	Yanabilir, kompostlanabilir, geri kazanılabilir vb.
Kaynağına göre	Kentsel, ticari, kurumsal, zirai, endüstriyel vb.
Emniyet düzeyine göre	Tehlikeli, tehlikesiz, inert vb.

Katı Atık Kontrolü Yönetmeliğinde (1991) katı atık: üreticisi tarafından istenmeyen, toplum huzuru ve çevrenin korunması için düzenli şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamuru olarak tanımlanmıştır. Tchobanoglous’a (1993) göre; katı atık, insan ve hayvan aktivitelerinden oluşan istenmeyen, kullanışsız olan katı atıklardır.

EPA’nın (2001) tanımına göre; katı atığın yasal tanımı fiziksel formuna dayanmamaktadır, katı atık; endüstriyel, ticari, madeni, zirai ve toplumsal aktivitelerden oluşan çöp, artık, arıtma çamuru, atılmış maddedir, katı, sıvı, yarı sıvı ve gazımsı maddeler de dahildir.

Kentsel Katı Atık (KKA), belediye atığı, ev ve iş yerlerinden gelen atık olarak tanımlanabilir. Kentsel katı atığın ağırlıkça % 30’unu ambalaj atıkları oluşturmaktadır. İnşaat ve yıkıntı atıkları, arıtma çamurları, yeşil atıklar ve hacimli malzemeler kentsel katı atık olarak değerlendirilmemektedir (Öztürk 2010).

Katı atık miktar ve özelliklerinin belirlenmesinde, katı atık tanımının doğurduğu karışıklıklar sonucu oluşan uyuşmazlıklar önem taşımaktadır. Katı atıkların türü, kaynağı ve hangi maddenin katı atık olarak ele alınabileceği hakkındaki tanımlamalarda büyük farklılıklarla karşılaşmaktadır. Bunlar dikkate alınarak kentsel katı atığın başlıca bileşenleri aşağıdaki gibidir (Öztürk 2010):

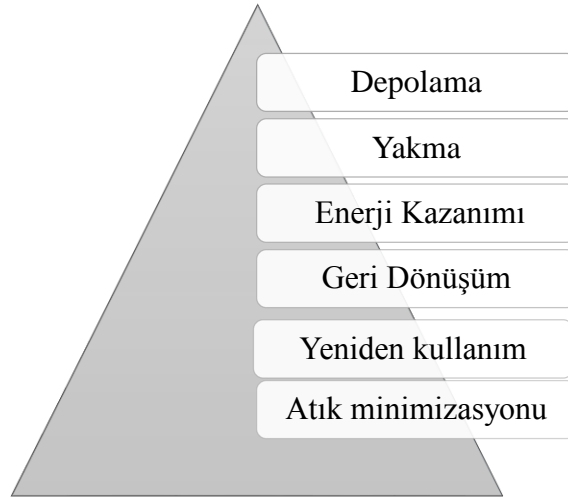
- Karışık evsel katı atıklar
- Geri dönüştürülebilir atıklar (gazete, alüminyum kutular, süt kutuları, plastik şişeler, metal kutular, oluklu karton vb.)
- Evlerden çıkan tehlikeli atıklar (piller, ampuller, boya kutuları vb.)
- Ticari ve kurumsal atıklar (iş yerleri, okullar ve diğer kamu binalarından gelen atıklar) ve
- Evsel nitelikli endüstriyel katı atıklar.

Organik atık insan, hayvan ve bitki kaynaklı olan ve biyolojik olarak ayrışabilen atıktır. Organik atık terimi, biyobozunur atık ve biyolojik atık terimleri ile benzerlik göstermektedir. Avrupa Birliğinin birleşik araştırma merkezinin yayınladığı rapor (JRC 2011) ve yönetmeliklere göre (Düzenli Depolama Direktifi 1999/31/EC ve Atık Çerçeve Direktifi 2008/98/EC) biyobozunur atıklar: yiyecek, bahçe atığı, kâğıt ve karton gibi anaerobik ve aerobik olarak ayrışabilen atıklardır. Biyolojik atık: biyolojik olarak ayrışabilen park ve bahçe atığı, evlerden, restoranlardan gelen mutfak ve gıda atıklarının yanı sıra gıda üretim tesisleri atıklarıdır. Biyobozunur atık endüstriyel atık akımlarını da kapsadığı için daha geniş bir terimdir.

### 2.1.1. Entegre katı atık yönetimi

Geçmişte katı atık yönetimi evsel atığın toplanması, düzenli depolanması ve yakılmasından ibaretti ve endüstriyel atıklar önemsenmiyordu (Bagchi 2004). Kaynaklarımızın sınırlı olduğunun farkına varılması, kirlilik kaynaklı hastalıkların keşfedilmesi, ilerleyen teknoloji çevre bilincini artırarak atık yönetiminin önemli hale gelmesini sağladı. Bu gelişmenin ürünü olarak Entegre Katı Atık Yönetimi (EKY) ortaya çıktı. Entegre katı atık yönetimi, bütün ekonomik ve toplumsal gerekliliklerin oluşması durumunda belirli atık yönetim planı için seçilen uygun teknik, teknoloji ve yönetim planı olarak tanımlanabilir (Tchobanoglous vd 1993). Entegre katı atık yönetimi çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik sağlamaktadır. Sürdürülebilir katı atık yönetiminin amacı az enerji kullanarak değerli maddelerin kazanılmasını sağlayarak çevresel etkiyi azaltmaktır. (Mcdougall vd 2001). Şekil 2.1’de sürdürülebilir atık yönetimi için izlenilmesi gerekli hiyerarşi verilmektedir. Atık yönetim hiyerarşisinde uygulanması önerilen yöntemlerin önem sırası aşağıdan yukarı gidildikçe azalmaktadır. Entegre katı atık yönetiminin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Öztürk 2010):

- Bütüncül olma: Tüm katı atık maddeleri ve üretim kaynaklarını kapsayan
- Ekonomik değer oluşturma: Katı atık sisteminden ekonomik değer sağlayan
- Esnek olma: Çevresel, mekânsal ve atık özelliklerindeki değişikliklere uyum sağlamalı.
- Bölgesel planlama temelli: Atık miktarı ile doğru oranda gelişen verimlilik nedeniyle EKY bölgesel olarak planlanmalıdır.



Şekil 2.1. Atık yönetim hiyerarşisi (Bagchi 2004)

Sudhir vd (1996) yaptıkları çalışmada, Hindistan şehir bölgelerinde entegre katı atık yönetimini Critical Operational Research (COR) yaklaşımı ile Nonlinear Lexicographic Goal Programming (NLGP) yazılımını birleştirerek incelemişlerdir. Çöp toplayıcılar, atığın sürekli yer değiştirmesi, bertaraf hedefi gibi birçok faktörün etkili olmasına karşın en önemli faktörlerden birinin NLGP'ye ek olarak Geographical Information System (GIS) kullanılmasını göstermişlerdir.

Daskalopoulos vd (1998) yaptıkları çalışmada, entegre katı atık yönetimini irdelemişlerdir. Düzenli depolama, kompostlama, geri dönüşüm ve yakma tesisi farklı senaryolarda enerji, çevresel etki ve finansal boyut göz önüne alınarak bilgisayarda modellenmiştir. Her senaryonun çevresel ve enerji etkisi ayrı ayrı belirtilmiş ve ekonomik açıdan düzenli depolama tesisinin en optimal senaryo olduğu belirtilmiştir.

Pimenteira vd (2005) yaptıkları çalışmada, entegre katı atık yönetiminin Rio de Janeiro'daki sosyoekonomik boyutlarını matematiksel modelleme ile incelemişlerdir. Geri dönüşüm senaryolarının enerji tüketimine olan etkisi ve materyal girdi çıktısı baz alınmıştır. Evlerden toplanan ve geri dönüşebilen maddelerin artması sera gazı emisyonlarını azalttığı sonucuna varılmıştır.

Seadon (2006) yaptığı çalışmada, entegre katı atık yönetiminin bileşenlerini farklı kategorilere ayırarak etkinliklerini örnek çalışmalar üzerinden incelemiştir. Genel sorun olarak kirleticinin bir alandan farklı bir alana taşınmasının, örneğin; karadaki atığın yakılarak atmosfere taşınması, katı atık sorununa çözüm olarak görülmesi olduğunu vurgulamıştır. Bunun yanı sıra tek bir çözüm yolunun olmadığı ve farklı yaklaşımların birlikte uygulanması gerektiğini vurgulamıştır.

Shekdar (2009) yaptığı çalışmada, Asya ülkeleri için sürdürülebilir katı atık yönetimini incelemiştir. Bunun yanı sıra Asya ülkelerindeki sürdürülebilir atık yönetim problemleri ve gelecek atık yönetim eğilimlerini de incelemiştir. Güney Kore ve Japonya gibi gelişmiş Asya ülkeleri için sıfır atık üretme ve sıfır atık depolama hedefleri gerçekçi iken Hindistan, Çin ve Endonezya gibi ülkeler için uygulamadan uzak olduğunu



belirtmiştir. Genel olarak entegre katı atık yönetimi takip eden maddelerin gerekli olduğunu savunmuştur; yasal çerçeve, kurumsal anlaşmalar, uygun teknoloji, operasyon yönetimi, ekonomik yönetim, halkın katılımı ve bilinçlendirilmesi ve son olarak gelişim için aksiyon planı önemli maddelerdendir.

Jibril vd (2012) yaptıkları çalışmada, yüksek eğitim enstitülerindeki katı atık yönetiminde 3R kuralının (azaltma, tekrar kullanma ve geri dönüşüm) rolünü araştırmışlardır. Bu kurumlardaki geri kazanım bilincinin atık oluşumunu ve atık toplama sisteminin maliyetini azalttığını bunun yanı sıra sistemin etkinliğinin arttığını belirtmişlerdir.

Marshall ve Farahbakhsh (2013) yaptıkları çalışmada, gelişmekte olan ülkeler için entegre katı atık yönetimi sistemlerini araştırmışlardır. Gelişmiş ülkelerde ve gelişmekte olan ülkelerde bu sistemler farklılık göstermekte iken gelişmekte olan ülkeler için gerekli parametreler şöyledir; şehirleşme ve ekonomi büyüme, sosyoekonomik durum, kurumsal ve politik sorunlar ve uluslararası etkileşim. Ayrıca gelişmekte olan ülkeler için katı atık sorununun çözümü için kısa vadeli çözüm olmadığını ve yeni bakış açısı geliştirmeleri gerektiğini vurgulamışlardır.

Herva vd (2014) yaptıkları çalışmada, Porto'daki entegre belediye katı atık yönetim sisteminin çevresel analizini yapmışlardır. Bu analizi, enerji ve materyal akım analiz metodolojisini kullanarak yapmışlardır. Kompostlama tesisinin büyük oranda çevresel ayak izi olmasına karşın üretilen kompostun bunu karşıladığını belirtmişlerdir. Enerji geri dönüşümü sağlayan tesisin ise düşük çevresel ayak izinin olduğunu vurgulamışlardır.

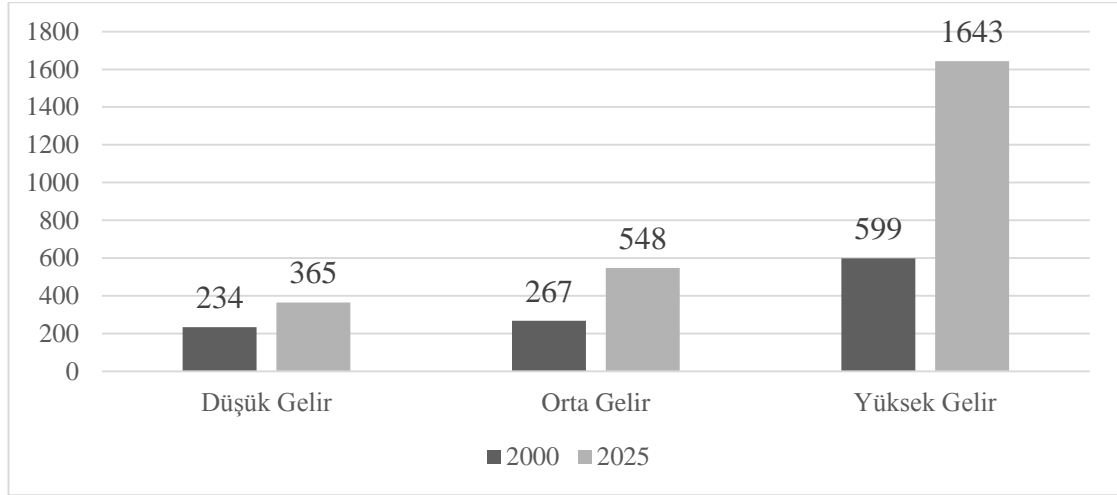
Poldhurk (2015) yaptığı çalışmada, Estonya'nın Harju bölgesinde kırsal bölgelerdeki belediyelerin atık yönetim modellerinin ekonomik, çevresel ve yönetsel etkinliklerinin optimizasyonu incelemektedir. Ayrı toplama yapılarak kağıt ve biyolojik olarak ayrışabilen atıkların yakma tesisi yerine çürütücüde değerlendirilmesi karşılaştırılmıştır. Ancak kaynaktan ayrı toplamanın toplama yükü nedeniyle ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir olmadığı belirtilmiştir.

### **2.1.2. Katı atığın kaynağı ve kompozisyonu**

Katı atık üretimi insan yaşamının doğal sonucudur ve bu atığın artan yaşam kalite standartları ve halk sağlığı nedeniyle bertaraf edilmesi zorunludur (Shekdar 2009). Üretilen katı atık miktarının belirlenmesi toplama araçlarının ve toplama ekipmanlarının etkinliğinde, geri kazanım tesisinin boyutlandırılmasında ve bertaraf yöntemlerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Öztürk 2010). Atık üretim artış hızı gelirdeki artış hızı ile doğru orantılıdır Şekil 2.2'de gelir dağılımının atık üretimi üzerindeki etkisi görülmektedir. Görüldüğü gibi kişi başına düşen gelir artışı ile paralel olarak atık üretimi de artmaktadır. 2000 yılı baz alınarak yapılan 2025 yılı kişi başı katı atık üretimi projeksiyonunda yüksek gelir grubunun katı atık üretiminin daha fazla artış göstermesi öngörülmektedir.

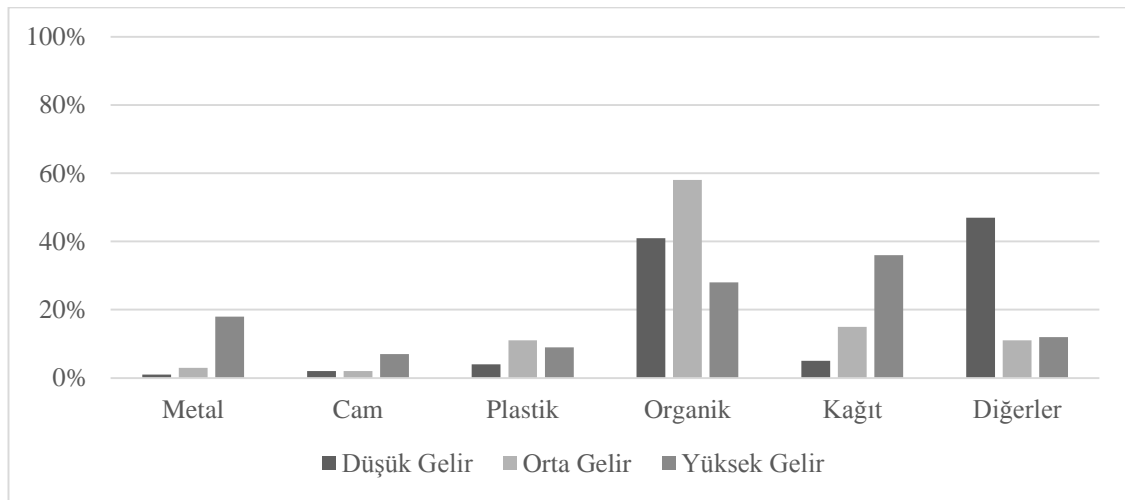
Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye'de 2012 yılı itibari ile toplanan kentsel katı atık miktarı yaklaşık olarak 26 milyon t/yıl (1,12 kg/kişi.gün) olup

ülke nüfusunun % 83'ü belediye nüfusu % 99'u atık toplama hizmetinden yararlanmaktadır. Toplanan atıkların yaklaşık olarak % 38'i belediye çöplüğüne, % 60'ı düzenli depolama tesislerine ve % 0,6'sı kompostlama tesislerine gitmektedir. Çevre ve Orman Bakanlığı (ÇOB) atık yönetimi eylem planında 2012 yılında Belediye nüfusunun % 70'inin atıklarının düzenli depolama tesisine gönderilmesi öngörülmektedir. Bu konuda ülkemizde mevcut olan en güncel veriler 2012 yılına aittir.



Şekil 2.2. Kişi başına düşen yıllık (kg) atık üretimi (Twardowska vd 2004)

Atık oluşumu ve bileşenleri birçok faktörün etkisi altındadır. Mevsimsel değişimler, eğitim seviyesi, ekonomik durum ve coğrafi yapı gibi. Ayrıca bu faktörler kişi başına düşen gelir seviyesi ile ilgilidir (Twardowska vd 2004). Şekil 2.3'te farklı gelir gruplarında oluşan farklı atık kompozisyonları görülmektedir. Düşük ve orta gelir gruplarında organik atık en büyük dilimi oluşturmaktadır iken yüksek gelir grubunda kağıt en büyük atık kompozisyonudur. Bu durum yüksek gelir grubu hazır gıda tüketirken, düşük ve orta gelir grubunun evde yemek yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 2.3. Farklı gelir seviyelerine sahip ülkelerin atık kompozisyonu (Twardowska vd 2004)

### 2.1.3. Katı atığın toplanması ve taşınması

Katı atıklar ve geri dönüşebilen maddeler gerekli işlemlere tabi tutulmak amacıyla üretici tarafından depolanarak belirli sıklıkta toplanır. Depolama ve toplama stratejileri nüfusa bağlı iken, mekanizasyon ve toplama sıklıkları bütçeye bağlıdır (Bagchi 2004). Katı atık yönetim sisteminin maliyetinin en yüksek bileşenlerinden biri atıkların toplanması ve taşınmasıdır.

Avrupa Birliğine (AB) uyum sürecinde yapılması planlanan değişiklikler AB Entegre Çevre Uyum Stratejisi (UÇES) olarak yayınlanmıştır. Bu hedefler arasında; katı atık üretiminin azaltılması, katı atıkların uygun geri kazanımının sağlanması ve düzenli depolanması ve katı atığın üretiminden bertarafına kadar denetiminin sağlanması hedeflenmiştir (Çevre ve Orman Bakanlığı 2006).

Toplama, atığın üretildiği noktadan araca yüklenmesi ve istenilen yere kadar götürülüp boşaltılmasına kadar olan süreci kapsamaktadır. Atığın toplanma yeri ve toplama şekli önemli olup atıklar yerleşim yerlerine bağlı olarak poşet ya da konteynır içinde bekletilir (Öztürk 2010).

Katı atıklar karışık ve ayrı toplama olmak üzere genel olarak iki farklı şekilde toplanmaktadır. Karışık toplama; oluşan katı atığın içeriği dikkate alınmadan birlikte toplanmasıdır. Geri dönüştürülebilir atıklar, mutfak atıkları ve diğer tüm atıklar ile birlikte toplanır. Ayrı toplama; oluşan atıkların içeriğine göre toplanma şeklidir. Ayrı toplama bölgenin nüfusu, coğrafi yapısı ve ekonomik durumu gibi farklı kriterlere göre değişiklik gösterebilir.

Katı atığın taşınmasında kullanılan araçlar ve toplama güzergâhı önem taşımaktadır. Katı atıkları taşıyan araçların en kısa yolu kullanarak taşıma işlemini gerçekleştirmesi hedeflenir. Bunun için çeşitli bilgisayar yazılımları ve modellemeler kullanılmaktadır.

Koushki vd (2004) yaptıkları çalışmada, Kuveyt'teki evsel katı atıkların toplanmasının ve taşınmasının maliyetini incelemişlerdir. Bu çalışmada katı atık yönetiminde maliyet olarak büyük payı oluşturan araç bakımı, işçilik ve yakıt masrafının Kuveyt'te çok ucuz olduğunu belirtmiştir. Bir ton katı atığın toplanması, taşınması ve bertaraf masrafının yaklaşık 24 Amerikan doları olduğunu belirtmişlerdir.

İngiltere Atık ve Kaynak Programının (WRAP) 2007 yılında yaptığı çalışmada, İngiltere'de yıllık 6,7 milyon ton yiyecek atığı oluştuğunu ve bu atıkların ayrı toplanmasının çevre açısından olumlu etkileri olduğunu vurgulamıştır. Ayrı toplamanın atık ayrıştırma maliyetini azalttığını, düzenli depolamada oluşan çevresel kirlenici etkiler ile sera gazı oluşumunun azaldığını, toprak gelişimine katkı sağlayan gübre üretildiğini ve toplama sırasında oluşan kokunun azaldığını belirtmiştir.

Simonetto ve Borenstein (2007) yaptıkları çalışmada, katı atık toplama sistemleri için karar destek mekanizması oluşturmuşlardır. SCOLDSS adı verdikleri bilgisayar programında depolamaya giden atık miktarı hesabı, ayırma ünitesine gidecek atık miktarı hesabı, araçlar için güzergâh belirlenmesi ve çalışma kapasitesi gibi kriterleri

hesaplayarak uygun sonucu bulmaya çalışmışlardır. Yaptıkları karşılaştırmada % 8.82 daha iyi güzergâh yolu çizildiğini ve % 17.89 oranında toplama araçlarının tur sayısında azalmaya gittiğini göstermiştir.

Sanchez (2008) yaptığı çalışmada, İspanyol katı atık toplama sisteminin performansını incelemiştir. Bu çalışma için veri geliştirme analiz (DEA) ve Tobit regresyon analiz metodunu kullanmıştır. Çalışanlar, araçlar, konteynırlar ve toplama noktaları gibi birçok değişken sistemde veri olarak kullanılmıştır. Turist katsayısının ve sokak temizleyicilerinin sonuç üzerine etkisinin olduğu gözlemlenmiştir.

Pujol vd (2011) yaptıkları çalışmada, kaynağında ayrı toplama ve karışık toplama sonucu mekanik ayırma sistemlerinin organik atıkların yapısı üzerine olan etkilerini incelemiştir. Kaynağında ayrı toplanan organik atıkların nütrient değerinin diğer toplama yöntemine göre yüksek ağır metal oranının ise düşük olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmanın sonucunda kaynağında ayrı toplama yöntemine geçilmesinin biyolojik arıtım için daha uygun olduğu belirtilmiştir.

WRAP'ın (2011) yiyecek atıklarının toplanması üzerine yaptığı çalışmada, yiyecek atıklarının ayrı toplanmasının atık üretimini azalttığını görmüşlerdir. Ev halkının yiyecek atıklarını ayrı biriktirmesi sonucu oluşan atığın farkına vararak bilinçlendiklerini ve yiyecek atıklarının üretimini azalttığını öngörmüşlerdir.

Gallardo vd (2012) yaptıkları çalışmada, İspanyol şehirlerinde atıkların ayrı toplanılmasının gelişimini incelemiştir. Çalışma, 1998 – 2007 yılları arasında belediyelere gönderilen anketlerle gerçekleştirilmiştir. 1998 yılındaki toplama sistemlerinin 2007 yılında kullanılmadığını, bunun nedeninin yasalara uyum sağlanmasının yanı sıra hafif ağırlıktaki paketleme malzemesinin ayrı toplanmaya başlanması olduğunu belirtmişlerdir.

Chu vd (2013) yaptıkları çalışmada, Çin'in kuzeydoğu bölgesinde ki Harbin kentinde katı atık toplama sistemi üzerine bölgede yaşan ev halkının görüşlerini anketlerle toplamışlardır. Yapılan çalışma toplama ücretleri, zamanı ve sıklığı ayrıca çöp toplama konteynırlarının yerleri hakkında görüşleri içermektedir. Çalışmaya katılanlar toplama ücretinin ve sıklığının kendileri açısından önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Malakahmad vd (2014) yaptıkları çalışmada, Malezya'nın Ipoh şehrinde Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) ile katı atık toplama yollarının optimizasyonunu yapmışlardır. Katı atık toplama işleminin toplam maliyetin yaklaşık olarak % 70'ni oluşturduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yapılan çalışma sonucunda toplam yol uzunluğundan % 22 oranında kazanım sağlamışlardır.

Xue vd (2015) yaptıkları çalışmada, Singapur şehri için belediye katı atık toplama işleminin optimizasyonunu yapmışlardır. Yapılan çalışmada, düzenli depolama yerine yakma tesisinin belediye atıkları için bertaraf yöntemi olarak öngörölmüş ve depolama sahası bire indirilerek modelleme yakma tesisleri üzerinden yapılmıştır.

## 2.2. Organik Atık Yönetimi

Amerika çevre koruma ajansına göre (EPA) organik atıklar, radyoaktif ve tehlikeli atık içermeyen biyolojik orijinli ve biyolojik olarak ayrışabilen atıklardır. AB düzenli depolama direktifinde (1999/31/EC) biyolojik olarak ayrışabilen atıklar yiyecek atıkları, bahçe atıkları, kâğıt ve karton atıkları gibi anaerobik ve aerobik ayrışan her atık olarak tanımlanmaktadır. AB atık çerçeve direktifinde (2008/98/EC) ise biyolojik atık; biyolojik olarak ayrışabilen bahçe, park atıkları ve evler, restoranlar, kafeteryalar ve gıda üreten yerlerden gelen mutfak ve yiyecek atıkları olarak tanımlanmıştır. Biyolojik olarak ayrışabilen atık terimi daha geniş kapsamlı bir terimdir. Sadece evsel atıklara değil aynı zamanda endüstriyel atıkları da içerir. Ayrıca biyolojik atık; orman atıkları, zirai atıklar, gübre, arıtma çamuru ve doğal tekstil gibi ürünleri içermez (JRC 2011).

Sonesson vd (2000) yaptıkları çalışmada, biyolojik olarak ayrışabilen atıklar için çevresel ve ekonomik analiz yapmışlardır. Bu çalışma için madde akım simülasyonu olarak ORWARE yazılımı ve metodoloji için Yaşam Döngüsü Analizini (YDA) kullanmışlardır. Dört farklı senaryo oluşturulmuş ve sonuçları şu şekilde sıralanmıştır; genel çözüm olarak en iyi tek senaryo yoktur ve sonuçlar İsveç'teki örnek çalışma için geçerlidir. Bunlara ek olarak, anaerobik ayrıştırma kaynak kullanımı ve fotokimyasal oksitlenme harici çevresel etkilerde en iyi alternatif olduğunu belirtmektedir. Küresel ısınma, asidifikasyon ve ötrofikasyon parametrelerinde yakma anaerobik ayrıştırma kadar iyi olduğunu ayrıca kompostlamanın düşük bütçeli ve çevresel etkilerde umut vaat eden bir uygulama olduğunu belirtmişlerdir.

WRAP (2007) yiyecek atıklarını anlamak adıyla yayınladığı araştırmaya göre İngiltere yıllık 6,7 milyon ton yiyecek atığı üretmekte ve bu atık toplam kentsel atığın % 20'sini oluşturmaktadır. Satın alınan atıkların 3'de 1'i çöpe gitmekte ve bu atıkların yarısının kullanılabilir olduğu belirtilmektedir. Yiyecek atıklarının büyük çoğunluğunu oluşturan kesimin genç çalışan (16-34) ve okul çağında çocukları olan aileler oldukları belirtilmektedir. Yiyecek üretim ve tüketim zincirinden dolayı oluşan sera gazı emisyonunun İngiltere'nin toplam sera gazı emisyonunun % 20'sini oluşturduğu belirtilmektedir.

WRAP (2008) organik atıkların değeri adıyla yayınladığı araştırmaya göre İngiltere'de 25 milyon ton organik atık oluşmaktadır. Son 5 yılda kompostlanan organik atık oranında % 20 artış görüldüğü belirtilmektedir. Ayrıca anaerobik ayrıştırma sonucu 1 ton organik atıktan 300 kwh enerji üretilebileceği belirtilmektedir. Kompostlanan bahçe atıklarının bir tonu 90 kg – 230 kg CO<sub>2</sub> arasında salınımı azaltmaktadır. Yeşil atıkları kompost haline getirerek İngiltere'de 2007 yılında 500.000 ton CO<sub>2</sub> salınımı azaltıldığı belirtilmiştir.

WRAP (2009) evsel yiyecek ve içecek atıkları üzerine yaptığı çalışmada, atıkları kaçınılabilir, muhtemel kaçınılabilir ve kaçınılmaz atıklar olarak sınıflandırmışlardır. Kaçınılabilir atıklar kullanılabilir durumdayken çöpe atılan atıklardır (ekmek ve elma dilimi). Muhtemel kaçınılabilir atıklar kişiden kişiye göre tüketimi değişen ya da başka şekilde kullanılabilir atıklardır (ekmek kırıntısı ve patates kabuğu). Kaçınılmaz atıklar tüketimi mümkün olmayan atıklardır (kemik, muz kabuğu ve yumurta kabuğu).

EPA (2012) Ulusal katı atık raporunda İrlanda’ da yaklaşık 1,7 milyon ton evsel katı atık toplandığını belirtmiştir. Toplanan katı atıkların % 7,5’i organik atık ve % 68’i karışık atık olduğu ve karışık atıkların % 24’nün organik atık olduğu belirtilmektedir. Organik atıkların geri dönüşümü için 45 kompost ve 5 anaerobik ayrıştırma tesisinin bulunduğu belirtilmektedir.

WRAP (2012) yayınladığı bir çalışmada, 2007 yılı evsel atık oluşumu ile 2012 yılı evsel atık oluşumunu karşılaştırmıştır. 2012 yılında 7 milyon ton evsel katı atık üretilmiş ve 2007 yılına kıyasla % 15 azalma görüldüğü belirtilmiştir. Bu azalma evsel bazda yıllık organik atık oluşumunda 320 kg’dan 260 kg’a azaldığı belirtilmiştir. Azalmanın en çok görüldüğü evsel atık ürünleri muz, domates, yoğurt, ev yapımı yiyecekler ve ekmek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu yapılan tasarruf ile İngiltere’de yıllık bir ailenin 130 pound kar elde ettiği belirtilmiştir.

Avustralya Çevre Bakanlığı (2013) yaptığı çalışmada, 2012 ve 2013 yılları arasında kullanılmayıp çöpe atılacak olan yiyeceklerin ihtiyacı olanlara dağıtımının sağlandığı ve bu çalışmada 4,2 milyon kg yiyecek dağıtıldığı belirtilmiştir. 1 milyon kg yiyeceğin çöpe gitmesi yerine tekrardan kullanılmasının 6,4 milyon kg sera gazı oluşumunu, 6,1 milyon kwh enerji ve 76 milyon litre su kullanımını önlediği belirtilmiştir.

Morris vd (2013) kaynağında ayrı toplanan organik atıklarla ilgili yapılan çalışmaların literatür taramasını yapmışlardır. Yapılan çalışmada anaerobik ayrıştırma, kompostlama, gazlaştırma, yakma ve mekanik biyolojik arıtım gibi metotların genel olarak atık yönetimi seçenekleri olarak kullanılmıştır. En iyi tek seçenek bulunmadığı, sadece iklimsel etkenler göz önüne alındığında kompostlama ve anaerobik ayrıştırmanın düzenli depolama ve atıktan enerji üretimine göre daha uygun olduğu belirtmişlerdir. Ayrıca kompostlama ve anaerobik ayrıştırma, yakma ve depolama arasında da en iyi seçeneğin hangisi olduğuna dair yeterli çalışma olmadığını belirtmektedirler.

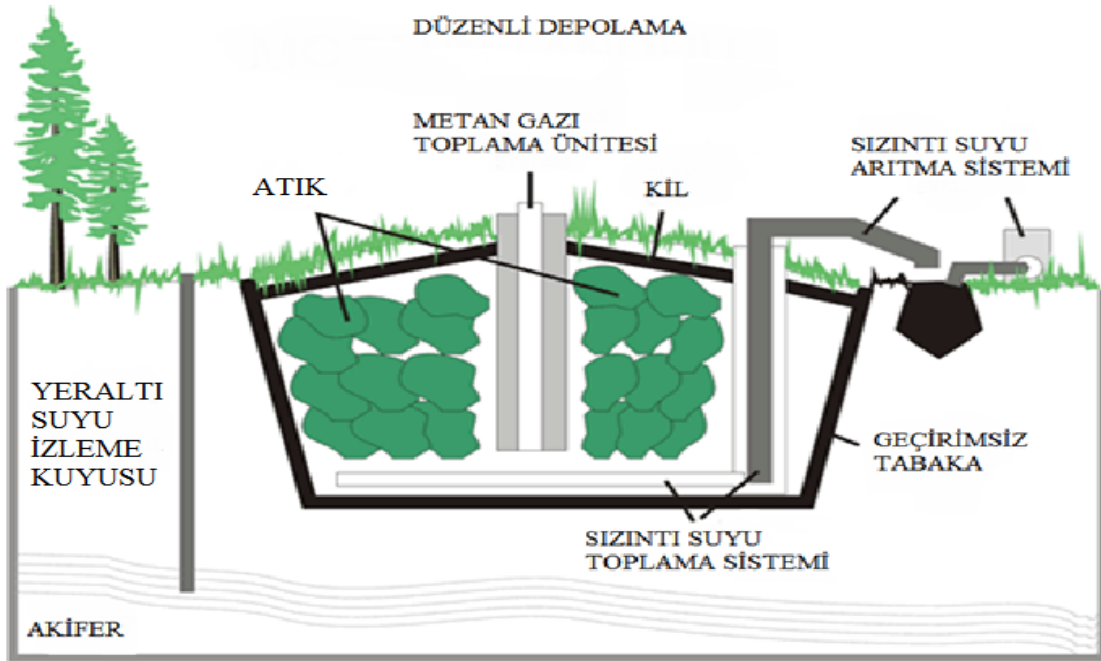
Varaldo vd (2014) yaptıkları çalışmada, organik atıkların biyolojik olarak arıtılmasından elde edilen hidrojen, metan ve üretilen elektrik ile ilgili derleme çalışma yapmışlardır. Farklı metotlarda elde edilen metan, hidrojen ve elektriğin şehir merkezlerinde olduğu gibi zirai bölgelerde de organik atık yönetimine katkı sağlayacağını belirtmişlerdir.

Peltre vd (2015) yaptıkları çalışmada, organik atıkların toprağın kuruması ve sürülmesi üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Organik atık ev atığı kompostu, arıtma çamuru ve büyükbaş hayvan gübresi içermektedir. Bu uygulamanın % 3.5 oranına kadar katı organik karbon oranını artırttığı ve toprak sürümünden kaynaklanan yakıt kullanımını da % 25 oranında azalttığı gözlemlenmiştir.

## 2.2.1. Depolama

### 2.2.1.1. Düzenli depolama

Düzenli depolama atıkların kontrollü şekilde gömülerek bertaraf edilmesidir. Düzenli depolama alanları atıkların çevreye zarar vermeyecek hale gelene kadar izole edildiği bir bölge olarak da düşünülebilir (Rushbrook ve Pugh 1999). Ayrıca düzenli depolama esneklik ve kullanılan teknolojinin basitliği nedeniyle atık kontrolü için uygun bir yöntemdir. Düzenli depolama katı atığın çevreye ve insana olan zararlı etkisini kontrol almak için uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde atık hacmi azaltılarak atığın ile çevrenin teması en aza indirilmekte ve kontrollü olarak belirlenmiş alanlara depolanmaktadır (UNEP 2005). Şekil 2.4'te düzenli depolama tesisi kesitinde, metan gazı toplama ünitesi ve yeraltı suyu izleme kuyusu gibi kısımlar görülmektedir.



Şekil 2.4. Düzenli depolama sahası detaylı çizimi (CYEN 2015)

Düzenli depolama tesisleri, metan gazından enerji geri kazanabilme potansiyeline sahiptirler. Yakın zamanda depo gazından karbondioksit gazı kazanımı ve madde geri kazanımı sağlamı sağlanarak kapatılan düzenli depolama alanlarının park ve golf sahası amaçların kullanımına uygun hale gelmesi planlanmaktadır (Öztürk 2010).

Düzenli depolama katı atık yönetimin son parçasıdır. Her türlü bertaraf prosesleri son ürün oluşturdukları için son ürünün düzenli depolama tesisinde bertaraf edilmesi gerekir. Düzenli depolama, katı atık yönetimi içindeki sistemler arasında en basit, ucuz ve dolayısıyla yaygın olma özelliği taşımaktadır.

Düzenli depolama tesislerinde oluşan depo gazlarından enerji elde edilmesi de giderek artmaktadır. Örneğin, Almanya'daki düzenli depolama tesislerinin % 65'i depo gazından elektrik üretmektedir. Türkiye'de İstanbul, Bursa, Gaziantep ve Ankara'daki

depo gazından enerji geri kazanımı mevcuttur (Öztürk 2010). Çizelge 2.2’de depo gazından enerji üreten tesisler ve bu tesislerin kapasiteleri görülmektedir. Türkiye’de biyogazdan enerji üretimi için kurulmuş tesislerin toplam kapasitesi yaklaşık olarak 67 MW iken bu rakam, 2012 yılı için Almanya’da ise sırasıyla 7500 MW olarak belirtilmiştir (FNR 2014).

Çizelge 2.2. Depo gazından enerji üretim tesisleri (Öztürk 2010)

<b>Tesisler</b>	<b>Mevcut Kapasite</b>
Ankara Mamak Biyogaz Enerji Üretim Tesisi	22,6 MW
İstanbul Hasdal Biyogaz Enerji Üretim Tesisi	4 MW
İstanbul Odayeri Biyogaz Enerji Üretim Tesisi	28 MW
İstanbul Kömürcüoda Biyogaz Enerji Üretim Tesisi	7 MW
Bursa Demirtaş Biyogaz Enerji Üretim Tesisi	1,4 MW
Gaziantep Biyogaz Enerji Üretim Tesisi	3,9 MW

### 2.2.1.2. Vahşi depolama

Düzenli depolamanın daha basit alternatifi vahşi depolama yöntemidir. Vahşi depolama kontrolsüz şekilde atıkların doğaya bırakılmasıdır. Oluşan sızıntı suyu, gaz emisyonları ve hastalık taşıyan hayvanlar ve mikroorganizmalar için hiçbir önlem yoktur. Halk sağlığı açısından tehlike oluşmaktadır (UNEP 2005).

### 2.2.2. Kompostlama

Kompostlama bitkisel ya da hayvansal kaynaklı artıkların kontrollü bir şekilde biyolojik olarak ayrışarak stabil hale gelmesidir. Biyolojik bir proses olmasının avantajları ve dezavantajları vardır. Düşük yatırım ve işletim giderleri ve çevresel açıdan tercih edilebilir olması avantajları iken prosesin yavaş ve tahmin edilebilirliğinin zor olması dezavantajlarıdır (Diaz vd 1993).

Kompostlama sistemleri genelde iki kısımdan oluşur; reaksiyonların yüksek hızda gerçekleştiği ilk aşama ve onarım aşaması olan ikinci aşama. İlk aşamada yüksek oksijen tüketim oranı, termofilik sıcaklık, biyobozunur uçucu katıların indirgenmesi ve yüksek koku problemi görülür. İkinci aşamada düşük sıcaklıklar, oksijen tüketimi ve koku oluşumu görülür (Haug 1993).

Kompostlama işlemleri farklı tip proseslerle gerçekleştirilebilir. Bu prosesler reaktör olmayan prosesler (karıştırmalı yığın ve statik yığın) , reaktör prosesler, dikey akışlı prosesler ve yatay akışlı proseslerdir. Çizelge 2.3’te farklı aerobik kompostlama proseslerinin proses adımları, atık hazırlama aşaması ve kompost oluşumu için gereken süreler verilmektedir.



Çizelge 2.3. Aerobik kompostlama proseslerinin özellikleri (Öztürk 2010)

<b>Kompost süresine etki eden faktörler</b>	<b>Aktarmalı Yığın</b>	<b>Havalandırılmalı Statik Yığın</b>	<b>Reaktör Kompostlama</b>
Proses adımları	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aktarma</li> <li>▪ Karıştırma ile havalandırma</li> <li>▪ Su ekleme</li> <li>▪ Sıcaklık kontrolü</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aktarma yok</li> <li>▪ Basınçlı havalandırma</li> <li>▪ Su ekleme</li> <li>▪ Sıcaklık kontrolü</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aktarma</li> <li>▪ Basınçlı havalandırma</li> <li>▪ Su ekleme</li> <li>▪ Sıcaklık kontrolü</li> </ul>
Atık hazırlama	En fazla 24 saat	En fazla 24 saat	En fazla 24 saat
Kompostlama	1,5 – 4,5 ay	1,5 – 3 ay	0,5 – 2 ay
Toplam süre	Değişken	Değişken	Değişken

Tuomela vd (2000) yaptıkları çalışmada, kompost prosesinde ligninin biyolojik olarak ayrışabilirliğini incelemişlerdir. Avrupa genelinde % 40'dan fazla kağıt ve karton yıllık olarak geri dönüştürülmektedir. Özellikle kâğıt, karton gibi paketlenen malzemelerinin içerdiği % 20'ye varan lignin içeriğinden dolayı kompostlama da kullanılabilirliğini öne sürmüşlerdir. Çalışmanın sonucu olarak ligninin her ne kadar yüksek derecede çözünmesine karşın kompost prosesinde ligninin biyolojik çözünürlüğünün tam olarak bilinmediği vurgulanmıştır. Ligninin mineralleşmesinde önemli rol oynayan beyaz küf mantarının termofilik safhada yüksek sıcaklık nedeniyle varlığını sürdüremediği bunu yerine termofilik mikro mantarın rol aldığı tespiti edilmiştir.

Eklind ve Kirchmann (2000) farklı çöp içerikleri ile evsel organik artıkların depolanması ve kompostlanması üzerine çalışma yapmışlardır. Yaklaşık iki sene boyunca evsel çöpe karıştırılan 6 farklı çöp türü vardır; saman, yaprak, parke, kereste, kâğıt ve yosunlu turba. Bu farklı çöp içeriklerinde günlük organik karbon ve karbon bileşiklerinin kayıplarını incelemişlerdir. Sonuç olarak karıştırılan çöp atıklarının kompost prosesini büyük ölçüde etkilediğini öne sürmüşlerdir. Örneğin yaprak ve kâğıt karışımında organik karbonun yarılanma ömrünün en kısa turbanın ise en uzun olarak bulunmuştur.

Slater ve Frederickson (2001) İngiltere'de belediye atıklarının kompostlanması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. İngiltere'nin Avrupa birliğinin yayınladığı düzenli depolama direktifine uyum sağlaması için belediye atıklarının organik kısmını kompostlamanın gerekli olduğu ve model olarak Avrupa'da ki gelişmiş tesislerin örnek alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

Bari ve Koenig (2001) farklı havalandırma sistemlerinin organik katı atıkların kompostlanması üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Tek ve çift reaktörlerde farklı havalandırma sistemlerine ek olarak çift reaktörlerde hava tekrardan kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda dolaylı olarak yapılan havalandırmanın yatay olarak sıcaklığı iyi dağıttığı, çift reaktörlerin daha olgun kompost ürettiği ve havanın içeride tekrardan kullanılmasının sıcaklığı daha iyi dağıttığı bulunmuştur.

Manios (2004) yaptığı çalışmada, farklı organik atıkların kompost olma potansiyelini incelemiştir. Hammadde olarak zeytin posası, zeytin ağacı yaprağı ve dalları, asma dalları, üzüm posası, domuz gübresi, artırma çamuru ve belediye atıklarının

organik kısmı kullanılmıştır. Kompostlanan tüm hammaddeler içinde yüksek kaliteli kompost üretiminin ve düşük elektrik iletkenliğinin üzüm posasında gerçekleştiği bulunmuştur. Ayrıca kompostun toprak iyileştirici olarak kullanılabilmesi ve önerilen oranın 100 – 130 m<sup>3</sup>/ha olduğunu öne sürmüştür.

Iyengar ve Bhave (2006) yaptıkları çalışmada, ev atıklarının kompostlanmasını laboratuvar ortamında 5 farklı tip reaktörde incelemişlerdir. Reaktörlere hem çığ hem de pişmiş sebze artıkları ile 4 hafta boyunca yükleme yapılmıştır. Araştırmaya göre yükleme aşamasında potasyum ilavesinin kompost kalitesini artırmak için gerekli olduğu, pişmiş sebze atıklarının yükleme yapılmadan önce yıkanmasının sodyum oranını azaltacağı belirtilmiştir. Ayrıca tam karışimli aerobik kompostlama şeklinin diğer yöntemlere göre en ideal olduğu belirtilmiştir.

Lopez vd (2010) kaynağında ayrı toplama yönteminin ve karışık toplanan katı atığın organik kısmının mekanik olarak ayrılmasının kompost üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kaynağında ayrı toplanan atığın daha yüksek pH ve elektrik iletkenlik değerleri olduğunu öne sürmüşlerdir. Ayrıca çalışmanın sonucu olarak bahçe atıklarının eklenmesinin sızıntı suyu oluşumunu azalttığı, C/N oranını dengelediği ve havalandırmayı artırdığı belirtilmiştir.

Himanen ve Hanninen (2011) yaptıkları çalışmada, farklı hammadde türlerinin kompost prosesi ve kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Hammadde olarak ayrı toplanan mutfak atığı, anaerobik ve aerobik arıtma çamuru kullanılmıştır. En yüksek aktivite mutfak atığında gözlemlenmiştir. Arıtma çamurları arasında büyük farklılıklar gözlemlenmediği vurgulanmıştır.

Andersen vd (2011) organik atıkların evsel kompostlama yönteminin yaşam döngüsü envanterini çıkarmış ve kütle dengesini incelemişlerdir. Bir yıl boyunca 6 farklı kompost ünitesinin her birine 2,6 - 3,5 kg arasında organik atık ile haftalık besleme yapılmıştır. Kompostlama sırasında su, elektrik ya da hiçbir yakıt kullanılmamıştır. Sonuç olarak atıklarda karbon kaybı % 63 – 75 arasındadır. Karbondioksit ve metan oluşan emisyonların sırasıyla % 51 – 95'ini oluşturdu. Ayrıca kompostlama sırasındaki azot kaybı % 51 – 68 arasında olmakla birlikte nitrojen oksit bu kaybın % 2,8 – 6,3'ünü oluşturmaktadır.

Petric vd (2012) belediye katı atıklarının organik kısmının tavuk gübresi ile karışımının kompostlanmasının değerlendirmesini yapmışlardır. Deneyde farklı karışım tipleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak % 60 belediye katı atığının organik kısmı, % 20 tavuk gübresi, % 10 olgun kompost ve % 10 talaş karışımının kompost prosesi için en uygun karışım olduğu görülmüştür.

Li vd (2013) yaptıkları çalışmada, yiyecek atıklarının kompostlanması ile ilgili deneysel ve modelleme yaklaşımları ile ilgili derleme çalışma yapmışlardır. Kompostlama yöntemi ile hem organik atıkların geri dönüştürüldüğünü hem de toprağın yapısının ve verimliliğinin arttığını belirtmişlerdir.

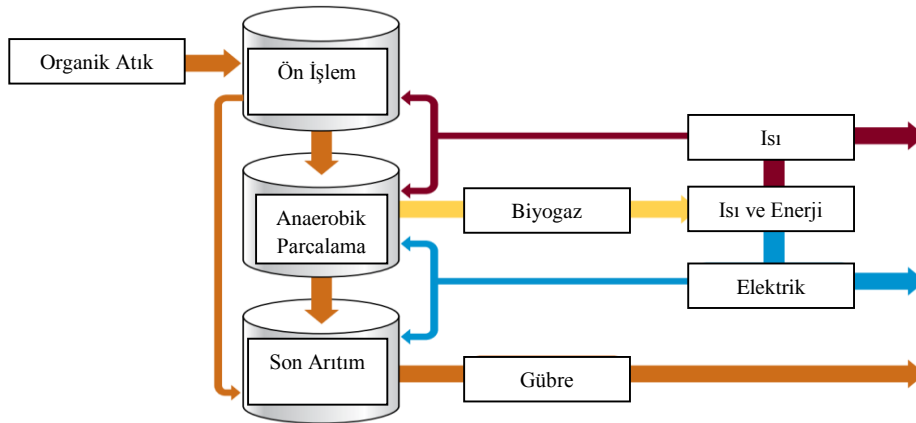
Külcü ve Yıldız (2014) yaptıkları çalışmada, büyükbaş hayvan gübresi ile sera atıklarının birlikte kompostlanması için optimum oranı araştırmışlardır. Laboratuvar

ortamında kompostlama sürecinde proses sıcaklığı, CO<sub>2</sub> konsantrasyonu, nem ve organik madde oranı izlenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak % 60 gübre ile % 40 sera atıklarının en yüksek proses sıcaklığı ve organik madde ayrışmasını sağladığını belirtmişlerdir.

Sanchez vd (2015) yaptıkları çalışmada, organik atıkların kompostlanmasından oluşan sera gazlarını incelemişlerdir. Farklı atıklar ve farklı kompostlama metotları bu çalışmada incelenmiştir ve bundan dolayı oluşan sera gazlarının farklılık gösterdiği vurgulanmıştır.

### 2.2.3. Anaerobik ayrıştırma

Anaerobik ayrıştırma oksijen yokluğunda organik maddelerin ayrışması sonucunda biyogaz (karbondioksit ve metan) üretimidir. Bu, yenilenebilir bir enerji kaynağı olup elektrik ve ısı üretiminde kullanılabilir. Anaerobik ayrıştırmada temel olarak üç farklı mikroorganizma grubu vardır. İlk iki grup mikroorganizmaları atığı hidrojen ve asetata hidroliz ederler ve bu ürünler eş zamanlı olarak üçüncü grup tarafından metan ve karbondioksite dönüştürülür (Ahring 2002). Anaerobik ayrıştırma prosesinde atığın tesise gelişinden son ürün oluşana kadar olan enerji ve materyal akış şeması Şekil 2.5’de verilmektedir.



Şekil 2.5. Anaerobik ayrıştırma prosesi akım şeması (WRAP 2011)

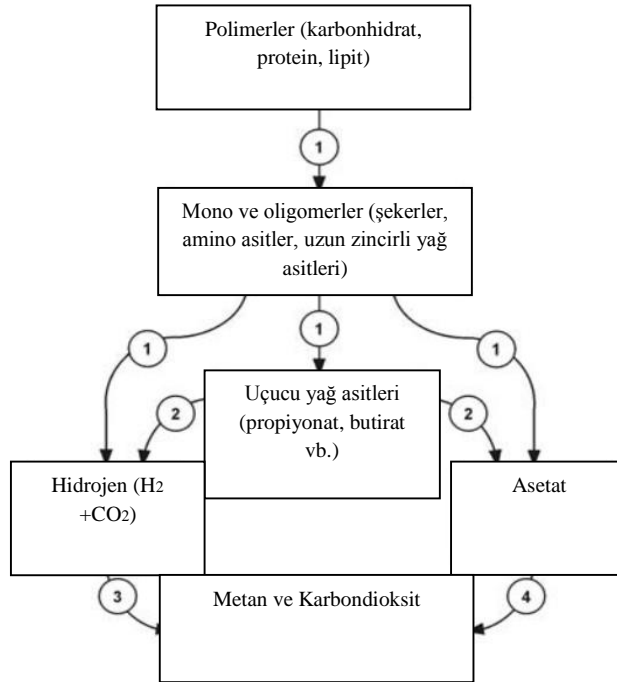
Anaerobik ayrıştırma temel olarak 3 aşamadan oluşmaktadır: hidroliz, asit oluşumu ve metan oluşumu evresidir ve mekanizma basamakları Şekil 2.6’da görülmektedir. Ayrıca anaerobik üç ana sıcaklıkla işletilmektedir: sakrofilik 20°C - 30°C, mezofilik 30°C - 45°C ve termofilik 50°C - 75°C.

Anaerobik ayrıştırma proseslerini beslemek için kullanılan atıkların sistem işletimini inhibe etmemesi için ön arıtıma ihtiyacı vardır. Bu ön arıtım biyolojik olarak ayrışmayan materyallerin uzaklaştırılması, atıkların eşit ve küçük parçacıklar haline gelmesi ve sistemi fiziksel ve kalite açısından etkileyecek maddelerin uzaklaştırılması prensiplerine dayanır. Bunun yanı sıra anaerobik ayrıştırmayı etkileyen değişkenler şöyledir (Monnet 2003):

- Toplam katı madde (TKM)
- Sıcaklık
- Bekleme süresi
- pH
- Karbon azot oranı (C:N)
- Karıştırma
- Organik yükleme hızı / Uçucu katı madde (UKM) yükleme oranı

Alvarez vd (1992) yaptıkları çalışmada, Barcelona’da yiyecek marketlerinin bulunduğu bölgedeki organik atıkların anaerobik ayrışmasını deneysel çalışma ile incelenmiştir. Her gün 2600 ton meyve ve sebze ve 300 ton balık satılan bu bölgede 100 ton atık oluşmakta ve bunun 60 tonunu çürükler oluşturmaktadır. Farklı bekleme süreleri ile 3 litrelik çürütücüde test edilen atıkların yüksek biyogaz verimi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çürütücüden çıkan atığın organik içeriği düşüktür.

Kiely vd (1996) organik atıkların anaerobik olarak ayrışmasının fiziksel ve matematiksel modellemesini yapmışlardır. Belediye katı atıklarının organik kısmı ile arıtma çamurunun birlikte anaerobik olarak ayrışmasını laboratuvar ortamında sürekli karışimli reaktör tankta 36 °C’de 115 gün incelemiştir. Bu laboratuvar çalışmasının sonucu olarak bu atıkların mezofilik ortamda anaerobik ayrışması teknik olarak uygun bulunmuştur.



Şekil 2.6. Anaerobik ayrıştırmanın mekanizması (Ahring 2002)

Alvarez vd (2000) organik katı atıkların anaerobik ayrışmasını değerlendirmişlerdir. Çalışmanın yapıldığı tarihte Avrupa’da aktif 36000 anaerobik çürütücü bulunmaktadır. Bu tesisler 15 milyon m<sup>3</sup>/d metan üretmekte ve oluşan artıma çamurunun % 40 – 50’sini arıtmaktadır. Çalışmanın sonucu olarak katı atıklarda bulunan

organik kısmın anaerobik olarak ayrışması sonucu atmosfere emisyon olarak salınan gazların bir kısmının tutulup biyogaz olarak kullanılmasının çevre açısından yararlı olduğunu savunmuşlardır.

Kim vd (2004) yiyecek atıkları ile arıtma çamurunun birlikte anaerobik olarak çürütülmesinden hidrojen kazanımının fizibilitesini ölçmüşlerdir. Çalışmanın sonucu olarak hidrojen üretimini için yiyecek atıkları ile arıtma çamurunun uygun substrat olduğunu savunmuşlardır. Ayrıca yiyecek atıklarının arıtma çamurundan daha iyi performans gösterdiğini ve % 13-19'a kadar arıtma çamuru ilavesinin hidrojen üretimini arttırdığı görülmüştür.

Hartman ve Ahring (2005) belediye katı atıklarının organik kısmının gübre ile birlikte anaerobik olarak ayrışmasını incelemişlerdir. İki farklı mezofilik sistemde incelenen organik atık ve karışımın anaerobik ayrıştırma için uygun olduğu görülmüştür.

Zhang vd (2007) yaptıkları çalışmada, yiyecek atıklarının hammadde olarak kullanılmasının performansını incelemişleridir. San Francisco da toplanan yiyecek atıkları 50°C'de iki aylık süre zarfında çürütücüde incelenmişlerdir. 10 günlük ve 28 günlük farklı bekleme sürelerinde oluşan biyogazın ortalama olarak % 73'ü metandır. Bu çalışmanın sonucu olarak yiyecek atıklarının yüksek metan verimi ve biyolojik olarak çözünürlüğü nedeniyle gerekli hammadde olduğu bulunmuştur.

Madsen vd (2011) anaerobik ayrıştırma proseslerinin izlenmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Danimarka'da ki anaerobik tesislerin incelendiği bu çalışmada anaerobik tesislerin performansını iyi takip edebilmek için kesin bir parametre olmadığını savunmuşlardır. Genel olarak sağlamlık, basitlik, doğruluk, hassaslık ve güvenilirlik anahtar parametre olarak öne çıkmaktadır.

Khalid vd (2011) yaptıkları çalışmada, katı organik atığın anaerobik olarak ayrışmasını incelemişlerdir. Organik atıkların üretiminin giderek arttığını ve yüksek biyolojik çözünürlük nedeniyle depolama tesislerinde sorun oluşturduklarını buna alternatif olarak anaerobik ayrıştırmanın uygun olduğunu öne sürmüşlerdir. Ayrıca enerji içeriği yüksek diğer atıklarında biyogaz üretimine katkıda bulunarak gelecekteki enerji ihtiyacını karşılamada yardımcı olacağını savunmuşlardır.

Carlsson vd (2012) yaptıkları çalışmada, substrat ön arıtımının anaerobik ayrıştırma sistemlerine olan etkilerini incelemişlerdir. Ön arıtma tekniklerinin çoğu substratın biyolojik olarak ayrışmasını arttırdığını belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra yüksek sıcaklıkla işleyen termal ön arıtmaların pozitif etkilerinin yanı sıra negatif etkilerinin de olduğunu vurgulamışlardır.

Zhang ve Banks (2013) belediye katı atıkların organik fraksiyonunun partikül boyutunun anaerobik ayrıştırma sistemlerine olan etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak partikül boyutlarının biyogaz üretimine etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca partikül boyutunun çürütücü performansına da etkisi olmadığı belirtilmiştir.

Ariunbaatar vd (2014) yaptıkları çalışmada, ön arıtım yöntemlerinin organik atıkların anaerobik olarak ayrışmasına olan etkilerini incelemişlerdir. İki aşamalı

çürütücü sistemlerin diğer sistemlere göre avantajlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu avantajların ise: yüksek biyogaz üretimi, nihai patojen giderimi, çamur üretiminde azalma, bekleme zamanının indirgenmesi ve daha iyi enerji balansı ile ekonomik fizibilite sağlaması olduğunu belirtmişlerdir.

Hidaka vd (2015) yaptıkları çalışmada, çeşitli organik atıkların arıtma çamuru ile karışımlarının anaerobik olarak ayrıştırma performansını değerlendirmiştir. Organik atık olarak arıtma tesisinde bulunan mutfak çöpi, yiyecek atıkları ve tarımsal atıklar kullanılmıştır. Birleşik çürütme yönteminin çeşitli organik atıkların kullanımı için uygun olduğu tespit edilmiştir.

## 2.3. Yasal Mevzuat

### 2.3.1. Ulusal mevzuat

Türkiye’de katı atıklar ile ilgili ilk mevzuat 1991 yılında Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği adı altında oluşturulmuştur. Yönetmeliğe göre belediyelerin almak zorunda olduğu tedbirlerin bazıları şunlardır:

- Her türlü atıkların çevreye zarar vermeden bertarafının sağlanmalıdır.
- Ekolojik denge ve doğal zenginliklerin atıklardan korunmalıdır.
- Katı atık üreten kişi ve kuruluşların en az katı atık üreten teknolojiyi seçme zorunluluğu vardır.
- Katı atıkları sınıflandırarak ayrı toplanmalıdır ve bunlara yönelik tedbirleri alınmalıdır.

Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik 2008 yılında yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin amacı atıkların oluşumlarından bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetimlerinin sağlanmasına yönelik genel esasların belirlenmesidir. Yönetmeliğe göre uygulanması gereken bazı kurallar şunlardır:

- Doğal kaynakların olabildiğince az kullanıldığı temiz teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması,
- Üretim, kullanım veya bertaraf aşamalarında çevreye zarar vermeyecek veya en az zarar verecek şekilde tasarlanan ürünlerin pazarlama ve teknik gelişiminin sağlanması,
- Geri kazanım sonrasında geriye kalan tehlikeli maddelerin nihai bertarafı için uygun tekniklerin geliştirilmesi ve uygulanması, suretiyle önlenmesi ve azaltılması esastır

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik 2010 yılında yayınlanmıştır. Yönetmelik atıkların düzenli depolama yöntemi ile bertarafı sürecinde oluşan sorunlar, teknik ve idari hususlar ile uyulması gereken kuralları belirlemektedir. Ayrıca biyobozunur atıklarla ilgili alınan kararlardan bazıları şunlardır:

- Biyobozunur atıkları kabul eden tüm düzenli depolama tesislerinde gazlar toplanıp doğrudan veya işlenerek enerji üretiminde kullanılır. Elde edilen depo gazının, enerji üretiminde kullanılmasının ekonomik olmaması halinde depo gazı meşalelerde yakılır.

- Bu Yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden itibaren 5 yıl içerisinde depolanacak olan biyobozunur atık miktarı, 2005 yılında üretilen toplam biyobozunur atık miktarının ağırlıkça % 75'ine, 8 yıl içinde % 50'ine ve 15 yıl içinde ise % 35'ine indirilir.
- Bakanlık, düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilecek biyobozunur atıkların azaltılması konusunda bu yönetmeliğin yürürlüğe giriş tarihinden itibaren azami iki yıl içinde ulusal strateji hazırlar. Bu strateji, geri kazanım, kompostlama, biyogaz üretimi veya enerji/madde geri kazanımı gibi yöntemler ile alınması gereken tedbirleri içerir.

Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği 2011 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin amaçlarından bazıları şunlardır:

- Çevresel açıdan belirli ölçütlere, temel şart ve özelliklere sahip ambalajların üretimine,
- Ambalaj atıklarının oluşumunun önlenmesi, önlenemeyen ambalaj atıklarının tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım yolu ile bertaraf edilecek miktarının azaltılmasına,
- Ambalaj atıklarının çevreye zarar verecek şekilde doğrudan ve dolaylı olarak alıcı ortama verilmesinin önlenmesine,
- Ambalaj atıklarının belirli bir yönetim sistemi içinde, kaynağında ayrı toplanması, taşınması, ayrılmasına ilişkin teknik ve idari standartların oluşturulmasına yönelik prensip, politika ve programlar ile hukuki, idari ve teknik esasların belirlenmesidir.

### 2.3.2. Avrupa birliği (AB) mevzuatı

Katı Atık Çerçeve Direktifi (75/442/EEC) atık yönetim standartlarını oluşturmak amacıyla 1975 yılında yayınlanmıştır. Direktif atık kavramını ve atık ile ilgili terimleri tanımlayarak atık yönetiminin çerçevesini oluşturmaktadır. Üye ülkelerin sorumlu olduğu ilkelerin bazıları şunlardır:

- Temiz teknoloji geliştirerek oluşan atığın azalmasını sağlamak,
- Ürünlerin üretilmesinden bertarafına kadar olan herhangi safhada oluşan çevresel etkilerin sifira indirgenmesini ya da azaltılmasını sağlamak,
- Atığın geri kazanımını sağlayacak programlar oluşturmak,
- Yasa dışı çöp dökmeleri ve kontrolsüz bertaraf yöntemlerinin önüne geçmek.

Atıkları Düzenli Depolama Direktifi (1999/31/EC) atıkların düzenli depolanmasına yönelik standartları oluşturmak amacıyla 1999 yılında yayınlanmıştır. Biyolojik olarak ayrışan atıkların depolanması ile depo gazından enerji elde edilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca biyolojik olarak ayrışabilen atıklar tanımlanmıştır. Toprak, yeraltı suyu ve yüzey sularının kirliliğinin önüne geçilmesi amacıyla sızıntı suyunun artırılması gerekmektedir. Ayrıca üye ülkelerin biyolojik olarak ayrışabilen atıklar ile ilgili sorumlu olduğu ilkelerin bazıları şunlardır:

- 2006 yılına kadar 1995 yılında düzenli depolamaya giden biyobozunur atıkların ağırlık bazında % 75'e indirgenmesi,
- 2009 yılına kadar 1995 yılında düzenli depolamaya giden biyobozunur atıkların ağırlık bazında % 50'ye indirgenmesi,
- 2016 yılına kadar 1995 yılında düzenli depolamaya giden biyobozunur atıkların ağırlık bazında % 35'e indirgenmesi hedeflenmiştir.

Genel Atık Direktifi (2008/98/EC) atık üretimin azaltılmasına ve geri dönüşüme yönelik bir toplum oluşturmak, ayrıca bazı direktifleri yürürlükten kaldırmak amacıyla 2008 yılında yayınlanmıştır. Bu direktifte biyolojik atığında tanımı yapılmıştır. Üye ülkelerin biyolojik atıklarla ilgili sorumlu olduğu ilkelerin bazıları şunlardır:

- Biyolojik atıkların ayrı toplanarak kompostlanması ya da anaerobik ayrışması,
- Biyolojik atıkların çevresel korumayı gözetecek şekilde işlenmesi,
- Biyolojik atıklardan üretilen çevre dostu ürünlerin kullanılması.

Yukarıdaki direktifler dışında Atık Direktifi (2006/12/EC) ve Endüstriyel Emisyon Direktifi (2010/75/EC) katı atıklar ile ilgili standart oluşturmayı hedeflemiştir. Direktifler üye ülkeleri belirtilen sorumluluklara tabi tutmaktadır. Ancak Atıkları Düzenli Depolama Direktifinde olduğu gibi Avrupa Birliğine (AB) girmek isteyen, gelişmekte olan, ülkeler için farklılıklar olabilmektedir.

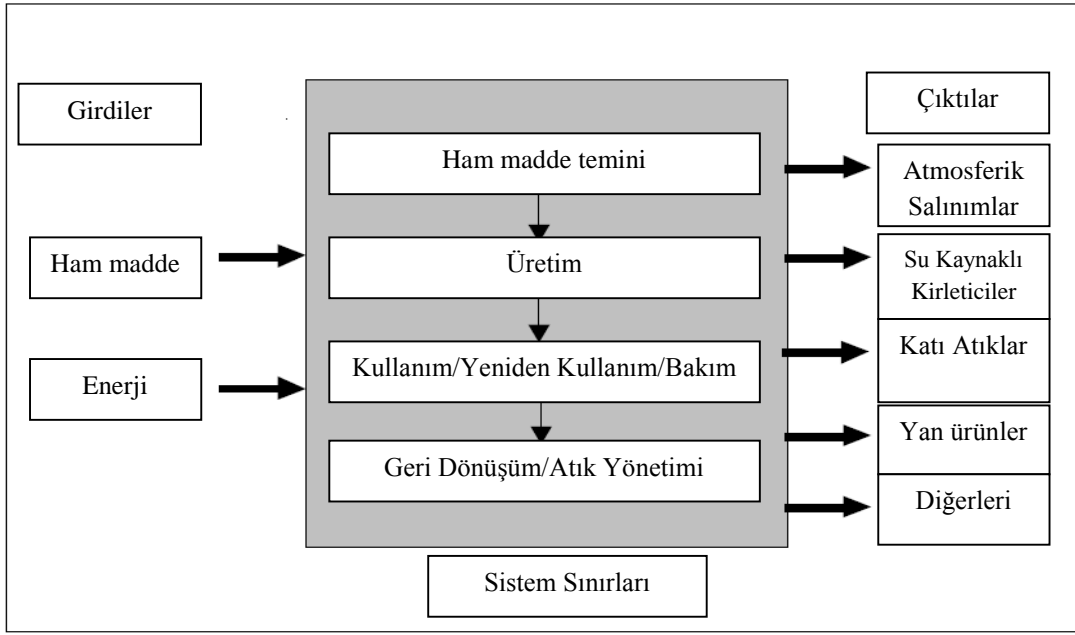
#### **2.4. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)**

Dünya genelinde çevre bilinci artıkça, endüstriler ve şirketler ürünlerinin ve üretim proseslerinin çevresel etkilerini değerlendirmeye başlamışlardır. Kaynakların tükenmesi, küresel ısınma vb. konular sadece ilgili bilim insanları tarafından değil toplum tarafından da dikkat çekmeye başlamıştır.

Bir ürünün kullanımından bertarafına kadar olan aşamalarındaki girdilerinin, çıktılarının ve potansiyel çevresel etkilerinin toplanıp değerlendirilmesine Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) denir (ISO 14040). Demirer'e (2011) göre, 'YDA yöntemi bir ürün ya da hizmet üretiminde kullanılan hammaddelerin elde edilmesinden başlayarak, ilgili tüm üretim, sevkiyat, tüketici tarafından kullanım ve kullanım sonrası atık olarak bertarafı da kapsayan yaşam döngüsünün farklı aşamalarındaki (Şekil 2.7) çevresel etkilerini belirlemek, raporlamak ve yönetmek için kullanılır. Söz konusu çevresel etkiler iklim değişikliği, stratosferik ozon tabakasındaki incelme, ötrifikasyon, asidifikasyon, toksik emisyonlar gibi doğal kaynak tüketimi bazlarında değerlendirilir'.

Yaşam döngüsü analizinin ortaya çıkışı 1960'ın başlarına dayanmaktadır. Ham madde kaynaklarının sınırlı olması ve enerji kaynaklarındaki sorunlar enerji kullanımının kümülatif olarak hesaplanmasına yöneltmiştir. Bu konudaki ilk yayınlardan biri 1963 yılında Dünya Enerji Kongresinde yayınlanmıştır. Daha sonraki yıllarda küresel modelleme çalışmaları; The limits to Growth (Meadows vd 1972) ve A Blueprint for Survival (Goldsmith vd 1972) yayınlanmıştır (EPA 1993).





Şekil 2.7. Yaşam döngüsü analizi aşamaları (EPA 1993)

1969 yılında Coca Cola şirketi için yaptıkları çalışma Amerika Birleşik Devletlerinin (ABD) Yaşam Döngüsü Envanterinin temelini oluşturmuştur. Bu çalışma daha sonra Avrupa ve ABD geneline yayılmış ve diğer şirketlerde adapte etmişlerdir. Bu durumu Kaynak ve Çevre Profil Analizleri (REPA) takip etmiştir. ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) 1993'de YDA için standart ve kuralları yayınladıktan sonra Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO) YDA prensip ve çerçeve kurallarını (ISO 14040) yayınlamıştır.

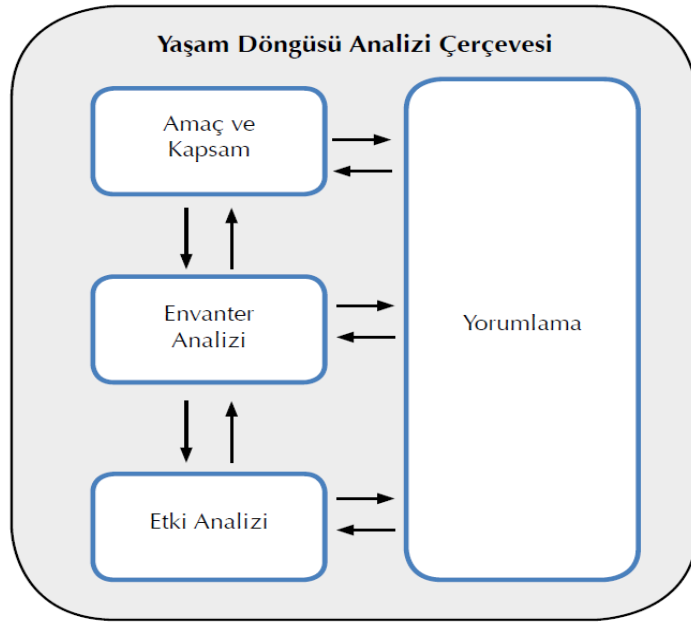
Yaşam Döngüsü Analizi üzerine Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu'nun (ISO) yayınladığı yayınlar şöyledir:

- ISO 14040 (Çevre Yönetimi / Yaşam Döngüsü Analizi / Prensipler ve Çerçeve).
- ISO 14041 (Çevre Yönetimi / Yaşam Döngüsü Analizi / Amaç, Kapsam, Tanım ve Envanter Analizi).
- ISO 14042 (Çevre Yönetimi / Yaşam Döngüsü Analizi / Yaşam Döngüsü Etki Analizi).
- ISO 14043 (Çevre Yönetimi / Yaşam Döngüsü Analizi / Yaşam Döngüsü Yorumlaması).

#### 2.4.1. Amaç ve kapsam

Bu aşamada çalışmanın amacı, kapsamı, sınırları ve detaylandırma düzeyi tanımlanır. YDA'da ilk aşama olan amaç ve kapsam, yapılacak çalışmanın amacını ve yaşam döngüsü boyunca oluşacak çevresel etkilerin karar verme sürecine nasıl katılacağına dair yöntemin belirlendiği aşamadır. Karar verme sürecine katkı sağlayacak bilgilerin ve sonuçların ne kadar kesin olması gerektiği, sonuçların anlamlı ve kullanılabilir olmasını sağlamak için nasıl yorumlanması ve sunulması gerektiği gibi hususlar bu aşamada netleştirilmelidir. YDA süreci herhangi bir ürün, süreç veya

hizmetten kaynaklanabilecek olası çevresel etkilerin belirlenmesinde kullanılır. YDA' da amaç ve kapsam belirlemek, ne kadar zaman ve kaynağa ihtiyaç duyulacağını ortaya çıkaracağı gibi değerlendirme tamamlandığında en anlamlı sonuçların alınabilmesini sağlayacak şekilde tüm analiz aşamalarına yol gösterecektir. Hedef tanımı ve kapsam belirleme aşamasında alınan her karar, çalışmanın nasıl yönetileceğini ve nihai sonuçların uygunluğunu etkileyecektir. YDA çalışmasının başında alınması gereken kararlar ve bu kararların YDA çalışmasında yaratacağı etkiler aşağıdaki bölümlerde verilmektedir (Demirer 2011). Şekil 2.8'de YDA çerçevesi ve amaç kapsamın bu çerçevedeki yeri görülmektedir.



Şekil 2.8. Yaşam döngüsü analizi çerçevesi (USEPA 2006)

#### 2.4.2. Envanter analizi

Bu aşamada çalışılan sistemin kapsamı dahilinde gerçekleşecek enerji, su, ham madde kullanımı ve bunlara bağlı çevresel emisyonlar belirlenir. Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE), bir ürünün, sürecin veya aktivitenin tüm yaşam döngüsü için ham madde ve enerji ihtiyaçlarını, atmosferik ve su ile taşınan emisyonlarını, katı atıklarını ve diğer salınımlarını hesaplayan bir süreçtir. Bir YDA çalışmasının yaşam döngüsü envanteri aşamasında, bütün ilgili veriler toplanır ve sınıflandırılır. YDE olmadan karşılaştırmalı çevresel etkiler veya bunlardaki potansiyel değişiklikler belirlenemez. Toplanan verilerin detayları ve doğruluk düzeyi YDA çalışmasının diğer aşamalarının doğruluğunu ve sonuçların kullanılabilirliğini doğrudan etkiler. Yaşam döngüsü envanter analizleri çeşitli biçimlerde kullanılabilir. Ürünlerin veya proseslerin karşılaştırılması ve malzeme seçiminde çevresel faktörlerin dikkate alınması buna örnek olarak verilebilir. Bunlara ek olarak envanter analizleri hükümetlere, kaynak kullanımı ve çevresel emisyonlar konusunda politika belirlenmesi ve mevzuat geliştirilmesi için yardımcı olabilir (Demirer 2011).

Yaşam döngüsü envanterinin 4 aşaması vardır:

1. Değerlendirilmekte olan sürecin akış diyagramının oluşturulması
2. Veri toplama planının geliştirilmesi
3. Verilerin toplanması
4. Değerlendirme ve raporlama

### 2.4.3. Etki analizi

Envanter analizi aşamasında belirlenen enerji, su, ham madde kullanımı ile çevresel emisyonların insan sağlığı ve çevresel değerler üzerindeki olası etkileri değerlendirilir. Yaşam Döngüsü Etki Analizi (YDEA) safhasında, YDE sırasında tanımlanan olası çevresel salınımların insan sağlığı, çevresel değerler ve doğal kaynak tüketimi üzerindeki etkileri değerlendirilir. Yaşam döngüsü etki analizi, ürün/proses ve bunun olası çevresel etkileri arasında bir bağlantı kurar. Bir YDEA, bu tür çevresel etkilerin sınıflandırılması ve kategorize edilmesi için sistematik bir prosedür sunar. YDE aşamasında toplanan veriler dikkate alındığında elde edilen envanterin bir proses tüm aşaması hakkında bilgi verir (Demirer 2011). Çizelge 2.4'te yaşam döngüsü analizi etki kategorileri ve bu kategorilere etki eden faktörler verilmiştir.

Çizelge 2.4. Yaşam döngüsü analizi etki kategorileri (USEPA 2006)

Etki Kategorisi	Ölçek	Değerlendirilen veriler	Karakterizasyon birimi
Küresel ısınma	Küresel	Karbondioksit Nitrojendioksit, Metan Kloroflorokarbonlar Hidrokloroflorokarbonlar Metilbromid	Karbondioksit eşdeğeri (kg)
Asidifikasyon	Bölgesel Yerel	Sülfüroksitler, Nitrojen oksitler, Hidroklorik asit Hidroflorik asit, Amonyak	Hidrojen eşdeğeri (kg)
Ötrofikasyon	Yerel	Fosfat, Nitrojenoksit Nitrojendioksit, Nitratlar Amonyak	Fosfat eşdeğeri (kg)
Fotokimyasal sis	Yerel	Metan olmayan hidrokarbon	Metan eşdeğeri (kg)
Karasal zehirlilik	Yerel	Zehirli kimyasallar	LC50 eşdeğeri (kg)
Su zehirliliği	Yerel	Zehirli kimyasallar	LC50 eşdeğeri (kg)
İnsan sağlığı	Küresel Bölgesel Yerel	Havaya, toprağa ve suya yapılan salınımlar	LC50 eşdeğeri (kg)
Kaynak tüketimi	Küresel Bölgesel Yerel	Kullanılan kaynaklar	Kullanılan miktara karşın rezervde kalan kaynağın miktarı
Arazi kullanımı	Küresel Bölgesel Yerel	Arazi kullanımı	Kullanılan alan
Su kullanımı	Bölgesel Yerel	Su tüketimi	Kullanılan miktara karşın rezervde kalan kaynağın miktarı

Aşağıda yaşam döngüsü etki analizini oluşturan aşamalar verilmiştir:

- Etki kategorilerinin seçilmesi ve tanımlanması: İlgili çevresel etki kategorilerinin tanımlanması (örneğin, küresel ısınma, asidifikasyon, karasal zehirlilik vb.),
- Sınıflandırma: YDE sonuçlarının etki kategorileri ile ilintilendirilmesi (örneğin, tüm karbondioksit emisyonlarını, küresel ısınmaya katkılarını gösterecek şekilde sınıflandırma),
- Karakterizasyon: Bilimsel karakterizasyon faktörleri kullanarak her bir etki kategorisinin modellenmesi (örneğin, karbondioksitin ve metanın küresel ısınmaya potansiyel etkilerinin modellenmesi),
- Normalizasyon: Karşılaştırılabilen potansiyel etkileri açıklamak (örneğin, karbondioksitin ve metanın küresel ısınmaya olan etkilerini karşılaştırmak),
- Gruplandırma: Göstergelerin sınıflandırılması ve sıralanması (örneğin, göstergelerin konuma göre yani yerel, bölgesel ve küresel bazda sınıflandırılması),
- Ağırlıklandırma: En önemli potansiyel etkileri vurgulama,
- YDEA sonuçlarını değerlendirme ve raporlandırma.

#### 2.4.4. Yorumlama

Envanter ve etki analizi aşamalarının sonuçları değerlendirilerek karşılaştırılanlar arasından tercih edilecek ürün, süreç ya da hizmet seçilir. Bu seçim esnasında yapılan tahminler ve var olan belirsizlikler YDA kapsamında açık bir şekilde belirtilir. Yaşam döngüsü analizinin yorumlama aşamasında YDE ve YDEA aşamalarında elde edilen sonuçlar uygun tekniklerin yardımıyla değerlendirilir. YDA'nın son aşaması olan yorumlamanın amacı ISO tarafından şu şekilde tanımlanmıştır (Demirer 2011):

1. Önceki aşamalarda elde edilen bulguların değerlendirilmesi, sonuçların belirlenmesi, kısıtların tanımlanması, önerilerin yapılması ve YDA çalışması sonuçlarının şeffaf bir biçimde raporlanması
2. YDA çalışmasının sonuçlarının amaç ve kapsam bölümü ile uyumlu olarak, kolay anlaşılabilir, eksiksiz ve tutarlı bir şekilde sunulması.

#### 2.4.5. Yaşam döngüsü analizi (YDA) ile ilgili kullanılan yazılımlar

Yaşam döngüsü analizi ile atık yönetimini irdeleyen birçok yazılım mevcuttur. Bu yazılımlardan dünya çapında yaygın olarak kullanılanlarından bazıları;

- GaBi
- SimaPro
- Quantis Suite

- Earth Smart
- Sustainable Minds
- Enviance System
- Open LCA

## 2.5. Yaşam Döngüsü Analizi ve Atık Yönetimi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde yaşam döngüsü analizi metodolojisi ile gerçekleştirilmiş atık yönetimi çalışmaları yer almaktadır. Geçmişten günümüze yapılan çalışmaların irdelenmesi ve gelecek vizyonun belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

Finnveden (1999) yaptığı çalışmada, birleşik katı atık yönetimine YDA'nın metodolojik bakış açısını incelemiştir. Sistemin sınırlarının kesin olarak nasıl çizilmesi gerektiğini, sınıflandırmayı, emisyonların periyodlarını ve YDA'nın etki kategorisini değerlendirmiştir. Sonuç olarak gelişmekte olan YDA'nın farklı alanlarda yapılan çalışmaların birbirini besleyeceğini söylemiştir.

Clift vd (2000) yaptıkları çalışmada, birleşik katı atık yönetimine YDA uygulamışlardır. İyi bir katı atık yönetimi YDA analizi için sistem sınırlarının dikkatli tanımlanması gerektiğini ve enerji ve materyal geri kazanımın (çevresel kredi) hesaba katılması gerektiğini savunmuşlardır. Bunu direk, dolay ve kaçınılmaz yük olarak 3 farklı kategori altında ve bulunduğu bölgeye ve zamana göre değişken olarak tanımlamışlardır.

Arena vd (2003) yaptıkları çalışmada, alternatif katı atık yönetim seçeneklerini YDA yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Güney İtalya'nın Campania Bölgesi için yapılan çalışmada düzenli depolama (enerji kazanımı var), RDF (artık yakıt) üretimi ve yakma ve kitlesel yanma seçenekleri kullanılmıştır. Enerji ve madde tüketimi, iklim değişikliği ve asidifikasyon gibi etki kategorilerinden düzenli depolama genel olarak en kötü seçenek olarak öne çıkmıştır. Diğer yöntemlerde de cam ve alüminyum ayırma donanımının kullanımının emisyonları azalttığı görülmüştür.

Lundie vd (2005) yaptıkları çalışmada, yiyecek atıklarının yönetim seçeneklerinin YDA'sını incelemiştir. Gıda atıkları tezgâh altı öğütücü, evsel kompostlama, kentsel atıklar ile gıda atıklarının düzenli depolama tesisine gönderilmesi ve kompost tesisi karşılaştırılmıştır. Tüm etki faktörlerinde aerobik kompostlama en uygun yöntem olmuştur.

Reich (2005) yaptığı çalışmada, kentsel atık yönetiminin YDA'sına ekonomik analiz kısmına da eklemiştir. Çalışmada İsveç'teki örnek uygulama üzerinden farklı analiz örnekleri verilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak bu metodolojik yaklaşımın analizleri kolaylaştırırsa da evsel kaynaklı atıklar, kaynak değerlendirmesi gibi kesinlik arz etmeyen olgular metodolojiye zora sokmaktadır.

Özeler vd (2006) yaptıkları çalışmada, Ankara kentsel katı atık yönetim seçeneklerini YDA kullanarak karşılaştırmışlardır. Dikkate alınan 5 farklı senaryodan küresel ısınmaya olan etkisi hariç en uygunu kaynakta ayırma ve düzenli depolama olarak

bulunmuştur. Anaerobik ayrıştırma küresel ısınma bazında en düşük etkiyi göstermektedir.

Hansen vd (2006) yaptıkları çalışmada, İskandinav ülkelerini kapsayan kentsel organik atıkların işlendikten sonra tarımsal araziler üzerindeki çevresel etkilerini YDA ile modellemişlerdir. Anaerobik ayrıştırma ve kompost sonrası çıkan ürünü kumlu ve verimli iki farklı toprağa uygulamışlardır. Organik karbon içeriğinden dolayı toprak kalitesi geliştiği görülmektedir.

Güereca vd (2006) yaptıkları çalışmada, Barselona’da bulunan organik atık yönetim sistemi ile gelecekte olması planlanan yönetimi kıyaslamışlardır. 12 senaryonun 7’sinde gelecek organik atık yönetimi daha az çevresel etkiye sahiptir. Sonuç olarak gelecek sistemin daha uygun olduğuna karar vermişlerdir.

Schmidt ve Pahl- Wostl (2007) yaptıkları çalışmada, YDA analizi için organik atık akışının modellenmesini yapmışlardır. Organik atık mutfak ve bahçe atıklarını içermektedir. Literatür çalışması olan bu makalede organik atık yönetimini için toplanan atık miktarının iyi bilinmesi gerektiğini, mutfak ve bahçe atıkları oranının bilinmesi gerektiğini ve kaynağında ayrı toplama yapılacaksa iyi irdelenmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Buttol vd (2007) yaptıkları çalışmada, İtalya’nın Bolonya bölgesindeki birleşik belediye katı atık yönetiminin YDA analizini yapmışlardır. Bölgeyi 5 farklı alana ayırıp 3 farklı senaryoda karşılaştırmışlardır. Hali hazırda aktif olan tesis, 2. Bölgeye ve 5 bölgeye yerleştirilecek yakma tesisi ile 3 farklı senaryo oluşturulmuştur. Sonuç olarak her bölgede farklı birbirine yakın sonuçlar elde edilmiş ve 4. detaylı bir senaryo ile modelin geliştirilerek tartışılması öngörülmüştür.

Blengini (2008) yaptığı çalışmada, Piedmont bölgesindeki organik atık yönetiminin YDA’sını incelemiştir. Yaptığı çalışmada literatür verilerini ve SimaPro 7 yazılımını kullanmıştır. Organik atık bertaraf yöntemlerinden depolama, kompost ve anaerobik ayrıştırma metotlarını 6 farklı kategoride değerlendirmiştir. Anaerobik ayrıştırma 5 kategoride en uygunu çıkmıştır, kompostlama ise küresel ısınma faktöründe iyi bir yöntemdir. Depolama ise en kötü bertaraf yöntemi olduğunu savunmaktadır.

Banar vd (2009) yaptıkları çalışmada, Eskişehir için katı atık yönetimini yaşam döngüsü analizi ile değerlendirmişlerdir. Atığın toplanması, taşınması, madde geri dönüşümü, kompostlanması, yakılması ve düzenli olarak depolanması oluşturulan senaryolarda değerlendirilmiştir. Yaşam döngüsü envanteri olarak yapılan analizlerden elde edilen veriler, literatür bilgisi ve yazılımın içindeki veri tabanı kullanılmıştır. Oluşturulan senaryolardan kompostlamanın çevresel açıdan daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Refsgaard vd (2009) yaptıkları çalışmada, organik gıda atıklarının geri dönüşümü ile ilgili ev bireylerinin davranışlarını incelemişlerdir. Verileri belediye çalışanları, anketler, odak grubu ve çok kriterli haritalama yöntemleri kullanılmıştır. Birinde organik atık geri dönüşümü olan ve diğerinde olmayan iki bölge karşılaştırılmıştır. İnsanların

kendi kentsel atık bertaraf yöntemini benimsediği dolayısı ile yönetim şeklinin toplum davranışları üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

De Feo vd (2009) yaptıkları çalışmada, en ideal kentsel katı atık yönetimini YDA ile seçmeye çalışmışlardır. Geri dönüşüm oranları ve yöntemleri farklı olan 10 senaryo bunlara ek olarak 2 ayrı senaryo ile modelleme yapmışlardır. Geri dönüşüm oranı % 35 ile % 80 arasındadır. Yakma, kompostlama ve RDF tesisi sonucunda düzenli depolama son seçenek kullanılmıştır. Muhtemel senaryolar arasından 6 etki kategoride en çevre dostu çıkan %80 ayrı toplama, RDF yakma yok ve kuru ayırma yöntemidir.

Roy vd (2009) yaptıkları çalışmada, bazı gıda ürünlerinin YDA analizlerinin literatür taramasını yapmışlardır. Endüstriyel gıda ürünleri, mandıra ve et ürünleri ve bazı diğer tarımsal ürünleri incelemişlerdir. Sonuç olarak çevresel yükün üretim, paketlenme, dağıtım ve tüketim gibi aşamalarını modifiye ederek azaltılabileceğini öngörmüşlerdir. Ayrıca YDA metodunun diğer yaklaşımlarla birleştirilerek daha etkin karar mekanizma aracı olarak kullanılacağını önermişlerdir.

Zhao vd (2009) yaptıkları çalışmada, Çin'in Tianjin bölgesindeki kentsel katı atık yönetiminin YDA sını yapmışlardır. Ana kriter olarak sera gazları salınımıdır. Hazırda bulunan kentsel katı atık yönetimine yeni teknolojik gelişmeler ve alternatifler ekleyerek 6 senaryo oluşturmuşlardır. Sonuç olarak hazırda bulunan depolama ve yakma sistemine ek olarak depo gazı sistemi, materyal geri dönüşüm tesisi ve anaerobik ayrıştırmanın eklenerek en uygun sistemin oluşacağı öngörmüşlerdir. Ancak ekonomik durum göz önünde bulundurulduğunda geri dönüşüm tesisi yerine kompost ya da sadece anaerobik ayrıştırma tesisinin uygun olduğu ve YDA yapılırken maliyetinde birlikte analiz edilmesi gerektiğini savunmuşlardır.

Banar ve Çokaygil (2009) yaptıkları çalışmada, alternatif peynir paketlerinin yaşam döngülerini karşılaştırmışlardır. Kullanılan paketlenme malzemeleri; polipropilen, karton ve polietilen ve konserve ile polietilendir. Karşılaştırmak için 1 kg peynir baz alınmıştır. Oluşturulan senaryolar, üretim, dağıtım ve atık bertarafını içermektedir. Çalışma sonucu en iyi senaryonun karton ve polietilen, en kötü senaryonun ise konserve ve polietilen olduğu belirtilmiştir.

Cleary (2009) yaptığı çalışmada, kentsel katı atıkların yönetim sistemlerini ele alan YDA çalışmalarının literatür taramasını yapmıştır. Bu makale 20 proses bazlı çalışmanın sistem sınırlarını, veri kaynak tiplerini, çevresel etki kategorileri gibi değerlerini incelemiştir. Düzenli depolama tesisinde net enerji kullanımı ve asidifikasyon genel olarak en düşük çıkmıştır. Termal arıtımda küresel ısınma potansiyeli en düşük çıkmıştır. Kompleks sistemler için kesin sonuçların net olmadığı ayrıca çoğu yayının metodoloji kısmının transparan olmadığı için anlaşılacağı öne sürülmüştür.

Cherubini vd (2009) yaptıkları çalışmada, atık yönetiminin YDA'sını yapmışlardır. Depolama, depolama ve biyogaz geri dönüşümü, atık ayrıştırma tesisi ve son olarak yakma tesisi senaryolarını karşılaştırmışlardır. Depolama seçeneklerinin en kötü senaryolar olduklarını savunmuşlardır. Ayırma tesisi sonrası elektrik ve biyogaz üretimi ise en uygun seçenek olarak görülmektedir. Ancak tüm seçenekler içerisinde depolamayı tamamen saf dışı bırakmak mümkün olarak görülmemektedir.

Blanco vd (2010) yaptıkları çalışmada, organik atık yönetimi için ev ve sanayi ölçekli kompost yapımını karşılaştırmışlardır. Sistemin fonksiyonel ünitesi belediye atıklarındaki organik atık miktarıdır. Endüstri boyutundaki kompost yapımı abiyotik tüketim, ozon tabakasının incilmesi, fotokimyasal oksidasyon ve kümülatif enerji gereksiniminde evde yapılandan daha fazla etkiye sahipken asidifikasyon, ötrofikasyon ve küresel ısınmada daha az etkilidir.

Gentil vd (2010) yılında yaptıkları çalışmada, atık yönetiminde kullanılan YDA modellerini teknik açıdan karşılaştırmışlardır. Birbirine yakın modellerde çıkan farklı sonuçların fonksiyonel ünite, sistem sınırları, atık içeriği ve enerji modellemesinden kaynaklanabileceğini öngörmüşlerdir. Farklı 8 modelin karşılaştırılması yapılmıştır. Her farklı model ve modeli yapılacak bölge için farklı teknik varsayımların, veri girdilerinin ve kullanılan teknolojilerin de dikkate alınması gerektiğini öngörmektedirler.

Levis vd (2010) yaptıkları çalışmada, Amerika ve Kanada'daki gıda atıklarının durumlarını değerlendirmişlerdir. Atıkların büyük bir kısmının gömüldüğü bu ülkelerde bulunan anaerobik ayrıştırma ve kompostlama tesislerini değerlendirerek bir karşılaştırma yapmışlardır. Sonuç olarak bu çalışma için değerlendirmeye aldıkları yiyecek ve bahçe atıkları için kaynağında ayrı toplama ve anaerobik ayrıştırma yöntemini çevre açısından uygun bulmuşlardır. Madde ve enerji geri dönüşümünün olması bu yöntemler için avantaj olmaktadır. Ancak üretilen son ürününde toprak iyileştirici olarak satılması da ekonomik açıdan gerekli görülmektedir.

Bovea vd (2010) yaptıkları çalışmada, İspanya'nın bir bölgesi için alternatif kentsel katı atık yönetim stratejilerinin çevresel değerlendirmesi incelemiştir. Günlük ortalama 207 ton atık çıkan İspanya'nın bu bölgesinde % 50 ve % 100 ayrı toplandığı varsayılan 2 farklı senaryoya geri dönüşüm, biyolojik gazlaştırma, kompostlama, düzenli depolama (enerji geri dönüşümü olan ve olmayan) senaryoları eklenerek kıyaslanmıştır. Sonuç olarak enerji geri dönüşümü ve biyolojik gazlaştırma olan senaryolar daha çevre dostu olarak görülmüştür. Bunu yanı sıra ekonomik ve sosyal değerlendirme analizinin yapılarak daha detaylı irdelenmesi gerektiğini öne sürmüşlerdir.

Kim H. ve Kim W. (2010) yaptıkları çalışmada, küresel ısınma ve kaynak tüketimini dikkate alarak mutfak atıklarının bertaraf yöntemlerinin YDA'sını yapmışlardır. Ayrı toplanan mutfak atıkları kuru ve ıslak besleme, kompostlama ve düzenli depolama seçenekleri ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre hayvan besleme yönteminin ve kompostlamanın düşük enerji tüketimi ve sera gazı üretimi görülmüştür.

Pires vd (2011) yaptıkları çalışmada, Avrupa ülkelerindeki katı atık yönetiminin sistem analizlerini çevresel, sosyal, teknik ve ekonomik olgularını dikkate alarak incelemiştir. Yapılan derin literatür taraması sonucunda Avrupa birliği ülkeleri için varılan sonuçlardan bazıları; geniş ölçekte sistem analizi yapılması ve bunun YDA gibi değerlendirme yöntemleri ile birleştirilmesi, karbon ve su ayak izinin dikkate alınmasıdır.

Lebersorger vd (2011) yaptıkları çalışmada, evsel atıklardaki gıda atıklarının belirlenmesi metodolojisini incelemiştir. Literatür taraması ve bir örnek içeren bu



çalışmada gıda paketlerinin gıda atıkları kategorisine girmesini önermekte ve sınıflandırmadan önce elek işleminin veri kaybına yol açtığını savunmaktadır.

Gentil vd (2011) yaptıkları çalışmada, kentsel atık önleme çalışmalarının çevresel değerlendirmesini yapmışlardır. Ambalaj ve mutfak atıklarını baz alarak ileri ve düşük teknoloji arıtım sistemlerinde çevresel etkileri incelemişlerdir. Yiyecek atıklarının çevresel olarak büyük etkiye sahip olduğu ve genel anlamda atık önleme politikasının düşük teknolojiye sahip sistemlerde daha büyük etki yarattığı görülmüştür. Ayrıca uygulanmasının zor olduğu belirtilmesine karşın emisyon azalımının da ve iklim değişimine olumlu etkisi olduğu açıkça görülmektedir.

Bernstad ve Jansen (2012) yaptıkları çalışmada, 25 farklı mutfak atıklarının YDA çalışmasını incelemiştir. Yapılan çalışmada farklı ülkeler, farklı yazılımlar, farklı sistem sınırları ve bertaraf yöntemleri görülmektedir. Genel organik atık bertaraf yöntemleri olarak depolama, termal arıtım, kompost ve anaerobik ayrıştırma kullanılmıştır ve ana ölçüt küresel ısınma potansiyeline katkıdır. Çalışmadan çıkan sonuçların farklılıklarının farklı ülkelerde, farklı atıklarla, farklı sistem sınırları ve yöntem kullanılmasının sebep olduğu kanısına varılmıştır.

Kong vd (2012) yaptıkları çalışmada, YDA yöntemini Los Angeles County Sanitation Districts (LACSD) tarafından geliştirilen California specific information yöntemi ile organik atıkların bertaraf yöntemlerini karşılaştırmıştır. Küresel ısınma kriteri temel alınarak kompost ve anaerobik ayrıştırma yöntemleri kıyaslanmıştır. Depolamadan windrow ve statik kompostlama ayrıca anaerobik ayrıştırma depolama seçeneğinden küresel ısınmaya neden olan gazların salınımı temel alındığında avantaj sağlamıştır.

Saer vd (2013) yaptıkları çalışmada, yiyecek atıklarının kompostlama aşamalarının çevresel etkilerini YDA ile değerlendirmişlerdir. Atıkların toplanması, kompost üretimi ve dağıtımı ve kullanım aşaması değerlendirilmiştir. Kompost Pennsylvania State Üniversitesinde örnek çalışma olarak üretilmiş ve kullanım aşamasında turba kömürünün yerine değerlendirilmiştir. Kullanım aşamasının da YDA ya katılması tüm etkin kategorilerinde etkin kazanç sağlamış olmakla birlikte en büyük çevresel etki kompostlama safhasında ayrışmadan dolayı gerçekleşmiştir.

Morris vd (2013) yayınladıkları makalede, çoğu organik atıkların YDA'sı olan 82 çalışmayı incelemişlerdir. Organik atıkların bertaraf yöntemleri olan aerobik kompost, anaerobik ayrıştırma, gazlaştırma, yakma, mekanik biyolojik arıtım ve depolama gibi yöntemleri kıyaslamıştır. Sonuç olarak tüm kategoriler için en düşük olan tek bir yöntem yoktur. İklim değişikliği baz alındığında aerobik kompostlama ve anaerobik ayrıştırmanın tercih edilen bir yöntem olduğu görülmektedir.

Othman vd (2013) yaptıkları çalışmada, bazı Asya ülkelerindeki bütünleşmiş katı atık yönetimini incelemiştir. Üretilen atıkların miktarının ve içeriğinin ülkenin ve içindeki bireylerin ekonomik gelişmişliğinin önemini olduğunu vurgulamaktadır. Sonuç olarak gelişmekte olan ülkelerde çevreye terk edilmiş katı atık problemi vardır. YDA sonuçlarına göre anaerobik ayrıştırma belediye katı atıkları için uygun yöntemdir. Özellikle bu teknolojiyi sağlayacak ekonomiye sahip bazı Asya ülkeleri için ideal iken düşük gelirli ülkeler için termal seçenekler uygundur.

Buratti vd (2015) İtalya'nın Umbria bölgesi için organik atık yönetiminin yaşam döngüsü analizi çalışmasını yapmışlardır. Fonksiyonel ünite olarak 1 ton organik atık alınmıştır. Anaerobik ayrıştırma ve kompostlama temelli iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Kompost üretiminin olduğu senaryo'nun kanserojen, yer kullanımı, ötrofikasyon, küresel ısınma ve kaynak kullanımı konusunda çevreye daha az zarar verdiği belirtilmektedir.

Yay (2015) yaptığı çalışmada, Sakarya ilindeki katı atık yönetimine yaşam döngüsü analizini uygulamışlardır. Belirlenen etki kategorilerinde düzenli depolama ve yakma tesisi en kötü senaryo çıkmıştır. Bununla birlikte kompostlama ve madde geri kazanım yöntemlerinin daha iyi performans sergilediğini belirtmektedir.

## 2.6. Tez Çalışmasının Literatürdeki Yeri

TÜİK 2012 verilerine göre Antalya'da oluşan 900 bin ton katı atığın; yaklaşık olarak 600 bin tonu düzenli depolamada ve 240 bin tonu belediye çöplüklerinde gömülerek, 55 bin tonu kompost tesisine götürülerek, 2 bin tonu açıkta yakılarak ve 3 bin tonu da diğer yöntemlerle bertaraf edilmektedir.

Karbon bakımından zengin olan organik atıklar, enerji eldesinde ya da materyal dönüşümünde kullanılmak yerine masraf yapılarak gömülmektedir. Bu durum düzenli depolama tesislerinde arıtımı zor olan sızıntı suyu oluşturmaktadır. Ayrıca küresel ısınmaya etkisi olan ve ozon tabakasına zarar veren gazların oluşumuna yol açmaktadır.

Bu tez kapsamında yapılan literatür taramasında Dünya ve Türkiye genelinde yaşam döngüsü analizi metodolojisinin atık yönetimine uygulandığı çalışmalar irdelenmiştir. Bu çalışmalar, atık yönetiminin yapıldığı bölgeye ve kullanılan yöntemlere göre spesifik çalışmalar olduğu görülmüştür. Türkiye'de Özeler vd (2006), Banar vd (2009), ve Yay (2015) yaptıkları çalışmada sırasıyla Ankara, Eskişehir ve Sakarya illeri için katı atık yönetiminin yaşam döngüsü analizini yapmışlardır.

Bu çalışmanın özgünlüğü Antalya ili için organik atık bertaraf yöntemler için ilk defa yaşam döngüsü analizi uygulanmasıdır. Bunun için düzenli depolama, kompostlama ve anaerobik ayrıştırma senaryoları CML 2001 hesaplama yöntemi ve GaBi 6 yazılımı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Oluşturulan senaryoların sınıflandırılması yapıldıktan sonra, karakterizasyon ve normalizasyon analizi yapılarak çıkan sonuçlar yorumlanmıştır.

### 3. MATERYAL VE METOT

Bu tez kapsamında, yaşam döngüsü analizi sürdürülebilir katı atık yönetimi için Antalya’da oluşan organik atıkların bertaraf yöntemlerinin çevreye olan etkilerini karşılaştırmak amacıyla uygulanmış olup yapılan çalışmalar YDA’nın aşamaları olan Hedef ve Kapsam, Yaşam Döngüsü Envanter Analizi ve Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi başlıkları altında verilmiştir.

#### 3.1. Atık Örneklerinin Alınması ve Saklanması

Tez çalışması kapsamında kullanılan atık örnekleri Kemer 75.Yıl Katı Atık Ayrıştırma ve Kompost Tesisinden alınmıştır. Tesis Antalya’nın güneybatısında yer almakta olup kaynağından ayrı toplanmış olan bahçe ve mutfak atıklarının kompostlanması amacıyla kurulmuştur. Antalya Büyükşehir Belediyesi tarafından, 2014 yılı ikinci yarısında tesisin işletimi durdurulmuş ve depolanan atıkların Kızıllı Katı Atık Depolama Tesisi’ne taşınması kararlaştırılmıştır.

75. Yıl Katı Atık Ayrıştırma ve Kompost tesisine 02.04.2014 tarihinde gidilerek kaynağında ayrı toplanan mutfak ve bahçe atıkları ile bu iki atığın karışımı ile elde edilen karışık atık ve tesiste üretilmiş kompost örnekleri alınmıştır. Örnekler kilitli plastik poşetlere aktarılarak daha sonra ısı ve ışık geçirmeyen saklama kabına koyulmuştur. Daha sonra atık örneklerinde nem tayini analizi yapılmıştır. Nem tayini analizinden sonra örnekler ağır metal ve elementel analizi için toz haline getirilmiştir.

#### 3.2. Amaç ve Kapsam

Bu tezin amacı Antalya ili’nin mutfak ve bahçe atıklarından oluşan organik atıklarının değerlendirilmesi için en uygun yöntemin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda kaynağında ayrı olarak toplanarak 75. Yıl Katı Atık Ayrıştırma ve Kompost tesisine gelen mutfak, bahçe ve bunların karışımından elde edilen karışık atık ile üretilen kompostun elementel analizi, ağır metal analizi ve nem tayini analizi yapılmıştır. Karışık atık ve kompost verileri ile literatür bilgisi birleştirilerek GaBi 6 yazılımında aşağıdaki senaryolar oluşturulmuştur:

- Düzenli depolama
- Kompostlama
- Anaerobik ayrıştırma

Oluşturulan senaryolarda fonksiyonel birim 1 kg organik atıktır. Sistem sınırlarına atığın üretiminden bertaraf tesisine getirilmesi dahil edilmemiştir. Organik atıkların tamamen düzenli depolandığı, kompostlandığı ve anaerobik ayrıştırıldığı varsayılmıştır.

Çizelge 3.1. Atık bertaraf yöntemleri senaryolarının içeriği

	<b>Düzenli Depolama</b>	<b>Kompostlama</b>	<b>Anaerobik Ayrıştırma</b>
Elektrik üretimi	Var	Yok	Var
Son ürün	Yok	Kompost	Aritma çamuru
Sızıntı suyu arıtımı	Yok	Yok	Yok

### 3.3. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi

Çalışmada kullanılan veriler deneysel çalışmalardan ve literatürden elde edilmiştir. Elde edilen veriler senaryolar bazında sunulmuştur.

#### 3.3.1. Deneysel çalışmalar

Atığın karakterizasyonu için nem içeriği analizi, elementel ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Mutfak ve bahçe atıklarının sonuçları karışık atık sonuçlarının uygunluğunu belirlemek için alınmış olup yazılımda kullanılmamıştır.

##### 3.3.1.1. Nem içeriği analizi

Tesisten toplanan mutfak atığı, bahçe atığı, karışık atık ve kompost blender ile ayrı ayrı parçalandıktan sonra TS 10459 sayılı “Atıklar ve Katı Atıklarda Rutubet Tayini” standardı esas alınarak nem tayini yapılmıştır. Bu kapsamda atıklar 105 °C’ de etüvde (Nüve, FN500) 24 saat bekletildikten sonra sabit tartıma getirilerek ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Etüv sonrası kuru madde miktarı belirlenmiştir. İlk tartım ve son tartım arasındaki fark alınarak nem miktarı bulunmuştur.

##### 3.3.1.2. Ağır metal analizi

Etüv’den çıkan örnekler blender ile parçalandıktan sonra, öğütücü (IKA MF10) ile 0,5 mm boyutunda elekten geçirilerek toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen örnekler ependorf tüplere koyularak ağır metal analizlerin yapılması amacıyla Akdeniz Gıda Güvenliği ve Tarımsal Araştırmalar Merkezine gönderilmiştir. Analizi yapılan ağır metaller; Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Gümüş (Ag) ve Çinko (Zn)’dur. Analizler EPA metot 3051A ve metot 1669 izlenerek yapılmıştır. Ağır metal analizi sonuçları GaBi 6 yazılımında oluşturulan senaryolarda kullanılarak etki analizleri değerlendirilmiştir.

##### 3.3.1.3. Elementel analiz

Bölüm 3.3’te gibi hazırlanan örnekler elementel analizi yapılmak üzere Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Merkez Laboratuvarı AR-GE Eğitim ve Ölçme Merkezine gönderilmiştir. Analizler EPA metot 3051A ve metot 1669 izlenerek yapılmıştır. Analizi yapılan elementler; Karbon (C), Hidrojen (H), Azot (N) ve Kükürt (S)’ tür. Oksijen (O) oranı, % 100’den hesaplanan elementlerin toplam oranının ve % 5 kabul edilen kül miktarı oranının çıkarılması ile bulunmuştur. Nem tayini analizi ile belirlenen kuru madde miktarı yüzde oranlarla çarpılarak her elementin ağırlığı bulunmuştur. Element ağırlıkları, atığın formülünün oluşturulmasında ve bu formülün kompostlama ve anaerobik ayrışma sonucunda oluşan emisyonların bulunmasında kullanılmıştır. Bu emisyonlar GaBi 6 yazılımında değerlendirilmiştir.

#### 3.3.2. Atık formülünün oluşturulması

Organik atık ve kompost formülünün çıkarılması için Karbon (C), Hidrojen (H), Azot (N), Kükürt (S) oranları analiz sonucu belirlenmiştir. Daha sonra kül miktarı % 5

kabul edilerek Oksijen (O) miktarı bulunmuştur. Atık formülü aşağıdaki basamaklar takip edilerek bulunmuştur (Tchobanoglous vd 1993).

- Atığın elementel analizi ve nem tayini yapılır,
- Kuru atık üzerinden atık örneklerindeki elementlerin ağırlıkları hesaplanır,
- Element ağırlıkları elementlerin molar ağırlıklarına bölünür,
- Azot'un kat sayısı bir olacak şekilde formül elde edilir.

Nem tayini sonuçları ile elementel analiz sonuçları kullanılarak yukarı basamaklar takip edilmiştir. Örneklerin, elementel analizi ve nem tayini sonucu C, H, N, S ve O oranları bulunmuştur. Buradan 1 kg organik atıkta ağırlıkça hangi elementin ne kadar olduğu hesaplanmıştır. Bu değerler elementlerin molar ağırlıklarına bölünerek küürsüz formül çıkartılmıştır.

- Karışık organik atık :  $C_{17}H_{28}O_{13}N$
- Kompost :  $C_{11}H_{18}O_{11}N$

### 3.4. Etki Analizi

Bu çalışmada CML 2001 hesaplama yöntemi kullanılarak aşağıda bulunan etki kategorilerinde karşılaştırma yapılmıştır.

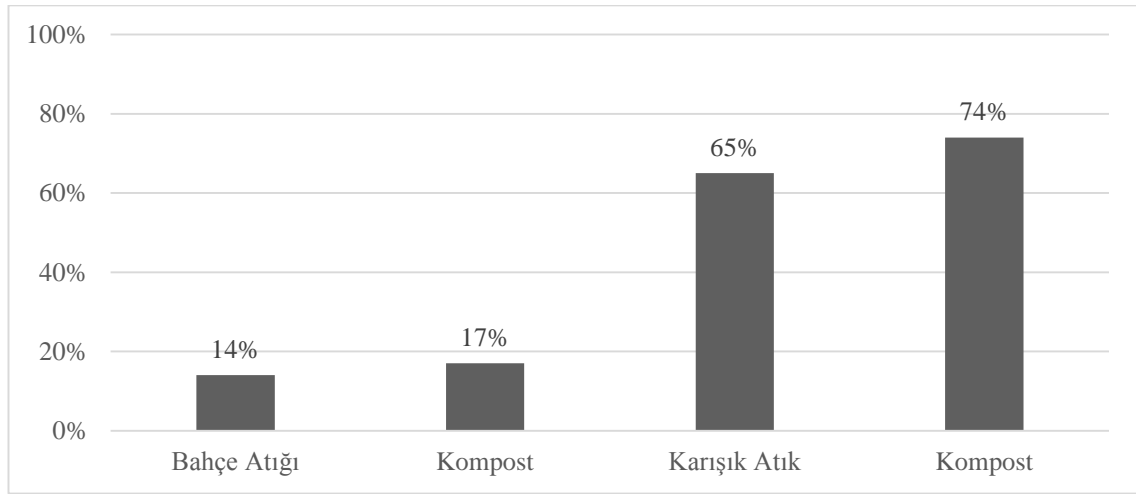
- Küresel ısınma
- Asidifikasyon
- Ötrofikasyon
- Ozon tüketimi
- Fotokimyasal sis
- Karasal zehirlilik
- Su zehirliliği
- İnsan sağlığı

#### 4. BULGULAR

Materyal ve metot bölümünde belirtildiği gibi yaşam döngüsü analizi kapsamında alternatif yöntemlerin karşılaştırılması için gerekli olan veriler; yazılımın veri tabanından, tez kapsamında gerçekleştirilen analizlerden ve literatürden alınmıştır. Bu bölümde yaşam döngüsü analizinde değerlendirilen verilere yer verilmiştir.

##### 4.1. Nem İçeriği Analizi Sonuçları

Mutfak atığı % 74 ile en çok nem içeren atıktır. Bunu karışık atık, kompost ve bahçe atığı sırasıyla % 65, % 17 ve % 14 nem oranlarıyla takip etmektedir. TS 10459 standardı ile nem tayini yapılan örneklerin sonuçları Şekil 4.1’de verilmektedir. Nem tayini analizi ile atık örneklerinin nem ve kuru madde miktarları belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Atık örneklerinin yüzdesel olarak nem tayini sonuçları

##### 4.2. Ağır Metal Analizi Sonuçları

Akdeniz Gıda Güvenliği ve Tarımsal Araştırmalar Merkezine gönderilen örneklerde analizi yapılan Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Gümüş (Ag) ve Çinko (Zn) analizlerinin sonuçları Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Ağır metal analizi sonuçları

	Ağır metal içeriği (mg/kg)			
	Mutfak Atığı	Bahçe Atığı	Karışık Atık	Kompost
Pb	15,6	12,3	6,25	5,3
Cd	0,45	0,32	0,24	0,1
Ag	0,15	0,1	0	0
Cr	84,3	76,2	52,5	30
Cu	73,7	47,5	32,9	20,6
Ni	75,6	67,5	56,8	15,3
Zn	203	151	121	77,5

### 4.3. Elementel Analiz Sonuçları

Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Merkez Laboratuvarı AR-GE Eğitim ve Ölçme Merkezine gönderilen atık örneklerinde yapılan Karbon (C), Hidrojen (H), Azot (N) ve Kükürt (S) analizi sonuçları ile kül miktarı % 5 kabul edilerek hesaplanan Oksijen (O) miktarı Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Elementel analiz sonuçları

Element	Mutfak atığı	Bahçe atığı	Karışık atık	Kompost
	%	%	%	%
Karbon	46,27	35,43	41,72	38,09
Hidrojen	7,17	4,88	5,95	4,90
Azot	2,85	1,21	3,07	3,93
Kükürt	0,44	-	-	-
Oksijen	38,27	45,99	44,26	48,08
Kül miktarı	5	5	5	5
Toplam	100	100	100	100

### 4.4. Enerji İçeriğinin Hesaplanması

Karışık organik atığın ( $C_{17}H_{28}O_{13}N$ ) enerji içeriğinin hesaplanması aşağıda verilen Dulong enerji denklemi ile yapılmıştır. Enerji içeriği analizi Antalya’nın organik atığı hakkında bilgi edinmek için yapılmış olup oluşturulan senaryolar dahilinde kullanılmamıştır.

$$\text{Btu/lb} = 145C + 610 (H_2 - (1/8) O_2) + 40S + 10N \quad (4.1)$$

Çizelge 4.3’de yukarıdaki formül de kullanılarak her elementin atom ağırlığı ve enerji üretimine katkısı verilmektedir. Karışık organik atık formülündeki her elementin mol sayısı atom ağırlıkları ile çarpılarak toplanmıştır. Her elementin mol ağırlığı toplam ağırlığa bölünerek yüzde oranları belirlenmiştir.

Yukarıdaki formülde her elementin yüzde oranları kullanılmıştır. Türkiye’deki kömürlerin % 90’nın alt ısı değeri 12600 kJ/kg’dır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2014). Kağıt ve kartonun enerji içeriği 17000 kJ/kg tahtanın enerji içeriği 18500 kJ/kg’dır (Tchobanoglous,1993). Organik atığın enerji içeriğine bakarak iyi bir enerji kaynağı olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.3. Organik atığın enerji içeriğinin hesaplanması (Tchobanoglous vd 1993)

Bileşen	Atom/mol	Atom ağırlığı	Her elementin katkısı	%
Karbon	17	12	204	45
Hidrojen	28	1	28	6
Oksijen	13	16	208	45,8
Azot	1	14	14	3,2
Toplam			454	100

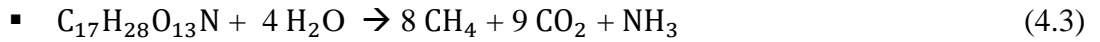
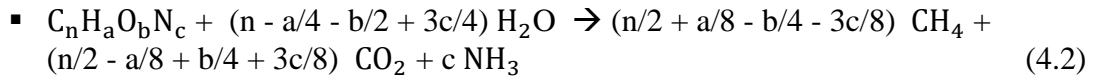
- Enerji içeriği:  $145 \cdot 45 + 610(6 - (45.8/8)) + 10 \cdot 3.2 = 6724.75$  btu/lb ya da
- $6724.75 \cdot 2.326 = 15641,79$  kj/kg

#### 4.5. Yaşam Döngüsü Analizi Envanteri

Yaşam döngüsü envanteri bir ürün, proses, materyal ya da aktivitenin tüm yaşam döngüsü boyunca tükettiği enerji ve hammadde, atmosfere ve suya salınan emisyonlar, oluşturduğu katı atıklar ya da tüm diğer atıkların hesaplandığı teknik veri tabanıdır (Vigon vd 1993).

##### 4.5.1. Düzenli depolama tesisi envanteri

Organik maddenin düzenli depolama tesisindeki ayrışma denklemi aşağıda verilmektedir (Buswell ve Mueller 1952). Bu denklem kullanılarak stokiyometrik olarak gerekli olan su miktarı ve oluşan emisyonlar hesaplanarak GaBi 6 yazılımında kullanılmıştır. Literatür bilgisine ek olarak elde edilen bu veriler Antalya'da oluşan karışık atığın formülünden elde edilmiştir. Bu Antalya'da oluşan atığın anaerobik ayrışma durumunda çevresel etkilerinin teorik olarak hesaplanmasını sağlamıştır.



Bu denklem ile karışık organik atık formülü ( $C_{17}H_{28}O_{13}N$ ) kullanılarak 1 kg organik atık için anaerobik şartlar altında hesaplanan teorik değerler aşağıda verilmektedir:

- 0,169 kg  $H_2O$  gerekmektedir.
- 0,834 kg  $CO_2$  oluşmaktadır.
- 0,295 kg  $CH_4$  oluşmaktadır.
- 0,040 kg  $NH_3$  oluşmaktadır.

Çizelge 4.4. Yaşam döngüsü analizi düzenli depolama tesisi envanteri

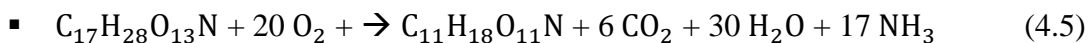
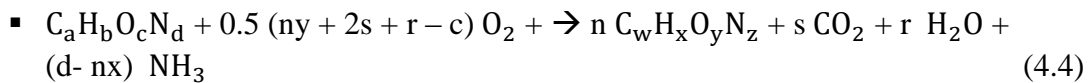
Girdiler	Miktar	Birim	Kaynak
Dizel	0,61	kg	White vd 1995
Organik atık	1	kg	
Su (yağmur)	0,169	kg	Tchobanoglous vd 1993
Çıktılar	Miktar	Birim	Kaynak
Organik halojenik karbon	0,0003	kg	White vd 1995
Amonyak	0,04	kg	Tchobanoglous 1993
Biyolojik oksijen ihtiyacı	0,475	kg	White vd 1995
Kadmiyum (toprak)	1,20E-07	kg	Ağır metal Analizi



Kadmiyum (su)	1,20E-07	kg	Ağır metal Analizi
Karbondioksit	0,834	kg	Tchobanoglous vd 1993
Karbonmonoksit	1,71E-06	kg	White vd 1995
Kimyasal oksijen ihtiyacı	0,9	kg	White vd 1995
Klorlu hidrokarbonlar	0,000155	kg	White vd 1995
Krom (toprak)	2,63E-05	kg	Ağır metal Analizi
Krom (su)	2,63E-05	kg	Ağır metal Analizi
Bakır (toprak)	1,65E-05	kg	Ağır metal Analizi
Bakır (su)	1,65E-05	kg	Ağır metal Analizi
Dioksin	9,00E-14	kg	White vd 1995
Partikül madde	1,35E-06	kg	White vd 1995
Furan	1,80E-13	kg	White vd 1995
Hidrokarbonlar	2,25E-06	kg	White vd 1995
Hidrojen klorür	5,70E-06	kg	White vd 1995
Kurşun (toprak)	3,12E-06	kg	Ağır metal Analizi
Kurşun (su)	3,12E-06	kg	Ağır metal Analizi
Nikel (toprak)	2,84E-05	kg	Ağır metal Analizi
Nikel (su)	2,84E-05	kg	Ağır metal Analizi
Azotoksit	6,93E-06	kg	White vd 1995
Fenol	5,70E-05	kg	White vd 1995
Sülfürdioksit	3,20E-07	kg	White vd 1995
Askıda katı madde	0,015	kg	White vd 1995
Toplam organik karbon	0,0003	kg	White vd 1995
Çinko (toprak)	6,05E-05	kg	Ağır metal Analizi
Çinko (su)	6,05E-05	kg	Ağır metal Analizi

#### 4.5.2. Kompostlama tesisi envanteri

Organik maddenin aerobik şartlar altında ayrışma denklemi aşağıda verilmektedir (Tchobanoglous vd 1993). Bu denklem kullanılarak stokiyometrik olarak gerekli olan su miktarı ve oluşan emisyonlar hesaplanarak GaBi 6 yazılımında kullanılmıştır. Literatür bilgisine ek olarak elde edilen bu veriler Antalya'da oluşan karışık atığın formülünden elde edilmiştir. Bu Antalya'da oluşan atığın kompostlama durumunda çevresel etkilerinin teorik olarak hesaplanmasını sağlamıştır.



Burada  $r = 0.5(b - nx - 3(d - nx))$  ve  $s = a - nw$  olarak hesaplanmaktadır. Kompostlama senaryosu için deneysel veriler işlenerek atığın ve kompostun moleküler formülü oluşturulmuş ve kompostlama süreci sonunda aerobik bozunmadan kaynaklanan teorik emisyonlar aşağıda verilmiştir:

- 1,5 kg O<sub>2</sub> gerekmektedir.
- 0,582 kg CO<sub>2</sub> oluşmaktadır.
- 1,21 kg H<sub>2</sub>O oluşmaktadır.
- 0,74 kg kompost oluşmaktadır

Yaşam döngüsü analizinde karşılaştırma yapabilmek için oluşturulan senaryonun envanterinin hazırlanması gerekmektedir. Envanterde bulunan her girdi ve çıktı değerleri farklı etki kategorilerinde çevreye zarar vermektedir. Çizelge 4.4’de kompost tesisinde 1 kg organik atığın kompostlanması sonucu tüketilen kaynaklar, oluşturulan emisyonlar ve atıklar görülmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi 1 kg organik atığın kompostlanması için 0,108 MJ elektrik gerekirken ve sonuç olarak 0,74 kg kompost oluşmaktadır. Kompost tesisi envanterinin oluşturmak için elde edilen verilen kaynakları da kaynak sütunu altında verilmektedir.

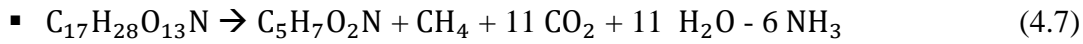
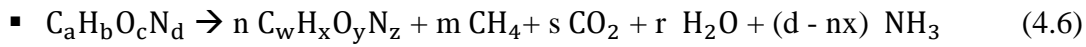
Çizelge 4.5. Yaşam döngüsü analizi kompost tesisi envanteri

<b>Girdiler</b>	<b>Miktar</b>	<b>Birim</b>	<b>Kaynak</b>
Elektrik	0,108	MJ	White vd 1995
Organik atık	1	kg	
Oksijen	1,5	kg	Tchobanoglous vd 1993
<b>Çıktılar</b>	<b>Miktar</b>	<b>Birim</b>	<b>Kaynak</b>
Kompost	0,74	kg	Tchobanoglous vd 1993
Amonyak	1,40E-05	kg	Tchobanoglous vd 1993
Biyolojik oksijen ihtiyacı	8,10E-05	kg	White vd 1995
Kadmiyum (toprak)	5,00E-08	kg	Ağır metal Analizi
Kadmiyum (su)	5,00E-08	kg	Ağır metal Analizi
Karbondioksit	0,582	kg	Tchobanoglous vd 1993
Kimyasal oksijen ihtiyacı	1,37E-05	kg	White vd 1995
Krom (toprak)	1,50E-05	kg	Ağır metal Analizi
Krom (su)	1,50E-05	kg	Ağır metal Analizi
Bakır (toprak)	1,03E-05	kg	Ağır metal Analizi
Bakır (su)	1,03E-05	kg	Ağır metal Analizi
Kurşun (toprak)	2,65E-06	kg	Ağır metal Analizi
Kurşun (su)	2,65E-06	kg	Ağır metal Analizi
Nikel (toprak)	7,65E-06	kg	Ağır metal Analizi
Nikel (su)	7,65E-06	kg	Ağır metal Analizi
Sülfat	0,07	kg	Tchobanoglous vd 1993
Su buharı	1,21	kg	Tchobanoglous vd 1993
Çinko (toprak)	3,88E-05	kg	Ağır metal Analizi
Çinko (su)	3,88E-05	kg	Ağır metal Analizi

### 4.5.3. Anaerobik ayrıştırma tesisi envanteri

Anaerobik ayrıştırma yüksek nem oranına sahip maddelerin ayrışması için uygun bir yöntemdir. Anaerobik ayrıştırma mezofilik (30 °C – 40 °C ) ya da termofilik (50 °C – 65 °C ) şartlarda işletilir. Toplam katı madde oranı, bekleme süresi ve pH değerleri işletilen tesis ve atık özelliklerine göre değişiklik göstermektedir (White vd 1995).

Organik maddenin anaerobik şartlar altında ayrışma denklemi aşağıda verilmektedir (Tchobanoglous vd 1993). Bu denklem kullanılarak stokiyometrik olarak gerekli olan su miktarı ve oluşan emisyonlar hesaplanarak GaBi 6 yazılımında kullanılmıştır. Literatür bilgisine ek olarak elde edilen bu veriler Antalya’da oluşan karışık atığın formülünden elde edilmiştir. Bu Antalya’da oluşan atığın anaerobik ayrışma durumunda çevresel etkilerinin teorik olarak hesaplanmasını sağlamıştır.



Burada  $r = c - ny - 2s$  ve  $s = a - nw - m$  olarak hesaplanmaktadır. Bu denklem ile karışık organik atık formülü ( $C_{17}H_{28}O_{13}N$ ) kullanılarak 1 kg organik atık için anaerobik şartlar altında hesaplanan teorik değerler aşağıda verilmektedir:

- 0,436 kg  $H_2O$  gerekmektedir.
- 0,225 kg  $NH_3$  gerekmektedir.
- 0,249 kg çamur oluşmaktadır.
- 1,066 kg  $CO_2$  oluşmaktadır.
- 0,35 kg  $CH_4$  oluşmaktadır.

Çizelge 4.6. Yaşam döngüsü analizi anaerobik ayrıştırma tesisi envanteri

Girdiler	Miktar	Birim	Kaynak
Elektrik	0,18	MJ	White vd 1995
Organik atık	1	kg	
Amonyak	0,225	kg	Tchobanoglous vd 1993
Su	0,436	kg	Tchobanoglous vd 1993
Çıktılar	Miktar	Birim	Kaynak
Çamur	0,249	kg	Tchobanoglous vd 1993
Elektrik	0,576	MJ	White vd 1995
Biyolojik oksijen ihtiyacı	1,90E-05	kg	White vd 1995
Kadmiyum (hava)	9,40E-13	kg	White vd 1995
Kadmiyum (toprak)	1,20E-07	kg	Ağır metal analizi
Kadmiyum (su)	1,20E-07	kg	Ağır metal analizi
Karbondioksit	1,066	kg	Tchobanoglous vd 1993
Kimyasal oksijen ihtiyacı	7,30E-05	kg	White vd 1995

Klorlu hidrokarbonlar	7,30E-10	kg	White vd 1995
Krom (toprak)	2,63E-05	kg	Ağır metal analizi
Krom (su)	2,63E-05	kg	Ağır metal analizi
Krom (hava)	1,10E-13	kg	White vd 1995
Bakır (toprak)	1,65E-05	kg	Ağır metal analizi
Bakır (su)	1,65E-05	kg	Ağır metal analizi
Dioksin	1,00E-14	kg	White vd 1995
Hidrokarbonlar	2,30E-09	kg	White vd 1995
Hidrojenklorür	1,10E-08	kg	White vd 1995
Hidrojenflorür	2,10E-09	kg	White vd 1995
Hidrojen Sülfür	3,30E-08	kg	White vd 1995
Kurşun (toprak)	3,12E-06	kg	Ağır metal analizi
Kurşun (hava)	8,50E-13	kg	White vd 1995
Kurşun (su)	3,12E-06	kg	Ağır metal analizi
Civa	6,90E-15	kg	White vd 1995
Nikel (toprak)	2,84E-05	kg	Ağır metal analizi
Nikel (su)	2,84E-05	kg	Ağır metal analizi
Azotoksit	1,00E-05	kg	White vd 1995
Sülfürdioksit	2,50E-06	kg	White vd 1995
Çinko (toprak)	6,05E-05	kg	Ağır metal analizi
Çinko (hava)	1,30E-11	kg	White vd 1995
Çinko (su)	6,05E-05	kg	Ağır metal analizi

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez kapsamında organik atıkların çevreye olan etkilerini değerlendirmek ve bertaraf yöntemlerini karşılaştırmak için küresel ısınma, asidifikasyon, ötrofikasyon, fotokimyasal sis, karasal zehirlilik, su zehirliliği ve insan sağlığı etki kategorileri seçilmiştir. Etki kategorilerini karşılaştırmak için Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü tarafından tasarlanan CML 2001 metodolojisi kullanılmıştır. Çizelge 5.1’de etki kategorileri karşılaştırma sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre:

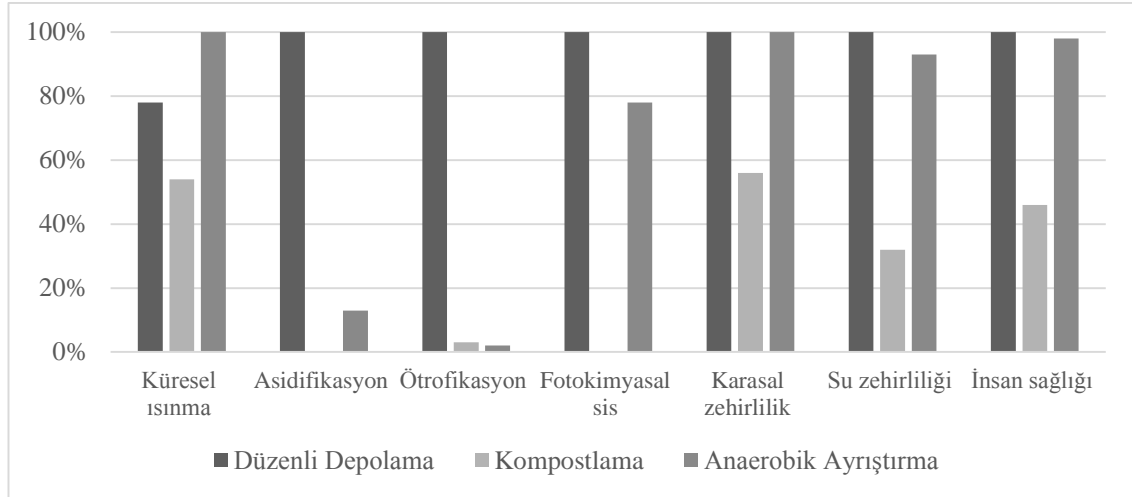
- Küresel ısınma kategorisinde en kötü senaryo anaerobik ayrıştırma, en iyi senaryo ise kompostlamadır.
- Karasal zehirlilik kategorisinde en kötü senaryo anaerobik ayrıştırma ve düzenli depolama iken en iyi senaryo ise kompostlamadır.
- Asidifikasyon, fotokimyasal sis, su zehirliliği ve insan sağlığı kategorilerinde düzenli depolama en kötü senaryo iken kompostlama en iyi senaryodur.
- Ötrofikasyon kategorisinde düzenli depolama en kötü senaryo, en iyi senaryo anaerobik ayrıştırmadır.

Çizelge 5.1. Yaşam döngüsü etki analizi sonuçları

Yaşam Döngüsü Etki Analizi (CML 2001)	Düzenli Depolama	Kompostlama	Anaerobik Ayrıştırma
Küresel ısınma (kg CO <sub>2</sub> eşdeğeri)	0,834	0,582	1,07
Asidifikasyon (kg SO <sub>2</sub> eşdeğeri)	0,064	-	8,06E-6
Ötrofikasyon (kg PO <sub>4</sub> eşdeğeri)	0,0443	6,7E-6	3,32E-6
Fotokimyasal sis (kg ethene eşdeğeri)	5,11E-7	-	4E-7
Karasal zehirlilik (kg DCB eşdeğeri)	0,174	0,0976	0,174
Su zehirliliği (kg DCB eşdeğeri)	0,192	0,0618	0,178
İnsan sağlığı (kg DCB eşdeğeri)	0,243	0,113	0,239

Karakterizasyon, etki analizi yapılan senaryoların belirlenen etki kategorilerinde birbirleriyle yüzdesel olarak karşılaştırılmasıdır. Şekil 5.1’de oluşturulan senaryoların karakterizasyon sonuçları verilmektedir. Oluşturulan senaryolara göre:

- Düzenli depolama; asidifikasyon, ötrofikasyon, fotokimyasal sis, karasal zehirlilik, su zehirliliği ve insan sağlığı kategorilerinde en kötü senaryodur.
- Kompostlama; hiçbir kategoride en kötü senaryo değildir.
- Anaerobik ayrıştırma; küresel ısınma ve karasal zehirlilik kategorisinde en kötü senaryodur.



Şekil 5.1. Yaşam döngüsü etki analizi karakterizasyon sonuçları

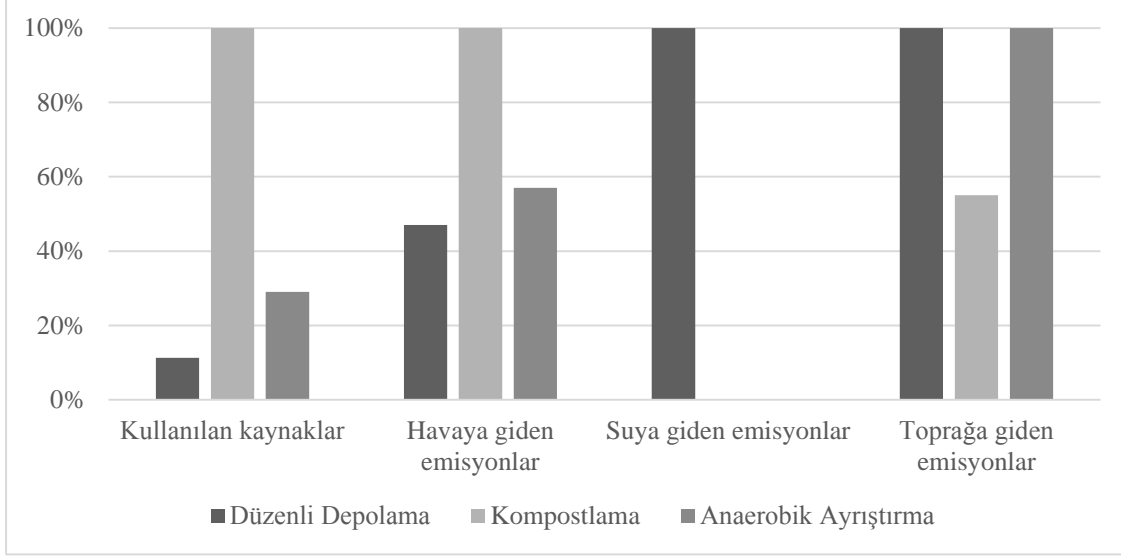
Normalizasyon seçilen sistem sınırları içinde mevcut etkilere göre incelenen alternatifin çevreye olan etkilerinin büyüklüğünü göstermektedir. Bu çalışmada normalizasyon değerleri World (1995) tarafından belirlenen standartlara göre alınmıştır. Yaşam döngüsü etki analizi sonuçları belirlenen standartlara bölünerek küresel etkisi bulunmaktadır. Çizelge 5.2’de senaryoların normalizasyon sonuçları görülmektedir. Normalizasyon sonuçlarına göre tüm senaryoların sırasıyla en karasal zehirlilik, su zehirliliği ve küresel ısınmaya etki ettiği görülmektedir.

Çizelge 5.2. Yaşam döngüsü etki analizi normalizasyon sonuçları

Normalizasyon	Düzenli Depolama	Kompostlama	Anaerobik Ayrıştırma
Küresel ısınma	2,01E-14	1,40E-14	2,58E-14
Asidifikasyon	1,99E-13	-	2,51E-17
Ötروفikasyon	3,35E-13	5,07E-17	2,51E-17
Fotokimyasal sis	5,31E-18	-	4,16E-18
Karasal zehirlilik	1,24E-12	6,97E-13	1,24E-12
Su zehirliliği	1,06E-12	3,41E-13	9,83E-13
İnsan sağlığı	4,28E-15	1,99E-15	4,21E-15

Oluşturulan senaryoların kaynak kullanımı ve emisyon dağılımları Şekil 5.2’de görülmektedir. Bu senaryoların sonuçlarına göre:

- Düzenli depolama, havaya ve toprağa giden emisyonlar kategorilerinde en kötü senaryodur.
- Kompostlama, kullanılan kaynaklar ve havaya giden emisyonlar kategorilerinde en kötü senaryodur.
- Anaerobik ayrıştırma, toprağa giden emisyonlar kategorisinde en kötü senaryodur.



Şekil 5.2. Oluşturulan senaryoların kaynak kullanımı ve emisyonların dağılımı

Yaşam döngüsü analizi belirlenen etki kategorilerinde çevreye diğer yöntemlere kıyasla daha az zarar veren yöntemi belirler. Bu tez kapsamında da bertaraf yöntemleri belirlenen etki kategorilerinde karşılaştırılmıştır. Tüm etki kategorilerinde en kötü sonucu veren senaryo çıkmamıştır.

Sonuçlar, deneysel çalışmalardan ve literatürden elde edilen bilgiler ile oluşturulmuştur. Bu nedenle bundan sonraki çalışmalar kapsamında faaliyetle olan tesislerden elde edilecek veriler kullanılarak oluşturulan senaryolar üzerinde durulmalıdır.

Üretilen kompostun zirai kullanım için gerekli ağır metal sınırlarını sağlasa da bu konuda Avrupa Birliği standartlarının getirilmesi, kontrollerin sağlanması ve halkın kompost hakkında bilinçlendirilmesinin gerektiği düşünülmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

Ahring, B.K. 2002. Biomethanation, I. Springer, Berlin, 230 s.

ALVAREZ, M.J., LLABRES, P., CECCHI F. and PAVAN, P. 1992. Anaerobic Digestion of the Barcelona central food market organic wastes: Experimental Study. *Bioresource Technology*, 39: 39 -48.

ALVAREZ, M.J., MACE, S. and LLABRES, P. 2000. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, 74: 3-16.

ANDERSEN, K.J., BOLDRIN, A., CHRISTENSEN, H.T. and SCHEUTZ, C. 2011. Mass balances and life cycle inventory of home composting of organic waste. *Waste Management*, 31: 1934 – 1942.

ARENA, U., MASTELLONE, M.L. and PERUGINI, F. 2003. The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study. *Chemical Engineering Journal*, 96: 207 – 222.

ARIUNBAATAR, J., PANICO, A., ESPOSTIO, G., PIROZZI, F. and LENS, L.N.P. 2014. Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste. *Applied Energy*, 33: 143 – 156.

Australian Government Department of the Environment. 2013. National Waste Reporting.  
<http://www.environment.gov.au/topics/environment-protection/nwp/reporting/organic-waste>

BAGCHI, A. 2004. Design of Landfills and Integrated Solid Waste Management. John Wiley, New Jersey, 630 s.

BANAR, M. and ÇOKAYGİL, Z. 2009. A Life Cycle Comparison of Alternative Cheese Packages. *Clean*, 37 (2): 136 -141.

BANAR, M., ÇOKAYGİL, Z. and ÖZKAN, A. 2009. Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey. *Waste Management*, 29: 54 -62.

BARI, H.Q. and KOENIG, A. 2001. Effect of air recirculation and reuse on composting of organic solid waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 33: 93 – 111.

BERNSTAD, A. and JANSEN J.C. 2012. Review of comparative LCA of food waste management systems – Current status and potential improvements. *Waste Management*, 32: 2439 – 2455.

BLANCO, M.J., COLON, J., GABARRELL, X., FONT, X., SANCHEZ, A., ARTOLA, A. and RIERADEVALL, J. 2010. The use of life cycle assessment for the comparison of bio waste composting at home and full scale. *Waste Management*, 30: 983 -994.



- BLENGINI, A.G. 2008. Applying LCA to organic waste management in Piedmont, Italy. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 19: 533 – 549.
- BOVEA, D.M., FOREZ, I.V., GALLARDO, A. and MENDOZA, C.J.F. 2010. Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. *Waste Management*, 30: 2383 -2395.
- BURATTI, C., BARBANERA, M., TESTARMATA, F. and FANTOZZI, F. 2015. Life Cycle Assessment of organic waste management strategies: an Italian case study. *Journal of Cleaner Production*, 89: 125-136.
- BUTTOL, P., MASONI, P., BONOLI, A., GOLDONI, A., BELLADONNA, V. and CAVAZZUTTI, C. 2007. LCA of integrated MSW management systems: Case study of the Bologna District. *Waste Management*, 27: 1059 – 1070.
- BUSWELL, A. M. and MUELLER, F. M. 1952. Mechanisms of Methane Fermentation. *Industrial Engineering Chemistry*, Vol 44, 550 s.
- Caribbean Youth Environment Network (CYEN). 2015. Solid Waste Management. <http://www.cyen.org/innovaeditor/assets/Solid%20waste%20management.pdf>.
- CARLSSON, M., LAGERKUIST, A. and SAGASTUME, M. F. 2012. The effects of substrate pre-treatment on anaerobic digestion systems: A review. *Waste Management*, 32: 1634 – 1650.
- Çevre ve Orman Bakanlığı. 2006. AB Entegre Çevre Uyum Stratejisi, Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, 110 s.
- CHERUBINI, F., BARGIGLI, S. and ULGIATI, S. 2009. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, 34: 2116 – 2123.
- CHU, Z., Xİ, B., SONG, Y. and CRAMPTON, E. 2013. Taking out the trash: Household preferences over municipal solid waste collection in Harbin, China. *Habitat International*, 40: 194 -200.
- CLEARY, J. 2009. Life cycle assessment of municipal solid waste management systems: A comparative analysis of selected peer – reviewed literature. *Environment International*, 35: 1256 – 1266.
- CLIFT, R., DOIG, A. and FINNVEDEN, G. 2000. The application of life cycle assessment to integrated solid waste management. *Institution of Chemical Engineers*, 78: 279 – 287.
- DASKALOPOULOS, E., BADR, O. and PROBERT, D. S. 1998. An integrated approach to municipal solid waste management. *Resources, Conservation and Recycling* 24: 33-50.
- DE FEO, G. and MALVANO, C. 2009. The use of LCA in selecting the best MSW management system. *Waste Management*, 29: 1901 – 1915.

DEMİRER, N.G. 2011. Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları I, Yaşam Döngüsü Analizi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 40 s.

DIAZ, F.L., SAVAGE, M.G., EGGERTH, L.L. and GOLUEKE, G.C. 1993. Composting and Recycling Municipal Solid Waste. Lewis, Florida, 296 s.

EKLIND, Y. and KIRCHMANN, H. 2000. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. I: carbon turnover. *Bioresource Technology*, 74: 115 – 124.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2014. Kömür Sektörü Raporu. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu. Ankara, 60 s.

Environmental Protection Agency (EPA). 2009. Waste Definitions. [http://www.epa.sa.gov.au/xstd\\_files/Waste/Guideline/guide\\_waste\\_definitions.pdf](http://www.epa.sa.gov.au/xstd_files/Waste/Guideline/guide_waste_definitions.pdf).

European Union Directives. 1999/31/EC. Council directive on the landfill of waste. *Official Journal of the European Communities*

European Union Directives. 2008/98/EC. Council directive on waste and repealing certain directives. *Official Journal of the European Communities*.

European Union Report. 2009/2153(INI). Green paper on the management of bio-waste in the European Union. Commission of the European Communities.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR). 2014. Bioenergy in Germany Facts and Figures. Federal Ministry of Food and Agriculture. Prüzen, Germany, 25 s.

FINNVEDEN, G. 1999. Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 26: 173 – 187.

GALLARDO, A., BOVEA, D.M., MENDOZA, C.J.F. and PRADES, M. 2012. Evolution of sorted waste collection: a case study of Spanish cities. *Waste Management and Research*, 30 (8): 859 – 863.

GENTIL, C.E., DAMGAARD, A., HAUSCHILD, M., FINNVEDEN, G., ERIKSSON, O., THORNELOE, S., KAPLAN, O.P., BARLAZ, M., MULLER, O., MATSUI, Y., LI, R. and CHRISTENSEN, H.T. 2010. Models for waste life cycle assessment: Review of technical assumptions. *Waste Management*, 30: 2636 – 2648.

GENTIL, C.E., GALLO, D. and CHRISTENSEN, H.T. 2011. Environmental evaluation of municipal waste prevention. *Waste Management*, 31: 2371 – 2379.

GUINEE, B.J. 2002. Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to ISO Standards. New York, 692.

GUERRECA, P. L., GASSO, S., BALDASANO, M. J. and GUERRERO, J. P. 2006. Life cycle assessment of two biowaste management systems for Barcelona, Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 49: 32 – 48.

- HANSEN, L.T., BHANDER, S.G., CHRISTENSEN, H.T., BRUUN, S. and JENSEN, S.L. 2006. Life cycle modelling of environmental impacts of application of processed organic municipal solid waste on agricultural land (EASEWASTE). *Waste Management & Research*, 24: 153 – 166.
- HARTMAN, H. and AHRING, K.B. 2005. Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: Influence of co-digestion with manure. *Water Research*, 39: 1543- 1552.
- HAUG, T.R. 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis, Florida, 716 s.
- HERVA, M., NETO, B. and ROCA, E. 2014. Environmental assessment of the integrated municipal solid waste management system in Porto (Portugal). *Journal of Cleaner Production*, 70: 183 -193.
- HIDAKA, T., WANG, F. and TSUMORI, J. 2015. Comparative evaluation of anaerobic digestion for sewage sludge and various organic wastes with simple modeling. *Waste Management*, 43: 144-151.
- HIMANEN, M. and HANNINEN K. 2011. Composting of bio-waste, aerobic and anaerobic sludge's – Effect of feedstock on the process and quality of compost. *Bioresource Technology*, 102: 2842 – 2852.
- IYENGAR, R.S. and BHAVE, P.P. 2006. In-vessel composting of household wastes. *Waste Management*, 26: 1070 – 1080.
- JİBRİL, D.J., SİPAN, B. İ., SAPRİ, M., ŞİKA, A.S., İSA, M. and ABDULLAH, S. 2012. 3R s Critical Success Factor in Solid Waste Management System for Higher Educational Institutions. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 65: 626 – 631.
- Joint Research Center (JRC) Scientific and Technical Reports. 2011. Supporting Environmentally Sound Decisions for Bio-waste Management. European Commission Joint Research Centre, Italy, 89 s.
- KHALİD, A., ARSHAD, M., ANJUM, M., MAHMOOD, T. and DAWSON, L. 2011. The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*, 31: 1737-1744.
- KIELY, G., TAYFUR, G., DOLAN, C. and TANJI, K. 1996. Physical and mathematical modelling of anaerobic digestion of organic waste. *Water Research*, 31(3): 534 – 540.
- KIM, H.M. and KIM, W.J. 2010. Comparison through a LCA evaluation analysis of food waste disposal options from the perspective of global warming and resource recovery. *Science of the Total Environment*, 408: 3998 – 4006.
- KIM, H.S., HAN, K.S. and SHIN, S.H. 2004. Feasibility of bio hydrogen production by anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge. *International Journal of Hydrogen Energy*, 29: 1607-1616.

- KONG, D., SHAN, J., LACOBONI, M. and MAGUIN, R.S. 2012. Evaluating greenhouse gas impacts of organic waste management options using life cycle assessment. *Waste Management & Research*, 30: 800 – 812.
- KOUSHKİ, A.P., AL-DUAIJ, U. and AL-GHİMLAS, W. 2004. Collection and transportation cost of household solid waste in Kuwait. *Waste Management*, 24: 957 – 964.
- KÜLCÜ, R. and YALDIZ, O. 2014. The composting of agricultural wastes and the new parameter for the assessment of the process. *Ecological Engineering*, 69: 220 -225.
- LEBERSORGER, S. and SCHNEIDER, F. 2011. Discussion on the methodology for determining food waste in household waste composition studies. *Waste Management*, 31: 1924 – 1933.
- LEVIS, W.J., BARLAZ, A.M., THEMELIS, J.N. and ULLOA, P. 2010. Assessment of the state of food waste treatment in the United States and Canada. *Waste Management*, 30: 1486 – 1494.
- Lİ, Z., LU, H., REN, L. and HE, L. 2013. Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. *Chemosphere*, 93: 1247 – 1257.
- LOPEZ, M., SOLIVA, M., FARRE, M.X.F., FERNANDEZ, M. and PUJOL, H.O. 2010. Evaluation of MSW organic fraction for composting: Separate collection or mechanical sorting. *Resources, Conservation and Recycling*, 54: 222- 228.
- LUNDIE, S. and PETERS, M.G. 2005. Life cycle assessment of food waste management options. *Journal of Cleaner Production*, 13: 275 – 286.
- MADSEN, M., NIELSEN, H.J. and ESBENSEN, H.N. 2011. Monitoring of anaerobic digestion processes: A review perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 3141-3155.
- MALAKAHMAD, A., BAKRİ, M.P., MOKHTAR, M.R.M. and KHALİL, N. 2014. Solid waste collection routes optimization via GIS techniques in Ipoh city, Malaysia. *Procedia Engineering*, 77: 20 – 27.
- MANIOS, T. 2004. The composting potential of different organic solid wastes: experience from island of Crete. *Environment International*, 29: 1079 – 1089.
- MARSHALL, E.R. and FARAHBAKHS, K. 2013. Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. *Waste Management*, 33: 988 – 1003.
- MCDUGALL, F., WHITE, P., FRANKE, M. and HINDLE, P. 2001. *Integrated Solid Waste Management A Life Cycle Inventory*. Blackwell, Oxford, 490 s.
- MONNET, F. 2003. An introduction to anaerobic digestion of organic wastes. Remade Scotland Final Report, 48 s.

MORRIS, J., MATTHEWS, S.H. and MORAWSKI, C. 2013. Review and meta- analysis of 82 studies on end of life management methods for source separated organics. *Waste Management*, 33: 545 – 551.

Organization for Economic Cooperation and Development Reports. 2013. *Environment at a glance*. OECD publishing. Paris, 104 s.

OTHMAN, N.S., NOOR, Z.Z., ABBA, H.A. and YUSUF, O.R. 2013. Review on life cycle assessment of integrated solid waste management in some Asian countries. *Journal of Cleaner Production*, 41: 251 – 262.

ÖZELER, D., YETİS, Ü. and DEMİRER G.N. 2006. Life cycle assessment of municipal solid waste management methods: Ankara case study. *Environment International*, 32: 405 – 411.

ÖZTÜRK, İ. 2010. *Atık Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu*. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 110 s.

ÖZTÜRK, İ. 2010. *Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları*. İstaç, İstanbul, 364 s.

PELTRE, C., NYORD, T., BRUUN, S., JENSEN, S.L. and NAGID, J. 2015. Repeated soil application of organic waste amendments reduces draught force and fuel consumption for soil tillage. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 211: 94-101.

PETRIC, I., HELIC, A. and AVDIC, A.E. 2012. Evolution of process parameters and determination of kinetics for co-composting of organic fraction of municipal solid waste with poultry manure. *Bioresource Technology*, 117: 107 – 116.

PIMENTEIRA, P.A.C., CARPIO, T.G.L., ROSA, P.L. and TOLMANSQUIM, T.M. 2005. Solid wastes integrated management in Rio de Janeiro: input – output analysis. *Waste Management*, 25: 539 – 553.

PIRES, A., MARTINHO, G. and CHANG, B.N. 2011. Solid waste management in European countries: A review of system analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, 92: 1033 – 1050.

POLDHURK, J. 2015. Optimisation of the economic, environmental and administrative efficiency of the municipal waste management model in rural areas. *Resources, Conservation and Recycling*, 97: 55-65.

PUJOL, H.O., GALLART, M., SOLIVA, M., FARRE, M.X.F. and LOPEZ, M. 2011. Effect of collection system on mineral content of bio-waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 55: 1095 – 1099.

REFSGAARD, K. and MAGNUSSEN, K. 2009. Household behavior and attitudes with respect to recycling food waste – experiences from focus group. *Journal of Environmental Management*, 90: 760 – 771.

- REICH, C.M. 2005. Economic assessment of municipal waste management systems – case studies using a combination of life cycle assessment LCA and life cycle costing LCC. *Journal of Cleaner Production*, 13: 253 – 263.
- ROY, P., NEI, D., ORIKASA, T., XU, O., OKADOME, H., NAKAMURA, N. and SHIINA, T. 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90: 1 – 10.
- RUSHBROOK, P. and PUGH, M. 1999. *Solid Waste Landfills in Middle and Lower income Countries: A Technical Guide to Planning, Design and Operation*. World Bank Technical Report, 247 s.
- SAER, A., LANSING, S., DAVITT, H.N. and GRAVES, E.R. 2013. Life cycle assessment of a food waste composting system: environmental impact hotspots. *Journal of Cleaner Production*, 52: 234 – 244.
- SANCHEZ, A. et. al. 2015. Greenhouse gas emissions from organic waste composting. *Environmental Chemistry Letters*, 13: 223-238
- SANCHEZ, G.M.I. 2008. The performance of Spanish solid waste collection. *Waste Management and Research*, 26: 327 – 336.
- SCHMIDT, S. and PAHL-WOSTL, C. 2007. Modeling bio waste flows for Life-Cycle Assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 11: 181 - 198.
- SEADON, K. J. 2006. Integrated waste management – Looking beyond the solid waste horizon. *Waste Management*, 26: 1327 – 1336.
- SHEKDAR, V.A. 2009. Sustainable solid waste management: An integrated approach for Asian countries. *Waste Management*, 29: 1438 – 1448.
- SIMONETTO, O.E. and BORENSTEIN, D. 2007. A decision support system for the operational planning of solid waste collection. *Waste Management*, 27: 1286 – 1297.
- SLATER, A.R. and FREDERICKSON, J. 2001. Composting municipal waste in the UK: some lessons from Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 32: 359 – 374.
- SONESSON, U., BJÖRKLUND, A., CARLSSON, M. and DALEMO, M. 2000. Environmental and economic analysis of management systems for biodegradable waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 28: 29 – 53.
- SUDHIR, V., MURALEEDHARAN, R.V. and SRINIVASAN, G. 1996. Integrated solid waste management in urban India: A critical operational research framework. *Socio-Economic Planning Sciences*, 30 (3): 163 – 181.
- TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H. and VIGIL, A. S. 1993. *Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues*. McGraw Hill, New Jersey, 949 s.

- TWARDOWSKA, I., HERBERT, E. A., ANTONIUS, A.F.K. and WILLIAM, J. L. 2004. Solid Waste; Assessment, Monitoring and Remediation, Waste Management Series 4, Zabrze, Polonya, 1121 s.
- TUOMELA, M., VIKMAN, M., HATAKKA, A. and ITAVAARA, M. 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technology*, 72: 169 – 183.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). 2012. Belediye Atık İstatistikleri Veri Tabanı, Bertaraf yöntemlerine göre atık miktarı.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). 2012. Seçilmiş Göstegelerle Antalya. Ankara, 173 s.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). 2014. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Veri Tabanı, İllere göre nüfus.
- United Nations Environment Programme (UNEP). 2005. Solid Waste Management, Concord, California, 515 s.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2006. Life Cycle Assessment: Principles and Practice, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio, 80 s.
- VARALDO, M.H. et. al. 2014. Biohydrogen, biomethane and bioelectricity as crucial components of biorefinery of organic wastes: A review. *Waste Management and Research*, 32(5): 353 – 365.
- VIGON, W.B., TOLLE, A.D., CORNABY, W.B. and LOTHAM, C.H. 1993. Life Cycle Assessment Inventory Guidelines and Principles. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 108 s.
- Waste and Resources Action Programme (WRAP) Report. 2007. Understanding Food Waste Research Summary. Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- Waste and Resources Action Programme (WRAP) Report. 2008. Realizing the Value of Organic Market Report. Waste. Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- Waste and Resources Action Programme (WRAP) Report. 2011. Anaerobic Digestion Strategy and Action Plan. Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- WHITE, P., FRANKE, M. and HINDLE, P. 1995. Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory, Chapman & Hall, Melbourne, 362.
- XUE, W., CAO, K. and LI, W. 2015. Municipal solid waste collection optimization in Singapore. *Applied Geography*, 62: 182-190.
- YAY, E.S.A. 2015. Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya. *Journal of Cleaner Production*, 94: 284 – 293.

ZHANG, R., EL-MASHAD, M.H., HARTMAN, K., WANG, F., LIU, G., CHOATE, C. and GAMBLE, C. 2007. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 98: 929-935.

ZHANG, Y. and BANKS, J.C. 2013. Impact of different particle size distributions on anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste. *Waste Management*, 33: 297 – 307.

ZHAO, W., VOET, V.D.E., ZHANG, Y. and HUPPES, G. 2009. Life cycle assessment of municipal solid waste management with regard to greenhouse gas emissions: Case study of Tianjin, China. *Science of The Total Environment*, 407: 1517 – 1526.



## ÖZGEÇMİŞ



Kemal AKTAŞ, 1989 yılında İzmir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmir’de tamamladı. 2007 yılında girdiği Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden 2012 yılında mezun oldu. 2013 yılında Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı ve yükseköğrenime başladı.