



# Kahramanmaraş Sutcu Imam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 07.06.2024  
Kabul Tarihi : 26.06.2024

Received Date : 07.06.2024  
Accepted Date : 26.06.2024

### SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTSEL BİYOATIK YÖNETİMİ

### SUSTAINABLE MANAGEMENT OF THE MUNICIPAL BIOWASTES

Süreyya ALTIN<sup>1</sup>\* (ORCID: 0000-0002-6853-8873)

<sup>1</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Süreyya ALTIN, sureyya.altin@beun.edu.tr

#### ÖZET

Kentsel atık yönetimi, sürdürülebilir çevre ve küresel iklim değişikliğinin önemli bir bileşenidir. Biyoatıklar, kentsel atıkların %30-65 gibi büyük bir yüzdesini oluşturmaktadır. AB atık çerçeve direktifinde, 2035 yılına kadar belediye atıklarının sadece %10'unun depolandığı atık yönetim planlaması istenmektedir. Ancak, kentsel biyoatık yönetimi gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere tüm ülkeler için ciddi sosyal ve ekonomik zorluklar içermektedir. Halkın gıda israfının önlenmesi hakkında bilinçlendirilmesi veya "attığın kadar öde" gibi maddi teşvikler biyoatığın oluşumunu azaltabilir. Böylece, doğal kaynaklar korunabilir, gıda üretim sürecinden kaynaklanan sera gazı etkisi %15-22 oranında azaltılabilir. Ayrı toplanan biyoatığı kompostlayarak iyi kalitede ve pazarlanabilir gübre üretilir. Kompostlamanın CH<sub>4</sub> emisyonu hammadde karbonunun %1-4'ü kadar olduğundan sera gazı oluşumunu önemli oranda engeller. Anaerobik bozunma (AD) süreci, yüksek metan içeren biyogaz üreten, karbon nötr bir süreç olduğundan yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilir. AD prosesi kullanıldığında oluşan metan hacmi ve elde edilen enerji, gaz yakalamalı deponilere göre yaklaşık 5 kat daha fazladır. Bu çalışmada biyoatık yönetimi stratejileri ve yaklaşımlarına ilişkin mevcut bilgiler daha önce yapılan çalışmalardan derlenmiştir. Böylece belediye biyoatık yönetimi alternatifleri tanımlanarak avantaj ve dezavantajları, uygulama zorlukları, elde edilecek faydalar ortaya konmuştur. Sürdürülebilir biyoatık yönetimi, doğal kaynakların korunmasına katkı sağlar, atığın karbon ayak izi azalır ve madde döngüsü tamamlanır.

**Anahtar Kelimeler:** Anaerobik bozunma (AD), kentsel biyoatık yönetimi, kompost, evde kompost

#### ABSTRACT

Municipal waste management is a major component of sustainable environment and global climate change. Municipal waste includes in rate of 30-65 biowaste. According to directives of EU, will be allow only 10% of municipal waste go to landfill by 2035. However, municipal biowaste management contains serious social and economic challenges for all country, especially developing country. Biowaste generation may be reduced by training of people about prevent food waste and economical incentives as "pay as you throw". Thus, natural resources can be protected and the greenhouse effect resulting from the food production process can be reduced by 15-22%. Quality and marketable fertilizer is obtained by composting of separately collected biowaste. CH<sub>4</sub> emissions generated in the composting are 1-4% of the initial carbon. Anaerobic digestion (AD) is carbon-neutral process and considered a renewable energy source. Methane volume obtained from AD is more 5 times than gas capture landfill. In this study, available information on biowaste management strategies and approaches was compiled from prior studies. Thus, biowaste management alternatives were defined and their advantages and disadvantages were explained. Sustainable biowaste management contributes to the conservation of natural resources and reducing the carbon footprint of biowaste. Moreover, the material cycle is also completed.

**Keywords:** Anaerobic digestion, municipal biowaste management, composting, home composting

## GİRİŞ

Son yıllarda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler gün geçtikçe artan atıklarını en az çevresel etki ve en fazla ekonomik fayda sağlayan bir şekilde yönetme çabası içerisinde. Kentsel katı atık üretiminin 2025 yılına kadar küresel ölçekte 2.3 milyar tona ulaşacağı tahmin edilmektedir (Hoorweg & Bhada-Tata, 2012). UNEP (2009)'e göre, gelişmekte olan ülkelerde birçok yerel yönetim toplam bütçesinin %20-50'sini atık yönetim uygulaması için kullanmasına rağmen, atığının ancak %40-70'ini toplayabilmektedir. Üstelik hizmet verilen halk yüzdesi %50'den daha azdır. Kentsel atık yönetimi, atık içinde bulunan tüm atık türlerinin, atık yönetim hiyerarşisinde önerilen adımlara göre yönetilmesini amaçlar. Bu kapsamda, kentsel atıklar içerisindeki ambalaj atıkları ve biyoatıklar, depolama alanına gitmeden önce yaşam döngüsüne uygun dönüşüm süreçlerinden geçirilerek mümkün olan ekonomik faydanın sağlanması gereklidir (European Environment Agency [EEA], 2020).

Kentsel biyoatıklar; gıda atıkları, park-bahçe süprüntüleri ve kompostlanabilir kağıt olmak üzere kabaca üçe ayrılır. Toplam katı atık içerisinde, yerleşim yerinin özelliklerine de bağlı olarak %30-65 oranında biyoatık bulunabilir (EEA, 2020; Pandyaswargo vd., 2014). Bu atıkların yarısı, yani toplam atığın yaklaşık %15'i evlerden kaynaklanır (Hebda vd., 2016; Pandyaswargo vd., 2014). Küresel olarak her gün 2.6 milyon ton evsel biyoatık oluştuğu tahmin edilmektedir (Jalalipour vd., 2020).

Atık içindeki biyobozunur (BB) maddelerin depolanması anaerobik bozunma süreci nedeniyle sera gazı etki potansiyeline sahip metan ve azotoksit gazı oluşumuna neden olur (Roberts, 2015). Gaz çıkışı depolama alanları kapatıldıktan sonra da bir süre devam eder. Bu yüzden, küresel iklim değişikliği endişelerinin ulusal çevre politikalarını etkilediği günümüzde, kentsel biyoatıkların depolama alanlarına gitmemesi sera gazı emisyonlarının azaltılmasına önemli katkı yapar (Pickin & Randell, 2017). Gıda ve bahçe atıklarının yüksek nem içeriği (%60) nedeniyle (gıda atıkları~3.8 MJ/kg, bahçe atıkları~5.5 MJ/kg) kalorifik değerleri, termokimyasal dönüşüm proseslerinde kullanım için Dünya Bankası tarafından tavsiye edilen değer (7 MJ/kg) oldukça altında olduğundan termokimyasal dönüştürme prosesi gıda ve bahçe atıkları için uygun değildir (Roberts, 2015).

Kentsel biyoatıkların çevreye duyarlı olarak yönetilmesi, gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere tüm ülkeler için ciddi sosyal ve ekonomik zorluklar içermektedir. Kentsel biyoatıkların hızlı biyolojik bozunma ve koku oluşturma potansiyeli nedeniyle, ayrı toplanarak kısa sürede biyolojik dönüşüm prosesine ulaştırılma faaliyetinin planlanması ve uygulaması oldukça zordur. Halihazırda birçok Asya ve Avrupa ülkesinin atık bileşiminde biyoatıklar baskın olmasına karşın halen kaynağında ayırma yapılmamaktadır (EEA,2020; Pandyaswargo vd., 2014). En yaygın bertaraf yöntemi ucuz ve kolay olan doğrudan depolamadır. Depolama alanında biyolojik bozulan biyoatıkların yeraltı suyunu kirleten sızıntı suyu ve sera gazı etkisine sahip deponi gazı oluşumuna neden olur. Ayrıca, depolama yerinin kullanım ömrü de kısalmaktadır. Buna rağmen, günümüzde, kentsel biyoatıkların yaklaşık %70'i hiçbir işlem görmeden diğer atıklarla birlikte depolama alanlarına götürülmektedir (Lim vd., 2019, Hebda vd., 2016).

Biyoatıklar iyi yönetildiğinde sosyal, çevresel ve ekonomik açıdan olumlu potansiyele sahiptir. Ancak günümüzde, gelişmiş ülkelerde bile evsel biyoatıkların doğrudan depolamaya gitmemesi ve faydalı yönetim seçeneklerinin uygulamaya alınması tam olarak başarılamamıştır. Evsel biyoatıklardan maksimum faydayı sağlamak için gıda, park-bahçe atıkları ve kompostlanabilir kağıt bileşenleri kontrol altında alınmalıdır. Son yıllarda AB komisyonları gibi küresel çapta birçok kuruluş biyoatıktan faydalı bir ürün elde ederek ekonomiye katkı sağlamak, atığın olumsuz çevresel etkilerini indirgemek ve depolama ihtiyacını azaltmak amacıyla çalışmalar yapmakta, raporlar hazırlamaktadır.

EPA (Environmental Protection Agency) (2013) verilerine göre; ABD'deki tüm emisyonlar dikkate alındığında hesaplanan toplam küresel ısınma potansiyelinin %9'unun deponilerde bulunan BB atıkların kontrolsüz bozunması sonucu oluşan metandan kaynaklandığı belirlenmiştir. ABD'nin toplam metan emisyonunun yaklaşık %20'sinin depolama alanlarından kaynaklandığı ve metanın küresel ısınma üzerindeki katkısının CO<sub>2</sub>'ye göre 20 kat daha fazla (EPA, 2013) olduğu dikkate alındığında BB maddelerin depolama alanlarına gönderilmemesinin önemi daha iyi anlaşılabilir.

Kentsel biyoatıkların yönetim sürecinde oluşması muhtemel sera gazı emisyonu miktarı, atıkların depolanması durumunda oluşabilecek emisyon potansiyelinden çok daha az olmalıdır. Sera gazı emisyon azaltımından söz edebilmek için biyoatıkların yönetimi sırasında elde edilen ürünlerin planlandığı gibi değerlendirilmesi ve bunun sürdürülebilir olması gereklidir.

## KENTSEL BİYOATIKLAR İLE İLGİLİ AB DİREKTİFLERİ

Avrupa birliği, atık politikaları ve döngüsel ekonomi açısından kentsel biyoatıkları önemli atık akışı olarak değerlendirmektedir. Bu kapsamda, kentsel biyoatıkların toplanması, proseslenmesi ve ürün elde edilmesi ile ilgili hedefler belirlemekte ve stratejiler ortaya koymaktadır. AB tarafından yapılan çalışmalar 2017’de ortaya çıkan 86 milyon ton kentsel katı atığın %34’ünün biyoatık olduğunu göstermiştir (EEA, 2020). Kentsel biyoatıkların yönetim stratejilerini esas alarak hazırlanan AB direktifleri, AB üye ülkeler için kentsel biyoatıkların ayrı toplama ve proseseleme hedefleri koymakta, geri dönüşümü teşvik etmektedir.

1999 AB direktifinde BB atık aerobik ve anaerobik bozunmaya uğrayabilen, yiyecek, bahçe atığı, kağıt ve karton olarak tanımlanmıştır. AB direktiflerine göre, 2016 yılına kadar yerleşim yerlerinde oluşan kentsel BB atıkların depolamaya kabul edilen miktarı, 1995 yılında oluşan BB atığın %35’ini geçmeyecek şekilde planlanmalıdır. 2008’de çıkarılan AB direktifinde biyoatık ve biyobozunabilir atık terimleri ayrı tanımlanmıştır. Biyoatık, biyobozunabilir park-bahçe atıkları, gıda ve mutfak atıkları olarak tanımlanmaktadır. Direktif, üye ülkelerden yeniden kullanılabilir belediye atıklarının 2020’ye kadar %50’sinin ayrılmasını ve bu hedefe ulaşılabilmesi için atık yönetim programı hazırlanmasını ister.

Son olarak AB atık çerçeve direktifinde (EU, 2018) ise 2035 yılına kadar belediye atıklarının sadece %10’u depolamaya gidecek şekilde atık yönetim planlaması yapılması istenmektedir. Direktife uyum sürecinde, AB kapsamındaki ülkeler biyoatıklarının depolama alanlarına gitmesini önleyecek atık yönetim stratejileri ve politikaları oluşturmak zorunda kalmıştır (EEA, 2020).

AB yenilenebilir enerji direktifi, üye ülkelerin 2020 yılına kadar ulaşım yakıtlarının en az %10’nunun ve 2030’a kadar ise enerji üretiminin %32’sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması için hedeflerini planlamasını öngörmektedir. Anaerobik bozunma (Anaerobic Digestion; AD) prosesi yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edildiğinden, biyoatıkların dönüşümü için kullanılması hem atık yönetim hedeflerine, hem de AB enerji direktiflerine uyum sağlamaya katkıda bulunabilir. Bu nedenle, AD proseslerinin yaygınlaştırılması ve kapasitesinin artırılması teşvik edilebilir (Allen & Wentworth, 2011).

## KENTSEL BİYOATIKLARIN YÖNETİMİ

Biyoatık sorunuyla başa çıkabilmek için gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler; atık önleme, atık azaltma, prosesleyerek ekonomik fayda temini ve bertaraf adımlarını içeren hiyerarşik bir çalışma çerçevesi benimsemiştir (Price & Joseph, 2000). Yerel yönetimler biyoatık yönetimini planlarken, mevcut kentleşme durumunu ve sosyo-ekonomik koşulları dikkate alarak, aşağıda verilen proseseleme yöntemlerinden bir ya da birkaçını kullanabilir.

Evde kompostlama,

Ayrı toplama ve aerobik kompostlama ile pazarlanabilir gübre üretimi,

Ayrı toplama ve anaerobik bozunma ile biyogaz ve gübre benzeri son ürün elde edilmesi,

Ayrı toplama ve fermentasyon ile biyodizel üretimi.

Yerel yönetimler çoğu zaman ideal biyoatık yönetimi planlamakta profesyonel bir ekip ve uygulamakta da ekonomik desteğe ihtiyaç duyar. Biyoatık yönetimin sürdürülebilir olması için; atık yönetiminin tüm paydaşlarının (kamu ve özel sektör, halk, yerel yönetim) yükümlülüklerini yerine getirmeleri gerekir. Bu katkının sürekliliği denetleyici bir otorite tarafından yeterli eğitim, teşvik ve ceza yaptırımları yardımıyla sağlanmalıdır. Seçilen biyoatık yönetimi; çevresel ve sosyal göstergeleri yükseltirken, ekonomik getirisi de yönetimin sürekliliği için yeterli olmalıdır.

### *Biyoatıkların Azaltılması*

Genel atık yönetiminde olduğu gibi kentsel atıklar içindeki biyoatıkların yönetiminde de ilk adım atık oluşumunun azaltılmasıdır. Biyoatıkların miktarının azaltılmasının en etkili yolu gıda israfının önlenmesidir. Diğer alternatifler ise; “Attığın Kadar Öde (Pay as You Throw;PAYT)” ya da atıkların kaynağında yani evde kompostlanarak kişisel bahçelerde kullanımının sağlanmasıdır.

Gıda israfının önlenmesi; Kentsel biyoatıkların en büyük bileşeni gıda atıklarıdır. Bu nedenle gıda israfının önlenmesi biyoatık azaltılmasına önemli katkı sağlar. Bu amaçla, tüketiciler ihtiyaç fazlası gıda almaması veya alınan ürünleri tam tüketmesi ile elde edeceği ekonomik fayda konusunda bilinçlendirilmelidir. Gıda israfının önlenmesi, gıda üretim, tedarik ve nakliye faaliyetlerini de azaltır. Sonuç olarak daha az gıda üretimi ile doğal kaynaklar korunur,

ayrıca enerji sağlamak ve nakliye için gerekli yakıt kullanımı azalacağından sera gazı emisyonu da azalır. İsrar edilen gıdanın üretimi, nakliyesi ve bertarafı sırasında oluşan sera gazı emisyonunun, toplam üretim ve bertaraf faaliyetlerinde gerçekleşen sera gazı emisyonunun %15-22'si olduğu (EEA, 2012) dikkate alınır bu fayda daha iyi anlaşılabilir.

Attığın Kadar Öde (PAYT) yaklaşımı; Atığın azaltılmasına yönelik yaklaşımlardan biri de halkın katılımını artıracığı düşünülen “kullandıkça öde” veya “attığın kadar öde (PAYT)” yaklaşımıdır. Buna göre, tüketiciler ürettikleri atık kadar atık bedeli ödemelidir. PAYT uygulamasının esası, biyoatık miktarındaki azalmanın tüketiciye maddi katkı olarak geri dönüşünü sağlamaktır. Böylece atık üreticileri daha az atık üretme konusunda teşvik edilebilir. PAYT uygulamasının başarılması, biyoatıkların ayrı toplanma performansını artırarak, biyoatıkları hammadde olarak kullanan AD ve kompost tesislerinin ürün verim ve kalitesinin artmasını sağlar, ticari kârlılığı artırır (Skumatz & Freeman, 2006; Miranda vd., 1999). Bunun sonucunda biyoatıkların ekonomiye katkısı maksimum, çevreye olumsuz etkisi minimuma yaklaşır. Atık üreticilerinin gıda israfının önlenmesi veya PAYT yaklaşımını benimsemesi bilinçlendirme çalışmaları ve halkın ilgisini çekecek teşviklerle artırılabilir.

### ***Biyoatıkların Ayrı Toplanması***

Biyoatıkların ayrı toplanması, seçilen prosesleme işleminin sürdürülebilir olması için ön şarttır. Biyoatıkların ayrı toplanması durumunda kompost ve AD proseslerinin işletimi sorunsuz sürdürülebilir ve elde edilen ürün kalitesi dolayısıyla pazar payı artar (EEA, 2020; Xevgenos vd., 2015). Ayrı toplama uygulaması kapı önünden toplama veya atık üreticilerinin biyoatıklarını atık toplama merkezlerine getirmesi şeklinde yapılabilir. Yerleşim yerindeki halkın ayrı toplama yöntemine uyum sağlaması ve katılımı önemlidir. Bu nedenle uygulanacak toplama yöntem için önce halkın görüşü alınmalı, halk bilinçlendirilmeli ve katılım için teşvik edilmelidir (Xevgenos vd., 2015). Ayrı toplanması istenilen biyoatığın nitelikleri atık üreticilerine tam olarak anlatılmalıdır. Örneğin kompostlama kullanılacaksa atığın “kompostlanabilir” olarak tanımlanmış olması gereklidir, “çözünebilir” veya “biyolojik olarak parçalanabilir” şeklinde etiketlenmiş olması kompost için uygun değildir. Kaliteli kompost üretebilmek için sadece kompostlanabilir olanların ayrılması sağlanmalıdır.

Ayrı toplamanın ilk yatırımı ve işletilmesi yerel yönetimlere veya ilgili kuruluşa önemli bir maddi yük getirmektedir, bu yüzden detaylı bir fizibilite çalışması yapılmalıdır. Optimize edilmiş bir ayrı toplama sisteminin hem atık üreticilerine, hem de yüklenici firmaya ekonomik fayda sağlandığını gösteren analizler mevcuttur (Bras vd., 2022; Niskanen & Kempfi, 2019).

Biyoatıklar doğası gereği herhangi bir koku ve bozunma olmaksızın, fazla bekletilmeden günlük olarak toplanmalı ve ilgili prosese ulaştırılmalıdır. Ancak, çok sayıda toplama aracının, sürekli kapı önlerinden ve kaldırım kenarlarından konteynir taşınması işletme maliyetini yükseltir, ayrıca hijyenik şartların sağlanması da oldukça zordur. Bu yüzden halkın biyoatıklarını atık getirme merkezlerine getirmesinin teşvik edilmesi daha ekonomik ve sağlıklı bir çözüm yolu olabilir. Ayrı toplama sistemi, biyoatıkların proseslenmesi sonucu elde edilen kaliteli ürünlerden (kompost veya enerji) elde edilebilecek ekonomik gelir ile desteklenebilir. Pilot ölçekli olarak başlatılan ayrı toplama sistemleri zamanla geliştirilerek genişletilmelidir.

AB'nin raporuna göre (EEA, 2020) 2017 yılında veri sağlanabilen Avrupa ülkelerinde oluşan toplam biyoatığın yaklaşık %50'si ayrı, kalan %50'si karışık atıklarla birlikte toplanmaktadır. Ayrı toplama oranları ise Avusturya ve Slovenya'da %80, Portekiz, İspanya, Kuzey Makedonya, Türkiye'de %10'un altında olarak rapor edilmiştir. Toplamda AB üyesi ülkelerin biyoatıklarının ortalama %43 kadarı ayrı toplanırken, Yaklaşık %57'si karışık evsel atıklar içinde sonlanmakta ve yeniden dönüşüme dâhil olamamaktadır.

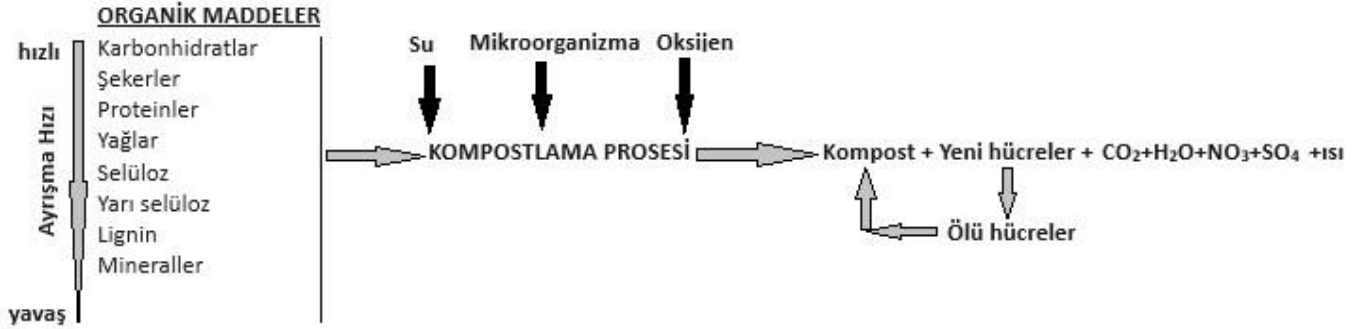
### ***Kentsel Biyoatıkların İşlenmesi***

Kentsel biyoatıklar toplandıktan kısa süre sonra, olası çevresel etkilerinin kontrol altına alınması, ekonomik değeri olan ürün veya enerji elde edilmesi için bir prosesleme işlemine tabii tutulmalıdır. Kentsel biyoatıklar, gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan kompostlama ve anaerobik çürütme yöntemleri ile proseslenebilir. Mevcut prosesler dikkate alındığında halihazırda kompostlama kapasitesi daha yüksek görünmekle birlikte, yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilen AD prosesi sağladığı çevresel ve ekonomik faydadan dolayı gün geçtikçe daha fazla tercih edilmektedir (EEA, 2020).



## BİYOATIKLAR İÇİN KOMPOSTLAMA

Kompostlama işlemi, BB maddelerin oksijenli ortamda kontrollü olarak mikroorganizmaların metabolizma faaliyetleri ile parçalanmasını içeren bir biyolojik dönüşüm prosesidir (Şekil1).



Şekil 1. Kompost Süreci

Kompost oluşum prosesinin tamamlanması tesise gelen atık materyale olduğu kadar kompost sürecinde görev alan canlılar için uygun ortam şartlarının sağlanmasına bağlıdır. Kompost sürecinde görev alan mikroorganizmaların yaşamsal aktivitelerini biyoatık kütlelerinin sıcaklığı, pH değeri, partikül boyutu, havalandırma (oksijen) ve nem içeriği ve elektriksel iletkenliği etkiler (Li vd., 2013). Etkin bir kompostlama için yeterli oksijen varlığında nem seviyesinin %50-60 olması önerilmiştir (Zhang vd., 2011). Yeterli oksijen ise karıştırma ile sağlanabilir (Andersen vd., 2010).

Kompostlamanın faydaları;

Biyoatık hacmi %30'dan daha fazla indirgenir, atık kararlı hale getirilir (El-Sayed, 2015)

İdeal şartlar altında çalışan bir kompostlama prosesinde metandan çok karbondioksit oluşur. Kompostlama sırasında meydana gelen CH<sub>4</sub> emisyonları başlangıçtaki karbonun yaklaşık %1-4'ü kadardır (Pickin & Randell, 2017; Jiang vd., 2011).

Azot, fosfor ve kalsiyum bakımından zengin bir gübre elde etmek için biyoatık, ağır metal ve paketlenmiş kullanılabilecek biyobozunur etiketli plastik ürünler gibi yabancı maddeler içermemelidir (Kulikowska vd., 2015)

Saf biyoatıktan elde edilen kompost toprağın su tutma, nütrient tutma ve karbon depolama yeteneğini artırabilir ve gübre olarak tarımda kullanılabilir (EEA, 2020).

Mineral azot, fosfor ve potasyum gübrelerin yerine kompost ürünü kullanılması gübre üretiminden ve kullanımından kaynaklanacak çevresel etkiyi indirger.

Kompost aynı zamanda ağır metallerle kirlenmiş topraklarda, ağır metalleri toprak matriksi içinde tutarak bioremedation sağlayabilir (Kulikowska vd., 2015 ).

### **Kompost Prosesinde Oluşan Gaz Emisyonları**

Kompostlama sürecinde kompost yığınının nem içeriği, oksijen seviyesi, sıcaklığı, C/N oranı ve mikroorganizma aktivitesi uygun olduğunda ortaya çıkan gaz emisyonları, CO<sub>2</sub> ve NH<sub>3</sub>'den oluşur. Amonyak emisyonları, azot bakımından zengin substratların kompostlaşmaya başladığı, yüksek sıcaklık ve pH> 6'nın olduğu termofilik faz sırasında en yüksek seviyededir (Jarvis vd., 2009).

Kompost proseslerinin çalışma şartlarının bozulması koku ve sera gazı emisyonlarına neden olabilir (DiMaria vd., 2018). Kompost içinde oksijenin azaldığı bölgelerde oluşan anoksik şartlarda nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçleri eş zamanlı gerçekleşerek N<sub>2</sub>O emisyonu artabilir (Angnes vd., 2013; Hwang & Hanaki, 2000). Kompost ortamında oksijen yokluğunda oluşan anaerobik şartlar CH<sub>4</sub> emisyonlarına neden olabilir (Jiang vd., 2011). Kompost yığınının sıcaklığı yığın içerisinde faaliyet gösteren mikroorganizmaların ve metanojenlerin aktivitesini etkiler. Örneğin; 40- 60 °C ve üzerindeki sıcaklıklar sera etkisi yüksek CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O gaz emisyonlarının çıkışına neden olabilir (Amlinger et al. 2008). CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonları 100 yıllık küresel ısınma potansiyeli (global warming potential; GWP) tahmininde önemli bir etkiye sahiptir (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007). Bu yüzden, her iki gazın emisyonlarının minimize edilmesi küresel ısınma açısından oldukça önemlidir.

### **Kompostun Kalitesi**

Elde edilen kompostun ulusal ve uluslararası pazarlarda rekabet edebilmesi için ilgili standartları sağlaması gerekir. Bu amaçla kompost tesislerine giren maddeler sürekli denetlenmeli ve aksaklıklar giderilerek kompostun kalitesi satışı

uygun seviyede tutulmalıdır. Ayrı toplamayı ve kompost tesislerini etkin çalıştırmayı başarabilen ülkelerde kompost kalite standartları oluşturulmaktadır. Şimdiye kadar 11 AB ülkesi ilgili standartları hazırlamış ve uygulamaktadır (EEA, 2020). Kompost ürünü için belirlenen standartlar kompost tesisi işletmecileri tarafından benimsenir ve uygulanırsa kentsel biyoatıkların çevresel döngüsü sürdürülebilir şekilde başarılmış olur. Şekil 2’de Avrupa kompost çalışma ağının (European Compost Network; ECN) yönetim ve güvence (teminat) planı verilmiştir (ECN, 2018). Avrupa kompost ağının kalite yönetimi ve güvence planının temel unsurlarını tamamlayan yönetimlere kompost sertifikası verilir.



**Şekil 2.** Avrupa Kompost Ağının Kalite Yönetimi ve Güvence Planının Temel Unsurları (ECN, 2018).

Kompostlama faaliyeti depolama ile karşılaştırıldığında pahalı gibi görünse de 20 yıllık bir değerlendirme sürecinde depolama faaliyetlerinin maliyetinin yarısından daha az olacaktır (Lee vd., 2017). Kompostlama faaliyeti yerel yönetimler tarafından planlanan ve işletilen merkezi kompost tesislerinde gerçekleştirilebileceği gibi evde kompost uygulaması da mümkündür. Kentsel biyoatıkların yönetimi planlanırken mevcut şartlar değerlendirilerek, her iki kompostlama uygulaması plana dâhil edilebilir.

### **Evde Kompostlama**

Evde veya bahçede kompost uygulaması sürdürülebilir kentsel biyoatık yönetimi kapsamında gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır (Andersen vd., 2011). Evde kompostlama uygulamasında atık üreticisi, hem kompostu üreten, hem de kullanan durumdadır. Evde kompost; mutfak atıklarının ve bahçe artıklarının diğer atıklardan ayrılmasını, atık üreticisi tarafından kompostlanmasını ve elde edilen ürünün de saksı veya bahçede kullanılmasını içerir (Colon vd., 2010). Evde kompostlamanın kullanılması ile biyoatıkların ayrı toplanmasına gerek kalmaz. Böylece atık toplama ve taşıma prosesi süresince oluşabilecek emisyonlar ve maliyetler azalır (European Commission, 2015; Andersen vd., 2011). Son yıllarda Avrupa atık depolama direktiflerinde (Council of the European Communities, 1999) yer alan biyoatıkların depolama alanlarına gelmemesi kuralı kapsamında birçok ülke tarafından atık yönetim hiyerarşisine dâhil edilmeye çalışılmaktadır. Evde kompost yöntemi bireysel bir tercih olduğundan, sürekliliği belediyeler tarafından kontrol edilemez. Bu nedenle biyoatıkların yönetimi için tek başına uygulanabilir bir seçenek değildir. Ancak mevcut yönetim sistemine olumlu katkı yapmak üzere teşvik edilebilir.

Özellikle dağınık yerleşim düzenine sahip kentsel veya kırsal yerleşim alanlarındaki atıkların yönetiminin planlanması yerel yönetimler için bazı zorluklar içerir. Yerel yönetimler, toplama ve taşıma maliyetleri veya coğrafik koşullar nedeniyle kırsal bölgelerdeki atıkların yeterli sıklıkta toplanmasını ve taşınmasını çoğu zaman sağlayamaz. Bu durumda dere kenarlarına, boş arazilere atmak veya yakmak gibi kontrolsüz ve yasa dışı uygulamalar görülebilir. Bu uygulamalar insan sağlığına ve çevreye çok önemli zararlar verebilir; hava, su ve toprak kirliliğine neden olabilir. Bu tip yerleşim alanlarında oluşan atığı yerinde proseslemek ve hacim azalması sağlamak sürdürülebilir atık yönetimine önemli maddi katkı sağlayacaktır (EEA, 2020). Kırsal alandaki halkın evde kompost uygulamasına katılmasında, bireyin kompostu kullanabileceği bir bahçeye sahip olması, kompost yapımı konusunda yerinde uygulamalı eğitim verilmesi ve evde kompost uygulamasının çevreye katkısı hakkında bilgilendirilmesi etkilidir. Aynı zamanda, evde kompost aktivitesinin sürdürülebilir olması için yerel yetkililerin üretilen kompostun kalite ve kullanımını sürekli denetlemesi gerekir (Loan vd., 2019). Evde kompostlama aktivitesine halkın katılımını artırmak için, toplama ve taşıma sürecinden edilecek kârın bir kısmı evde kompost katılımcılarına teşvik desteği olarak verilebilir. Evde kompostlama prosesi birçok AB ülkesinde kısmen kullanılmaktadır (EEA, 2020).

Evde kompost üretiminde uygulama koşullarına bağlı olarak bazen sera gazları ortaya çıkmakla birlikte, kompost malzemesi daha sık karıştırılarak bu olumsuz etki bir miktar indirgenebilir (Andersen vd., 2011). Merkezi kompostlama tesisleri, evde kompostlama uygulamasına oranla 2-5 kat daha az  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  ve  $\text{CH}_4$  oluşumuna neden olabilir (Martinez-Blanco vd., 2010) Bununla birlikte, merkezi kompostlama tesisine ulaşım için toplama mesafesinin 30-40 km'den fazla olduğu yerleşimlerde, evde kompost yapılması; biyoatıklar için toplama ve taşıma faaliyeti sırasında oluşabilecek  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  ve uçucu organik karbon emisyonunu, dolayısıyla zararlı fotokimyasal ozon oluşumunu da önemli oranda indirgeyebilir. Aynı zamanda, merkezi kompost tesisinin yükü ve proseseleme için gerekli enerji ihtiyacı azalacağından, fosil yakıt kaynaklı sera gazı emisyonları da azalır (Andersen vd., 2010). Evde kompost kaplarının kapasitesinden daha fazla biyoatık çıkması halinde fazla atık proseslenmeden kalabilir. Bu sorunu çözmek ve kompostlanan biyoatık miktarını dengelemek için site veya mahalleyi kapsayan küçük ölçekli merkezi kompost yerleşimleri oluşturulması önerilebilir. Ev kompost uygulaması doğru şartlarda yapılmazsa veya tamamı bahçelerde kullanılmazsa elde edilen kompostun atık depolama tesislerine gitmesi gerekir. Bu nedenle, kompostun her türlü kontrollü olarak üretilmesi ve uygun şekilde değerlendirilmesi planlanmalıdır. Evde kompost uygulaması için, Bahçe Kompostu, Vermikompost, Bukashi (Bokashi) kompostu, Kompost makineleri olmak üzere birkaç alternatif yöntem bulunmaktadır.

### ***Bahçe Kompostu***

Bahçe kompostu için havalandırma düzeneği bulunan uygun büyüklükte bir kutu veya sandık hazırlanır. Bu tür ekipmanlar evde yapılabileceği gibi, ticari olarak da kolaylıkla sağlanmaktadır. Bahçe kompost uygulamalarının doğru bir şekilde yapılması ve iyi kalitede kompost elde edilmesi,  $\text{CH}_4$  ve  $\text{N}_2\text{O}$  gibi yüksek sera gazı potansiyeline sahip gaz emisyonlarının oluşmaması için çok önemlidir. Aksi halde bahçe kompostundan beklenen faydalar sağlanmadığı gibi kötü kokulu ve bertaraf edilmesi gereken bir atık oluşur. Kompost kutusu, bahçede gölgeye ve su ilavesi mümkün olan bir yere yerleştirilir.

Bahçe kompostu için yeşil-kahverengi bahçe atıkları ve mutfak atıkları kullanılır. Nem-oksijen dengesini sağlamak için arada nemiendirilir ve karıştırılır. Yeşil bahçe atıkları azot kaynağı, kahverengi olanlar ise karbon kaynağı olarak mutfak atıklarının kompostlanması için gerekli ortamın oluşturulmasına destek olur. Kompostlanan materyalin parçalanma hızına bağlı olarak 4-12 hafta arasında kompost oluşumu tamamlanır. Olgun kompost koyu renkli, ufalanabilir ve toprak kokusunda olmalıdır (Beck, 2023). Bahçe de kompost yapmak çevreye duyarlı bir yaklaşım olmasının yanı sıra emek ve dikkat isteyen bir uygulamadır. Uygun işletme koşullarında çalıştırılmayan veya kompost yığımına konmaması gereken malzemeleri içeren kompost kutuları böcek ve kemirgenler için cazip bir ortam haline gelebilir. Kötü bir koku yayılımı söz konusu olabilir.

### ***Vermikompost***

Bahçe kompostunun zorluklarından dolayı son zamanlarda "kırmızı solucanlar" kullanılarak yapılan solucan gübresi veya vermikompost oldukça ilgi çekmektedir. Kırmızı solucanlar besin maddesi olarak yemek artıklarını kullanırlar. Solucanların sindirim atıkları azot açısından zengin gübre olarak kullanılabilir. Hayvansal atıklar (yağ, kemik, süt ürünleri, et atıkları), odunsu veya kuru maddeler, plastik çay poşetleri, kahve filtreleri, yapışkan etiketler solucanların tüketmesi için uygun değildir. Solucan kutusundaki solucan sayısı her kompost oluşumu sonrası bir miktar artacağından, kutuya eklenen artık miktarı da her defasında biraz daha artırabilir. Birkaç ay içerisinde kompost kabı tamamen dolunca, alttan kompost sıvısı boşaltılır. Vermikompost uygun şartlarda yapıldığında kötü koku oluşturmaz ve karmaşık bir süreç değildir. Elde edilen vermikompost sıvısı ve kompostu, saksı veya bahçelerde toprak iyileştirici olarak güvenle kullanılabilir (Beck, 2023).

### ***Bokashi Kompostu***

Mutfak artıklarının özel bir kaptaki bokashi aşısı kullanılarak anaerobik ortamda mikroorganizmalar tarafından fermente edilmesi sonucu bokashi kompostu elde edilir. Bokashi aşısı, fermentasyon için gerekli mikroorganizmalar ve bu mikroorganizmaların işleyişini kolaylaştırmak için melas, buğday tohumu, buğday kepeği veya talaştan oluşur (Vanderlinden, 2022). Fermentasyon süreci sonunda oluşan fermentasyon sıvısı (Bokashi Çayı) ev bitkilerini gübrelemekte kullanılabilir. Bokashi kompostlama sürecinin ilk adımı 2 hafta içinde tamamlanır (Bokashi O., 2022) Bu zaman süresi içerisinde iki-üç günde bir oluşan sıvının boşaltılması ve fermentasyon kütesinin kuru tutulması gerekir aksi halde kütle çürümeye başlar ki bu istenmeyen bir durumdur. Sıvı ürün elde edildikten sonra kalan malzemenin parçalanmasını tamamlaması ve kararlı hale gelmesi için bahçeye gömülmesi, klasik bir kompost yığımına veya vermikompost kutusuna eklenmesi gereklidir. Bokashi kompostunun klasik kompostlamaya göre avantajları aşağıda verilmiştir (Bokashi O., 2022);

Oluşan kompost karbon ve azot yönünden zengindir. Çünkü klasik kompostlama da olduğu gibi CO<sub>2</sub> ve NH<sub>3</sub> olarak ortamdaki ayrılmaz

Bokashi yönteminde sera gazı çok az üretilir veya hiç üretilmez.

Sıkı bir şekilde kapatılmış kutularda gerçekleştiği için rahatsız edici bir koku ortaya çıkmaz hissedilen koku genellikle maya veya sirke kokusu gibidir.

Kompostlaştırmanın yapılması için artık içindeki karbon/azot oranı önemli değildir.

### **Kompost Makineleri**

Bahçesi olmayan veya evde kompost yöntemlerinin kontrol zorluklarını yaşamak istemeyen bireyler için farklı boyutlarda kompost makineleri satışa sunulmuştur (TOGO, 2022). Mutfak kompost makineleri gıda artıklarını parçalar ve birkaç saat uygun ısıda beklettikten sonra, saksı bitkileri veya bahçe toprağına gübre olarak eklenebilen gevşek ve kuru bir malzeme üretir. Bununla birlikte, kompost makinelerinin elektrikle çalışması çevreye duyarlı kullanım amacına ters düşecek şekilde enerji tüketimine dolayısıyla az da olsa sera gazı üretimine neden olur. Ayrıca bu makinelerin sürekli kullanımı sağlanamazsa son yıllarda büyük sorun olan elektrikli atık, plastik atık ve metal atıklara dönüşme tehlikesi de mevcuttur. Mutfak kompost makineleri aerobik kompostlama yaptıklarından ve karbon fitesine sahip oldukları için metan gazı üretmeleri sözkonusu değildir. Mutfak kompostu için ekipman alımına karar verirken, ürün yaşam döngüsünü benimseyen üretici firmaların tercih edilmesi çevre ile ilgili endişeleri azaltabilir (Brown, 2021). Kompost makineleri, evde kompostlamanın teşvik edildiği atık yönetimde önemli avantajlar sağlayabilecek bir alternatiftir. Ancak kullanımı kişisel bir tercih olduğundan denetlenmesi ve sürdürülebilmesi oldukça zordur.

### **BİYOATIKLAR İÇİN ANAEROBİK BOZUNMA (ANAEROBIC DIGESTION; AD)**

Anaerobik bozunma prosesi temel olarak biyobozunabilir materyalin oksijensiz ortamda ve kontrollü olarak biyolojik ayrıştırılması işlemidir. AD prosesinde gerçekleşen parçalanma süreci dört adımda gerçekleşir; hidroliz, asit oluşumu, asetik asit oluşumu ve metan oluşumu. Hidroliz adımı hız sınırlayıcı adımdır. Bu aşamada karbonhidrat, protein ve yüksek moleküllü yağ asitleri, şekerlere, amino asitlere ve düşük moleküllü yağ asitlerine indirgenir (Demichelis vd., 2022). Biyoatıklar AD prosesinde anaerobik şartlar altında parçalandığında esas olarak metan ve karbondioksitten oluşan biyogaz elde edilir. Kentsel biyoatıklar gibi kompleks bir içeriğin AD prosesinde biyogaz gibi temiz ve yenilenebilir enerjiye dönüştürülmesi, oldukça ilgi çeken çevresel olarak sürdürülebilir bir atık yönetim alternatiftir (Ardolino vd., 2018).

Biyoatıkların madde dönüşüm prosesi olarak AD kullanıldığında; fosil yakıt kaynakları korunur, fosil yakıttan enerji üretimi sırasında salınan sera gazı emisyonu azalır, temiz enerji elde edilir. AD proseslerinde üretilen biyogaz veya enerji ile ekonomik bir gelir sağlanırken, uygun kalitede bozunma yan ürünü elde edilirse, bu ürün tarımsal aktiviteler için bir gübre olarak kullanılabilir (Esposito vd., 2012).

Almanya, Fransa, İsveç ve Kanada gibi birçok ülkede kentsel katı atıkların organik kısımlarının kullanılmasıyla biyogaz kazanım uygulamaları önemli gelişmeler göstermiştir. AD prosesi kullanıldığında oluşan metan hacminin ve elde edilen enerjinin, gaz yakalamalı depolama alanlarından elde edilenden yaklaşık 5 kat fazla olduğu hesaplanmıştır (Ayodele vd., 2018).

AD prosesinin verimini doğru değerlendirmek için prosese gelen atık kompozisyonunu tam olarak bilmek gerekir. Çünkü farklı hammaddelerin bozunma oranları ve üretebilecekleri biyogaz miktarı farklıdır. Yüksek lignin içeriğine sahip kağıtlar ve odunsu maddeler anaerobik bozunma prosesi için uygun olmayabilir (Nizami, 2012). Yapılan bir çalışmada gıda atığını ve kaynakta ayrılmış kentsel biyoatığı hammadde olarak kabul eden iki AD prosesinde yapılan incelemeler sonucunda potansiyel enerji kazanımının yaklaşık 400 kWh/ton hammadde olduğu belirlenmiştir (Banks vd., 2011).

Biyoatıkların AD prosesinde kullanılmasının sürdürülebilir olması için, proses yan ürünlerinin yönetimi de planlanmalıdır. Prosesin yan ürünü, biyobozunur madde ve mineraller yönünden zengin yarı kararlı bir malzemedir. Avrupa Atık kataloğunda (EUR-Lex.,2000) atık olarak tanımlanan bu yan ürünün, hijyen, safsızlıklar, fermantasyon seviyesi, koku, biyobozunur madde içeriği ile ilgili yasal standartları sağlayacak şekilde işlem gördükten sonra araziye uygulanabileceği belirtilmektedir.

Ancak yüksek taşıma maliyetleri, AD prosesi yan ürününün büyük ölçekli araziye uygulanmasını sınırlandırabilir (Delzeit & Kellner, 2013). Ayrıca AD prosesinin yan ürünü zengin besin maddesi içeriğinden dolayı su ortamlarında



ötrifikasyona da sebep olabilir, bu nedenle azot ve fosfora doymun olan arazilerde nihai bertarafı uygun değildir (Lukehurst vd., 2010). Anaerobik proses yan ürününün araziye uygulanmasının uygun olmadığı durumlarda, ürünün piroliz prosesinden geçirilmesi bir seçenek olabilir (Lohri vd., 2017). Ürünün içeriği katı atık depolama saha standartlarını karşılarsa, suyu alındıktan ve stabilize edildikten sonra katı atık depolama sahalarında günlük, geçici ve nihai örtü malzemesi olarak da kullanılabilir (Peng & Pivato, 2017).

## **BİYOATIKLARIN İŞLENMESİ İÇİN ARAŞTIRMA AŞAMASINDAKİ PROSESLER**

Evsel atıklar içerisindeki BB maddelerin depolamaya gitmeden çevresel ve ekonomik maksimum fayda elde edilecek şekilde yönetilmesi, gelişmiş ülkelerde gün geçtikçe benimsenmekte ve sürdürülebilir atık yönetiminin bir parçası haline gelmektedir. Aerobik kompostlama, anaerobik bozunma prosesleri dışında kentsel biyoatıkların biyo-ürünler veya biyo-yakıt olarak verimli bir şekilde değerlendirilebilmesi için araştırma ve geliştirme çalışmaları halen devam etmektedir. Bu çalışmalardan birkaçına aşağıda değinilmiştir.

Piroliz; oksijensiz ortamda ve yüksek sıcaklıkta biyo kütleinin faydalı katı sıvı ve gaz ürünler üreterek parçalandığı bir termokimyasal prosestir (Lohri vd., 2017). Piroliz, kullanılarak düşük enerji potansiyeline sahip maddeler, yüksek enerjili biyoyakıtlara dönüştürülebilir, ilave olarak değerli kimyasallar elde edilir. Ancak pirolizi biyoatıklar için ekonomik olarak uygulayabilmek henüz mümkün olmamıştır (Czajczyńska vd., 2017).

Gazlaştırma; biyoatığı, yüksek sıcaklıkta sentez gazına dönüştüren bir ısıl prosestir. Üretilen gaz, yakıt olarak veya kimyasal üretmek için kullanılabilir. Gazlaştırma, minimum emisyon ürettiği ve çeşitli malzemeleri işlemek için uyarlanabilen esnek bir teknoloji olduğu için biyoatık arıtımı için umut verici bir teknoloji olarak kabul edilir (Watson vd., 2018).

HTK (Hidro Termal Karbonizasyon); biyoatıklardan aktif karbon elde edilen, yüksek basınçta, 180-250 °C sıcaklıkta, kısa sürede gerçekleşen termokimyasal bir işlemdir (Heidenreich vd., 2016). HTK, özellikle yüksek su içeriğine sahip biyolojik atıklar için uygundur. HTK prosesi atık hacminin önemli oranda azalması, kısa reaksiyon süresi ile biyoatık işlenmesi için dikkat çekici bir seçenektir (Pham vd., 2015).

Etanol üretimi; BB maddelerden fermantasyon prosesi kullanılarak, önemli sıvı biyoyakıtlardan biri olarak kabul edilen etanol üretilebilir. Günümüzde yakıt olarak kullanıma sunulan etanol, gıda olarak da tüketim potansiyeli bulunan mısır veya şeker kamışından üretilmektedir. Bununla birlikte gıda kıtlığının gündeme geldiği son zamanlarda bu hammaddeler yerine kentsel biyoatıkların fermentasyonundan elde edilmesinin de bir alternatif olduğu görüşü mevcuttur (EEA, 2020). Etanol fermentasyonunun maliyetli olması ve kentsel biyoatıkların doğası gereği sahip olduğu heterojenlik endüstriyel boyutlu biyoetanol üretimini zorlaştırmaktadır.

Bioatıkların anaerobik bozundurulması ile buharlaşabilir yağ asitlerinin (VFA's) üretimi; buharlaşabilir yağ asitleri, biyoyakıtların üretimi, biyobazlı plastikler ve atıksulardan nütrientlerin giderimi gibi birçok kullanım alanı olan değerli bir üründür. Günümüzde buharlaşabilir yağ asitleri kimyasal yöntemlerle fosil yakıtlardan üretilmektedir. Son yıllarda biyoatıklardan buharlaşabilir yağ asitleri üretilmesi ilgili çalışmalar, bu yöntemin sürdürülebilir ve ekonomik olarak uygulanabilir bir üretim prosesi olabilmesi için detaylı bir işletme optimizasyonuna ihtiyaç duyduğunu göstermiştir (EEA, 2020; Liu vd., 2018).

Biyorafineriler; Biyokütleinin kimyasallar, biyoyakıtlar, gıda ve yem bileşenleri, biyomalzemeler veya lifler gibi değerli ürünlere dönüştürüldüğü işleme tesislerine biyorafineriler denir (Fava vd., 2015). Mevcut tam ölçekli atık bazlı biyorafineriler, hammadde olarak genellikle tarım ve gıda işleme sonucu çıkan homojen atık akışlarını kullanır. Biyohidrojen üretimi; Biyoatık, değerli bir temiz enerji kaynağı olan hidrojen (H<sub>2</sub>) üretmek için de kullanılabilir. Biyolojik atıklardan karanlık fermantasyon ve foto fermantasyon biyolojik süreçleri veya atıktan türetilen uçucu yağ asitleri ile H<sub>2</sub> üretimi mümkün olabilir. Ancak, düşük madde dönüşüm verimliliği ve düşük verim gibi endüstriyel ölçekte H<sub>2</sub> fermentasyon teknolojilerinin kullanımı için hala büyük engeller bulunmaktadır (Sabarathinam vd., 2016). Biyo-atıktan fosfor ve azot geri kazanımı; Fosfat kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle gübre üretiminde kullanılmak üzere gıda atıklarından azot ve fosforun geri kazanılması üzerinde önemle durulmaktadır. Besi maddelerinin bu şekilde geri kazanılabilmesi sulardaki ötrifikasyonun da önüne geçebilir (Huang vd., 2017). Ancak geri kazanım teknolojisinin oluşturulması ve elde edilen ürünün gübrelerde kullanım potansiyeli açısından üzerinde çalışılmasına ihtiyaç vardır.

## **SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER**

Kentsel atıklar içerisinde önemli bir yüzdeyi oluşturan biyoatıkların (biyobozunabilir organik atıklar) ayrı toplanması ve proseslenmesindeki belirsizlikler nedeniyle sürdürülebilir yönetiminin planlanması oldukça zordur. Sürdürülebilir atık yönetimi kapsamında, kentsel biyoatıkların, ayrı toplanması, proseslenmesi, ürün ve yan ürünlerin kullanılması ve son kalıntının bertarafına kadar yönetiminin bir bütün olarak planlanması ve kesintisiz uygulanması gereklidir. Biyoatıkların doğası gereği, atık yönetim adımlarındaki herhangi bir aksaklık geri dönülmesi zor ve masraflı sorunlara neden olur. Bu yüzden biyoatıkların yönetim planlaması, uygulaması ve kontrolü yerel yönetimlerin kısıtlı ekonomik imkanlarına bırakılmamalı, ulusal bir atık yönetim birimi oluşturularak gerçekleştirilmelidir.

Biyoatığın önlenmesi için alternatifler, gıda israfının önlenmesini sağlayabilmek veya tüketiciye attığın kadar öde (PAYT) yaklaşımının uygulanmasıdır. Gıda israfını önlemek için atık üreticisini bilinçlendirmek ve israftan uzaklaştırmak böylece daha az atık üretmesini sağlamak gereklidir. Gıda israfının önlenmesi, üretim sırasında kullanılan hammadde, enerji, paketlenme ve dağıtım ihtiyacını azaltır. Böylece hem kaynakların korunması sağlanır, hem de sera gazı emisyonları önlenir.

Biyoatıkların ayrı toplanması sonraki yönetim adımlarının başarılı olabilmesi için ön şarttır. Biyoatıklar oluştuktan hemen sonra biyokimyasal aktivite başladığından koku, sinek gibi olumsuzluklar oluşmayacak sıklıkta toplanmalıdır. Tüketicinin biyoatığını atık getirme merkezine getirmesinin sağlanması veya evde kompostlama yapması taşıma maliyetini ve kısa periyotlarda taşımaya bağlı sera gazı emisyon miktarını azaltabilir.

Biyoatıkların dönüşümü için genellikle kompostlama ve AD prosesi önerilir. Biyoatıkların kompostlanması sonucunda toprak iyileştirici olarak kullanılabilen, ekonomik değeri olan bir ürün elde edilir. Bu ürünün tamamının toprağa uygulanması veya satılması başarılırsa prosesin kullanımı amacına ulaşmış olur. Elde edilen kompost ürününün uluslararası pazarda satılması için kalitesini belgeleyen kompost sertifikasına sahip olması gerekir. Kompostlama merkezi sistemlerde yapılabileceği gibi atık üreticisinin istek ve yeteneği doğrultusunda evde de gerçekleştirilebilir. Son yıllarda, yenilenebilir enerji talebine bağlı olarak, yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilen AD prosesine olan ilgi de artmıştır. AD prosesinin kullanılması fosil yakıt kaynaklarının kullanımını azaltarak kaynak koruması sağlarken, sera gazı emisyonlarını da azaltmaktadır. Biyoatıklar için AD prosesi kullanılması çevre dostu enerji elde edilmesini sağladığından iyi bir atık yönetim ve geri dönüşüm alternatifidir. Biyoatık yönetiminin sürdürülebilir olması, planlama sırasında teorik bilgilerin yanı sıra, bölgenin coğrafik yapısı, halkın sosyo-ekonomik durumu, eğitim seviyesi, kültürel alışkanlıkları dikkate alınmasına bağlıdır. Ayrıca, biyoatıkların toplanmasından itibaren tüm yönetim planlaması ve uygulaması tek merkezden yapılırsa, bir adımın geliri diğer adımın giderine destek olacağından, atık yönetim uygulamasının ekonomik sürekliliği sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- Allen, S. & Wentworth, J. (2011), Anaerobic digestion. POSTNOTE 387, *Parliamentary Office of Science and Technology*, London 1-3. <https://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/POST-PN-387/POST-PN-387.pdf> /Accessed 30.08.2023)
- Amlinger, F., Peyr, S., Cuhls, C. (2008). Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. *Waste Management and Research*, 26;1, 47-60. DOI: 10.1177/0734242X07088432
- Andersen, J.K., Boldrin, A., Christensen, T.H., Scheutz, C. (2011). Mass balances and life cycle inventory of home composting of organic waste. *Waste Management*, 31, 1934-1942. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.05.004>
- Andersen, J.K., Boldrin, A., Samuelsson, J., Christensen, T.H., Scheutz, C. (2010). Quantification of greenhouse gas emissions from windrow composting of garden waste. *J. Environ. Qual.*, 39, 713-724. <https://doi:10.2134/jeq2009.0329>
- Angnes, G., Nicoloso, R.S., da Silva, M.L.B., de Oliveira, P.A.V., Higarashi, M.M., Mezzari, M.P., Miller, P.R.M. (2013). Correlating denitrifying catabolic genes with N<sub>2</sub>O and N<sup>2</sup> emissions from swine slurry composting. *Bioresource Technology*, 140, 368-375. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.04.112>
- Ardolino, F., Parrillo, F., Arena, U. (2018). Biowaste-to-biomethane or biowaste-to-energy? An LCA study on anaerobic digestion of organic waste. *J. Clean. Prod.*, 174, 462-476. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.320>

- Ayodele, T.R., Ogunjuyigbe, A.S.O., Alao, M.A. (2018). Economic and environmental assessment of electricity generation using biogas from organic fraction of municipal solid waste for the city of Ibadan, Nigeria. *Journal of Cleaner Production*, 203, 718-735. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.282>
- Banks, C., Chesshire, M., Heaven, S. (2011). Biocycle anaerobic digester: performance and benefits. *Waste and Resource Management*, 164:1, 141-150. <https://doi.org/10.1680/warm.2011.164.3.141>
- Beck, A., (2023). How to make compost to feed your plants and reduce waste. Better homes & gardens.Dotdash meredith. <https://www.bhg.com/gardening/yard/compost/how-to-compost/Accessed 25.08.2023>
- Bokashi Organko. (2022). How long does it take to convert food in to bokashi compost. Plastik Skaza,EU <https://bokashiorganko.com/bokashi-library/convert-food-into-bokashi-compost/Accessed 28.09.2023>
- Bras, I.P., Maia, S., Simoes,L.M., Rabaça, T.,Silva M.E. (2022). Selective collection of biowaste in a non-intensive urban region- Producers' characterization. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100738.29>,
- Brown, F. (2021) Electric Composters: Sustainability Win or Another Unnecessary Appliance?. Earth911 More Ideas, Less Waste. <https://earth911.com/home-garden/electric-composters-sustainability-win-or-another-unnecessary-appliance/Accessed 15.09.2023>
- Colón, J., Martínez-Blanco, J., Gabarrell, X., Artola, A., Sánchez, A., Rieradevall, J., Font, X. (2010). Environmental assessment of home composting. *Resource Conservation and Recycling*, 54, 893-904. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.01.008>
- Council of the European Communities. (1999). Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31999L0031/Accessed 10.08.2023>
- Czajczyńska, D., Nannoub, T., Anguilanoc, L., Krzyżyńska, R., Ghazald, H., Spencere, N., Jouhara, H. (2017). Potentials of pyrolysis processes in the waste management sector. *Energy Procedia*, 123, 387-394. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.07.275
- Delzeit, R. & Kellner, U.(2013). The impact of plant size and location on profitability of biogas plants in Germany under consideration of processing digestates. *Biomass Bioenergy*, 52, 43-53. DOI:10.1016/j.biombioe.2013.02.029
- Demichelis, F., Tommasi, T., Deorsola, F.A., Marchisio, D., Mancini, G., Fino, D. (2022). Life cycle assessment and life cycle costing of advanced anaerobic digestion of organic fraction municipal solid waste. *Chemosphere*, 289. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133058>
- Di Maria, F., Sisani, F., Contini, S. (2018). Are EU waste-to-energy technologies effective for exploiting the energy in bio-waste? *Applied Energy*. 230, 1557-1572. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.007>
- ECN. (2018). Quality Manual of the European Quality Assurance Scheme for Compost and Digestate. [www.compostnetwork.info/download/ecn-qasmanual/Accessed 11.09.2023](http://www.compostnetwork.info/download/ecn-qasmanual/Accessed 11.09.2023)
- El-Sayed, K. (2015) Some physical and chemical properties of compost. *Int. J. Waste Resour*, 5, 1-5. DOI:10.4172/2252-5211.1000172
- Environmental Protection Agency (EPA). (2013) Inventory of US Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2011. <http://epa.gov/climatechange/Downloads/ghgemissions/US-GHG-Inventory-2013-Main-Text.pdf/Accessed 12.08.2023>
- Esposito, G., Frunzo, L., Giordan, A., Liotta, F., Panico, A., Pirozzi, F. (2012). Anaerobic co-digestion of organic wastes. *Rev Environ Sci Biotechnol*, 11,325-341. <https://doi.org/10.1007/s11157-012-9277-8>
- EU, 2008, Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>
- EU,2018, Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj>
- EUR-Lex. (2000). 2000/532/EC: COMMISSION DECISION. An official website of the European Union. <http://data.europa.eu/eli/dec/2000/532/oj>

- European Commission. (2015). Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU, , Brussels <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2c93de42-a2fa-11e5-b528-01aa75ed71a1>/Accessed 30.11.2023
- European Environment Agency, (2012). The European environment-state and outlook 2010: consumption and the environment-2012 update, <http://www.eea.europa.eu/publications/consumption-and-the-environment-2012>/Accessed 12.10.2023.
- European Environment Agency, 2020, Bio-waste in Europe — turning challenges into opportunities, EEA Report, No 04/2020, ISSN 1977-8449. <https://www.eea.europa.eu/publications/bio-waste-in-europe>/Accessed 18.08.2023.
- Fava, F., Totaro, G., Diels L., Reis M., Duarte J., Carioca, O.B., Poggi-Varaldo H.M., Ferreira B.S. (2015). Biowaste biorefinery in Europe: opportunities and research & development needs. *New Biotechnology*, 32:1, 100-108. DOI: 10.1016/j.nbt.2013.11.003
- Hebda, C., Gaustad, G., Williamson, A., Trabold, T., (2016). Determining economically optimal household organic material management pathways. *Resources, Conservation and Recycling*, 108, 88-96. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.12.002>
- Heidenreich, S., Müller M., Foscolo P.U. (2016). Advanced biomass gasification — new concepts for efficiency increase and product flexibility. Elsevier/Academic Press, Amsterdam. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804296-0.00002>
- Hoornweg, D. & Bhada-Tata, P. (2012). What a Waste: a Global Review of Solid Waste Management. World Bank, Washington, DC. <https://www.compostnetwork.info/download/ecn-gasmanual>
- Huang, R., Fang C., Lu, X., Jiang, R., Tang, Y. (2017). Transformation of phosphorus during (hydro)thermal treatments of solid biowastes- reaction mechanisms and implications for reclamation and recycling. *Environmental Science & Technology*, 51:18, 10284-10298. DOI: 10.1021/acs.est.7b02011
- Hwang, S.J. & Hanaki, K. (2000). Effects of oxygen concentration and moisture content of refuse on nitrification, denitrification and nitrous oxide production. *Bioresource Technology*, 71:2, 159-165. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)90068-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)90068-8)
- Intergovernmental Panel on Climate Change, (2007). Climate change 2007- The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-frontmatter-1.pdf>
- Jalalipour, H., Jaafarzadeh, N, Morscheck, G., Narra, S., Nelles, M. (2020). Potential of Producing Compost from Source-Separated Municipal Organic Waste (A Case Study in Shiraz, Iran). *Sustainability*, 12. doi:10.3390/su12229704
- Jarvis, A., Sundberg, C., Milenkovski, S., Pell, M., Smårs, S., Lindgren, P.E., Hallin, S. (2009). Activity and composition of ammonia oxidizing bacterial communities and emission dynamics of NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O in a compost reactor treating organic household waste. *Journal of Applied Microbiology*, 106:5, 1502–1511. doi: 10.1111/j.1365-2672.2008.04111
- Jiang, T., Schuchardt, F., Li, G., Guo, R., Zhao, Y. (2011). Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and green house gase mission during the composting, *Journal of Environmental Sciences*, 23:10, 1754-1760. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60591-8](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60591-8)
- Kulikowska, D., Gusiatin, Z.M., Bułkowska, K., Kierklo, K.(2015). Humic substances from sewage sludge compost as washing agents effectively remove Cu and Cd from soil. *Chemosphere*, 136, 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.03.083>
- Lee, K. H., Oh, J., Chu, K.H., Kwon, S.H. and Yoo, S.S., 2017, Comparison and Evaluation of Large-Scale and On-Site Recycling Systems for Food Waste via Life Cycle Cost Analysis, *Sustainability*, 9, 2186; doi:10.3390/su9122186
- Li, L., Diederick, R., Flora, J.R.V., Berge, N.D. (2013). Hydrothermal carbonization of food waste and associated packaging materials for energy source generation. *Waste Management*, 33:11, 2478-2492. DOI: 10.1016/j.wasman.2013.05.025



- Lim, L.Y., Lee, C.T., Bong, C.P.C., Lim, J.S., Klemeš J.J. (2019). Environmental and economic feasibility of an integrated community composting plant and organic farm in Malaysia. *Journal of Environmental Management*, 244, 431-439. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.050>
- Liu, H., Han P., Liu, H., Zhou, G., Fu, B., Zheng, Z. (2018). Full-scale production of VFAs from sewage sludge by anaerobic alkaline fermentation to improve biological nutrients removal in domestic wastewater. *Bioresource Technology*, 260, 105-114. DOI: 10.1016/j.biortech.2018.03.105).
- Loan, L.T.T., Takahashib, Y., Nomurac, H., Yabe, M. (2019). Modeling home composting behavior toward sustainable municipal organic waste management at the source in developing countries. *Resources, Conservation & Recycling*, 140, 65-71. DOI:10.1016/j.resconrec.2018.08.016.
- Lohri, C. R., Diener, S., Zabaleta, I., Mertenat, A., Zurbrügg, C. (2017). Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products—a review with focus on low- and middle-income settings. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16:1, 81-130. DOI: 10.1007/s11157-017-9422-5).
- Lukehurst, C.T., Frost, P., Al Seadi, T. (2010). Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser. IEA bioenergy. [https://energiatalgud.ee/sites/default/files/images\\_sala/4/46/IEA\\_Bioenergy.\\_Utilisation\\_of\\_digestate\\_from\\_biogas\\_plants\\_as\\_biofertiliser.\\_2010.pdf](https://energiatalgud.ee/sites/default/files/images_sala/4/46/IEA_Bioenergy._Utilisation_of_digestate_from_biogas_plants_as_biofertiliser._2010.pdf)/Accessed 30.11.2023
- Martínez-Blanco, J., Joan, Colón, J., Gabarrell, X., Font X., Sánchez A., Artola A. and Rieradevall J. (2010). The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. *Waste Management*, 30:6, 983-994. DOI 10.1016/j.wasman.2010.02.023
- Miranda, M. L., LaPalme, S., & Bynum, D. Z. (1999). Unit based pricing in the United States: a tally of communities. Report submitted to The US Environmental Protection Agency. September. <http://www.epa.gov/payt/pdf/jan99sum.pdf>.
- Niskanen, A. & Kemppi, J. (2019). Analysis of separate collection and treatment of biowaste as possibilities to improve sustainability. Project report for the Council of State.
- Nizami, A.S. 2012, Anaerobic Digestion: Processes, Products and Applications. Nova Science Publishers, Ireland. <https://doi.org/10.4324/9780203137697>
- Pandyaswargo, A.H. & Gamaralalage P.J.D. (2014). Financial sustainability of modern composting: the economically optimal scale for municipal waste composting plant in developing Asia. *Int. J. Recycl. Waste Agricult.*, 3, 66. DOI 10.1007/s40093-014-0066-y
- Peng, W. & Pivato, A. (2017). Sustainable Management of Digestate from the Organic Fraction of Municipal Solid Waste and Food Waste Under the Concepts of Back to Earth Alternatives and Circular Economy. *Waste and Biomass Valorization*, 10,465-481. DOI 10.1007/s12649-017-0071-2
- Pham, T.P.T., Kaushik, R., Parshetti, G.K., Mahmood, R., Balasubramanian, R. (2015). Food waste-to-energy conversion technologies—current status and future directions. *Waste Management*, 38, 399-408. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.12.004>.
- Pickin, J. & Randell, P. (2017). Australian National Waste Report 2016. Department of the Environment and Energy & Blue Environment Pty Ltd. <https://dceew.gov.au/system/files/resources/d075c9bc-45b3-4ac0-a8f2-%206494c7d1fa0d/files/national-waste-report-2016.pdf>/Accessed 28.10.2023
- Price, J.L. & Joseph, J.B. (2000). Demand management—a basis for waste policy: a critical review of the applicability of the waste hierarchy in terms of achieving sustainable waste management. *Sustainable Development*. 8:2, 96-105. [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/\(SICI\)1099-1719\(200005\)8:2%3C96::AID-SD133%3E3.0.CO;2-J](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/(SICI)1099-1719(200005)8:2%3C96::AID-SD133%3E3.0.CO;2-J)/Accessed 20.10.2023.
- Roberts, D. (2015). Characterisation of chemical composition and energy content of green waste and municipal solid waste from Greater Brisbane, Australia. *Waste Management*. 41, 12-19. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.039>
- Sabarathinam, S., Sivasubramanian, S., Swaminathan, K., Subramaniam, S. (2016). Biowaste recycling by microbes for hydrogen production—An alternative strategy for greener fuel. *Journal of Environment and Biotechnology Research*, 3:1.

Skumatz, L. A., & Freeman, D. J. (2006). Pay as You Throw (PAYT) in the U.S. update and analysis. Final report Co-Sponsored by: EPA Office of Solid Waste, Jan Canterbury, Washington DC and Skumatz Economic Research Associates, Inc., Superior, CO. <https://archive.epa.gov/wastes/consERVE/tools/payt/web/pdf/sera06.pdf>/Accessed 01.12.2023

TOGO.(2022). Compost machine. <https://www.togocomposter.com/compost-machine/?gclid>

UN Environment Programme (UNEP). (2009). Developing Integrated Solid Waste Management Plan, Training Manual, Volume 1: Waste Characterization and Quantification with Projections for Future. Environmental Technology Centre Osaka/Shiga, Japan.

Vanderlinden, C. (2022). The Basic of Bokashi Composting. The spruce make your best home. <https://www.thespruce.com/basics-of-bokashi-composting-2539742>

Watson, J., Zhang, Y., Si, B., Chen W.T., Souza, R. (2018). Gasification of biowaste- a critical review and outlooks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 83, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.003>

Xevgenos, D., Papadaskalopoulou, C., Malamis, D. (2015). Success stories for recycling of MSW at municipal level a review. *Waste and Biomass Valorization*, 6:5, 657-684. <http://dx.doi.org/10.1007%2Fs12649-015-9389-9>

Zhang, J., Zeng, G., Chen, Y., Yu, M. (2011). Effects of physico-chemical parameters on the bacterial and fungal communities during agricultural waste composting. *Bioresource Technology*, 102:3, 2950-2956. doi:10.1016/j.biortech.2010.11.089