

T.C.  
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORGANİK MADDE İÇEREN KATI ATIKLARIN  
ENERJİ ÜRETİMİ AMACIYLA ANAEROBİK  
KOMPOSTLAŞTIRILMASI

YASEMİN ÇALIŞKAN  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GEBZE

2013

T.C.  
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORGANİK MADDE İÇEREN KATI ATIKLARIN  
ENERJİ ÜRETİMİ AMACIYLA ANAEROBİK  
KOMPOSTLAŞTIRILMASI

YASEMİN ÇALIŞKAN  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN  
DOÇ. DR. NİHAL BEKTAŞ

GEBZE

2013



## YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ..... tarihinde tez savunma sınavı yapılan Yasemin Çalışkan'nın tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

### JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç.Dr. Nihal Bektaş

ÜYE : Prof.Dr. Güleda Engin

ÜYE : Doç.Dr. Salim Öncel

### ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../20... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

## ÖZET

### TEZİN BAŞLIĞI: ORGANİK MADDE İÇEREN KATI ATIKLARIN ENERJİ ÜRETİMİ AMACIYLA ANAEROBİK KOMPOSTLAŞTIRILMASI

YAZAR ADI: YASEMİN ÇALIŞKAN

Dünyamızda hızlı endüstrileşme, nüfus artışı ve gelişen teknoloji ile değişen tüketim alışkanlıklarımızın neden olduğu katı atık miktarları her geçen gün artmaktadır. Katı atık bertarafında sadece depolama yapmaktan öte ürün elde edilebilen diğer bertaraf yöntemlerinin kullanılması gerekliliği de doğmuştur.

Bu tezde, organik madde içeriği yüksek katı atıkların, anaerobik olarak tasarlanmış reaktörde kompostlanarak nihai bir toprak şartlandırıcısının üretiminin yanı sıra, biyogaz elde edilecek şekilde bertaraf edilmesi denenmiş ve sistemin performansları incelenmiştir. Oksijensiz ortamda yapılan kompost, enerji gereksiniminin az oluşu, üretilen metan gazının enerji üretimi amacıyla kullanımı hem de satılabilecek bir ürün olan kompost üretimi nedenleri bakımından avantajlıdır. Kullanılan reaktör yüksekliği 1 m, çapı 40 cm ve 125.6 L hacminde plexiglass malzemeden imal edilmiştir. Oluşan biyogaz hacmini ölçebilmek için biyogaz çıkış vanasına bir gaz metre yerleştirilerek günlük biyogaz çıkışı takip edilmesi sağlanmıştır. Reaktörün içine ortamın günlük pH ve sıcaklığını düzenli olarak takip edebilmek için pH metre probu yerleştirilmiştir. Çalışmada, mutfak ve pazar yeri atıkları gibi organik katı atıklar farklı karbon kaynakları ile reaktöre 2 defa beslenmiştir. Bu atık karışımlarından birincisi %30 organik katı atık, %60 arıtma çamuru ve %10 oranında gazete kağıdı ikincisi ise % 65 atık, % 25 arıtma çamuru ve %10 oranında mukavva karton içermektedir. İlk atık karışımında C/N oranı 37.5, KOİ konsantrasyon azalması %94.02 ve 636.3 cm<sup>3</sup> kümülatif biyogaz hacmi; ikinci atık karışımında ise C/N oranı 26, KOİ konsantrasyon azalması % 82.26 ve 392 cm<sup>3</sup> kümülatif biyogaz hacmi gözlenmiştir. Bu iki çığ sebze atıkları karışımları arasında reaktöre %60 çığ sebze ve %40 yağlı yemek atığından oluşan yağlı yemek atık karışımı beslenmiş, karışımımızın C/N oranını artırmak için odun talaşı kullanılmış ve yaklaşık iki ay süresince çalışılmış fakat istenilen sonuca ulaşamayınca reaktör boşaltılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Katı Atık Bertarafı, Anaerobik Kompost, Organik Katı Atık, Biyogaz Üretimi

## SUMMARY

**TITLE: ANAEROBIC COMPOSTING OF ORGANIC SOLID WASTES FOR ENERGY PRODUCTION**

**AUTHOR: YASEMİN ÇALIŞKAN**

The amount of solid waste has been increasing by rapid population growth, improved technology, economic development and changing consumption habits. Therefore there is a need to apply alternative disposal methods of which the product can be achieved rather than landfilling.

The aim of this thesis was chosen to apply anaerobic composting process of solid wastes containing organic matter for energy production and to analyse its performance parameters. Composting made oxygen-free environment needs less energy and produces biogas for power generation and generates valuable product.

Reactor used in the experiments was made of plexiglass that has got height of 1 m, diameter 40 cm and 125.6 L in volume. In order to measure the volume of biogas, daily biogas output has monitored with placing a gasmeter on the biogas outlet valve. pH meter probe was placed into the reactor to control daily pH and temperature of media. In this study, the organic solid waste such as kitchen wastes and market wastes was filled to the reactor twice with different carbon sources. The first mixtures of waste includes 30% organic solid waste, 60% sewage sludge and 10% newsprint and the second one includes 65% organic solid waste, 25% sewage sludge and 10% cardboard. 94.02% reduction in COD concentration and 636.5 cm<sup>3</sup> cumulative volume of the biogas were observed in the first waste mixture which has 37.5 C/N ratio; 82.26% reduction in COD concentration and 392 cm<sup>3</sup> cumulative volume of the biogas were observed in the second waste mixture which has 26 C/N ratio. A different waste mixture which consists of 60% raw vegetables and 40% oily food waste was fed in between these two raw vegetables waste mixtures and wood shavings is used to increase this mixture's C/N ratio and operated for about two months but when we see that the results were not desired, the reactor was unloaded.

**Key Words:** Solid Waste Disposal, Anaerobic Composting, Organic Solid Waste, Biogas Production

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimi hazırlama sırasında tecrübesini, bilgisini, desteğini ve sevgisini benden hiç bir zaman esirgemeyen, yalnız tez çalışmamla kalmayıp yaşama dair her konuda bana doğru yolu göstermeyi hedefleyerek hayatımdaki yerini samimiyetle daima hissettiren danışman hocam Doç. Dr. Nihal BEKTAŞ’a,

Çalışmalarım sırasında bana her zaman destek olan ve her ihtiyacım olduğunda bana değerli vaktini ayıran Doç. Dr. M. Salim ÖNCEL ve Arş. Gör. Mesut TEKBAŞ’a,

Deneyisel çalışmalar süresince laboratuarda gösterdiği destek için Arş. Gör. Sibel BARIŞCI’ya,

Tez çalışmalarım süresince gösterdikleri yardım ve hoşgörülerinden dolayı Prof. Dr. Güleda ENGİN, Dr. Elif ŞENTÜRK, Dr. Mahir İNCE ve Arş. Gör. Feride ULU’ya,

111Y011 No’ lu proje kapsamında bu tezi destekleyen TUBITAK’a,

Ve hayatımın her anında maddi ve manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen, çalışmalarım sırasında her daim anlayış, hoşgörü ve sabır gösteren çok değerli aileme,

teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Yasemin ÇALIŞKAN

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

|                                                                 |        |
|-----------------------------------------------------------------|--------|
| ÖZET                                                            | iv     |
| SUMMARY                                                         | v      |
| TEŞEKKÜR                                                        | vi     |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ                                              | vii    |
| SİMGELER KISALTMALAR DİZİNİ                                     | ix     |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                                                 | x      |
| TABLolar DİZİNİ                                                 | xi     |
| <br>1. GİRİŞ                                                    | <br>1  |
| <br>2. KATI ATIK                                                | <br>4  |
| 2.1. Organik Katı Atıklar                                       | 6      |
| 2.2. Katı Atık Bertaraf Yöntemleri                              | 7      |
| 2.2.1. Kaynakta Azaltma Ve Geri Kazanma                         | 8      |
| 2.2.2. Yakma                                                    | 9      |
| 2.2.3. Piroliz Ve Gazifikasyon                                  | 10     |
| 2.2.4. Kompostlaştırma                                          | 10     |
| 2.2.5. Düzenli Depolama                                         | 14     |
| <br>3. ANAEROBİK KOMPOSTLAŞTIRMA                                | <br>16 |
| 3.1. Anaerobik Kompostlaştırmayı Etkileyen Çevresel Faktörler   | 23     |
| 3.1.1. Sıcaklık                                                 | 23     |
| 3.1.2. pH                                                       | 25     |
| 3.1.3. Alkalinite                                               | 25     |
| 3.1.4. C/N Oranı                                                | 26     |
| 3.1.5. Toplam Uçucu Yağ Asitleri                                | 26     |
| 3.1.6. Toksisite                                                | 27     |
| 3.2. Anaerobik Kompostlaştırma Yöntemleri                       | 29     |
| 3.2.1. Düşük Katı Konsantrasyonunda Anaerobik Kompostlaştırma   | 29     |
| 3.2.2. Yüksek Katı Konsantrasyonunda Anaerobik Kompostlaştırma  | 30     |
| 3.3. Anaerobik Kompostlaştırma Teknolojileri                    | 31     |
| 3.4. Anaerobik Kompostlaştırmanın Avantajları Ve Dezavantajları | 31     |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.5. Kompost Kalitesi, Kullanım Alanları Ve Faydaları                   | 32 |
| 3.5.1. Kompost Kalitesi                                                 | 32 |
| 3.5.2. Kompostun Kullanım Alanları                                      | 35 |
| 3.5.3. Kompostun Faydaları                                              | 35 |
| 4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR                                                    | 37 |
| 5. MATERYAL VE METOT                                                    | 40 |
| 5.1. Reaktörün Tasarımı                                                 | 40 |
| 5.2. Deneysel Çalışmalarda Analiz Yöntemleri                            | 41 |
| 5.3. Kullanılan Organik Katı Atıklar Ve Özellikleri                     | 43 |
| 5.4. Anaerobik Kompost Reaktörünün Çalıştırılması Ve Kontrolü           | 46 |
| 6. BULGULAR VE TARTIŞMA                                                 | 47 |
| 6.1. Sızıntı Suyundaki Ph Değişimleri                                   | 47 |
| 6.2. Sızıntı Suyundaki Kimyasal Oksijen İhtiyacı(KOİ) Değişimleri       | 48 |
| 6.3. Sızıntı Suyundaki Biyolojik Oksijen İhtiyacı(BOİ) Değişimleri      | 49 |
| 6.4. Sızıntı Suyundaki TKN ve NH <sub>3</sub> Konsantrasyon Değişimleri | 50 |
| 6.5. Sızıntı Suyundaki Alkalinite Değişimleri                           | 52 |
| 6.6. Sızıntı Suyundaki Uçucu Yağ Asidi Değişimleri                      | 53 |
| 6.7. Biyoreaktördeki Biyogaz Üretimi                                    | 54 |
| 6.8. Kompost Sıcaklık Değişimleri                                       | 55 |
| 6.9. Kompost Ürünü ve Kalitesi                                          | 56 |
| 7. SONUÇ                                                                | 62 |
| 8. KAYNAKLAR                                                            | 64 |
| 9. ÖZGEÇMİŞ                                                             | 70 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                         |                                                          |
|-------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>ABD</b>              | Amerika Birleşik Devletleri                              |
| <b>BOİ</b>              | Biyolojik Oksijen İhtiyacı                               |
| <b>KAY</b>              | Katı Atık Yönetimi                                       |
| <b>KOİ</b>              | Kimyasal Oksijen İhtiyacı                                |
| <b>TKN</b>              | Toplam Kjeldahl Azotu                                    |
| <b>UYA</b>              | Uçucu Yağ Asidi                                          |
| <b>UKM</b>              | Uçucu Katı Madde                                         |
| <b>CO<sub>2</sub></b>   | Karbondioksit                                            |
| <b>NH<sub>3</sub></b>   | Amonyak                                                  |
| <b>H<sub>2</sub>S</b>   | Hidrojen Sülfür                                          |
| <b>CaCO<sub>3</sub></b> | Kalsiyum Karbonat                                        |
| <b>CH<sub>4</sub></b>   | Metan                                                    |
| <b>H<sub>2</sub></b>    | Hidrojen                                                 |
| <b>H<sub>2</sub>O</b>   | Su                                                       |
| <b>O<sub>2</sub></b>    | Oksijen                                                  |
| <b>GC</b>               | Gas Chromatography (Gaz Kromatografisi)                  |
| <b>EC</b>               | European Commission (Avrupa Komisyonu)                   |
| <b>IEA</b>              | International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı) |
| <b>HAc</b>              | Asetik Asit                                              |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <b><u>Sekil</u></b>                                               | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 2.1 Katı Atık Yönetiminin Ana Bileşenleri                         | 5                   |
| 2.2 Bertaraf Yöntemine Göre Katı Atık Yüzdeleri                   | 7                   |
| 2.3 Basitleştirilmiş Bir Kompostlaştırma İşlemi                   | 13                  |
| 3.1 Anaerobik Arıtma İşleminin Aşamaları                          | 16                  |
| 3.2 Anaerobik Parçalanma Prosesi İçin Sıcaklık Aralıkları         | 24                  |
| 5.1 Anaerobik Biyoreaktör (Şematik gösterim)                      | 40                  |
| 5.2 Su Sirkülatörü ve Anaerobik Biyoreaktör                       | 41                  |
| 5.3 Talaşla Karıştırılmış Pişmiş Yemek Atıkları                   | 45                  |
| 6.1 Sızıntı suyu pH değerinin zamanla değişimi                    | 48                  |
| 6.2 Sızıntı Suyu KOİ Sonuçları                                    | 49                  |
| 6.3 Sızıntı Suyu BOİ Sonuçları                                    | 50                  |
| 6.4 Sızıntı Suyu TKN Konsantrasyonu Haftalık Değişimi             | 51                  |
| 6.5 Sızıntı Suyu NH <sub>3</sub> Konsantrasyonu Haftalık Değişimi | 52                  |
| 6.6 Sızıntı Suyu Alkalinite Değişimi                              | 53                  |
| 6.7 Sızıntı Suyu Uçucu Yağ Asidi Değişimi                         | 54                  |
| 6.8 Kümülatif Biyogaz Değişimi                                    | 55                  |
| 6.9 Reaktörden Çıkan Kompost                                      | 57                  |
| 6.10 Ekilen Roka Tohumları                                        | 57                  |
| 6.11 Etüvden Çıkan Kompost                                        | 58                  |
| 6.12 Kompostun Ev Tipli Mutfak Robotu İle Parçalanması            | 58                  |
| 6.13 Roka Ekimi İçin Kullanılan Kompost                           | 59                  |
| 6.14 Kompostun Bitki Uygulamaları                                 | 60                  |
| 6.15 Kompost/Toprak Oranı 0/1 Olan Erlendeki Köklerin Durumu      | 61                  |

## TABLOLAR DİZİNİ

| <b><u>Tablo</u></b>                                                                                                                         | <b><u>Sayfa</u></b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>3.1</b> Asit Oluşturan Mikroorganizmalar Ve Oluşturdukları Asitler                                                                       | 20                  |
| <b>3.2</b> Anaerobik Sisteme Etki Eden Toksik Maddeler ve Konsantrasyonları                                                                 | 28                  |
| <b>3.3</b> Evsel Katı Atığın Organik Kısımının Düşük Katı Konsantrasyonlu Anaerobik Kompostlaştırılması Prosesi İçin Tasarım Parametreleri  | 30                  |
| <b>3.4</b> Evsel Katı Atığın Organik Kısımının Yüksek Katı Konsantrasyonlu Anaerobik Kompostlaştırılması Prosesi İçin Tasarım Parametreleri | 31                  |
| <b>3.5</b> Anaerobik Kompostlaştırmanın Avantaj Ve Dezavantajları                                                                           | 32                  |
| <b>3.6</b> Aerobik ve Anaerobik Kompostlaştırma Sistemlerinin Karşılaştırılması                                                             | 32                  |
| <b>5.1</b> Katı Atıkta ve Sızıntı Suyunda İncelenen Parametreler ve Kullanılan Yöntemler                                                    | 42                  |
| <b>5.2</b> Reaktöre Konulan Katı Atıkların Özellikleri                                                                                      | 44                  |
| <b>5.3</b> Reaktöre Konulan Biyolojik Arıtma Çamurunun Özellikleri                                                                          | 44                  |
| <b>5.4</b> Reaktöre Beslenen Yağlı Atık ve Çiğ Sebze Atık Karışımının Özellikleri                                                           | 45                  |
| <b>6.1</b> Kompost Kalite Parametreleri                                                                                                     | 56                  |
| <b>6.2</b> Bitki Ekimi İçin Kullanılan Kompost-Toprak Oranı                                                                                 | 59                  |

# 1. GİRİŞ

Dünyamızda hızlı endüstrileşme, nüfus artışı ve gelişen teknoloji ile değişen tüketim alışkanlıklarımızın neden olduğu katı atık miktarları her geçen gün artmaktadır. Türkiye’de katı atık bertarafında kullanılan en yaygın uygulama düzenli depolamadır. Düzenli depolama, geri döndürülemeyen ve başka kullanım imkanı olmayan atıkların, geri kazanma tesislerinde açığa çıkan kalıntıların ve yakma tesislerinden çıkan kül ve cüruf gibi maddelerin kontrollü şartlar altında inert ve stabilize olmuş maddelere dönüşüncüye kadar ayrışmasına imkan sağlayan nihai bertaraf işlemidir. Düzenli depolama yöntemi ekonomik ve kolay işletilebilirliğinin avantajları yanında alan sıkıntısı ve sera gazı emisyonları ile sızıntı suyu sorunu yüzünden uygun bir atık yönetim metodu olmaktan çıkmıştır. Ayrıca Avrupa Birliği Düzenli depolama direktifi (1999/31/EC), 1995 yılında evsel katı atıklarının %80’inden fazlasını düzenli depolayan üye devletlere, biyolojik olarak ayrıştırılabilen evsel katı atıkların azaltma hedefini belirlemiştir. Bu doğrultuda, depolanacak biyolojik olarak ayrışabilen katı atık miktarının kademeli olarak 2020 yılına kadar, %35’e indirilmesi öngörülmüştür. Bu yüzden dünyada ve ülkemizde nem içeriği ve organik madde miktarı yüksek olan katı atıkların alternatif bertaraf ve hacim azaltma metotlarına geçilmesi gerekliliği görülmüştür. Bunlar, katı atık yönetimini çevre mühendisliği alanında en çok ilgi çeken konulardan biri haline getirmiştir ve çevresel etkileri daha kolay kontrol edilebilen kompostlaştırma, anaerobik çürütme, yakma gibi alternatif yöntemler uygulanmaya başlanmıştır. Yakma, hacim azalmasını sağlarken, hava kirliliğine ve çevre estetiğinin bozulmasına neden olması gibi sakıncalı yönleri vardır. İçerisinde organik karbon bulunan ve okside olabilen bileşiklerden oluşan maddelere organik madde, % 40’dan fazlası biyolojik yollarla kolay parçalanabilir organik maddelerden oluşan katı atıklara da organik katı atık denir.(Tchobanoglous ve Kreith, 2002). Organik katı atıkların anaerobik şartlar altında biyolojik olarak arıtılması sayesinde atığın organik madde içeriği azaltılmakta, besi maddeleri geri kazanılmakta, elde edilen son ürün toprak şartlandırıcı olarak kullanılmakta ve üretilen biyogaz da enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir.

Katı atık bertaraf yöntemlerinden biri olan kompostlaştırma, gübre, biyolojik arıtma tesisi çamuru, yaprak, kâğıt ve yiyecek atıkları gibi organik maddelerin

aerobik ve anaerobik koşullarda mikroorganizmalar vasıtasıyla kompost adı verilen toprağımsı kararlı bir yapıya dönüştürüldüğü biyolojik bir işlemdir. Elde edilen kompost, toprağın su tutma kapasitesini, yapısal stabilitesini, su ve rüzgar erozyonuna direncini, kök salma yeteneğini ve toprağın kimyasal özelliklerini geliştiren; toprağın makro ve mikro nütrient içeriğini arttıran, pH stabilitesi sağılayan, topraktaki mikroorganizmaların aktivitesini yükseltip parazitlerin etkisini azaltan, daha hızlı kök gelişimi ve daha yüksek tarımsal ürün verimi sağılayan; patlayıcı maddelerle kirlenmiş alanların temizlenmesinde, sera bitkilerinin yetiştirilmesinde, yeni yerleşim alanların yeşil alanların yapılması, eskilerin bakım işlemlerinde, yeni park ve bahçelerin kurulmasında; dere, akarsu ve benzeri kıyıların stabilitesinin sağılanmasında, eğimli yamaçların, otoyol kenarlarının stabilize edilmesinde, koku gideriminde filtre malzemesi olarak, düzenli depolamada son örtü malzemesi olarak kullanılan oldukça fonksiyonel bir üründür (Vizayakumar ve Nag, 2005).

Günümüzde, fosil yakıtlara aşırı bağımlılık, atmosferde sera gazlarının birikmesi ve bunun sonucu küresel ısınma ve enerji ihtiyacı dışa bağılı ülkelerin karşı karşıya bulunduğı ekonomik ve siyasal sorunlar, pek çok ülkeyi alternatif ve yenilenebilir kaynaklara yöneltmektedir. Evsel ve endüstriyel kökenli organik atıklar böyle bir potansiyeli oluşturmaktadır. Kompostlaştırma işleminde aerobik proseslerde temel amaç hacim azaltımı ikincil amaç kompost üretimi iken, anaerobik proseslerde temel amaç enerji üretimi ikincil amaç hacim azaltımı ve atık stabilizasyonudur. Böylece yüksek miktarda organik madde içeren katı atıkların kompostlaştırılma işlemi, anaerobik şartlar altında gerçekleştirilerek atıkların bertarafında çevresel kazancın yanında biyogaz üretimi ile dünyadaki enerji ihtiyacı düşünüldüğünde ekonomik kazanç da sağılamış olacaktır. Bu sebeple özellikle Avrupa' da organik atıklardan biyogaz üretmek amacı ile çok sayıda tesis kurulmuştur.

Türkiye' de ise kırsal kesimlerde metan gazı üretimi için genellikle küçük ve kurulumu pratik tesisler tercih edilmektedir. Ülkemizde küçük yerleşim yerlerinde hayvan gübre atıklarından ısınma amaçlı başlayan metan gazı üretimi, ilerleyen teknolojiyle birlikte daha kapsamlı tesislerde yapılmaya başlanmıştır. Ayrıca ülkemizde atık su arıtma tesislerinden çıkan çamurların anaerobik şartlar altında çürütülmesi ile oluşan metan, gazı tesisin elektrik enerjisini karşılamaktadır.

Günümüzde, Avrupa Birliği uyum yasaları ve TÜBİTAK 2023 yılına yönelik enerji gösterim planları da göz önünde bulundurularak metan gazı üretiminin arttırılmasına yönelik özellikle kırsal kesimlerde teşvik projeleri uygulanmaktadır. TÜBİTAK 2023 yılı vizyonuna göre (TÜBİTAK, 2003);

" 1) Türkiye'nin Ulusal kaynaklarına öncelik veren, bu kaynakların aranmasında ve istenen kaliteyle, güvenli ve ekonomik olarak üretiminde ileri teknolojileri kullanan ve geliştirebilen,

2) Gereksinim duyduğu enerjiyi, güvenli, ekonomik, verimli ve çevreye duyarlı teknolojilerle üreten, ileten, depolayan ve kullanan,

3) Uluslararası enerji pazarında yarışabilecek enerji teknolojileri geliştirebilen ve uluslararası enerji yatırımlarında etkin rol alabilen, bir Türkiye" görülmek isteniyor.

Bu hedefe ulaşmak amacıyla temiz ve ısı değeri yüksek bir enerji kaynağı olan biyogaza yönelik çalışmalar artırılmaktadır.

Bu tezin amacı, organik madde içeriği yüksek katı atıkların enerji üretimi amacıyla anaerobik kompostlaştırılması ve uygun proses parametrelerinin belirlenmesidir. Ayrıca enerji ve kompost üretimi amacıyla anaerobik kompost üretimi için belediyeler veya özel firmaların kullanacağı bir model oluşturması da çalışmanın diğer bir amacıdır. Çalışmada mutfak, sera ve bahçe ve, pazaryeri atıkları gibi yüksek organik içeriği olan katı atığın, anaerobik olarak tasarlanmış reaktörde kompostlanarak nihai bir toprak şartlandırıcısının üretiminin yanı sıra, biyogaz elde edilecektir. Bu şekilde hem düzenli depolamaya giden atık miktarında azalma söz konusu olacak, hem de günümüzde büyük bir eksiklik olan yenilenebilir enerjilerden biyogaz üretimi gerçekleşmiş olacaktır.

## 2. KATI ATIK

Katı atıklar, her türlü insan ve hayvan faaliyeti sonucunda meydana gelen, istenmeyen ve herhangi bir amaçla kullanılamayacak olan katı maddeler olarak tanımlanabilir. Katı atıkların bir diğer tanımı da; üreticisi tarafından atılmak istenen, gerek toplumun huzurunun gerekse de çevrenin korunması bakımından düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı atıkların ve arıtma çamurlarının tümü” olarak yapılmıştır (Tchobanoglous ve Kreith, 2002).

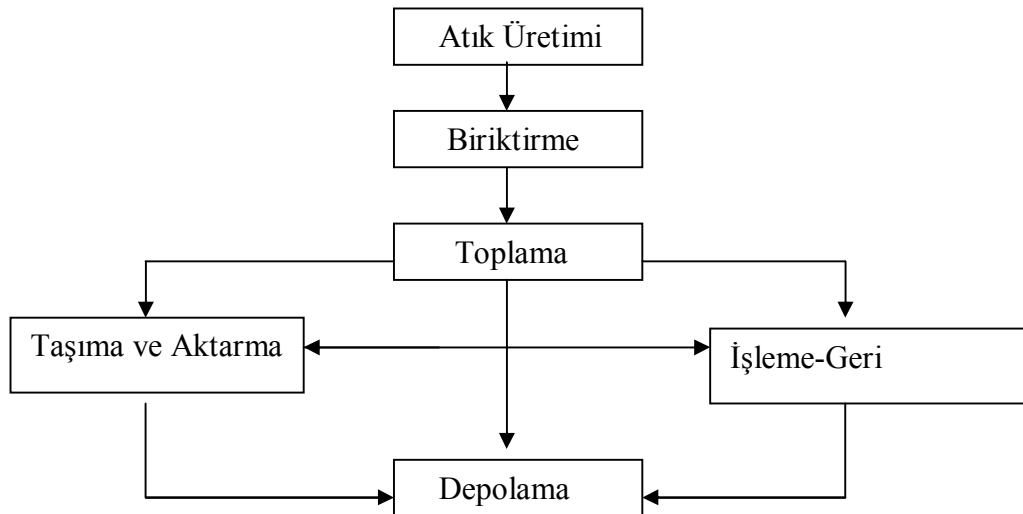
14.03.1991 tarihli Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nde Katı atık ; “insanların yaşamsal, sosyal ve ekonomik faaliyetleri neticesinde atıl hale gelen ve akıcı olabilecek kadar sıvı içermeyen her türlü madde ve malzemeler olarak” tanımlanmıştır. Ayrıca bu yönetmelikte iri katı olarak nitelendirilen buzdolabı, çamaşır makinesi, koltuk gibi evsel nitelikli eşyalardan oluşan ve kullanılamayacak durumda olan çoğunlukla iri hacimli atıklar ve evsel katı atık olarak isimlendirilen; konutlardan atılan, tehlikeli ve zararlı atık kavramına girmeyen, bahçe park ve piknik alanları gibi yerlerden gelen atıklar katı atık olarak kabul edilmiştir. Su oranı % 65 ‘e kadar olan yarı sıvı atıklarda (çamurlar) katı atıklar sınıfında bulundurulabilir.

Genel olarak, katı atıklar zararlı ve zararsız atıklar olmak üzere gruplandırılır (Vizayakumar ve Nag, 2005);

- Zararlı Atıklar: Çevre ve insan sağlığı risklerini önlemek amacıyla bertaraf edilme sürecinde özel bazı işlemler gerektiren biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip yanıcı-yakıcı, zehirleyici, yok edici veya diğer madde etkileşimi sonucu zararlı olabilecek maddelerdir.
- Zararsız Atıklar: Toplum tarafından atılan ve zararlı atıklar sınıfına girmeyen katı atıklardır. Organik ve inorganik maddelerden oluşur. Kaynakları bakımından ise katı atıklar şöylece gruplandırılabilir:
  - Evsel atıklar:
    - Çöpler: Evsel kaynaklı organik ve inorganik atık ve artıklardır. Genelde yemek artıkları, kağıt, cam, metal, seramiklerden oluşmaktadır.
    - Küller: Odun ve kömür gibi yanıcı maddelerin çeşitli amaçlarla evsel kullanım sonucu oluşan maddelerdir.

- İri Katı Atıklar: Hacmi ve boyutları bakımından özel işleme tabi tutulması gerekli mobilya ve ev gereçleri vb. atıklardır.
- Endüstriyel Katı Atıklar: Endüstriyel faaliyetler sonucu ortaya çıkan atıklardır. Endüstriyel işlemler sırasında oluşan atıklar bu grupta incelenir.
- Ticari ve Kurumsal Atıklar: Ticari işletmelerden ve kurumlardan ortaya çıkan atıklardır. Lokantalardan, okullardan mağaza ve ofislerden toplanan atıklar bu grup içindedir.
- Belediyesel İşlevler ile İlgili Atıklar: Sokak süprüntüleri, park bahçe ve plajlardan toplanan atıklar, araba hurdaları, hayvan ölüleri, su arıtma tesislerinden ortaya çıkan çamurlar bu özelliktedir.
- Özel Atıklar: Uzaklaştırımı özel önem taşıyan atıklardır. Radyoaktif atıklar, tehlikeli endüstriyel atıklar ve hastane atıkları bu grup içinde değerlendirilir.
- Tarımsal Atıklar: Tarımsal işlevler sonucu oluşan atıklardır.

Başarılı bir atık yönetimi için ana bileşenler Şekil 2.1’ de gösterilmiştir(Ghassemi, 2005). Görüldüğü gibi KAY` nin ilk aşaması katı atık üretimidir. Her gün miktar olarak artış, nitelik olarak çeşitlilik gösteren katı atık üretimi, günümüz katı atık yönetiminde, birçok araştırmacı ve uygulayıcının “azalma” ilkesiyle yoğunlaştığı aşamadır. Herkesin birleştiği nokta, bir taraftan atık toplama ve bertarafına yönelik en ileri teknolojiler geliştirilirken, diğer taraftan çıkan atığın azaltılmasının bir gereklilik olduğu şeklindedir.



Şekil 2.1: Katı Atık Yönetiminin Ana Bileşenleri

## 2.1 Organik Katı Atıklar

Katı atıklar, sıvı atıklar ve atmosfer emisyonları ve tehlikeli atıklar dışındaki tüm atıkları kapsamaktadır. İnsan ve hayvan aktivitelerinden oluşan katı atıklar sıvı atıklarla karışabilmektedir (Igoni et al., 2008). Bu atıklar da organik ve inorganik kısımlara ayrılmıştır. İçerisinde organik karbon bulunan ve okside olabilen bileşiklerden oluşan maddelere organik madde denir (Van Haandel ve Lettinga, 1994). Organik katı atıkların % 40'dan fazlası biyolojik yollarla kolay parçalanabilir organik maddelerden oluşmaktadır (Tchobanoglous ve Kreith, 2002; Björnsson, 2000).

Yerleşim yerlerinde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri evsel ve endüstriyel katı atıklardır. Evsel atıklardan mutfak atıkları, yemek atıkları organik, plastik ambalajlar, kül, ev eşyası kırıkları inorganiktir. Cadde atıklarından pazaryeri atıkları, hayvan pisliği ve ağaç, yaprak ve dal atıkları organik, uçucu kül, toz ve cadde yüzeyi aşınmaları inorganiktir. Evsel katı atıkların %68'ini organik atıklar, kalan kısmını ise kâğıt, karton, tekstil, plastik, deri, metal, ağaç, cam ve kül gibi maddeler oluşturmaktadır. Katı atıkların düzensiz depolanmasıyla meydana gelen anaerobik şartlar koku oluşumuna yol açmaktadır (Vizayakumar ve Nag, 2005) Katı atıkların akıcı olmayan doğası gereği sürekli bir yerde bekletilmesi, üretilmesi ve depolanması gerekmektedir. Katı atıkların, hava, su ve toprak kirliliğine neden olması sebebiyle bu atıklardan enerji elde edilmeli ve çevreye zarar vermeden bertaraf edilmelidir (Vizayakumar ve Nag, 2005; Igoni et al., 2008).

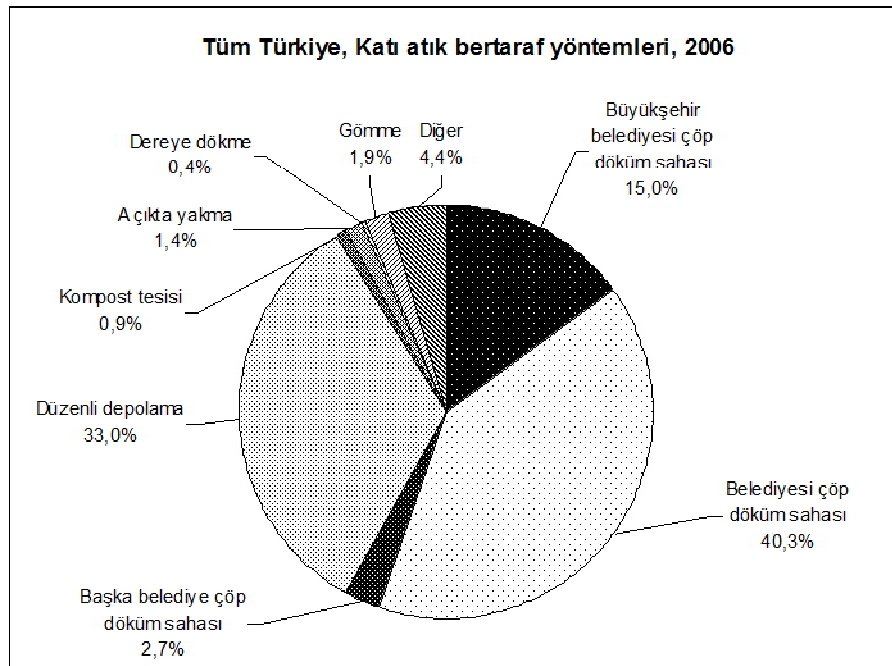
Ülkemizde günde yaklaşık 65 bin ton katı atık üretilmektedir. Türkiye'de katı atık miktarının yaklaşık % 15–20'sini geri kazanılabilir nitelikli atıklar oluşturmaktadır. Türkiye'de günde kişi başına bir kg evsel katı atık üretilmektedir. Evsel katı atık miktarının yaklaşık %50'sini organik atıklar, % 25'ini geri dönüşüme uygun maddeler ve % 25'lik kısmı değerlendirilemez atıklardan oluşmaktadır. Evsel katı atıkların bertarafında genellikle karışık olarak toplanan atıklar düzensiz olarak deponi alanlarına taşınmaktadır. Depo alanlarına taşınan atıkların değerlendirilebilir olanları çok basit ve sağlıksız şartlar altında satılmak amacıyla ayrılmaktadır. Kalan organik atıklar ve değerlendirilemeyen atıklar ise depolanmaktadır (Çelik ve ark., 2004). Düzensiz depolama sonucu yeraltı ve yüzey suları kirlenmekte, kötü kokulara,

sera etkisine, yangınlara neden olmaktadır. Sinek üremesi gibi problemler ortaya çıkarak burada beslenen kuş ve diğer hayvanlar bulaşıcı hastalıkların yayılmasına neden olmaktadır. Katı atıkların içeriğinin farklı olması bazen parçalanma proseslerinde toksik bileşiklerin seyreltilmesi, besi maddelerinin dengesinin geliştirilmesi, mikroorganizmaların sinerjistik etkilerinin dengelenmesi, biyolojik yollarla ayrıştırılabilir organik madde yükünün arttırılması ve biyogaz üretiminin arttırılması gibi avantajlar sağlamaktadır (Sosnowski et al., 2003).

## 2.2 Katı Atık Bertaraf Yöntemleri

Kaynağında ayrı veya karışık toplanan katı atıklar, özelliklerine uygun olarak bertaraf edilmelidirler. (Vizayakumar ve Nag, 2005) Entegre katı atık yönetim sisteminde uygulanan değerlendirme ve bertaraf teknolojileri aşağıda verilmiştir;

1. Kaynakta Azaltma ve Geri kazanma
2. Yakma
3. Piroliz ve Gazifikasyon
4. Kompostlaştırma
5. Düzenli Depolama



Şekil 2.2. Bertaraf Yöntemine Göre Katı Atık Yüzdeleri ( TUİK 2006 )

### 2.2.1 Kaynakta Azaltma ve Geri Kazanma

Katı atıkların toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tâbi tutulmadan aynı şekli ile ekonomik ömrü doluncaya kadar defalarca kullanılmasına tekrar kullanım denir. Tekrar kullanımın uygulanması durumunda ürünün kullanım süresi uzatılmış olur (Tchobanoglous et al., 1993; Daskalopoulos et al., 1997a).

Katı atıkların fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikincil hammadde olarak üretim sürecine sokulmasına geri dönüşüm denir.

Tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan; atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesine geri kazanma denir. Katı atık içindeki kağıt, plastik, cam gibi yeniden değerlendirilebilir nitelikteki maddelerin herhangi bir kimyasal ve biyolojik işleme tâbi tutulmadan ekonomiye tekrar kazandırılması işlemi maddesel geri kazanmadır. Yine aynı şekilde katı atıkların içindeki muhtelif maddeleri ham madde ve yakıt kaynağı olarak kullanmak veya katı atıklardan kompost üretmek, katı atıkları yakarak enerji üretmek ve katı atıklardan benzer şekilde yararlanmak katı atıkların geri kazanılmasıdır.

Geri kazanma tekniği, günümüzde sınırlı hammadde kaynaklarının hızlıca tüketiminden ve dolayısıyla teknolojik gelişmelerden dolayı dünya endüstrileri arasında dördüncü sırada bulunmaktadır. Birçok ülkede geri kazanma endüstrileri iyi bir şekilde organize edilmiş, ulusal ve uluslararası pazarlar kurulmuş durumdadır (Pichtel, 2005).

Yeniden kazanım bertaraf edilecek katı atık miktarlarının azaltılmasını sağladığı gibi beraberinde birçok avantaj sağlar. Örneğin, sınırlı doğal kaynakların gelecekteki kullanımı güvence altına alınır, bazı yenilenemeyen maddelerin korunması sağlanır, bazı hammaddelerin dış alım talepleri azalır, orman, petrol ve doğal gaz gibi doğal kaynakların korunması ve toplum için yeni iş sahalarının açılması sağlanır.

Özetle, bu yöntemde amaç atık oluşturmamaktır. Kullanılan madde miktarı azaltılarak daha az atığın ortaya çıkması sağlanır. Atık içerisinde geri kazanılabilir madde (cam, plastik, kağıt, metal vb.) miktarı yeterli ise geri kazanım mutlaka yapılmalıdır.

### 2.2.2 Yakma

Katı atık hacminin azaltılması için toplanan atıkların özel tesislerde yakılması işlemidir. Bu yöntem hacim ve ağırlık küçültme oranının yüksek olması nedeniyle depolama sıkıntısı çekildiği durumlarda, hastane atıklarında olduğu gibi son ürünün stabilize edilmesinin gerekli olduğu hallerde ve ısı değeri yüksek katı atıklardan enerji üretiminin söz konusu olduğu durumlarda kullanılır. Geri dönüşümü mümkün maddelerin ayrılmasından sonra, katı atık nem oranı ve kalorifik değerinin uygun olması halinde, gerekli hava kalitesi standartlarının sağlanması şartıyla bu yöntemin uygulanması ekonomik ve çevresel açıdan faydalı olmaktadır. Söz konusu yöntem uygulanmadan önce mutlak surette katı atıkların yakma işlemi için gerekli şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir (Daskalopoulos et al., 1997b).

Katı atıkların yakılabilmesi için atığın yakmaya uygun olması ve ikincil bir yakıtı ihtiyaç duyulmaması önemlidir. Aksi takdirde yakma ekonomik olmamaktadır. Yakma işlemi sonucu kalan inorganik atıkların bertarafı için nihai bir depolamaya ihtiyaç bulunmaktadır. Yakma genellikle düzenli depolama için yer sıkıntısı olan ülkelerde, gerekli depo alanı ihtiyacını azaltmak için yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Atıkların yanması sonucu açığa çıkan ısı enerjisinden faydalanılabilir.

Yöntemin uygulanmasıyla ortaya çıkan en önemli problemlerden biri hava kirliliğidir. Yanma sonucu ortaya çıkan çok küçük partiküllerin ve toksik gazların (dioksin gibi) kontrol edilmesi gerekmektedir (Tchobanoglous et al., 1993).

Yakma işleminin avantajları; katı atıkta hacim azaltımı, hızlı bir bertaraf yöntemi olması ve yanma ürünlerinin biyolojik olarak ayrışmaz formda olması şeklinde sıralanabilir. Katı atık bileşimine bağlı olarak, hacimce %80-90, ağırlıkça % 60-70'lik bir azalma sağlanır. Arazinin çok pahalı ve zor bulunur olduğu yerlerde en

uygun teknoloji olabilir. Atık içindeki organik maddeler CO<sub>2</sub> ve suya indirgenir ve böylece doğal döngüye yeniden girmeleri sağlanabilir. Isıl değeri yüksek katı atıkların yakılması ile elde edilen ısı, buhar ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilir. Toksik ve tehlikeli patojenik atıklar için (örn; hastane atıkları ) en uygun yöntemdir (Pichtel, 2005).

Katı atıkların yakma tesislerinde bertaraf edilmesinin avantajlarının yanında pahalı olması, gerekli önlemlerin alınmaması durumunda önemli miktarda hava kirliliğine sebep olması ve düzgün olarak yakılamayan tesislerden atılan cüruf v.s.' de organik maddeler ve hastalık yapıcı maddeler ve hastalık mikroplarının bulunabilmesi gibi dezavantajları saymak mümkündür. Yakma işlemi tesisinin kurulum maliyetinin çok yüksek olmasının yanında işletim ve bakım masrafları da bir o kadar pahalıdır.

### **2.2.3 Piroliz ve Gazifikasyon**

Piroliz, atık yığınları içindeki cam ve metallerin ayrılmasından sonra geriye kalan ve işe yaramaz gibi görünen organik maddelerin hava kullanılmaksızın ısıtılarak gaz, sıvı yakıt ve kömüre dönüştürülmesidir. Piroliz sonucu, gazlar katran, organik bileşikler, su ve odun kömürü gibi maddeler elde edilir. Isıl değeri yüksek metan ve hidrojen, elde edilen gazlar asında yer alırken oluşan organik maddelerle petrolden çıkarılanlara benzer olarak petro-kimyasal adı verilir. Biyokütleyi çeşitli yakıtlara çevirmek için kullanılan en iyi yöntemlerdendir (IEA, 2003). Gazifikasyon, karbon içeren biyokütle gibi katıların yüksek sıcaklıkta bozunması ile yanabilir gaz elde etme işlemidir. Bu işlem sırasında denetimli bir şekilde yakıt hücresine verilen hava ile biyokütle yakılır ve çıkan ürünler arasında hidrojen, metan gibi yanabilir gazların yanı sıra karbon monoksit ve azot gibi gazlar da bulunur (Brifing, 2008).

### **2.2.4 Kompostlaştırma**

Gübre, biyolojik arıtma tesisi çamuru, yaprak, kağıt ve yiyecek atıkları gibi organik maddelerin aerobik ve anaerobik koşullarda mikroorganizmalar vasıtasıyla kompost adı verilen humus bakımından zengin kararlı bir yapıya dönüştürüldüğü biyolojik bir işlemdir (Tchobanoglous et al., 1993). Kentsel atıkların kompostlaştırılması işlemi hayvancılık faaliyetleri bakımından zengin olmayan Çin

ve Hindistan'da çok eskiden beri uygulanmaktadır. 19. yüzyılın ortalarında yapay gübrenin bulunması, yapay gübrenin iyi bir verim arttırıcı olarak ön plana çıkarılması ile humusa gerek kalmadan anorganik gübreler kullanılarak da iyi bitki yetiştirilebileceği düşünüldü. Kompostun tarım ve ormancılıkta kullanılması çevre ve dolayısıyla insan sağlığı açısından oldukça önemli olmaktadır. 1994 yılında Almanya'da yürürlüğe giren bir yönetmelik uyarınca, 2005 yılından sonra organik madde içeriği % 5'i aşan biyolojik kökenli atıkların düzenli depolama tesislerine dökülmesi, bu ülkede yasaklanmış bulunmaktadır. Buna bağlı olarak Almanya ve Avrupa Topluluğu'nun diğer ülkelerinde biyolojik katı atıkların aerob/anaerob yöntemlerle bertarafı konusunda çalışmalar ilerlemiş olup kurulan tesislerin sayı ve kapasiteleri önemli oranlara yükselmiştir. Kompostlaştırmanın genel hedefleri(Tchobanoglous et al.; 1993);

1. Ayrışabilir organik maddeleri biyolojik olarak stabil maddeye dönüştürmek,
2. Katı atıklarda bulunabilen patojenleri, böcek yumurtalarını ve diğer istenmeyen organizmaları ve yabancı ot tohumlarını yok etmek,
3. Maksimum nütrient (azot, fosfor ve potasyum) içeriğine sahip olmak,
4. Bitki gelişmesini desteklemek ve toprak iyileştirici olarak kullanılabilen bir ürün üretmektir.

Kompostlaştırma işlemi aerobik ve anaerobik olarak yapılabilmektedir. Aerobik kompostlaştırma sistemi daha yaygın olarak kullanılmaktadır fakat son yıllarda net enerji kazanımına imkan vermesi dolayısıyla anaerobik kompostlaştırma tekniği de önemli ölçüde geliştirilmiş ve işletim tesisi sayısında artık olmuştur. Bu durumun yaşanmasında Kyoto Protokolü'nün etkisi oldukça fazladır. Çünkü bu protokolde yenilenebilir atıklardan enerji üretiminin desteklenmesi istenilmiş ve ülkeler atıklardan metan eldesine yöneltmiştir.

Kompostlama sistemlerinde ayrışma hızını etkileyen birçok faktör vardır. Bunlardan en önemlileri, atık yönetimi ve prosesleme (atık partiküllerin boyutu), atık maddenin kompozisyonu, bakteriyel ve fungiye büyüme hızını etkileyen faktörler (nem, mevcut nütrientler, kimyasallar, pH, sıcaklık), kompostlama sistemi (kapalı sistem,

açık sistem), kompostlama yöntemi/işletimi (sıkıştırma oranı, atık maddenin kalınlığı, dönme sıklığı) (Tchobanoglous et al., 1993; Varank, 2006).

Kompostlaştırma işlemi aerobik ve anaerobik olarak yapılabilmektedir. Kompostlaştırma prosesinde ilk adım aerobik ayrışmadır. Aerobik ayrışmanın devam etmesi için oksijenin yeterli olması gerekmektedir. Aerobik kompostlaştırma madde ayrışmasını hızlandırır ve patojenlerin yok edilmesi için gerekli olan sıcaklıktan daha yüksek sıcaklık artışı meydana getirir. Aerobik kompostlaştırma aynı zamanda istenmeyen kokuları da minimize eder (Tchobanoglous et al., 1991). Ayrışmayla beraber ortamda su buharı ve CO<sub>2</sub> artışı devam etmektedir. Atıklarda bulunan azot bileşikleri kısmen, uçucu NH<sub>3</sub>'a dönüşmektedir. Fermantasyon sonucunda karışımın sıcaklığı artmaktadır.

#### **2.2.4.1 Aerobik Kompostlaştırma**

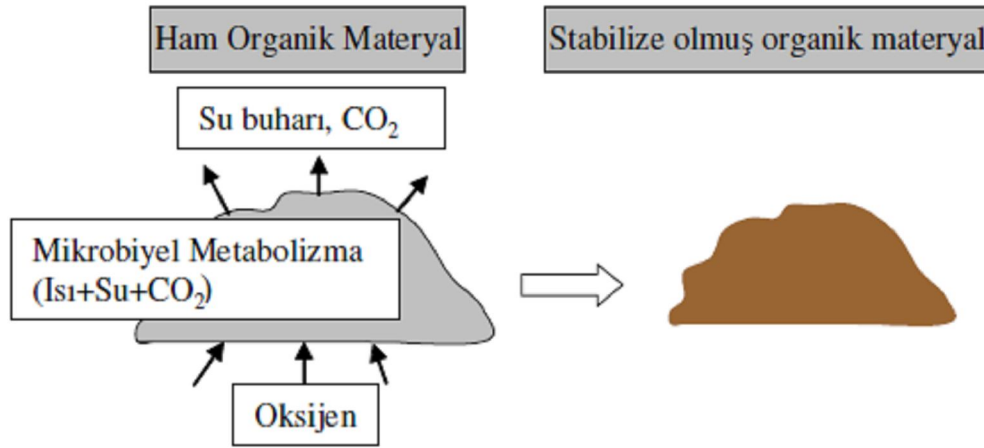
Aerobik kompostlaştırma, organik atıkların bozunmasında mikroorganizmalar tarafından serbest veya çözünmüş oksijenin kullanılmasının esas olduğu biyolojik bir prosestir.

Kompostlaştırma işlemi sırasında mikroorganizmalar organik materyali ayrıştırırken oksijen kullanır. Aktif kompostlaştırma sırasında önemli ölçüde ısı, karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve su buharı (H<sub>2</sub>O) üretilmektedir. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve su buharı (H<sub>2</sub>O) üretiminin miktarı başlangıç materyal ağırlığının yarısı kadar olabilir. Kompostlaştırmada işlem sırası şöyledir: biyokimyasal reaksiyonun gerçekleşebilmesi için mikroorganizma O<sub>2</sub>'yi kullanır ve bunun sonucu olarak ısı enerjisi üretir. Üretilen ısı enerjisi ortamdaki suyu buharlaştırarak uzaklaştırır ve kompost materyalinin yavaş yavaş kurumasını sağlar. Bu işlem sonucu oluşan kompost; toprak iyileştirici, organik gübre veya toprak kökenli mikroorganizmaların kontrolü için kullanılabilmektedir (Keener vd., 2000).

Kompostlaştırma isleminin uygun bir şekilde kontrol edilmesiyle patojenik mikroorganizmalar yok edilmekte ve organik atıkların kütlesinde ve hacminde azalma meydana gelmektedir. Efektif bir kompostlaştırma işlemiyle (fiziksel, biyolojik ve kimyasal faktörlerin aynı zamanda kontrol edilmesiyle) sistemde oluşan

kötü koku ve toz önlenebilmektedir. Meenembal et al., (2003); aerobik kompostlama ile meyve atıklarının biyolojik olarak parçalanabilirliğini tayin etmek için bir çalışma yapmışlardır. Aldıkları örnekleri, değişik fiziksel, kimyasal ve biyolojik karakteristiklerin belirlenmesi için 4 günde bir analizlemişlerdir. 26 günün sonunda istenilen kalitede kompost elde etmişlerdir. Çalışma sonunda meyve atıklarının iyi derecede biyolojik parçalanma karakteristiklerine sahip olduğu, aerobik kompostlama tekniği ile hızlı şekilde kaliteli bir kompost üretilbildiği anlaşılmıştır (Tchobanoglous, 1993; Topçu, 2006).

Aerobik kompostlaştırmanın uygulamaları yaygın olarak; bahçe süprüntüleri, ayrıştırılmış kentsel katı atık, sonradan karıştırılmış kentsel katı atık, ve atıksu çamuruyla beraber kompostlaştırma şeklinde görülmektedir (Özkaya, 2010).



Şekil 2.3. Basitleştirilmiş Bir Kompostlaştırma İşlemi

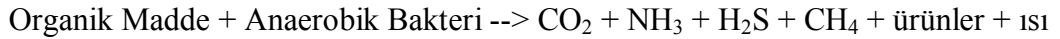
Aerobik kompostlama proseslerinin kontrolü kritik parametreler içerir. Bunlar; nem miktarı, C/N oranı ve sıcaklıktır. Biyolojik organik atıkların çoğunun nem içeriği % 50-60'dır. Aerobik mikroorganizmalar; oksijen kullanırlar, organik madde ile beslenirler ve hücre dokularının gelişmesi için N, P, C ve nütrente ihtiyaçları vardır. C' un çoğu organizmalar için enerji kaynağı olarak hizmet görmekte ve yakılmakta ve CO<sub>2</sub> olarak verilmektedir. Organik karbon hem enerji kaynağı hem de

hücre dokusu olarak ise yarayabildiğinden dolayı, karbon azottan daha fazla gereklidir (Tchobanoglous et al., 1993).

Aerobik komplolaştırma, pasif yığında kompostlaştırma, aktarmalı yığınlarda kompostlaştırma, havalandırılmalı statik yığında kompostlaştırma ve kapalı reaktörde kompostlaştırma olmak üzere 5 ayrı yöntemle yapılabilir. Literatürde bu tip kompost prosesleri oldukça fazla çalışılmıştır ve ticari olarak da uygulanmaktadır (Tchobanoglous et al., 1993).

#### **2.2.4.2 Anaerobik Kompostlaştırma**

Ortamda, oksijenin bulunmadığı durumlarda oksijen kullanmayan mikroorganizmaların aktif olup bozunmayı gerçekleştirdiği kompostlaştırma şeklidir. Bu proses fazla emek gerektirmez, fakat kompostun olgunlaşması için daha fazla zaman gerekmektedir.



Anaerobik Kompostlaştırma yönteminden 3. Bölüm’ de ayrıntılı olarak bahsedilecektir.

#### **2.2.5 Düzenli Depolama**

Düzenli depolama katı atıkların çevre sağlığına zarar vermeyecek şekilde tabanı kil ve geomembranla (plastik pestille) geçirimsiz hale getirilmiş bir araziye dökülüp sıkıştırılmasını ve üzerinin toprakla örtülmesi ile içinde metan bulunan depo gazının uygun bacalarla kontrol edilerek toplanmasını ifade eder. Ayrıca sızıntı sularının da toplanıp arıtıldığı bir bertaraf etme metodudur (Tchobanoglous et al., 1993).

Bu yöntemde genel olarak geri döndürülemeyen ve başka kullanım imkanı olmayan atıklar, geri kazanma tesislerinde açığa çıkan kalıntılar ve yakma tesislerinden çıkan kül ve cüruf gibi maddeler geçirimsiz veya geçirimsizliği sağlanmış zemin üzerine yerleştirilmekte, atık hacmini azaltmak için sıkıştırılmakta ve periyodik olarak üzeri kapatılmaktadır.

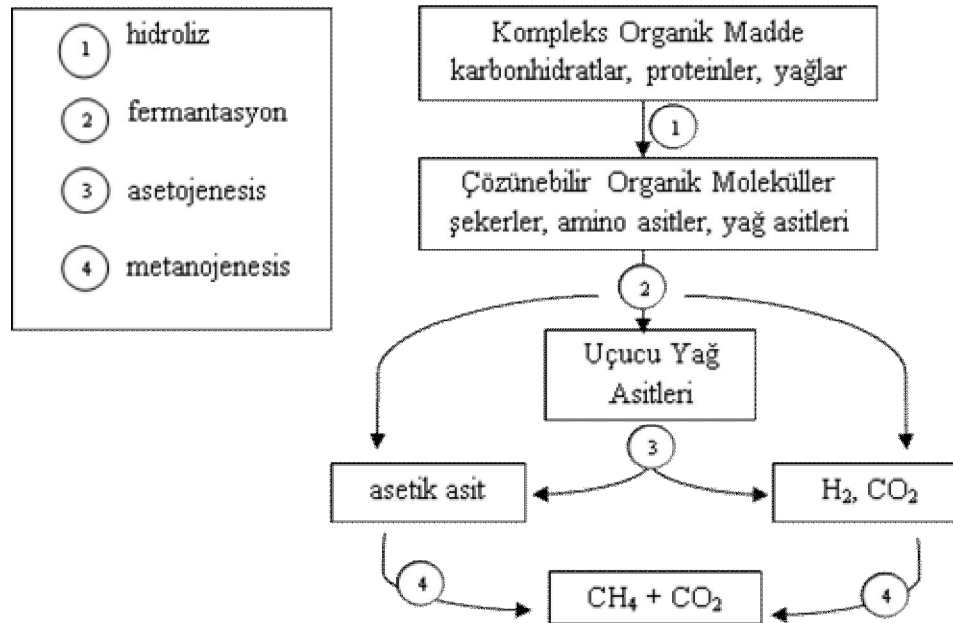
Bu yöntemde genel olarak geri döndürülemeyen ve başka kullanım imkanı olmayan atıklar, geri kazanma tesislerinde açığa çıkan kalıntılar ve yakma tesislerinden çıkan kül ve cüruf gibi maddeler geçirimsiz veya geçirimsizliği sağlanmış zemin üzerine yerleştirilmekte, atık hacmini azaltmak için sıkıştırılmakta ve periyodik olarak üzeri kapatılmaktadır. Düzenli depolama yönteminin özellikleri kısaca şöyledir (Pichtel, 2005);

1. Katı atıklar çevreye kötü kokular yaymaz.
2. Katı atıklar rüzgarla etrafa yayılıp çevreyi kirletmez.
3. Zararlı ve hastalık taşıyıcı canlılara barınma ve çoğalma ortamı ortadan kalkar.
4. Sızıntı suları kontrol altına alınıp arıtılmakta olup yeraltı ve yerüstü suları kirlenmeye karşı korunur.
5. Depo tesisine evcil ve yabanî hayvanların girmesine, orada barınıp beslenmelerine ve çoğalmalarına engel olunur.

### 3. ANAEROBİK KOMPOSTLAŞTIRMA

Anaerobik arıtma, oksijensiz ortamda fakültatif bakterilerin ve mikroorganizmaların organik maddeleri parçalamasına dayanan karmaşık bir biyolojik prosestir (Pichtel, 2005).

Bu prosesin ilk adımında polisakkarit, karbonhidrat, protein, lipid gibi polimerik yapıdaki kompleks organik maddeler hücre dışı enzimler tarafından daha küçük boyutta ve hücre zarından geçebilecek şekildeki çözünebilir ürünlere dönüştürülmektedir. Nispeten basit ve çözünebilir yapıdaki bu bileşikler fermentasyon veya anaerobik oksidasyonla kısa zincirli yağ asitleri, alkoller, karbondioksit, hidrojen ve amonyağa dönüştürülmektedir. Asetat dışındaki kısa zincirli yağ asitleri ise asetat, hidrojen ve karbondioksite dönüştürülmektedir. Prosesin son safhasında asetatin parçalanması veya  $H_2$  ile  $CO_2$  'nin sentezi yoluyla  $CH_4$  üretimi gerçekleştirilmektedir (Tchobanoglous, 1993; Ubay, 1993).



Şekil 3.1: Anaerobik Arıtma İşleminin Aşamaları

#### 1. Hidroliz:

Hidroliz, çoğu çözünmeyen organik atıkların anaerobik parçalanmasının ilk adımıdır ve kompleks organik bileşenleri (karbonhidrat, yağ ve protein gibi), bu bileşenlerin monomerlerine (glikoz gibi basit şekerler) dönüştürür. Organik

polimerler, fakültatif ve zorunlu anaerob bakteriler tarafından üretilmiş olan hücre dışı enzimler ile parçalanırlar. Hidrolitik bakteriler tarafından oluşturulan monomerler, asetik, propiyonik ve bütirik asit gibi uçucu yağ asitlerine ve alkollere, karbondioksit, hidrojen ve bazen laktik asite fermente edilirler. Yüksek organik katı içeriği için çok önemli bir aşamadır ve hız sınırlayıcı olabilir. Sıcaklık ve pH hidrolizi etkileyen çevresel faktördür. Nötüre yakın pH'da (6,5) pH 5' e göre hidroliz daha hızlıdır. Nötr pH da 20 – 45 °C de yapılan denemelerde optimum sıcaklık 40 °C olarak öngörülmüştür(Öztürk, 2000). Reaksiyon hızını etkileyen en önemli faktörlerden diğerleri ise hidroliz ara ürünlerinin ortamda birikmesi ve organik maddenin partikül boyut dağılımıdır (Mata-Alvarez et al., 2003).

Karbonhidratlar, proteinler ve lipidler olmak üzere, kimyasal bileşimleri açısından üç tür kompleks organik madde bileşeni vardır. Anaerobik arıtma açısından değerlendirildiğinde organik katı atıklar polisakkaritler, lignin, proteinler, azotlu bileşikler ve lipidler olmak üzere 5 farklı grupta ele alınırlar (Öztürk, 2007). Hidrolizleri açısından incelendiklerinde;

- Polisakkaritler, selüloz, hemiselüloz ve pektinleri ihtiva etmektedirler. Saf selüloz tıpkı nisasta gibi glikozun bir polimeridir fakat kolay hidrolize uğramaz. Polisakkaritler genel olarak havasız ortamda ayrısabilmektedir (Öztürk, 2007).
- Lignin, branşmanları çapraz olarak birbirine bağlanmış fenil propan türevlerinin kompleks polimeridir. Diğer polimerlerden farklı olarak lignin aynı tip monomerlerin ardışık bağlanmış şekli olmayıp, farklı tip monomerlerden oluşur. Lignini oluşturan monomerler en az 5 farklı şekilde bir araya gelebilmekte ve bunlardan hiçbiri anaerobik olarak kolay hidroliz olmamaktadır (Zeikus, 1980).
- Proteinler, 20 kadar doğal aminoasitin polimeridir. Proteinler, proteaz olarak adlandırılan hücre dışı enzimlerle hidrolize uğramaktadır. Havasız fermentasyon öncesinde protein bünyesindeki azot, amonyak, asetat, propiyonat ve bütirat gibi belli başlı fermentasyon ürünlerine dönüştürülerek uzaklaştırılırlar (Öztürk, 2007).
- Azotlu bileşikler, bilinen en önemli azotlu bileşik hayvansal organik atık olan üredir ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ). Üre anaerobik bakterilerce amonyak ve karbondioksite

parçalanır. Azotlu bileşiklerin fermentasyonu sonucu formik, asetik, propiyonik, laktik asit gibi yağ asitleri ve CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> gibi gazlar oluşmaktadır (Öztürk, 2007).

- Yağlar (lipidler) suda çözünmeyen, ancak organik çözücülerde çözünebilen heterojen yapıdaki organik bileşiklerdir. Havasız şartlarda, lipaz olarak adlandırılan enzim lipidleri parçalayıp uzun zincirli yağ asitleri, galaktoz ve gliserol oluşturmaktadır. Yağlar çok yavaş hidrolize olduğundan dolayı önemli miktarda yağ ve diğer yavaş hidroliz olan maddeleri ihtiva eden atıkların havasız arıtımında hidroliz hız sınırlayıcı kademe olabilmektedir (Speece, 1996). Lanolin ve benzeri bazı yağ türleri havasız ayrışma prosesi ile parçalanamamaktadır (Öztürk, 2007).

## 2. Asit Oluşumu:

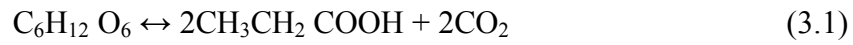
Anaerobik arıtmada ikinci adım asit oluşumudur. Uzun zincirli yağ asitleri ve aminoasitler, anaerobik oksitleyiciler ve fermentatif organizmalar tarafından substrat gibi kullanılırlar (Björnsson, 2000; Dewil et al., 2007). Fermentasyon olarak da adlandırılan asit oluşum sürecinde aminoasitler, şekerler ve bazı yağ asitleri parçalanarak fermentasyonun son ürünleri olan asetat, hidrojen (H<sub>2</sub>), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), proporat ve bütirata dönüştürülürler. Proporat ve bütirat ilerde hidrojen (H<sub>2</sub>) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>)'e dönüştürülebilir. Bu fermentasyon son ürünleri metan oluşumunun habercileridir (Lastella, 2000; Metcalf&Eddy, 2003; Ostrem, 2004). Asit oluşumu basamağı asidojenesis ve asetojenesis olmak üzere iki basamakta ele alınmaktadır.

**Asidojenesis:** Aminoasitler şekerler ve yağ asitlerinin asidojenik bakterilerle organik asitler ve alkollere dönüştürülme evresine asidojenesis adı verilir (Van Haandel ve Lettiga, 1994; Björnsson, 2000; Juanga, 2005).

Hidroliz adımıda oluşan çözünmemiş bileşikler fermentatif bakteri hücrelerinde dönüştürülür. Asidojenesisten sonra uçucu yağ asitleri, alkoller, laktik asit ve mineral bileşikler (karbondioksit, hidrojen, amonyak ve hidrojen sülfid) oluşur. Asidojenetik fermentasyon çoğunlukla zorunlu anaerobik olan bakteri gruplarıyla oluşur. Bazı fakültatifler oksidatif yolla organik maddeleri metabolize edebilirler (Van Haandel ve Lettiga, 1994).

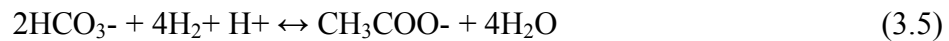
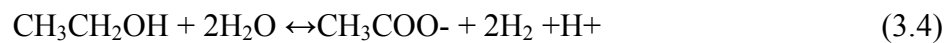
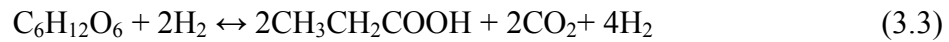
Asit üretim hızı metan üretim hızına göre daha büyük olduğu için, çözünmüş organik madde konsantrasyonundaki ani artış, asit üretiminin artması sonucu sistemde asit birikimine yol açmaktadır. Böyle bir durum bir sonraki adım olan metan üretiminde inhibisyona sebep olabilmektedir. Asit üretimine paralel olarak, proteinlerin ve aminoasitlerin uçucu yağ asitlerine dönüşümü sırasında ortama amonyak salınır (Ostrem, 2004; Sezer, 2010).

Asidojenesis adı verilen asit üretim aşamasında meydana gelen glikozun etanol ve propiyanata dönüşüm reaksiyonları aşağıda verilmektedir (Ostrem, 2004);



**Asetojenesis:** Asetojenesis evresinde ise organik asit ve alkoller, asetojenik bakteriler yardımıyla asetik asit, hidrojen ve karbondioksit dönüştürülmektedir (Van Haandel ve Lettiga, 1994; Björnsson, 2000; Juanga, 2005). Biyolojik oksijen ihtiyacı ve kimyasal oksijen ihtiyacı bu yol ile azaltılır. Asetojenesis, asetatin ana ürün olduğu karbonhidrat fermantasyonu ve diğer metabolik prosesler içinde oluşur.

Asetojenesis adımı önemli reaksiyonlar; glikozun ve etanolün dönüşümü ve bikarbonatın asetata dönüşümüdür (Ostrem, 2004);



Hidrojen anaerobik parçalanma reaksiyonlarında büyük önem taşımaktadır. Lipidlerden hidroliz aşamasında oluşan uzun zincirli yağ asitleri; asetat, propiyanat ve hidrojen gazına oksitlenir. Asetat ve hidrojen bakteriler tarafından tüketildiği zaman, serbest enerji negatif olur. Genel olarak,  $H_2$  üreten reaksiyonlarda reaksiyonun oluşması için hidrojenin düşük kısmi basınca sahip olması gereklidir. Propiyanatın asetata dönüşüm reaksiyonu;



denklemiyle ifade edilmektedir (Ostrem, 2004).

Asit üretimi safhasında iki farklı bakteri grubu görev yapmaktadır. Birinci grup bakteriler (fermentatif ve asidojenik bakteriler), organik polimerlerin hidrolizinde ve bunun sonunda açığa çıkan oligomen ve monomerler gibi hidroliz ürünlerinin organik asit ve solventlere dönüştürülmesinde rol alırlar. Bazı asidojenik bakteri türleri (homoasetik bakteri), karbonhidratları kullanarak asetik asit üretirler.

Diğer bir tür de belirli şartlarda  $\text{H}_2$  üretir. Asetik asit bakterileri, çoğalmaları için gerekli enerjiyi organik asit ve solventlerin asetik asit,  $\text{H}_2$  ve  $\text{CO}_2$ 'e parçalanması sonucu açığa çıkan enerjiden sağlarlar (Öztürk, 1999). Asit oluşturan bakteriler anaerobiktirler ve asidik şartlarda büyürler. Asetik asit gibi uçucu yağ asit bakterilerinin büyümesi ve çoğalması için oksijene ve karbona ihtiyaçları vardır. Bakteriler çözeltideki bağlı haldeki oksijeni kullanarak büyüme ve çoğalmalarını sağlarlar. Asit oluşturunca bakteriler, metan oluşturunca bakteriler için anaerobik şartlar oluştururlar (Sorensen, 2004). Asit oluşturan mikroorganizmalar ve oluşturdıkları asitler Tablo 3.1' de verilmektedir.

Tablo 3.1. Asit oluşturan mikroorganizmalar ve oluşturdıkları asitler (İleri, 2000)

| Mikroorganizma                                   | Asit                                                            |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>E. Coli, E aerogenes</b>                      | Formik, asetik, butandiol, aseton, $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2$ |
| <b>Clastridia</b>                                | Valerik, bütirik, bütanol, aseton, $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2$ |
| <b>Propionibacteriae</b>                         | Propiyonik, $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2$                        |
| <b>Lactobacillus, Streptococcus, Leuconoctoc</b> | Lactic, etanol, $\text{CO}_2$                                   |
| <b>Sacharomyces sp.</b>                          | Etanol, $\text{CO}_2$                                           |

Anaerobik reaktörlerin işletmeye alınması safhasında uçucu yağ asidi konsantrasyonunun 1000–1500 mg HAc/L' den fazla olması istenmemektedir. Asit

üretim aşamasında; hidroliz ürünleri asetik asite veya reaktördeki kararlı işletme şartlarının olmaması halinde; propiyonik, butirik, izobutirik, valerik ve izovalerik asit gibi ikiden fazla karbonlu yağ asitlerine dönüştürülmektedir. Kararlı anaerobik arıtmada yağ asitleri konsantrasyonu oldukça düşük seviyelerde bulunmaktadır (100–300 mg HAc/L) (Öztürk, 1999).

Asit oluşumu evresi genellikle hızlıdır (VAN HAANDEL ve LETTINGA 1994; Björnsson, 2000). Asit üretim hızı metan üretim hızına göre daha büyüktür. Organik madde konsantrasyonundaki ani artışlar asit üretiminin artmasına ve pH düşmesine neden olmaktadır. Buda metan bakterileri üzerinde inhibasyon etkisi yapmaktadır (Gökçay, 2001).

### 3. Metan Üretimi:

Metan oluşumu, asit oluşumu safhasında üretilen  $H_2$  ve asetattan,  $CH_4$  ve  $CO_2$  üreten anaerobik arıtmanın son adımıdır (Öztürk, 2000). Anaerobik arıtımın üçüncü adımı olan metan oluşum evresi metanojenler olarak bilinen mikroorganizma grubuyla gerçekleştirilir. Metan oluşum adımı genellikle proste hız sınırlayıcı adımdır. Metan, asetattan veya asetotrofik ve hidrojenotrofik bakterilerin hidrojeni kullanarak karbondioksitin indirgenmesiyle üretilmektedir (Verma, 2002).

İki grup metanojenik organizma metan üretiminde rol almaktadır. Birinci grup asetotrofik metanojenler olarak adlandırılır. Bu metanojenler asetati, metan ve karbondioksite ayırırlar. Böylece asetotrofik metanojenler karmaşık moleküllerin biyogaza dönüştürülmesine bağlı olarak genellikle hız sınırlayıcıdırlar (Van Haandel, 1994).

İkinci grup metanojenler, hidrojenotrofik metanojenler olarak adlandırılırlar. Bunlar da hidrojeni elektron verici, karbondioksiti ise elektron alıcı gibi kullanarak metan üretirler. Anaerobik proseslerdeki asetojenler olarak adlandırılan bakteriler de karbondioksiti kullanarak hidrojen ve asetik asit formuna okside edebilirler. Anaerobik çürütmede üretilen metanın çoğu asetik asitten oluştuğu için hidrojen kullanan metanojenler ikincil önem arz ederler (Metcalf&Eddy, 2003).

Asetotrofik metanojenlerle;  $\text{CH}_3\text{COOH} \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$  (3.7)

Hidrojenotrofik metanojenlerle;  $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$  (3.8)

Denklemlerde iki tür metanojenler vasıtasıyla metan oluşumu görülmektedir. Hidrojen ve karbondioksitten metan üreten bakteriler asetat kullananlardan daha hızlıdır (Van Haandel ve Lettinga, 1994).

Metan oluşturuucu bakteriler, asetik asitlerini parçalayarak ve hidrojen ile karbondioksit sentezi sonucu biyogaza dönüştürürler. Anaerobik koşullarda üretilen metanın % 70'i ise asetik asit'in parçalanmasından ve yaklaşık % 30'u ise hidrojen gazı ile karbondioksit gazından oluşmaktadır.

Ortamda yeterli miktarda  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  bulunduğu ve  $\text{H}_2$ 'nin kısmi basıncı da uygun olduğu sürece hidrojenotrofik metanojenlerle  $\text{CH}_4$  üretimi devam eder. Ancak metan üretimi adımının her zaman hız sınırlayıcı olması söz konusu değildir, bazen hidroliz safhası daha kritik olabilir. Grup halinde metan bakterilerinin kullanabilecekleri besin maddeleri olan  $\text{H}_2$ , asetik asit ve tek karbonlu bileşikler sınırlı olabilir. Sulu ortamlardaki dip çamurları ve evsel çamur çürütme tesislerindeki  $\text{CH}_4$ 'nin % 70 asetik asitin metil grubundan, geri kalanı ise  $\text{CO}_2$  den üretilmektedir (Öztürk, 1999; Gökçay, 2001). Metanojenler sıcaklık değişimlerine duyarlıdır. İyi işletilen çürütücülerde, metanojenler pH 6.8–7.4'de optimum faaliyet gösterirler (Elango, 2007).

Günümüze kadar yapılan araştırmalarda asetatin metana doğrudan dönüşümünü sağlayan arkelerden Methanosaeta ve Methanosarcina cinslerinin sorumlu olduğu bilinmektedir.

Metan bakterilerinin optimal metan gazı üretebilmeleri için aşağıdaki ekolojik parametreler dikkate alınmalıdır;

- Bakteriler için yeterli miktarda tutunma yüzeyinin bulunması,
- Reaktördeki pH değerinin 7.0 – 7.6 arası olması,
- Metan bakterileri için organik asit olarak konsantrasyonu 500 mg/L civarında olması,

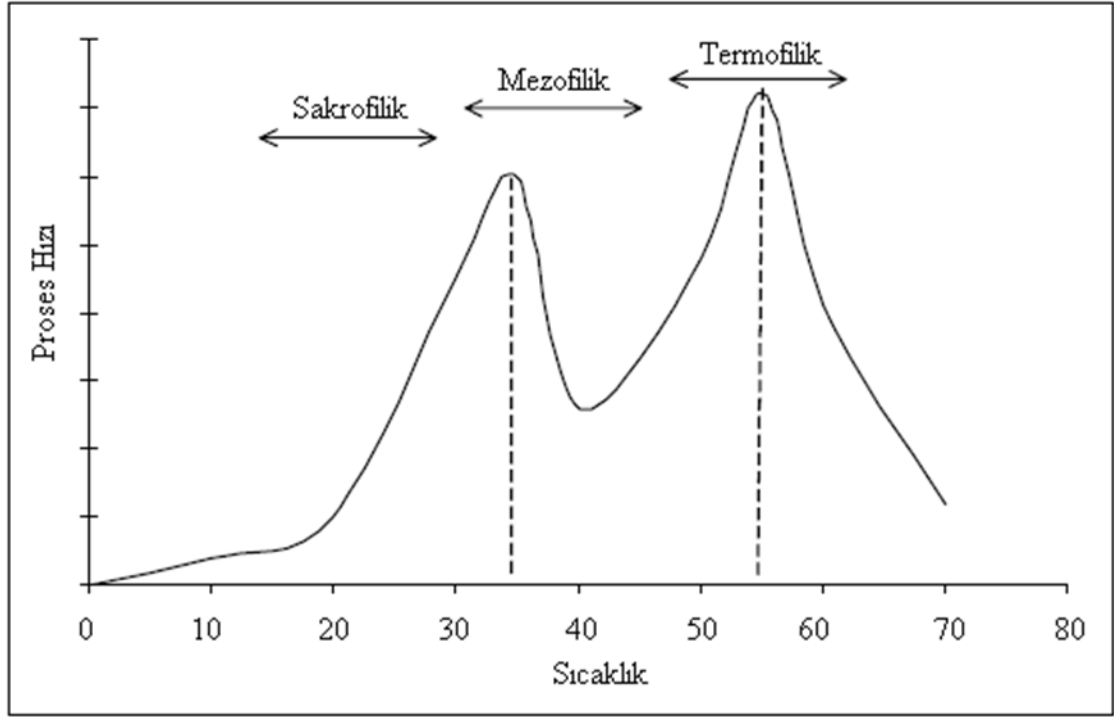
- Reaktörün sıcaklığının mutlaka 30 °C den yüksek olması,
- Ortamda oksijen kesinlikle bulunmamalı,
- Minimum su miktarının % 50 olması,
- Asitleştirme ve metanlaştırma fazının iç içe olması ve pH' ın asidik safaya kaymaması gerekir,
- Kükürt miktarı 200 mg/L'den büyük olmamalı,
- Çürüme kademesinde elde edilen, parçalama ve metabolizma ürünlerinin konsantrasyonu metan bakterileri için yeterli düzeyde olmalı,
- Substratdaki besin maddesi miktarı,
- Besin maddesi ile bakteri arasındaki temas sıklığı,
- C/N oranının 25–30 arası olması.

### **3.1 Anaerobik Kompostlaştırmayı Etkileyen Çevresel Faktörler**

Anaerobik arıtmayı gerçekleştiren mikroorganizma topluluğunun kapasitesinden en verimli şekilde yararlanabilmek için reaktörde optimum çevre şartlarının sağlanması gerekir. Anaerobik arıtmaya etkileyen temel faktörler; sıcaklık, pH, alkalinite, C/N oranı, toplam uçucu yağ asitleri ve toksisitedir (Speece, 1996).

#### **3.1.1 Sıcaklık**

Sıcaklık, anaerobik reaktörlerin, metabolik hızını, substratların çözünürlüğünü ve iyonizasyon denkliliklerini termodinamik açıdan etkiler. Reaktör sıcaklığı optimum değere ulaşıncaya kadar, sıcaklık arttıkça parçalanma da artmaktadır. Sıcaklık optimum değeri aştığında reaksiyon hızı ile beraber metabolik aktivite de düşer. Şekil 3.2' de anaerobik parçalama proses hızının sıcaklık ile değişimi gösterilmektedir. Şekilde, sıcaklığın 35°C ve 55°C olduğu durumlarda pik noktalarda anaerobik aktivitenin en yüksek değerde olduğu gözlenmektedir.



Şekil 3.2. Anaerobik Parçalanma Prosesi İçin Sıcaklık Aralıkları (Alvarez, 2003).

Metanojenik bakteriler çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklarda aktif değildirler. Metan üretimi için optimum arıtma şartlarını sağlayan başlıca iki sıcaklık aralığı vardır. : 1) Mezofilik aralık 2) Termofilik aralık. Mezofilik sıcaklık aralığı 20°C-40°C arasında ve optimum sıcaklık 30°C-35°C arasındır. Termofilik sıcaklık aralığı ise 50°C-65°C dir. Termofilik sıcaklık aralığında daha yüksek sıcaklıkların gereken bekleme süresini düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Anaerobik sistemlerin çoğu mezofilik olarak işletilmektedir(Öztürk, 2000; Arıkan, 2008). Ekonomik açıdan, bu sıcaklıkların seçimi, atığın organik yükü ve dolayısıyla üretilecek metan miktarına bağlıdır. Termofilik sıcaklıklarda (50 – 60°C) yüksek organik yüklerin (20 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün kadar) uygulanabilmesinin yanı sıra, daha kararlı ve hijyenik son ürünler oluşmaktadır. Yapılan çalışmalarda, metan gazı üretiminin sıcaklığa bağlı olarak arttığı belirtilmektedir. Anaerobik sistemlerde 50 – 60°C sıcaklıkta üretilen metan gazı miktarı, 35°C sıcaklıkta üretilenden % 25 ile % 50 daha fazla olmaktadır. Bunun yanı sıra 54°C’de uygulanan organik yükün, 38°C’de işletilen bir sisteme göre 2 – 4 kat fazla olduğu da gözlenmiştir. Yüksek sıcaklığı sağlamak için gerekli olan enerji giderleri oldukça fazladır. Bu nedenle termofilik sistemler çoğu zaman ekonomik değildir.

### 3.1.2 pH

Anaerobik sistemler pH 6.5 – 8.2 arasında başarılı olarak işletilirler, en uygun pH ise 7.0-7.2'dir. Anaerobik sistemlerde, pH, alkalinite ve uçucu asit konsantrasyonları arasında karşılıklı bir etkileşim söz konusudur. Uçucu asitler; iz element eksikliği, aşırı organik yükleme, N ve P yetersizliği, zehirlilik etkisi gibi nedenlerden dolayı anaerobik sistemlerde birikime uğrarlar. Uçucu asitlerin birikmesi sonucu pH' da azalma meydana gelir. Sistemde pH'ın 6.5'in altına düşmesi, bir bozulma olduğunun göstergesidir. Metanın üretildiği aşamada oluşacak bir aksaklık, geçiş ürünleri olan organik asitlerin sistemde artmasına ve pH'ın düşmesine (4.5 – 5.0) neden olmaktadır. Bu şartlarda metan bakterileri yaşayamaz. Metan oluşumu evresinde amonyağın konsantrasyonu artar ve pH değeri 8'in üzerine çıkabilir. pH 8.2' nin üstüne çıktığında veya 6.5 altına indiğinde etkili bakteriler ölür ve sistemde toksik şartlar oluşmaya başlar. pH'nın düşerek metanojenik mikroorganizmalar üzerine ters etki yapmasını önlemek amacıyla alkalinite, anaerobik sistemlerde, sistemi nötralize etmeye çalışarak bir tamponlama görevi görür. Tamponlama kapasitesi uygun olmadığı zaman pH azalmaktadır. Bu problemin çözümü için beslenmenin durdurulması ve tamponlama kapasitesinin artırılması gerekmektedir. pH azalması, kireç eklenmesiyle kontrol edilebilir.

### 3.1.3 Alkalinite

Anaerobik sistemlerde uçucu asit konsantrasyonunun artması ve ani pH düşüşlerine karşı emniyeti sağlamak için kullanılan parametre, alkalinitedir. Ani pH düşüşlerinden sistemi korumak için, tampon görevi gören alkali metaller (sodyum veya potasyum bikarbonatlar, kireç vs.) kullanılır. Kireç ucuz ve kolay temin edilebilmesine rağmen pH değişimlerine karşı düşük tamponlama kapasitesinin yanı sıra, ortamdaki fosforu, kalsiyum orta fosfat halinde kendine bağlayarak nutrient eksikliğine sebep olmaktadır. Tampon olarak kullanılacak en iyi seçim, sodyum veya potasyum bikarbonatlarıdır. Bu kimyasallar, reaktörde oldukça iyi çözünebilir ve reaktöre ilave edilmesi kolaydır. Ayrıca, sodyum veya potasyum bikarbonatlarının aşırı dozlanması da ani olarak pH' ı arttırmayacağı gibi başka olumsuz etkiler de vermeyecektir (Speece, 1996).

### 3.1.4 C/N Oranı

Hayvan gübreleri, insan atıkları, mutfak atıkları gibi besi maddelerinin tümü belli oranlarda karbon, azot ve oksijen içerirler. Anaerobik bakterilerin enerji ihtiyacının karşılanması için organik maddelerdeki karbon gereklidir. Karbondan başka en önemli besi maddeleri azot ve fosfordur. Azot bakterilerin büyümesi ve çoğalması için önemlidir. Verimli bir biyolojik parçalanmada, azot, fosfor ve iz elementler gibi besi maddelerine ihtiyaç vardır. En iyi C/N/P oranı 100/28/6' dır (Verma, 2002).

Karbon mikroorganizmalar için kaynak oluşturur ve azot mikroorganizmaların büyüme hızını artırır. Azot miktarı sınırlı ise mikroorganizma popülasyonu azalır ve karbonun ayrışması uzun zaman alır. Mikroorganizmaların ihtiyacı dışındaki aşırı azot genellikle amonyak gazı olarak prosesten kaybedilir. Reaktördeki bakteriler karbonu azota göre 30–35 kat daha fazla parçalarlar. Ham materyalde karbon azot oranı 30/1'dir (Tchobanoglous et al., 1993; Igoni ve ark.,2008). Karbon ve azot arasındaki ilişki C/N oranıyla bulunur. Yüksek C/N oranı metanojenlerde azotun tüketim hızının belirleyicisidir. Yüksek C/N oranında az miktarda gaz üretimi görülür. Diğer yandan, düşük C/N oranı metanojen bakterilere zehirleyici etki yapan pH 8,5 değeri üzerinde amonyak birikmesiyle sonuçlanır (Verma, 2002). Sebze, meyve ve market atıklarının C/N oranı ve su içeriği (> %80) yüksektir (Lastella et al., 2002).

$(C/N)_t / (C/N)_{Başlangıç}$  değerinin 0.48–0.52 arasında olması kompostun stabil olduğunu gösterir. Mikroorganizmalar aynı zamanda mikronütrientlere ve bor, kalsiyum, klorür, kobalt, bakır, demir, molibden, çinko gibi iz elementlere de ihtiyaç duyarlar.

### 3.1.5 Toplam Uçucu Yağ Asitleri

Proses kontrolünün en önemli parametrelerinden biri, anaerobik arıtmada ara ürün olarak olşan toplam uçucu asitlerdir. Bu asitlerin sisteme olan etkileri pH ve alkalinitedeki değişimle gözlenebilir. İşletmeye alınan bir sistemde uçucu yağ asiti konsantrasyonu bu süreç boyunca 1000-1500 mg/L'yi aşması istenmez.

### 3.1.6 Toksisite

Anaerobik parçalanmada her madde bazı konsantrasyonlarda zehirleyici olabilmektedir. Anaerobik parçalanmada ağır metaller, oksijen, mineral iyonlar, sülfid, kısa zincirli organik asitler ve diğer organik asitler mikroorganizmaların büyümelerini engelleyerek toksik etki yapabilirler (Hwu ve Lettinga, 1997; Björnsson, 2000). Anaerobik parçalanmada; sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt gibi minerallerin az miktarda bulunması bakterilerin büyümelerini geliştirirken, fazla miktarlarda bulundukları zaman toksik etki yaparlar. Ağır metal zehirlenmesi birçok anaerobik proseste problemdir. Çinko, bakır, nikel, krom, kurşun gibi ağır metaller çok az miktarlarda mikrobiyal büyümeyi önemli ölçüde arttırırken, yüksek konsantrasyonlarda ise toksiktirler (Karri ve ark., 2005; Elango ve ark, 2007). Anaerobik parçalanmaya etki eden birçok çözünmüş zehirleyici, yavaşlatıcı, engelleyici organik ve inorganik maddeler vardır (Mignone, 2005).

Anaerobik prosesleri etkileyen maddeler, ağır metaller (Cu, Zn, Cd, Hg ve Pb), fenol türevleri (fenol, klorofenol, nitrofenol), tuzlar (Na, Ca, P, Mg), siyanür, pestisitler, kloroform, dezenfektanlar ve amonyaktır (Young ve Yang, 1989). Ağır metallerin toksik etkisi sülfat eklenerek azaltılabilir. Böylece çözünmeyen sülfat tuzları oluşacağından, yüksek konsantrasyonlarda bulunan çinko, bakır, nikel ve demirin toksik etkisi ortadan kalkmaktadır. Yalnız krom-sülfid tuzları oluşmadığından sülfitle krom kontrolü yapılamaz. Ayrıca yüksek konsantrasyonlardaki (50–100 mg/L) sülfidin kendisi de toksik etki oluşturabilir (Öztürk, 2000).

Uzun zincirli yağ asitleri, mezofilik ve termofilik anaerobik parçalanmada toksik etki gösterirler. Atık su çamurunu anaerobik çürütülmesinde, uçucu yağ asitleri konsantrasyonunun 2.000 mg/L'yi aşması durumunda, toksik etkiler görülür. (Hwu et al., 1997). Anaerobik parçalanmada metanojenler amonyak ( $\text{NH}_3$ ) ve  $\text{H}_2\text{S}$ 'e duyarlı organizmalardır. Uçucu yağ asitleri ve  $\text{H}_2\text{S}$  pH 7'nin altında zehirliken, amonyak ise pH 7'den yüksek olduğu zaman zehirlidir. Serbest amonyak seviyesi 150 mg/L'de zehirli olabilir (Tchobanoglous 1993; Björnsson, 2000).

Anaerobik parçalanmada atık çamurun % 5–6'dan fazla yoğunlaşması durumunda, amonyak zehirlenmesi olabilmektedir. Amonyak, anaerobik çürütücüde amonyum iyonu ( $\text{NH}_4$ ) ve çözünmüş amonyak gazı ( $\text{NH}_3$ ) olmak üzere iki formda bulunabilir. Her iki formda sistem pH'ına bağlı olarak birbirleriyle denge halindedir. Anaerobik sistemde pH 7.2 ve daha küçük olduğu zaman denge amonyum iyonuna doğru kaymaktadır. Anaerobik sistemde pH 7.2' den daha büyük olduğu zaman denge gaz fazına doğru kaymaktadır. Toplam amonyak konsantrasyonu litrede 1500–3000 mg/L arasında ve pH 7.4' den fazla olursa anaerobik sistemde amonyak gazı sebebiyle zehirlenme görülebilir. Amonyak konsantrasyonu 1500–3000 mg/L arasında metanojenlere toksik etki yapar. Bu şekilde amonyak zehirlenmesi çamuru seyreltmeyle ve pH'ı 7.0–7.2 arasında tutup yeterince hidroklorik asit ekleyerek kontrol edilebilir.

Sülfat içeren atıkların anaerobik olarak arıtma teknolojilerinin uygulamalarında toksisite, metan üretiminde azalma, kötü koku ve korozyondan dolayı bazı zorluklar ortaya çıkar. Problem, özellikle anaerobik sistemlerde bulunan bakterinin birkaç türüne  $\text{H}_2\text{S}$ 'in inhibitör etkisidir. İnhibisyon, reaktör performansını azaltır ve hatta tamamen prosesin başarısızlığına yol açabilir (Koster et al., 1986; Hilton and Oleszkiewicz, 1988; Widdel, 1988). Wheatley (1991), metan üretim inhibisyonunun sülfat konsantrasyonunun 1000 mg/L'yi aştığı zaman oluşmaya başladığını ve toplam inhibisyonun 4500 mg/L'den daha büyük olduğu zaman oluşacağına işaret etmiştir.

Tablo 3.2. Anaerobik Sisteme Etki Eden Toksik Maddeler ve Konsantrasyonları

| Toksik Maddeler                             | Toksik Etki Konsantrasyonları (mg/L) |
|---------------------------------------------|--------------------------------------|
| Sülfat ( $\text{SO}_4^{-2}$ )               | 5000                                 |
| Sodyum klorür ve genel tuzlar<br>(NaCl)     | 4000                                 |
| Nitrat azotu ( $\text{NO}_3^{-}\text{-N}$ ) | 0.05                                 |
| Bakır ( $\text{Cu}^{+2}$ )                  | 100                                  |
| Krom ( $\text{Cr}^{+3}$ )                   | 200                                  |
| Nikel ( $\text{Ni}^{+2}$ )                  | 200 – 500                            |
| Sodyum ( $\text{Na}^{+}$ )                  | 3500 – 5500                          |
| Potasyum ( $\text{K}^{+}$ )                 | 2500 – 4500                          |
| Kalsiyum ( $\text{Ca}^{+2}$ )               | 2500 – 4500                          |
| Magnezyum ( $\text{Mg}^{+2}$ )              | 1000 – 1500                          |
| Mangan ( $\text{Mn}^{+2}$ )                 | 1500 üzeri                           |

Anaerobik arıtmada kararlılığın sağlanabilmesi için ortamda eser miktarda dahi oksijen bulunmamalıdır. Oksijen kimyasal olarak bağlı olsa bile arıtma sürecini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{HS}^-$  gibi maddeler anaerobik sistemlerin verimini olumsuz yönde etkiler (Öztürk, 2000).

## 3.2 Anaerobik Kompostlaştırma Yöntemleri

Anaerobik kompostlaştırma yöntemleri içerdiği katı madde miktarına göre düşük katı konsantrasyonunda anaerobik kompostlaştırma ve yüksek katı konsantrasyonunda anaerobik kompostlaştırma olmak üzere ikiye ayrılır.

### 3.2.1 Düşük Katı Konsantrasyonunda Anaerobik Kompostlaştırma

Düşük katı konsantrasyonundaki anaerobik kompostlaştırma organik atıkların atık konsantrasyonunun %4-8 aralığında veya daha düşük olduğu durumlarda fermentasyon yaptığı biyolojik bir prosestir. Düşük katı konsantrasyonundaki anaerobik kompostlaştırma prosesi dünyanın birçok yerinde insan, hayvan ve tarım atıklarından ve kentsel katı atıkların organik kısmından metan gazı üretmek için kullanılmaktadır. Düşük katı konsantrasyonundaki anaerobik ayrıştırma prosesinin dezavantajlarından biri katı içeriğini %4-8 aralığına getirmek için mevcut atığa yüksek miktarda su eklenmesi gerekliliğidir. Su eklenmesi, uzaklaştırılırken susuzlaştırılan çamuru çok seyreltik hale getirir. Susuzlaştırma adımından kaynaklanan akışkan sıvının uzaklaştırılması oldukça pahalıdır ve düşük katı konsantrasyonlu ayrıştırma prosesi seçiminde önemli bir faktördür (Tchobanoglous et al.,1993).

Düşük katılı anaerobik kompostlaştırma prosesinde atıksu arıtma çamuru ile birlikte arıtılan katı atıklarda reaktörden elde edilen toplam gazın % 50-60 metan içerdiği gözlenmiştir. Giderilen birim kg biyolojik olarak parçalanabilir uçucu katı başına yaklaşık  $0.62 \text{ m}^3$  gaz üretildiği görülmüştür. Kompostlaştırmanın organik atıkların arıtılması için kullanılması halinde bu tasarımın, pilot tesis çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre yapılması tavsiye edilmektedir.

Tablo 3.3. Evsel katı atığın düşük katı konsantrasyonlu anaerobik kompostlaştırılması prosesi için tasarım parametreleri (Tchobanoglous et al., 1993)

| Parametre                                     | Açıklama                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Madde boyutu</b>                           | Çürütülecek atıklar, pompaların çalışmasına ve iyi çalışmaya engel olmayacak bir boyuta getirilmelidir.                             |
| <b>Karıştırma ekipmanı</b>                    | Optimum şartlara ulaşma ve köpük oluşumunu engellemek için mekanik karıştırma önerilir.                                             |
| <b>Çamurla karıştırılan katı atık yüzdesi</b> | %50 den %90 lara kadar değişen atık miktarları kullanılmakla birlikte % 60 uygun bir değerdir.                                      |
| <b>Hidrolik bekleme süresi ve çamur yaşı</b>  | Yıkama süresi 3-4 gündür. Tasarım için 10-20 gün arasında hidrolik bekleme süresi seçilir veya pilot tesisin sonuçları esas alınır. |
| <b>Organik yük</b>                            | 0.6-1.6 kg/m <sup>3</sup> -gün. Daha yüksek hızlar da bildirilmiştir.                                                               |
| <b>Katı konsantrasyonu</b>                    | % 8-10veya daha azdır.                                                                                                              |
| <b>Sıcaklık</b>                               | Mezofilik şartlar için 30-38 °C, termofilik şartlar için 55-60 °C arasındadır.                                                      |
| <b>Uçucu katı maddelerin giderimi</b>         | Atık karakteristiğine bağlı olarak % 60-80 arasında değişir. Tasarım için %70 değeri kullanılabilir.                                |
| <b>Toplam katı giderimi</b>                   | Mevcut inert madde miktarına bağlı olarak %40-60 arasında değişir.                                                                  |
| <b>Gaz üretimi</b>                            | 0.5-0.75 m <sup>3</sup> /kg giderilen UKM                                                                                           |

### 3.2.2 Yüksek Katı Konsantrasyonunda Anaerobik Kompostlaştırma

Yüksek katı konsantrasyonunda anaerobik kompostlaştırma fermentasyonun %22 veya daha yüksek konsantrasyonda katı içerdiğinde meydana geldiği biyolojik bir prosestir. Yüksek katı konsantrasyonundaki anaerobik ayrışma diğerlerine nazaran yeni bir teknolojidir ve kentsel katı atığın organik kısmından enerji kazanımı için tam olarak gelişmemiştir. Yüksek konsantrasyondaki anaerobik ayrıştırma için ihtiyaç duyulan düşük su ihtiyacı ve reaktörde birim hacme düşen gaz üretimi iki önemli avantajdır (Tchobanoglous et al.,1993). Dezavantajı ise kurulu tesis sayısının ve işletim tecrübesinin daha az olmasıdır.

Tablo 3.4. Evsel katı atığın yüksek katı konsantrasyonlu anaerobik kompostlaştırılması prosesi için tasarım parametreleri(Tchobanoglous et al., 1993)

| Parametre                                     | Açıklama                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Madde boyutu</b>                           | Çürütülecek atıklar parçalanarak, besleme ve boşaltma mekanizmalarının çalışmalarına engel olmayacak bir boyutta getirilmelidir. |
| <b>Karıştırma ekipmanı</b>                    | Kullanılacak reaktörün tipine bağlıdır.                                                                                          |
| <b>Çamurla karıştırılan katı atık yüzdesi</b> | Çamurun karakteristiğine bağlıdır.                                                                                               |
| <b>Çamur yaşı</b>                             | Tasarım için 20-30 gün alınabilir. Pilot tesis çalışmaları sonuçları esas alınır.                                                |
| <b>Organik yük</b>                            | 6-7 kg/m <sup>3</sup> -gün. Daha yüksek hızlar da bildirilmiştir.                                                                |
| <b>Katı konsantrasyonu</b>                    | % 20-35 arasında değişir.                                                                                                        |
| <b>Sıcaklık</b>                               | Mezofilik şartlar için 30-38 °C, termofilik şartlar için 55-60 °C arasındadır.                                                   |
| <b>Uçucu katı maddelerin giderimi</b>         | Çamur yaşı ve hacimsel yüke bağlı olarak %90-98 arasında değişir.                                                                |
| <b>Toplam katı giderimi</b>                   | Atığın lignin içeriğine bağlı olarak değişir.                                                                                    |
| <b>Gaz üretimi</b>                            | 0.625-1 m <sup>3</sup> /kg giderilen UKM                                                                                         |

### 3.3 Anaerobik Kompostlaştırma Teknolojileri

BIOCEL (Hollanda), DRANCO (Belçika), KOMPOGAS (İsviçre) ve SEBAC (Ardışık kesikli anaerobik kompostlaştırma, ABD) Prosesleri çeşitli ticari/patentli anaerobik kompost teknolojileridir. Bu proseslerin ortak özellikleri organik atıkların kesikli havasız kompostlaştırılması esasına dayanması ve üretilen biyogazın, gaz türbinleri ve jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilir olmasıdır (Tchobanoglous et al.,1994).

### 3.4 Anaerobik Kompostlaştırmanın Avantajları ve Dezavantajları

Anaerobik kompostlaştırmanın avantaj ve dezavantajları Tablo-3.5' te, Tablo 3.6' da ise aerobik ve anaerobik kompostlaştırmanın karşılaştırılması verilmiştir (Tchobanoglous ve dig.,1993).

Tablo 3.5. Anaerobik kompostlaştırmanın avantaj ve dezavantajları

| Avantajları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Dezavantajları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Az enerji gereksinimi duyarlar.</b></p> <p><b>Biyolojik çamur üretimi çok azdır.</b></p> <p><b>Besi maddesine ihtiyaç azdır.</b></p> <p><b>Metan üretimi ile enerji kaynağıdır.</b></p> <p><b>Aktif biyokütle konsantrasyonu yüksek olduğundan düşük reaktör hacmi yeterli olur.</b></p> <p><b>Köpüklenme problemi yaşanmaz.</b></p> <p><b>Aerobik arıtmanın 5-10 katı yüksek organik yükleme hızıyla çalıştırılabilir.</b></p> <p><b>Mevsimsel arıtma problemi yaşanmaz.</b></p> | <p>Daha uzun süreli bir arıtma yöntemidir.</p> <p>Yüksek miktarda alkalinite gereksinimi, düşük çıkış kalitesi, koku problemi gibi sorunlarla karşılaşılabilir.</p> <p>Isıtma gereksinimi duyulur.</p> <p>Bazı durumlarda ilave olarak aerobik arıtmaya ihtiyaç duyulabilir.</p> <p>Biyolojik azot ve fosfor uzaklaştırılmaz.</p> <p>Düşük sıcaklığa bağlı olumsuz etkilere ve toksikliğe karşı çok hassastır.</p> |

Tablo 3.6. Aerobik ve Anaerobik Kompostlaştırma Sistemlerinin Karşılaştırılması

| Özellik        | Aerobik Kompost                           | Anaerobik Kompost                        |
|----------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| Son ürün       | Humus, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O | Çamur, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> |
| Hacim azalması | %50 den fazla                             | %50 den fazla                            |
| Proses süresi  | 20-30 gün                                 | 20-40 gün                                |
| İlk hedef      | Hacim azalması                            | Enerji üretimi                           |
| İkinci hedef   | Kompost üretimi                           | Atık stabilizasyonu                      |

### 3.5 Kompost Kalitesi, Kullanım Alanları ve Faydaları

#### 3.5.1 Kompost Kalitesi

Kompostun kalitesi söz konusu olduğunda üzerinde durulan önemli parametreler, ağır metal içeriği, nütrient içeriği ve bitki gelişim kapasitesi, patojen mikroorganizma varlığı, fiziksel ve kimyasal kompozisyonu (dane boyutu, pH, çözünür tuzlar, yabancı maddeler vb.) ve yabancı ot tohum varlığı şeklinde

sıralanabilir. Kompost kalitesi için en çok üzerinde durulan parametre, ağır metal içeriğidir.

Kompostun kalitesi genellikle inert içerik ile ilgilidir: Evsel katı atık kompostu (inert <6% kuru madde), iyi kalitede şehir çöp kompostu (inert<15-20% kuru madde), orta kalitede şehir çöp kompostu (inert<25-30% kuru madde) (Tosun, 2003).

31/05/2005 Tarih ve 25831 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği"nde Madde 14'e göre kompostun toprakta kullanılabilmesi için,

- a) C/N oranının 35 den daha büyük olması halinde kompost reaksiyonunun optimum şartlarda cereyan edebilmesi için reaktörde kompostta azot beslemesinin yapılması,
- b) Kompostun, organik madde muhtevasının kuru maddenin en az % 35 i oranında olması,
- c) Piyasaya sürülen kompostun su muhteva oranının % 50 yi geçmemesi,
- d) Piyasaya sürülen kompost içinde, cam, cüruf, metal, plastik, lastik, deri gibi seçilebilir maddelerin toplam ağırlığın % 2 sini geçmemesi,
- e) Üretilen kompostun ağır metal muhtevaları, en az altı aylık aralarla, ihtiva ettikleri kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa ve çinko yönünden analizlerinin yapılması,
- f) Kompostun kullanılacağı toprağın, EK II-A daki Toprak Analiz Belgesi'nde yer alan parametre analizlerinin oniki ayda bir belgelendirilmesi,
- g) Toprak ve kompost numunelerinin usulüne ve tekniğine uygun olarak alınması ve tüm kütleyi temsil edici olması,
- h) Toprak analizleri sonucu, topraktaki ağır metal içeriklerinin EK I-A(a) da yer alan değerleri aşması halinde söz konusu toprakta kompostun kullanılmaması,
- i) Kompostun toprakta 10 yıllık ortalama esas alınarak her yıl uygulanması halinde, ağır metaller itibari ile toprağa verilen yükün EK I-C de verilen değerleri aşmaması, gerekmektedir.

# EK I-A / TOPRAK KİRLİLİK PARAMETRELERİ SINIR DEĞERLERİ

## (a)Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri

| Ağır Metal (Toplam) | PH 5- 6<br>mg/kg Fırın Kuru<br>Toprak | pH>6<br>mg/kg Fırın Kuru<br>Toprak |
|---------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Kurşun              | 50**                                  | 300**                              |
| Kadmiyum            | 1**                                   | 3**                                |
| Krom                | 100**                                 | 100**                              |
| Bakır*              | 50**                                  | 140**                              |
| Nikel*              | 3**                                   | 75**                               |
| Çinko *             | 150**                                 | 300**                              |
| Civa                | 1**                                   | 1,5**                              |

\*pH değeri 7’ den büyük ise çevre ve insan sağlığına özellikle yer altı suyuna zararlı olmadığı durumlarda bakanlık sınır değerleri %50’ ye kadar artırabilir.

\*\*Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

## EK I-C / TOPRAKTA ON YILLIK ORTALAMA ESAS ALINARAK BİR YILDA VERİLMESİNE MÜSAADE EDİLECEK AĞIR METAL YÜKÜ SINIR DEĞERLERİ

| Ağır Metal (Toplam) | Sınır Yük Değeri (gr/da/yıl, kuru maddede) * |
|---------------------|----------------------------------------------|
| Kurşun              | 1500                                         |
| Kadmiyum            | 15                                           |
| Krom                | 1500                                         |
| Bakır               | 1200                                         |
| Nikel               | 300                                          |
| Çinko               | 3000                                         |
| Civa                | 10                                           |

\* Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

### 3.5.2 Kompostun Kullanım Alanları

Kompostun kullanım alanlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Öztürk ve Bildik, 2005),

- Tarla, bahçe uygulamaları, seracılık, meyvecilik, fidanlık ve çiçekçilikte,
- Golf sahaları, peyzaj çalışmaları, çim sahaları, parklar ve oyun alanları, yol kenarları, mezarlıklar ve askeri tesislerde,
- Maden çıkarılmış alanlar, eski kum ve çakıl ocaklarının ve yanmış orman alanlarının rehabilitasyonunda,
- Erozyon kontrolünde,
- Koku gideriminde filtre malzemesi olarak,
- Düzenli depolamada son örtü malzemesi olarak, kullanılmaktadır.

### 3.5.3 Kompostun Faydaları

#### i. İnsan ve çevre sağlığını tehdit eden kirliliğin önüne geçer:

- a. Kötü koku, sinek, hastalık yapan patojen-mikroorganizmaların oluşumunu kaynağından azaltarak toplum sağlığını korur.
- b. Küresel ısınmayı tetikleyici sera gazlarının artışını engeller ( Düzensiz depolama alanlarında organik atıklar havasız kaldıklarında metan gazı üretir ve metanın sera gazlarını arttırmadaki etkisi yaklaşık olarak karbondioksitin 21 katıdır ).
- c. Yağmur ile toprak yüzeyine ulaşan suyun yüzey akışına geçmek yerine yeraltına daha kolay süzülmesini sağlayarak toprak erozyonu riskini azaltır.
- d. Atıkları yakma gibi tehlikesi büyük, toprakta tüm canlıları yok eden bertaraf yönteminin en iyi alternatifidir.
- e. Uygun üretilmiş kompost kimyasal kontrolü olmaksızın virüslerin toprak yoluyla taşınmasını önler.

#### ii. Toprağı iyileştirir, zenginleştirir:

- a. Topraktaki mikrobiyal aktiviteyi artırır, canlı yaşamını destekler.

- b. Toprağın besin maddesi tutma kapasitesini arttırır. İyi ayrıışmış, olgun kompost sürekli olarak humus maddesi, karbon, azot, fosfor, potasyum ve çok sayıda iz element kaynağıdır.
- c. Kompost temel toprak zenginleştiricisi olarak kullanılır. Uygulandığında toprağa organik madde ekler, toprağın yapısını iyileştirir, gübre ihtiyacını azaltır, havalanma ve su tutma kapasitesini düzeltir.
- d. Depolanabilme kalitesinden dolayı kompost yılın uygun zamanlarında toprağa uygulanabilir. Bu sayede arazideki sızıntı suyu ve azot kayıpları azaltılır.
- e. Kompostlaştırma ile gübredeki azot daha stabil olan organik forma dönüştürölür.
- f. Topraktaki besinleri bitkilerin max. faydalanacağı şekilde yavaş yavaş sunarak bir nevi depolama görevi de üstlenir.
- g. Toprağın pH seviyesini dengeler.
- h. Bitkilerde sağlıklı büyümeyi hızlandırır.
- i. Toprağı temizler ağır metalleri ve patojenleri zararsız hale getirir.

### iii. Ekonomik faydaları:

- a. Bakım ve iyileştirme adına satın alınan benzer ürönlere yapılan harcamalar ve su kullanımını azalır.
- b. Bahçe atıklarını bertaraf etmedeki nakliye masrafları ortadan kalkar.
- c. Çöplerin toplanması için kullanılan mazot, akaryakıt gibi petrol ürünlerinin kullanımını azaltır.
- d. Kompostun depolama ve işleme kalitesinin yüksek olması gübre ve diğer ham maddelere göre daha uzağa taşınabilmesine olanak tanır.
- e. Çöp alanlarının azaltılması ve ekonomik-sosyal getirisi olan projelerde değerlendirilmesi için en ekonomik yöntemdir.
- f. Kompostlaşmanın en cazip özelliklerinden biri ürünün satılabilecek bir pazarının olmasıdır. Potansiyel alıcılar; bahçıvanlar, peyzajcılar, sebze ve meyve çiftçileri, çimen yetiştiricileri, golf sahaları ve süs bitkisi yetiştiricileridir. Kompostun fiyatı pazarın durumuna, kompostun kalitesine ve kullanılan ham maddeye bağılı olarak değişir.
- g. Kompostun tüm bu avantajlarının yanında anaerobik şartlar altında gerçekleştirildiğinde enerji eldesi de gerçekleşmektedir.

## 4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Günümüzde artan nüfus ve hızla gelişen teknolojiye bağlı olarak çoğalan katı atık miktarı öncelikle gelişmiş ülkeler olmak üzere dünyadaki katı atık ile ilgili yapılan araştırmalara hız getirmiştir. İnsan ve çevre sağlığını ciddi boyutta tehdit eden katı atıkların bertarafı için yapılan çalışmalarda ülke ekonomilerine getirilerinin olmasına ise dikkat edilmektedir.

Giderek gelişen dünyada atık miktarını arttırmasının yanında büyük bir enerji gereksinimini de ortaya çıkarmaktadır. Dünyada oluşan çevre bilincinin etkisiyle ise artık fosil yakıtların kullanımının en az seviyeye indirilmesi istenmektedir. Buna bağlı olarak gelişen ve gelişmekte olan dünya ülkeleri çevreye zararı olmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedirler.

Katı atık miktarındaki artış ve yenilenebilir enerji kaynağına gereksinim katı atıktan enerji üretimi ile ilgili önemli çalışmaları da beraberinde getirmektedir. Organik katı atık bertarafı ve bertaraf sırasında enerji üretimi ile ilgili dünyada ve ülkemizde önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Çalışmalardan biri, tütün katı atığının aerobik kompostlaştırması ile ilgili 2003 yılında Briski ve ark.. tarafından rapor edilmiştir. Deneyler kapalı ısıtıcılı izole edilmiş 1L ve 25L kolon reaktörlerde adiyabatik koşullarda 16 günden fazla sürede yapılmış, reaktördeki sıcaklık değişimleri, CO<sub>2</sub> üretimi ve mezofilik ve termofilik bakteri popülasyonu monitörle izlenmiştir. Çalışma süresince en fazla sıcaklık 64 °C, pH 7.85–9.25 arası ve kompostun nem içeriği % 65.8-76.5 olarak bulunmuş ve seçilen modelin aerobik kompostlaştırmayı oldukça iyi temsil etmekte olduğu ve açığa çıkan ısıнын biyolojik bozunma prosesiyle orantılı olduğu hipotezini doğrulamakta olduğunu bulmuşlar.

Diğer bir çalışmada kentsel katı atığın endüstriyel çamur ile birlikte anaerobik depolamaya örnek teşkil eden reaktörde bozundurulmasını incelemiştir. Çalışmada 3 farklı şekilde tasarlanan biyolojik reaktörler kullanılmıştır. Katı atığın endüstriyel çamur ile birlikte depolanmasının etkilerini karşılaştırmak için reaktörlerden biri sadece kentsel katı atığın organik kısmı (OFMSW) ile doldurulmuş (kontrol

reaktörü); ikincisi OFMSW ve endüstriyel çamur ile 1:1 oranında doldurulmuş; üçüncüsü ise OFMSW ve endüstriyel çamur ile 1:2 doldurulmuştur. Tüm reaktörlerdeki sızıntı suyu geri devir oranı 300 ml/gün olarak kullanılmıştır. Sızıntı suyundaki pH, kimyasal oksiyen ihtiyacı (KOİ), uçucu yağ asidi (UYA), amonyum-nitrojen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) konsantrasyonları; toplam ve metan gaz üretimi düzenli olarak izlenmiştir. 98 gün sonra sızıntı suyundaki pH, KOİ, UYA konsantrasyonlarının endüstriyel çamur eklenen reaktörlerde kontrol reaktöründen daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Endüstriyel çamur eklenmesi metan üretimini düşürmüştür. Ek olarak anaerobik toksisite analizinin sonucunda çamur eklenen reaktörlerde toksisite değerinin yüksek olduğu bulunmuştur (Ağdağ ve ark., 2005)

Biyolojik olarak bozundurulabilen kentsel atıkların aerobik kompostlaştırma ve anaerobik bozundurulmasının tekniksel, ekonomik ve çevresel açıdan karşılaştırmalar da diğer bir çalışmanın konusudur. Analiz sonuçları biyolojik atık arıtımının 50 kiloton/yıl veya altında olduğu durumlarda aerobik kompostlaştırmanın ekonomik olarak anaerobik bozundurmaya göre tercih edilebilir olduğunu göstermiştir. Ancak, ulaşım yakıtı olarak kullanılan metanla zengin biyogaz üretildiğinde ve tüketim vergisi düştüğünde, anaerobik bozundurmanın ekonomisinin geliştiği görülmüştür. Eğer tüketim vergisi %100 oranında kalkarsa anaerobik bozundurma biyolojik atığın arıtımının 20 kiloton/yıl'ın üstünde olduğu durumlarda ekonomik olarak aerobik kompostlaştırmaya göre tercih edilir. Çevre açısından baktığımızda, fosil yakıtın kazanılan enerjiyle yer değişiminden dolayı anaerobik bozundurma daha fazla sera gazı oluşumundan korumaktadır (Jerry D. ve H. Power, 2006).

Hernandez ve ark., (2007) iki farklı talaş oranlarında aerobik ve anaerobik atıksu çamurlarının kompostlaştırılmasını araştırmışlardır (12). Çalışmada iki farklı atık su çamuru (aerobik, AS ve anaerobik, ANS), 1:1 ve 1:3 (çamur: talaş, v:v) olmak üzere iki farklı talaş oranı ile kompostlaştırılmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Aerobik çamur yığınları daha yüksek miktarda mikrobiyal aktivite gösterdiği görülmüştür. Anaerobik çamur ve talaş hacim oranları 1:1 olduğunda en düşük termofilik sıcaklığı kaydedilmiş olup bu karışım kompostta amonyum düşüşünün de en az olduğunu göstermiştir. Ancak anaerobik çamur ve talaş hacim oranı 1:3 olduğunda toksik bileşenlere sulandırıcı etkisi olduğu görülmüştür. Aerobik

çamur karışımını yeterince iyileştirmek için denenen iki talaş oranına da müsaade edilmiştir, kompost tarım açısından kullanımında kazanç sağlar. Anaerobik çamurda, 1:1 oranı daha ekonomik olduğundan uygun gözüküyor olsa da, sulandırma etkisinden dolayı düşük elektriksel iletkenlik ve amonyum içeriği ve bunun gibi diğer toksik ve fototoksik maddelerin yokluğu ile 1:3 oranı tavsiye edilmiştir.

Ardışık kesikli sistemde yiyecek atıklarının ve biyolojik katıların anaerobik bozundurulmasında sızıntı suyunun değişim oranlarını karşılaştırılması Dearman ve ark., (2007) tarafından yapılan bir çalışmada rapor edilmiştir. Bu çalışmada en yüksek metan kazancını sağlamak için en uygun sistem olarak ardışık kesikli anaerobik sistem seçilmiştir. Başlama ve olgunlaşma reaktörlerinden oluşan iki set ardışık kesikli sistemlerin birinde sızıntı suyu üç kat diğerinde iki kat arttırılarak değiştirilmiştir. Sonuçlar, başlangıç ve olgunlaşma reaktörleri arasındaki sızıntı suyu hacmini arttırdığımızda hammadde çözünme hızını azalttığını fakat toplam metan kazancının önemli derecede değişmediğini göstermiştir.

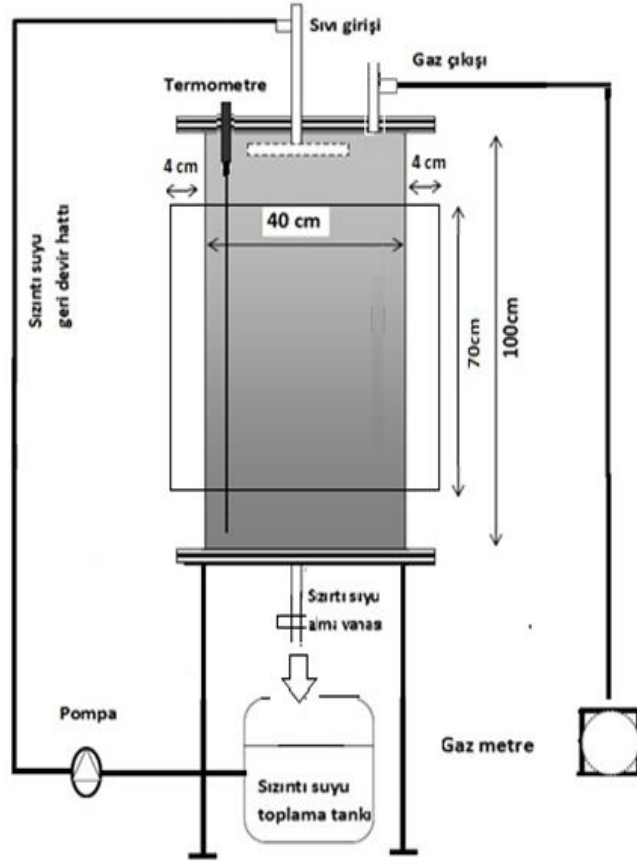
Diğer bir çalışmada kentsel katı atıkların organik kısmının aerobik, termofilik anaerobik ve bu iki prosesin birleşmesiyle oluşan proseslerdeki bozunma oranlarını karşılaştırmışlardır (Lee Walker ve ark., 2009). Anaerobik prosesin daha hızlı olduğunu bulmuşlar. Daha hızlı olmasının yanı sıra organiklerin gaza ( $\text{CO}_2$  ve  $\text{CH}_4$ ) dönüşümü fazla oranda olmaktadır. Ayrıca son ürünün stabilizesi ve olgunlaşması iyileşmiştir. Anaerobiğin, aerobik prosese eklenmesi hidroliz ve oksidasyon oranı ve ürün stabilizesini iyileştirdiği tespit edilmiş. Sonuç olarak da iki prosesin birlikte uygulanmasıyla biyogaza ve az kokulu stabil son ürüne 19 gün içinde ulaşılmıştır.

Örnek çalışmalarda da görüldüğü gibi kompostlaştırma, atık stabilizasyonu ve anaerobik şartlar altında gerçekleştirildiğinde atık stabilizasyonunun yanında enerji eldesi bakımından sıkça tercih edilen bir organik katı atık bertaraf yöntemidir.

## 5. MATERYAL VE METOT

### 5.1 Reaktörün Tasarımı

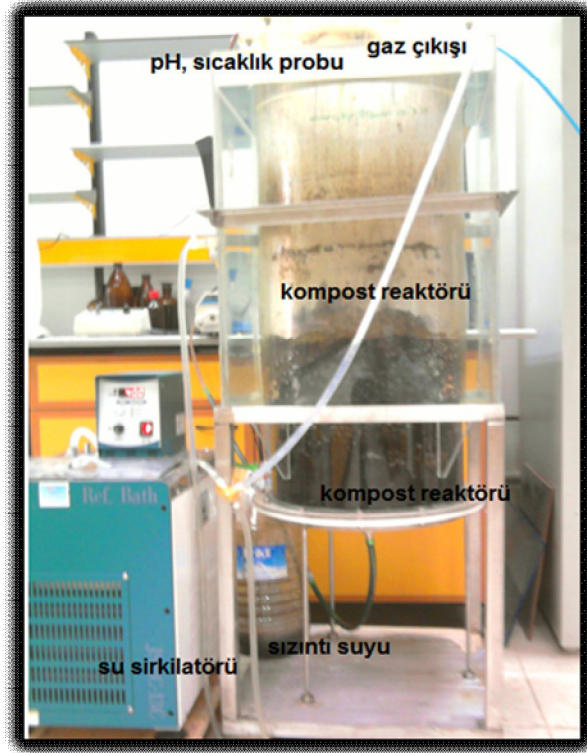
Katı atıkları anaerobik arıtmak amacıyla laboratuvar ölçekli biyoreaktör kullanılmıştır. Bu reaktör yüksekliği 1 m, çapı 40 cm ve 125.6 L hacminde plexiglass malzemeden imal edilmiş silindir bir kompost reaktörüdür.



Şekil 5.1. Anaerobik Biyoreaktör (Şematik gösterim).

Şekil 5.1’ de şematik gösterimi verilen anaerobik olarak tasarlanmış reaktörün alt kısmında sızıntı suyu sirkülasyonunu sağlamak için bir çıkış vanası, üst kısmında biri sızıntı suyu geri devri giriş vanası, diğeri biyogaz salınımı için çıkış vanası olmak üzere toplamda 3 adet vana tasarlanmıştır. Reaktörün üst kapağı atık yüklemesi için çıkarılıp takılabilmektedir. Reaktörün üst kapak kısmında sızıntı suyunu homojen dağıtmak için delikli levhalar bulunmaktadır. Sızıntı suyu geri devri 111Y011 nolu projeden temin edilen peristaltik bir pompa ile sağlanmıştır. Reaktörün çevresinde ise dikdörtgenler prizması şeklinde ve uzun kenarı 70 cm olan bir ceket bulunmaktadır. Ceketin içerisinde ısıtıcı su sirkülatörü ile sağlanan

sıcaklığı 40 °C'ye ayarlanmış su bulunmaktadır. Oluşan biyogaz hacmini ölçebilmek için biyogaz çıkış vanasına bir gaz metre yerleştirilerek günlük biyogaz çıkışı takip edilmesi sağlanmıştır. Reaktörün içine ortamın günlük pH ve sıcaklığını düzenli olarak takip edebilmek için pH metre probu yerleştirilmiştir. Çalışmalarda kullanılan gazdebimetre, multimetre ve peristaltik pompa 111Y011 No' lu proje bütçesinden temin edilmiştir.



Şekil 5.2. Su Sirkulatörü ve Anaerobik Biyoraektör

## 5.2 Deneyisel Çalışmalarda Analiz Yöntemleri

Deneyisel çalışmalarda kullanılan tüm analiz parametreleri ve yöntemleri Tablo 5.1' te verilmiştir.

Tablo 5.1. İncelenen Parametreler ve Kullanılan Yöntemler

| Parametre                                        | Ölçüm aralığı | Ölçüm Yöntemi*/Cihazı                  |
|--------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------|
| <u>Başlangıçta ve Sonda Ölçülen Parametreler</u> |               |                                        |
| Fiziksel Karakteristikler                        |               |                                        |
| Nem Miktarı,%                                    | Başlangıç-Son | Fırın                                  |
| Kimyasal Karakteristikler                        |               |                                        |
| pH                                               | Son           |                                        |
| Uçucu Katı Madde,%                               | Başlangıç-Son | SM-4500 H <sup>+</sup> B Elektrometrik |
| Toplam Azot,%                                    | Başlangıç-Son | SM-2540 D,E                            |
| Toplam Karbon,%                                  | Başlangıç-Son | STM 4500-Norg B Macro-Kjeldahl         |
| TKN                                              | Başlangıç-Son | STM 4500-Norg B Macro-Kjeldahl         |
| Ağır Metaller                                    | Son           | ICP                                    |
| <u>Deney Sırasında Ölçülen Parametreler</u>      |               |                                        |
| Fiziksel Karakteristikler                        |               |                                        |
| Sıcaklık                                         | Her gün       | Multimetre                             |
| Kimyasal Karakteristikler                        |               |                                        |
| pH                                               | Her gün       | SM-4500 H <sup>+</sup> B Elektrometrik |
| Kimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/L                  | Haftada bir   | STM 5220 C                             |
| Biyolojik oksijen İhtiyacı, mg/L                 | Haftada bir   | STM 5210 B                             |
| TKN, mg/L                                        | Haftada bir   | STM 4500-Norg B Macro-Kjeldahl         |
| Alkalinite, mg/L CaCO <sub>3</sub>               | Haftada bir   | STM 2320 B                             |
| Biyogaz Miktarı, cm <sup>3</sup>                 | Her gün       | Gaz Metre (Ritter)                     |

(\*)Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater (2005). (Eds.: A D. Eaton, L.S. Clesceri, E.W. Rice, A.E. Greenberg, M. A. H. Franson), American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) & Water Environment Federation (WEF), USA.

### 5.3 Kullanılan Organik Katı Atıklar ve Özellikleri

Çalışma süresince reaktör, farklı atık kompozisyonlarından oluşan atıklar ile çalıştırılmıştır. İlk atık kompozisyonu, atık çiğ sebze ve Tuzla biyolojik atıksu arıtma tesisi çamurundan oluşmaktadır. Biyolojik aktivitenin sağlanması ve uygun nem oranını yakalayabilmek için biyolojik atıksu arıtma tesisi çamuru reaktöre eklenmiştir. Bu atıklar 15 haftanın sonunda komposta dönüşmüş, reaktör durdurulmuş ve farklı bir atık için hazır hale getirilmiştir. İkinci olarak reaktör yine çiğ sebzelerden oluşturulan atık karışımı ile beslenmiş, C/N oranını ayarlamak için karton ve arıtma çamuru kullanılmıştır.

Tez çalışması sırasında reaktörde kullanılmak üzere bir yemek fabrikasından, üç farklı zamanda olmak üzere çiğ sebze atıkları ve pişmiş yemek atıkları temin edilmiştir. İlk atık bileşiminde marul, lahana, kabak, biber atıkları ile kuru soğan ve kurumuş barbunya kabuk ve sapları; ikinci atık bileşimi için biber, kabak, patlıcan, lahana ve marul temin edilmiştir. Bu iki atık arasında ise yağlı yemek atıkları kullanılmak istenmiş ve deneme için fabrikadan marul, domates, biber, salatalık, lahana ve etli patates yemeği, domatesli makarna ile türlü yemeği atıkları alınmış; reaktör %60 atık sebze ve %40 pişmiş yemek atıklarından oluşan organik katı atık karışımına bir miktar talaş eklenerek doldurulmuştur. Ancak istenilen sonuca ulaşılamayınca bu deneme sonuçlar bölümüne eklenmemiştir. Sonuçlar bölümünde bahsedilen atık karışımları çiğ sebze atıklarından ve biyolojik atıksu arıtma tesisi çamurundan oluşmaktadır.

Laboratuara getirilen atıklar, homojenliği sağlamak için karıştırılmış ve kabaca parçalanmışlardır. Uygun kompost şartlarının gelişmesi için başlangıç C/N oranının 30, nem içeriğinin ise % 60 olması istenmektedir. İlk atık karışımı için C/N oranının ve aynı şekilde nem içeriğinin yükseltilmesinde biyolojik atıksu arıtma çamuru ve gazete kağıdı tercih edilmiştir. Gazete kağıdı seçilmesinin nedeni yüksek karbon içeriğidir. Arıtma çamuru ise hem nem oranının artırılması hem de biyolojik aktiviteyi sağlayarak aşı görevi göreceği için konulmuştur. Reaktör ilk atık denemesinde %30 organik katı atık, %60 arıtma çamuru ve %10 oranında gazete kağıdı ile beslenmiştir. İkinci atık karışımı için lahana, barbunya ve soğan kabukları hariç saplarından ayrılmış domates, marul, kabak, biber, patlıcan gibi nem içeriği

yüksek çiğ sebze atıkları temin edilmiştir. C/N oranını artırmak için yüksek karbon içeriği olan karton ve anaerobik parçalanmanın başlamasını hızlanması için sisteme atıksu arıtma çamur ilave edilmiştir. Böylece reaktör % 65 atık, % 25 arıtma çamuru ve %10 oranında kabaca parçalanmış karton karıştırılarak beslenmiştir. Bu karışımlardan örnekler alınarak reaktöre beslenen organik katı atık karışımlarının ilk analizleri Standart Metotlara uygun olarak yapılmış Tablo 5.2’ de verilmiştir.

Tablo 5.2. Reaktöre Konulan Katı Atıkların Özellikleri

| Parametre             | İlk atık bileşimi | İkinci atık bileşimi |
|-----------------------|-------------------|----------------------|
| Su muhtevası, %       | 85                | 78                   |
| Organik katı madde, % | 97                | 87                   |
| % C                   | 56.3              | 50.4                 |
| % N                   | 1.5               | 1.93                 |
| C/N oranı             | 37.5              | 26                   |

Biyolojik aktivitenin hızla başlaması için aşı olarak kullanılan Tuzla evsel atıksu biyolojik arıtma tesisinden alınan arıtma çamurunun özellikleri Tablo 5.3’ de verilmiştir.

Tablo 5.3. Reaktöre Konulan Biyolojik Arıtma Çamurunun Özellikleri

| Parametre             | Tuzla Evsel Atıksu Arıtma Tesis Çamuru |
|-----------------------|----------------------------------------|
| Su muhtevası, %       | 75                                     |
| Organik katı madde, % | 50                                     |
| % C                   | 27.9                                   |
| % N                   | 2.7                                    |
| C/N oranı             | 10.3                                   |
| pH                    | 7.3                                    |

İki atık karışımları arasında yapılan %60 çiğ sebze ve %40 yağlı yemek atığından oluşan denemede karışımımızın C/N oranını artırmak için odun talaşı kullanılmış fakat istenilen sonuca ulaşamamıştır. Bu atık karışımı ile beslenen reaktör yaklaşık iki ay süresince çalıştırılmış, sızıntı suyu analizleri düzenli olarak bakılmıştır. Yapılan analizlerde beklenen sonuç görülemediği çalışma süresince

sonuçlarda düzelme gözlenmemiştir. Yorumlanan analiz sonuçlarına göre reaktördeki biyolojik aktivitenin sonlanmış olduğu düşünülmüştür. Kullanılan odun talaşının çok ince olmasından dolayı da sistemin tıkanıdığı ve gaz çıkışının da engellediği gözlemlendiğinde sistem durdurulmuş ve ikinci çiğ sebze atık karışımıyla reaktör beslenmiştir.

Tablo 5.4. Reaktöre Beslenen Yağlı Atık ve Çiğ Sebze Atık Karışımının Özellikleri

| Parametre             | Atık Bileşimi |
|-----------------------|---------------|
| Su muhtevası, %       | 81.3          |
| Organik katı madde, % | 93            |
| % C                   | 54            |
| % N                   | 1.9           |
| C/N oranı             | 31.95         |



Şekil 5.3. Talaşla Karıştırılmış Pişmiş Yemek Atıkları

## **5.4 Anaerobik Kompost Reaktörünün Çalıştırılması Ve Kontrolü**

125.6 L hacimli reaktöre organik katı atıklar yerleştirildikten sonra, C/N oranını sağlayacak miktarda gazete kağıdı-karton ve arıtma çamuru eklenmiş ve daha sonra reaktör hava almasını önleyecek şekilde kapatılmış, içeride kalan oksijen ise azot gazı ile süpürülmüştür. Sızıntı suyu sirkülasyonu reaktörün alt kısmından çıkan hortumlarla üst kısmından yağmurlama sistemi ile geri verilerek sağlanmıştır. Sızıntı suyunda günlük, haftalık ve aylık analizler yapılmıştır.

Reaktörde oluşan gaz hacmini ölçebilmek için biyogaz çıkış vanasına gaz metre yerleştirilmiştir. Buradan günlük biyogaz üretimi 24 saatte üretilen toplam gaz miktarını kaydederek günlük olarak takip edilmiştir. Sonuçlar hem günlük hem de kümülatif olarak bulgular bölümünde verilmiştir.

## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

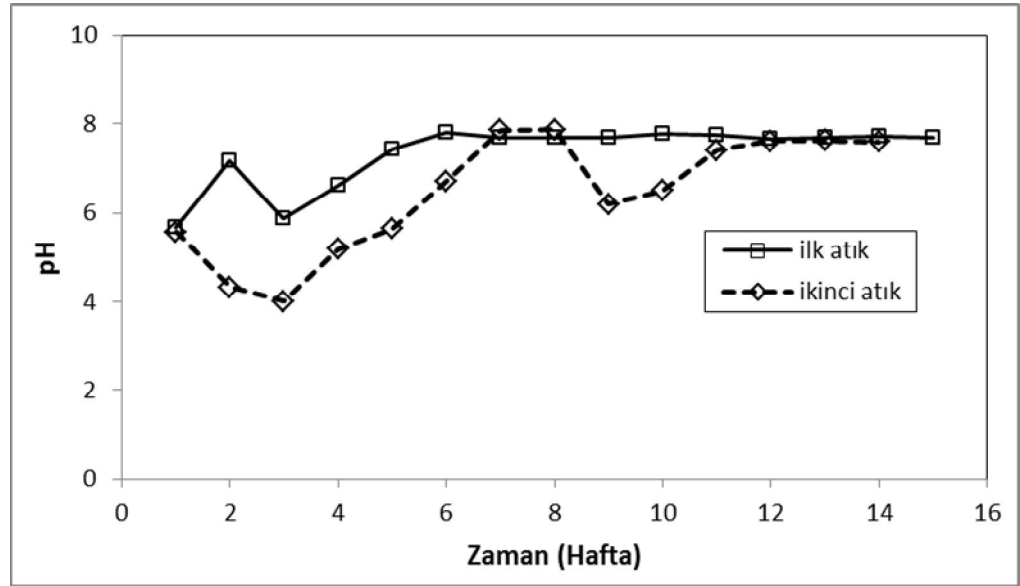
Bu bölümde reaktöre beslenen iki tip atık için, sızıntı suyunda takip edilen parametreler, gaz ölçümü ve elde edilen kompost ile ilgili analizlerin değerlendirilmesi yapılacaktır.

### 6.1 Sızıntı Suyundaki pH Değişimleri

Atık stabilizasyonunda önemli bir parametre olan pH değerleri rutin olarak sızıntı suyu numunesi alınarak takip edilmektedir. Sistemin pH'ı sızıntı suyundaki uçucu yağ asidi konsantrasyonu ile alkalinite arasındaki ilişkiye ve proses boyunca elde edilen gaz fazın CO<sub>2</sub> içeriğine bağlı olmaktadır. Metan oluşumu için optimum pH aralığı 6.5 – 8.2 olarak verilmekle beraber, en uygun değer 7-7.2 civarındadır.

Her iki deney için başlangıçta kaydedilen pH değeri 5.7 civarındadır (Şekil 6.1). Bu başlangıçta ortamın asidik olduğunu göstermektedir. Başlangıçtaki düşük pH değerleri bir süre sonra keskin bir şekilde artmış ve daha sonra 7.5 civarlarına gelmiştir. Bu keskin artış ortamda fosforun azlığından dolayı mikroorganizmaların azotu kullanmalarıyla NH<sub>3</sub> oluşmasına bağlanabilir. Daha sonra amonyanın gazlaşması ve organik asitlerin oluşumu ile pH tekrar 7.5 seviyelerine gelmiştir. Acidogenesis fazı boyunca yüksek miktarda uçucu yağ asitlerin üretilmesiyle metan üretim fazına geçiş gecikmektedir. Şekil 6.1' de elde edilen pH verileri ve pH' taki değişim görülmektedir. İkinci atık için veriler 14. haftaya kadar verilmiş fakat kompostlaştırma işlemi devam etmektedir.

İkinci atığın pH' ının düşük seyretmesi üzerine reaktöre sodyum bikarbonat ilavesi yapılarak sistemin alkalinitesi yükseltilmiştir. Tampon çözelti ilavesi ile pH önce artmış daha sonra yine düşmeye başlamıştır. Daha sonra ikinci bir sodyum bikarbonat ilavesi ile pH değeri çalışma süresince 7.5 civarlarında seyretmiştir.

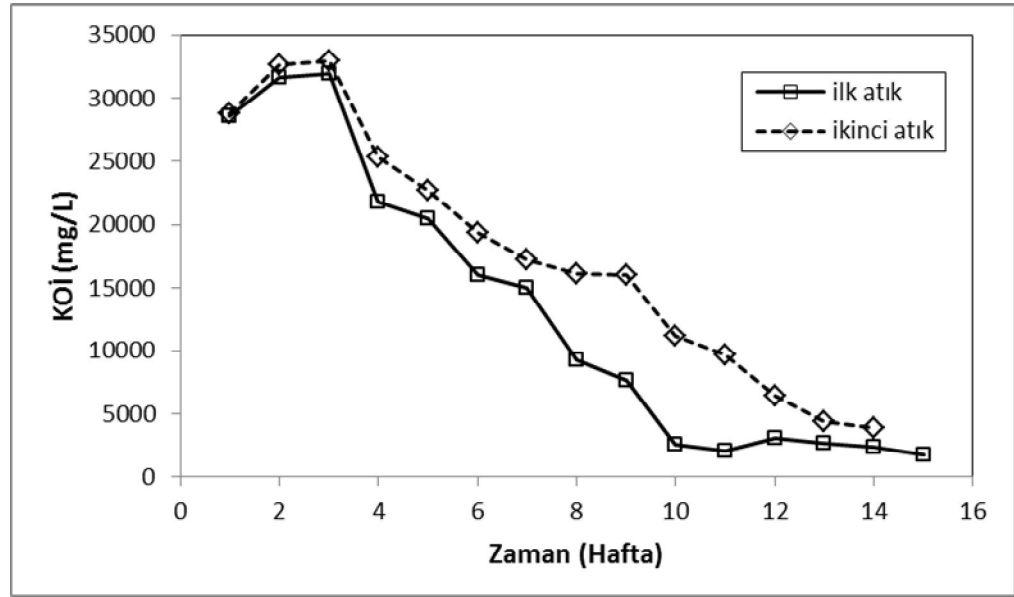


Şekil 6.1. Sızıntı suyu pH değerinin zamanla değişimi.

## 6.2 Sızıntı Suyundaki Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Değişimleri

Sızıntı suyundaki kimyasal oksijen ihtiyacı atığın parçalanması sonucu oluşmaktadır. Bu durum, atıksu arıtma proseslerinde ve deponi sahalarında organik materyalin dönüşüm proseslerinin oluşumuyla aynıdır.

İlk atığın başlangıç KOİ konsantrasyonu, 28560 mg/L olarak bulunmuştur. Daha sonra KOİ konsantrasyonu hızlı bir şekilde 31920 mg/L' ye yükselmiştir (Şekil 6.2). Bu artış, katı atıktaki kompleks organiklerin hidrolizi ile sızıntı suyuna geçmeleri ile açıklanabilir. 3. haftadan sonra KOİ değerleri düşmeye başlamıştır. KOİ değerlerinde gözlenen bu azalmanın nedeni, sistemde artan alkalinite ile uçucu organik asitlerin oluşumunun önlenmesinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla; anaerobik biyoreaktörde yüksek KOİ değerleri metana dönüşerek arıtılmaktadır. Çalışma sonunda ise KOİ 1707 mg/L olarak ölçülmüştür. İkinci atık için ise sızıntı suyu başlangıç KOİ değeri, 28750 mg/L olarak ölçülmüş ve 3. haftada 32940 mg/L' ye çıkmıştır. 14. haftada KOİ 4380 mg/L olarak ölçülmüş ve grafiğe eklenmiştir. Sistem halen çalıştığından ölçümler 14. haftaya kadar verilmiştir.

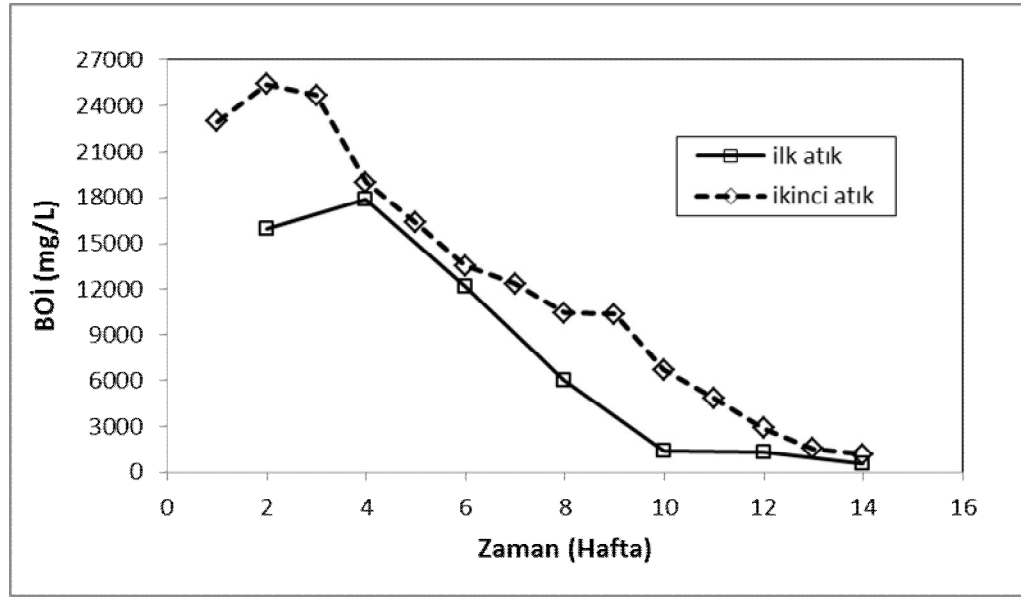


Şekil 6.2. Sızıntı Suyu KOİ Sonuçları

### 6.3 Sızıntı Suyundaki Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) Değişimleri

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, BOİ konsantrasyonları, KOİ konsantrasyonu azalması ile benzer bir gidişat göstermiştir.

İlk atık için başlangıç BOİ konsantrasyonu 16000 mg/L olarak ölçülmüş, birkaç hafta içinde organik materyalin hidrolizi ile 17900 mg/L' ye ulaşmıştır. Maksimum konsantrasyona ulaştıktan sonra, mikroorganizmaların organik maddeleri kullanımının artışının bir sonucu olarak azalış trendi gözlemlenmiş ve çalışma sonunda 550 mg/L olarak ölçülmüştür. İkinci atık için ise ilk BOİ konsantrasyonu 17250 mg/L olmakla birlikte ilk haftalardaki artış ile birlikte 19764 mg/L' ye ulaşmıştır. Şekil 6.3' e eklenen 14. haftada ise değer 1170 mg/L olarak görülmektedir.



Şekil 6.3. Sızıntı Suyu BOİ Sonuçları

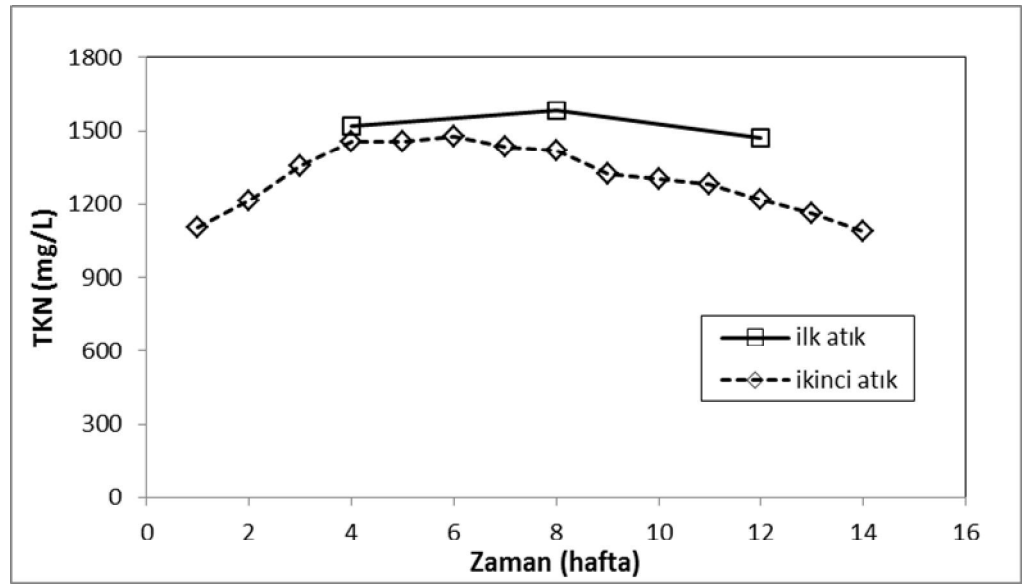
Sızıntı suyundaki biyolojik olarak parçalanabilen organik karbonu daha ayrıntılı incelemek için BOİ/KOİ oranı dikkate alınmıştır. BOİ/KOİ oranı sızıntı suyunda bulunan biyolojik parçalanabilen bileşimlerin miktarındaki değişimini göstermektedir. Bu oranın 0,02-0,13 arasında olması atığın biyolojik bozunurluğunun çok düşük olduğunu gösterir. Çalışma sonucunda ilk atığın BOİ konsantrasyon azalması %96.56 ve ikinci atığın BOİ konsantrasyon azalması %94.91 görülmektedir. Sonuçta ilk atıkta 0.5 ile başlayıp 0.8' in üzerine çıktıktan sonra 0.23' e düşen BOİ/KOİ oranı, ikinci atıkta 0.8 ile başlayıp çalışma sonunda 0.3' e düşmüştür. Oranlardaki bu değişim bize organik atığın biyolojik arıtımının gerçekleştiğini işaret etmektedir.

#### 6.4 Sızıntı Suyundaki TKN ve $\text{NH}_3$ Konsantrasyonları

Su ve toprak kirliliğinde bir potansiyele sahip azot, sızıntı suyundaki önemli içeriklerden birisidir. Biyoreaktördeki azotun büyük bir kısmını protein ve aminoasitlerin parçalanması ile oluşan  $\text{NH}_3\text{-N}$  oluşturmaktadır. Bazı araştırmacılar amonyağın, sızıntı suyundaki en belirgin uzun dönem içeriği olduğunu belirtmektedirler çünkü amonyak anaerobik koşullar altında stabildir.

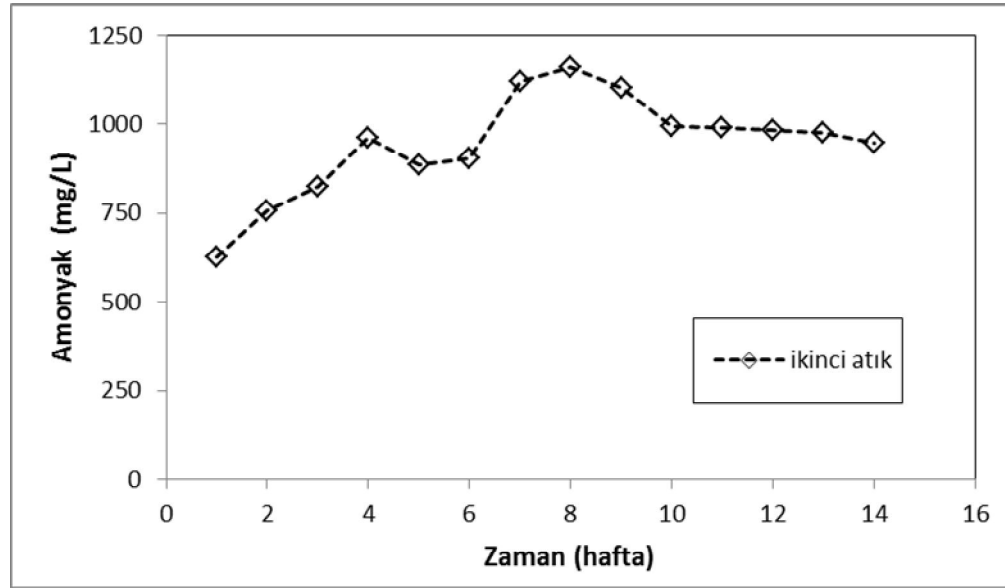
İlk atık için sızıntı suyu TKN ölçümleri ayda bir defa olmak üzere bakılmıştır. Başlangıç TKN konsantrasyonu 1520 mg/L olarak ölçülmüştür. Daha sonra bu değer

2. ay içerisinde 1584 mg/L'ye yükselmiştir. 3. ay içerisinde yapılan analizde ise TKN konsantrasyonu 1471 mg/L olarak kaydedilmiştir. Başlangıç tarihinden sonra TKN konsantrasyonunun az oranda artması, hammadde içerisindeki organik azotlu bileşiklerin ve proteinlerin parçalanması ile açıklanır. İkinci atık için TKN ölçümleri, ilk haftadan başlayarak her hafta yapılmış ve konsantrasyonları Şekil 6.4' teki grafikte görülmektedir. İkinci atığın başlangıçtaki TKN konsantrasyonu 1106 mg/L olmakla birlikte 6. haftada 1474 mg/L' ye çıktığı görülmekte, grafiğe eklenen 14. haftada ise bu değerin 1089,2 mg/L' ye düştüğü görülmektedir.



Şekil 6.4. Sızıntı Suyu TKN Konsantrasyonu Haftalık Değişimi

NH<sub>3</sub> konsantrasyonu yalnızca ikinci atık için ölçülmüştür. Başlangıç amonyak değeri 627.76 mg/L ölçülmüş olup, ikinci ayın sonunda 1160 mg/L' ye çıktığını ve 14. haftanın sonunda bu değerin 946.4 mg/L' ye düştüğü gözlenmiştir (Şekil 6.5)



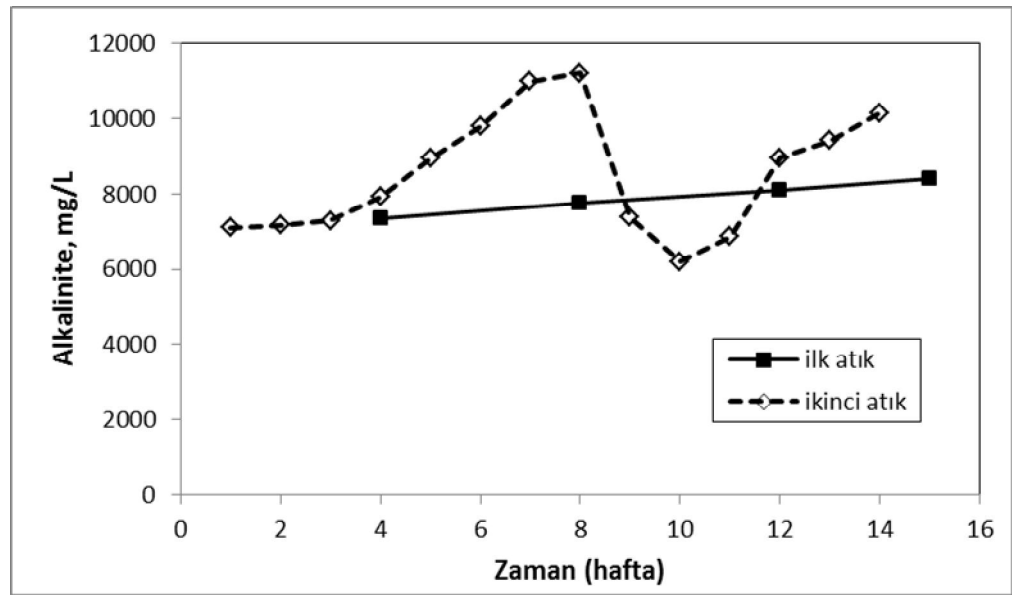
Şekil 6.5. Sızıntı Suyu  $\text{NH}_3$  Konsantrasyonu Haftalık Değişimi

## 6.5 Sızıntı Suyundaki Alkalinite Değişimleri

Alkalinite, sistemin, pH'ı istenen seviyelerin altına düşürme eğiliminde olan uçucu asitlerin etkilerini tamponlama kapasitesidir. Sızıntı suyundaki alkalinite, karbonatlar, bikarbonatlar, boratlar, amonyak, organik bileşikler, sülfidler ve fosfatlar yüzünden olmaktadır. Yeterli ve uygun alkalinite ya da tamponlama kapasitesi, optimum biyolojik aktivite için, biyoreaktördeki pH değerlerini stabil durumda tutabilmek için gereklidir.

Literatürde genel olarak anaerobik arıtmada toplam alkalinite için 1000-4000 mg/L seviyelerinin optimum olduğu söylenmektedir. Fakat katı atık arıtmalarında incelenen çeşitli araştırmalar sonucu daha yüksek değerler olabileceği görülmüştür. Pavan ve ark. (2000), evsel katı atık ve arıtma çamurunun birlikte termofilik anaerobik arıtımında 10000 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  civarında toplam alkaliniteye, Kayhanian ve Rich (1996) evsel katı atık ve arıtma çamurunun birlikte anaerobik arıtımı çalışmasında 13000-16500 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  aralığında alkaliniteye, Badawi ve ark. (1992) evsel katı atık, tarımsal atık ve bu iki atığın karışımının yerleştirildiği anaerobik reaktörlerde 10000-12000 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  toplam alkalinite değerlerine ulaşmışlardır. Bu değerler dikkate alındığında sızıntı suyunda ulaşılan alkalinite değerlerinin literatürle uyduğu ve sistemde yeterli alkalinitenin bulunduğu görülmektedir.

İlk atığın birinci aydaki alkalinite konsantrasyon değeri 7340 mg CaCO<sub>3</sub>/L olarak ölçülmüştür. 4. ayda ise bu değer 8410 mg CaCO<sub>3</sub>/L seviyesine ulaşmıştır. Dolayısıyla değerler nispeten sabit kalmaktadır. İkinci atık için alkalinite değerleri her hafta ölçülmüş, Şekil 6.6' da verilmiştir. İkinci atığın başlangıç alkalinite değeri 7105 mg CaCO<sub>3</sub>/L olup ilk atık ile benzerlik göstermektedir. Bu değer üçüncü ayda 11200 mg CaCO<sub>3</sub>/L' ye çıkmıştır. Fakat daha sonra grafikten de anlaşılabileceği gibi sistemde alkalinite eksikliği görüldüğünden sisteme tampon çözelti olarak sodyum bikarbonat ilave edilmiştir. Grafiğe son olarak eklenen 14. haftada alkalinitenin 10150 mg CaCO<sub>3</sub>/L' ye ulaştığı gözlenmektedir (Şekil 6.6).

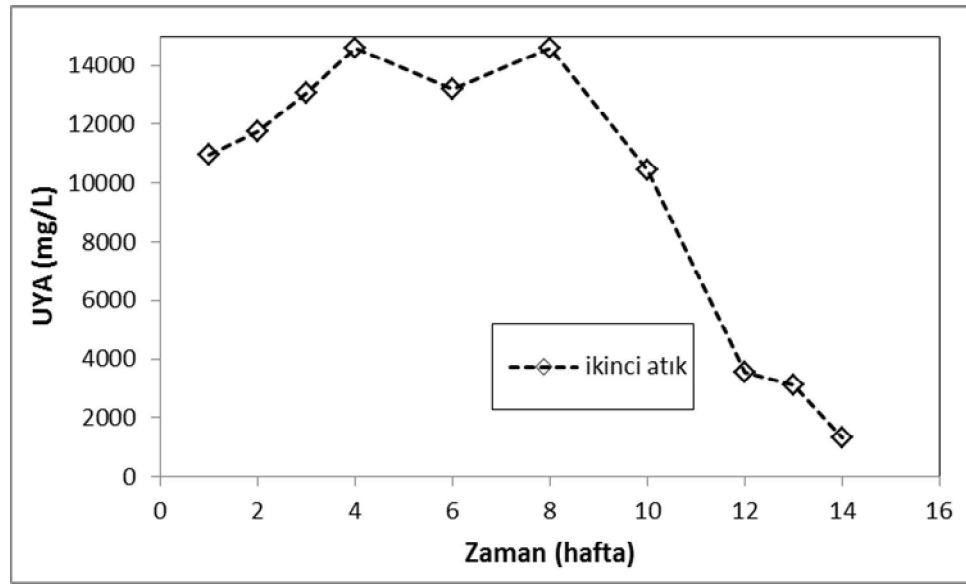


Şekil 6.6. Sızıntı Suyu Alkalinite Değişimi

## 6.6 Sızıntı Suyundaki Uçucu Yağ Asit Değişimi

Uçucu yağ asitleri atıkların organik fraksiyonlarının bozulma ve fermentasyon ürünleridir. UYA üretimi ve birikimi, deponi sahasında asit oluşumunun bir evresidir. Sızıntı suyunda uçucu yağ asitleri (UYA) izlenmesi anaerobik sistemlerin stabilitesini anlamak için oldukça önemlidir. UYA sadece ikinci atık için izlenmiştir. Şekil 6.7' den görülebileceği üzere, UYA, KOI ölçümleri gibi önce artmış, sonra azalmaya başlamıştır. Organik maddenin hızla parçalanmasının buna neden olduğu düşünülebilir.

İkinci atık için ölçülen uçucu yağ asitinin başlangıç değeri 10956 mg/L olarak ölçülmüştür. Bu değer hidroliz sonucu parçalanmış organik madde miktarına bağlı olarak artmış ve 4. hafta sonunda 14608 mg/L bulunmuştur. Sistemde yaşanan aksaklıklar nedeniyle uçucu yağ asiti konsantrasyonu bir müddet düşürülemedi. 12. haftaya gelindiğinde UYA konsantrasyonunda bir düşüş gözlenmekte ve grafiğe son olarak eklenen 14. haftada bu değer 1304 mg/L olduğu görülmektedir. UYA konsantrasyonu azalmaya devam etmektedir.



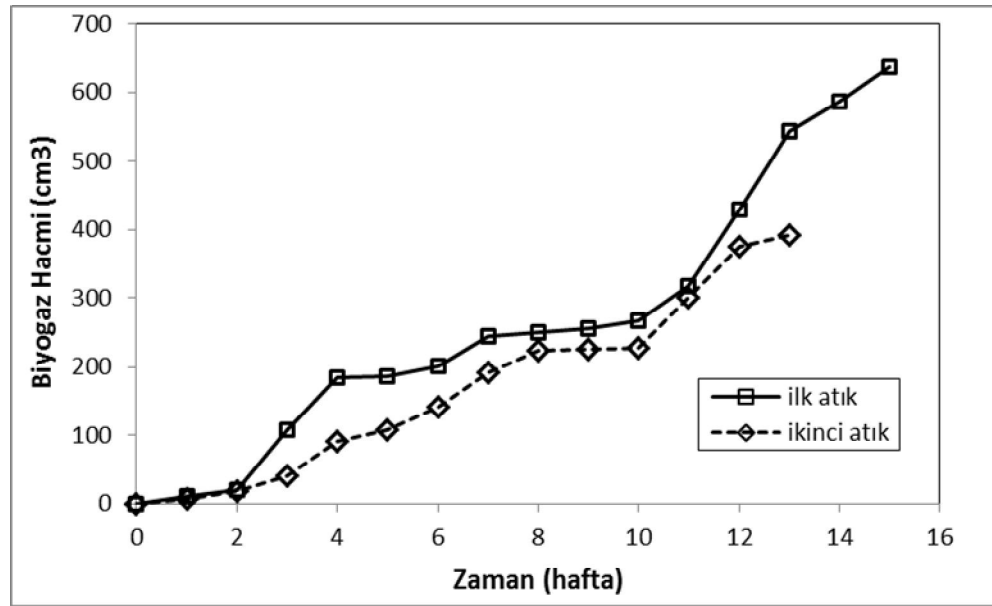
Şekil 6.7. Sızıntı Suyu Uçucu Yağ Asidi Değişimi

## 6.7 Biyoreaktördeki Biyogaz Üretimi

Başlangıçta reaktördeki organik maddeler hidrolize uğrar ve oluşan organik asitler gaz çıkışını engeller. Anaerobik bozunma aşamasında metanojenik bakteriler yavaşça görünmeye başlar ve gaz üretimi başlar. Fermantasyon aşamasının başlamasından sonra gaz üretim oranı önce en yüksek değerlerine ulaşır ve atık dönüşümünün ilerlemesiyle birlikte bu oran azalır.

Her gün gerçekleştirilen sızıntı suyu sirkülasyonu, ortamı homojenize ederek ve bakteri ve substrat arasında daha iyi bir temas sağlayarak mikrobiyal aktiviteyi yoğunlaştırmaktadır. Bu yüzden, sızıntı suyu sirkülasyonu sırasındaki gaz çıkışı en fazla olmaktadır. Reaktördeki gaz üretimi 24 saatte üretilen toplam gaz miktarını kaydederek günlük olarak ölçülmüştür. Kümülatif biyogaz üretim miktarları Şekil 6.8’ de verilmiştir. Başlangıç periyodunda, iki atık için de biyogaz hacimleri

beklenildiği gibi çok düşüktür. Hidrolizin sona ermeye başlamasıyla birlikte gaz miktarında artış olduğu gözlenmektedir. Reaktör ilk atık ile beslendiğinde 4. ay sonunda  $636.3 \text{ cm}^3$  biyogaz toplanmıştır. İkinci atıkta ise on dört haftalık periyotta ulaşılan toplam biyogaz miktarının  $392 \text{ cm}^3$  olduğu görülmektedir. İlk atığın 14 haftada ulaştığı toplam biyogaz miktarı ise  $586.2 \text{ cm}^3$  olarak ölçülmüştür. İkinci atık karışımı için sistem henüz sonlanmamıştır ancak bu aşamaya kadar izlenen periyot değerlendirildiğinde ilk atık karışımının biyogaz verimliliğinin daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 6.8. Kümülatif Biyogaz Değişimi (iç grafik birinci atık için haftalık gaz değişimini göstermektedir)

Literatüre göre, anaerobik şartlar altında gerçekleşen organik atıkların arıtılmasının metonejenez safhası sırasında başlıca üretilen gazların yaklaşık olarak %55-65' i metan ve %35-45' i karbon dioksittir (Christensen et al., 1996).

## 6.8 Kompost Sıcaklık Değişimleri

Anaerobik sistemler çoğunlukla mezofilik şartlarda çalıştırılırlar. Bakteriler sıcaklık değişimlerine karşı çok duyarlı olduklarından sıcaklığın değişken olmamasına dikkat edilir.

Kompost içeriğinin sıcaklık değişimini gözlemlemek için her gün düzenli olarak sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. İlk atık için başlangıçta mikrobiyal aktivitenin oluşumu ile sıcaklık yükselerek mezofilik ortama geçiş başlamış ve sıcaklık değerleri 37-40 °C arasında değişmiştir. İkinci atık için sıcaklık ortalama 36.5 °C olarak ölçülmüştür.

## 6.9 Kompost Ürünü ve Kalitesi

Kompost kalitesi, elde edilen kompostun toprak iyileştirici olarak kullanılabileceğinin gösterilmesidir. Bu sebeple birinci atıktan üretilen kompost kalitesinin göstergesi olarak ürünün pH; nem içeriği; organik madde içeriği; partikül boyutu ve ağır metal içeriği tayin edilerek ve bitki testleri yapılmıştır. Analizlerin doğruluğu için kompost homojen olarak karıştırılarak kompozit numune oluşturulmuş ve karakteristik özellikler belirlenerek Tablo 6.1’ de verilmiştir.

Tablo 6.1. Kompost Kalite Parametreleri

| Parametre                         | Kompost (Birinci atık için) |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| UKM, %                            | 42                          |
| Su Mutevası, %                    | 78                          |
| C, %                              | 24.29                       |
| N, %                              | 1.9                         |
| C/N                               | 12.78                       |
| TKN, g/kg                         | 21.48                       |
| pH                                | 8.76                        |
| Zn, mg/kg                         | 108                         |
| Fe, mg/kg                         | 2250                        |
| Mn, mg/kg                         | 58                          |
| Cu, mg/kg                         | 114                         |
| Ni, mg/kg                         | 16                          |
| Cr, mg/kg                         | 98                          |
| Cd, mg/kg                         | -                           |
| Pb, mg/kg                         | -                           |
| Hg, mg/kg                         | -                           |
| Fekal Koliform (CFU/g yaş numune) | 0                           |



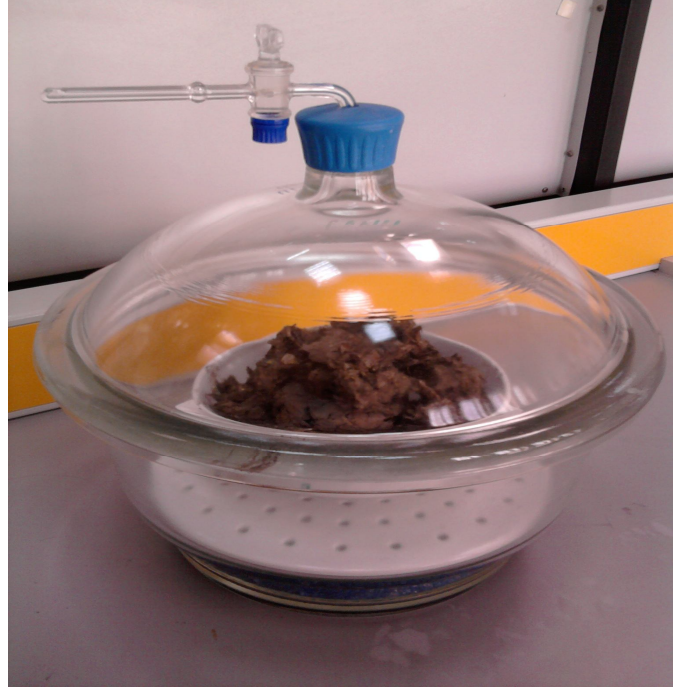
Şekil 6.9. Reaktörden Çıkan Kompost

C/N oranı kompostun stabilitesinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Bu oran birinci atığın kompost ürünü için 12.78 olarak hesaplanmıştır. Literatürde kompostun stabil hale geldiğini anlamamız için  $C/N_{(t)}/C/N_{(başlangıç)}$  oranının yaklaşık 0.4 olması istenmektedir. Bu tezde bu oran 0.34 olarak bulunmuştur. Kompost kalitesi kontrol edildikten sonra kompost numunesinin bitkilere olan etkisi roka bitkisi ile denenmiştir. Farklı oranlarda kompost ilave edilerek roka tohumu ekilmiş ve günlük gelişmeleri izlenmiştir.



Şekil 6.10. Ekilen Roka Tohumları

Öncelikle 105 °C etüvden çıkartılan kompost, ev tipli mutfak robotunda parçalanmıştır.



Şekil 6.11. 105 °C Etüvden Çıkan Kompost



Şekil 6.12. Kompostun Ev Tipli Mutfak Robotu İle Parçalanması

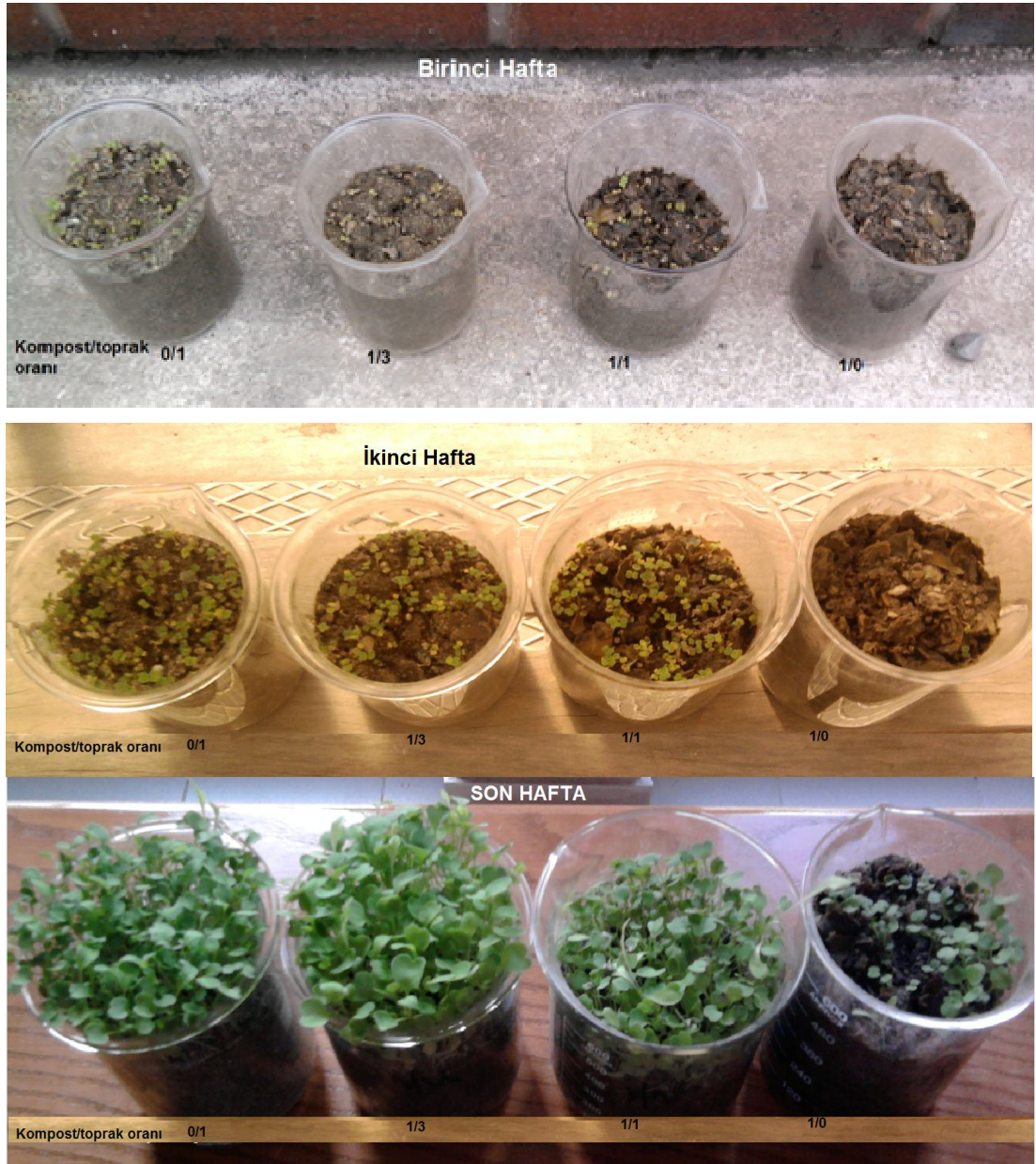


Şekil 6.13. Roka Ekimi İçin Kullanılan Kompost (Parçalanmış Olan Sağ Tarafta)

Daha sonra farklı oranlarda verimsiz toprakla karıştırılıp roka ekimi gerçekleştirilmiştir. Her bir erlene ekilen roka miktarı eşit olup 0.8 g dır. Rokalar musluk suyu ile sulanarak güneş gören bir ortamda gözlenmiştir.

Tablo 6.2. Bitki Ekimi İçin Kullanılan Kompost-Toprak Oranı

| Kompost/Toprak Oranı | Kompost Miktarı | Verimsiz Toprak Miktarı |
|----------------------|-----------------|-------------------------|
| 0/1                  | -               | 500 mL                  |
| 1/3                  | 125 mL          | 375 mL                  |
| 1/1                  | 250 mL          | 250 mL                  |
| 1/0                  | 500 mL          | -                       |



Şekil 6.14. Kompostun Bitki Uygulamaları

Birinci Hafta: Verimsiz topraktaki roka tohumlarının diğerlerine göre daha çabuk filiz verdiği gözlemlenmiştir. Burada bulunan boşluk ile tohumların oksijen ile daha çabuk buluştuğu düşünülmektedir. Birinci haftanın sonuna doğru yalnız kompost bulunan erlen hariç diğerlerinde roka filizleri görülmüştür.

İkinci Hafta: Roka filizleri büyüdükçe roka için en verimli kompost oranının 1/3 olduğu gözlenmeye başlamıştır. Verimsiz topraktaki filizler büyümekte fakat kompost bulunan erlendeki filizlerin çok daha canlı, renkli ve hoş kokulu oldukları görülmüştür.

Son Hafta: Son hafta büyüyen rokalarımızı incelediğimizde ise kompost/toprak oranının 1/3 olması gerektiği görülmüştür. Çünkü sadece kompost bulunan erlende ekilen tohumların çoğunun büyüyemediği, sadece toprak bulunan erlende olan rokaların gövdelerinin çok cılız ve besin aradığından köklerinin çok uzun, yapraklarının ise cansız olduğu gözlenmiştir. Kompost/toprak oranının 1/3 olduğu erlen incelendiğinde ise, rokaların en verimli şekilde büyüdüğü görülmüştür.

Şekil 6.15' de kompost konulmayan erlendeki rokaların köklerinin besin aramak için ne kadar uzadıklarını göstermektedir. Oysa sadece kompost koyduğumuz erlende durum çok farklıdır. Orada çıkan filizlerin kökleri seçilemeyecek kadar kısa, yaprakları hepsinden daha koyu yeşil ve daha hoş kokuludurlar. Kompost uygulamasının roka bitkisi için en uygun oranın 1/3 olduğu deneylerimizde bulunmuştur.



Şekil 6.15. Kompost/Toprak Oranı 0/1 Olan Erlendeki Köklerin Durumu.

## 7. SONUÇ

Dünyadaki nüfus artışı ve gelişen teknolojiye bağlı olarak artan katı atık miktarı, çoğunlukla tercih edilen katı atık bertaraf metodu olan düzenli depolama yönteminin artık kontrol altına alınmasını gerektirmektedir. Avrupa ülkelerinde deponi sahalarına giden katı atık miktarını azaltmak için çalışmalar başlamıştır. Bu çalışmalardan biri, organik katı atıklar için farklı bertaraf metodlarının seçilmesini sağlayabilmektir. Aynı zamanda dünyada hızla artan enerji ihtiyacı, katı atıkların stabilizasyonu sırasında metan üretiminin gerçekleştirilmesinin atık bertarafının gerekliliklerinden biri haline geldiğini göstermektedir.

Tüm bunlar düşünülerek sızıntı suyu geri devirli olarak işletilen deponi sahalarında anaerobik ayrışma süreçlerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli yapılan bu çalışmada, organik içeriği yüksek katı atıkların anaerobik olarak işletilen reaktörde kompostlaştırılmasının yanı sıra elde edilen kümülatif metan gazı miktarı incelenmiştir. Reaktör, 3 farklı atık karışımı ile beslenmiş, yemek atıkları ve talaş ile karıştırılan ikinci deneme başarısızlık ile sonuçlandığından analiz sonuçları grafiklere eklenmemiştir. Birinci ve ikinci denemelerde meydana gelen sızıntı sularında pH, alkalinite, KOİ, BOİ, TKN, NH<sub>3</sub>, UYA parametreleri izlenmiş, kümülatif biyogaz hacmi ise sürekli kontrol edilmiştir. Birinci atık karışımına % 60 arıtma çamuru ve ekstra C/N kaynağı olarak gazete kağıdı eklenmiş, sistem 15 hafta çalıştırılmıştır. İkinci atık karışımında ise çiğ sebze atık karışımı içeriğinin değişiminin yanında arıtma çamuru miktarı %25' e düşürülmüş ve ekstra C/N kaynağı olarak mukavva karton ilave edilmiştir. Analiz sonuçları 14 hafta sonunda grafiklere eklenerek ilk atık karışımı ile karşılaştırılmıştır (Sistem halen devam etmektedir).

İki atık karışımı analiz sonuçları ve ulaşılan kümülatif biyogaz hacmi incelendiğinde reaktöre beslenen atık karışımına ilave edilen çeşitli karbon kaynaklarının sisteme çok farklı etki yapmadıkları görülmektedir. İlk atık karışımında (ekstra karbon kaynağı: gazete kağıdı) C/N oranı 37.5, KOİ konsantrasyon azalması %94.02, BOİ konsantrasyon azalması %96.56 ve 636.3 cm<sup>3</sup> kümülatif biyogaz hacmi; ikinci atık karışımında (ekstra karbon kaynağı: mukavva karton) C/N oranı 26, KOİ konsantrasyon azalması %86.43, BOİ konsantrasyon azalması %94.91 ve 392 cm<sup>3</sup> kümülatif biyogaz hacmi gözlenmiştir. Oluşan toplam

biyogaz hacmindeki farklılığın ise karışıma eklenen biyolojik arıtma tesisi çamuru miktarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Sonuç olarak, çalışma organik içerikli katı atıkların anaerobik kompostlaştırılmasının atık stabilizasyonunda uygulanabilir bir proses olduğunu ve oluşan biyogazın metan içeriğine göre enerji elde edilmesi amacıyla kullanılabileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca ilk atıktan elde edilen kompost ile yapılan bitki testi sonuçlarına göre verimsiz olan topraklara kompost karıştırılarak kullanılmasının tarım için uygulanabilir olduğu ispat edilmiştir.

## KAYNAKLAR

Ağdağ N.O., Sponza T.D., 2005, Co-digestion of Industrial Sludge With Municipal Solid Wastes In Anaerobic Simulated Landfilling Reactors, *Process Biochemistry*, 40, 1871-1879.

Alvarez, M.J., 2003, Biomethanization of The Organic Fraction Of Municipal Solid Wastes, Iwa Publishing, London. 1-43.

Arıkan, B., 2008, Organik Evsel Katı Atıklardan Anaerobik Ortamda Biyogaz Üretiminin Verimliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Arıkan O.A., 2003, Farklı Tipte Organik Katı Atıkların Havalı ve Havasız Ortamlarda Komposta Dönüştürülmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Banegas V., Moreno L.J., Moreno I.J., Garcia C., Leon G., Hernandez T., 2007, Composting Anaerobic and Aerobic Sewage Sludges Using Two Proportions of Sawdust, *Science Direct, Waste Management*, 27, 1317-1327.

Badawi, M.A., Blanc, F.C., Wise, D.L., El-shinnawi, M.M., Abo-Elnaga, S.A. and El-Shimi, S.A., 1992. Anaerobic treatment with methane recovery of agricultural and village wastes, *Resources, Conservation and Recycling*, 7, 305-323.

Balaban, Ü., 2009. Yemekhane Atıklarının Anaerobik Arıtma Kinetiği, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Björnsson, L., 2000. Intensification of the Biogas Process by Improved Process Monitoring and Biomass Retention. Doctoral Dissertation, Department of Biotechnology, Lund University, İsveç.

Brifing, 2008, Pyrolysis, gasification and plasma, Friends of the Earth, [www.foe.co.uk/resource/briefings/autoclaving.pdf](http://www.foe.co.uk/resource/briefings/autoclaving.pdf).

Briski F., Gomzi Z., Horgas N., Vukovic M., 2003, Aerobic Composting of Tobacco Solid Waste, *Acta Chim Slov.*, 50, 715-729.

Christensen, T.H., Kjeldsen, P.A., Lindhardt, B., 1996. Gas Generating Processes in Landfills. In Christensen, T.H. Cossu, R. and Stegman, R. (Eds), Landfilling of Waste: Biogas, E and FN Spon, London. UK.

Çelik, E., Bahçeci, İ., Yılmaz, V. ve Külçü, R., 2004, Katı Atıkların Biyolojik Yöntemlerle Bertarafında Türk Çevre Mevzuatının AB Mevzuatı ile Karşılaştırılması. Katı Atık ve Çevre, 54: 15–21.

Daskalopoulos, E., Badr, O., Probert, S.D., 1997a, “Economic and Environmental Evaluations of Waste Treatment and Disposal Technologies for Municipal Solid Waste”, Applied Energy, 58:4: 209-255.

Daskalopoulos, E., Badr, O., Probert, S.D., 1997b, “An Integrated Approach to Municipal Solid Waste Management”, Resources, Conservation and Recycling, 24: 33-50.

Dearman B., Bentham H. R., 2007, Anaerobic Digestion of Food Waste: Comparing Leachate Exchange Rates in Sequential Batch Systems Digesting Food Waste and Biosolids, Science Direct, Waste Management, 27, 1792-1799.

Dewil, R., Appels, R., Baeyens, J., Degreve, J., 2007. Peroxidation Enhances The Biogas Production in the Anaerobic Digestion of Biosolids. Journal of Hazardous Materials, 146: 577–581.

Dölgen, D., Küçükgül, O. ve Alparslan, M. N., 2003. Kentsel Uzaklaştırma Alternatiflerinin Ekonomik Analizi: İzmir Örneği. Katı Atık ve Çevre, 52: 3–10.

Edgü, Y., Atabarut, T., 2004. Erzurum Şehri Katı Atık Yönetimi ve Erzurum Katı Atık Belediyeler Hizmet Birliği. Katı Atık ve Çevre, 54: 23–28.

Elango, D., Pulikesi M., Baskaralingam, P., Ramamurthi, V., Sivanesan, S., 2006. Production of Biogas from Municipal Solid Waste with Domestic Sewage. Journal of Hazardous Materials, 141: 301–304.

G., Theisen H., Vıgıl S.A., 1993, Integrated Solid Waste Management, Mc-Graw-Hill, International Editions, Civil Engineering Series.

Ghassemi, A., 2005, Handbook Of Pollution Control And Waste Minimization, Marcel Derker, Inc., New York: 37.

Gökçay, C., Duran, M., Demirer, G., 2001. Anaerobik Biyoteknoloji Teorik Altyapı ve Uygulamalar Eğitim Semineri Notları, 7–10 Kasım, İçel.

Hilton, B. L., Oleszkiewicz, J. A., 1988, Sulphide-induced inhibition of anaerobic digestion, J. Environ. Engin. 114, 1377–1391.

Hwu C.S. ve Lettinga, G., 1997, Acute Toxicity of Oleate to Acetate-Utilizing Methanogens in Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Sludges. Enzyme and Microbial Technology, 21: 297–301.

IEA Renewables for Power Generation, 2003, OECD/IEA Publications, p: 118.

Igoni A. H., Ayotamuno, M.J., Eze C.L., Ogaji, S.O.T., Probert, S.D., 2008. Designs of Anaerobic Digesters for Producing Biogas from Municipal Solid-Waste. Applied Energy, 85: 430–438.

İleri, R., 2000. Çevre Biyoteknolojisi. Değişim yayımları, Adapazarı, 661s.

Juanga, J.P., 2005, Optimizing Dry Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste, Asian Institute of Technology, Thailand, 170s.

Karri, S., Reyes S.A. VE Field, J.A., 2006, Toxicity of Copper to Acetoclastic and Hydrogenotrophic Activities of Methanogens and Sulfate Reducers in Anaerobic Sludge. Chemosphere, 62: 121–127.

Kayhanian, M. And Rich, D., 1996. Sludge management using the biodegradable organic fraction of municipal solid waste as a primary substrate, Water environment Research, 68(2), 240-252.

Keener, H.M., Elwell, D.L., Das, K., Hansen, R.C., (1997), “Specifying Design/Operation of Composting Systems Using Pilot Scale Data”, Applied Engineering in Agriculture, 13 (6), 767-772.

Korkut, N. E. ve Bayer Y., Organik Atıklardan Kompost ve Yenilenebilir Enerji Üretimi ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı, 43-49.

Koster, I.W., Rinzema, A. and Lettinga, G. (1986). Sulphide inhibition of the methanogenic activity of granular sludge at different pH levels. Water Research 12, 1561-1567.

Lastella G., Testa C., Cornacchia G., Notornicola M., Voltasio F., Sharma V. K., 2002, Anaerobic Digestion of Semi – Solid Organic Waste: Biogas Production and Its Purification. *Energy Conversion and Management*, 43: 63–75.

Mata-Alvarez, J., Viturtia, A., Llabres-Luengo, P., Cecchi, F., 1993: Anaerobic digestion of the Barcelona central market organic waste: experimental study, *Bioresour Technol.* 39, 39–48.

Meenambal T., Uma R.N., Saravannan S., 2003, Study on biodegradation of fruit waste aerobic composting, Department of Geography, University of Madras and Faculty of Environmental Studies, York University, Pages 441-450.

Metcalf & Eddy, 2003. *Wastewater Engineering*, Mc Graw Hill, New York, 1819s.

Mignone, N., A., 2005, Biological Inhibition / Toxicity Control in Municipal Anaerobic Digestion Facilities. *Journal Water Pollution Control Federation*, 37: 392–406.

Murphy D.J., Power M. N., 2006, A Technical, Economic and Environmental Comparison of Composting and Anaerobic Digestion of Biodegradable Municipal Waste, *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 41, 865-879.

Nag, A., Vizayakumar K., 2005, *Environmental Education and Solid Waste Management*, New Age International (P) Ltd. Publishers: 12-43.

Ostrem, K., 2004. *Greening Waste: Anaerobic Digestion for Treating The Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*. Earth Engineering Center Colombia University, 59s.

Özkaya, D., Demir, A., 1993, *Kompost Teknolojileri ve Uygulama Örnekleri*, ORAK2010(Organik Atıklardan Kompost ve Yenilenebilir Enerji Üretimi & Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı) Bildiriler Kitabı, İstanbul-Türkiye, (2010) sf: 15-26

Öztürk, İ., 1999, *Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları*. İTÜ İnşaat Fakültesi, 320s.

Öztürk, İ., 2000, *Anaerobik biyoteknoloji ve atık arıtımındaki uygulamaları*, İTÜ İnşaat Fak., Çevre Mühendisliği Bölümü, Su Vakfı Yayınları. İstanbul.

Öztürk, İ., 2007, Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları, Su Vakfı, İstanbul.

Öztürk M., Bildik B., 2005, Hayvan Çiftliklerinde Kompost Üretimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Pavan, P., Battistoni, P., Alvarez, J.,M. And Cecchi, F., 2000. Performance of thermophilic semi-dry anaerobic digestion process changing the feed biodegradability, Water Science and Technology, 41(3), 75-81.

Pichtel, J., 2005, Waste Management Practices/Municipal, Hazardous, and Industrial, Taylor&Francis, USA: 169;238;289-292.

Sezer, B., 2010, Organik Katı Atıkların Aktif Çamur İle Birlikte İki Kademeli Anaerobik Arıtımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Snowski, P., Wiczorek, A. ve Ledakowicz, S., 2003. Anaerobic Codigestion of Sewage Sludge and Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. Advances in Environmental Research, 7: 609–616.

Sorensen, B., 2004, Renewable Energy. Elsevier Science, Danimarka, 927s.

Speece, R.E., 1996, Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater, Archae Press, USA.

Şentürk, E., 2010, Patates İşleme Endüstrisi Atıksularının Anaerobik Tam Karışımli Kontakt Reaktörde Mezofilik ve Termofilik Şartlarda Arıtılabilirliğinin İncelenmesi ve Modellenmesi, Doktora Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.

Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H. D., 1991, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Metcalf&Eddy : 1505.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A., (1993), “Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues”, McGraw Hill, Inc., USA.

Tchobanoglous, G., Kreith F., 2002, “Handbook of Solid Waste-Second Eddition” McGraw Hill, Inc., USA.

Topçu, N., 2006, Lahana Atıklarının Kompostlanması ve Elde Edilen Kompostun Toprakta Parçalanma Süreci, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Tosun, İ., 2003, Gül İşleme Posasının Evsel Katı Atıklarla Birlikte Kompostlaşabilirliği, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tübitak, 2003, Vizyon 2023 Teknoloji Öngörü Projesi, Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli Raporu, Ankara.

Ubay, G., 1993. Evsel atıksuların havasız biyolojik arıtımı üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Van Haandel, A.C. ve Lettinga, G., 1994. Anaerobic Sewage Treatment. John Wiley & Sons, England, 226.

Varank, G., 2006, Aerobik Olarak Stabilize Edilmiş Katı Atıklar İle Kompost Ürününün Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Verma, S., 2002, Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes, Department of Earth & Environmental Engineering, 56s.

Walker L., Charles W., Cord-Ruwisch R., 2009, Comparison of Static, In-Vessel Composting of MSW With Thermophilic Anaerobic Digestion and Combinations of the Two Processes, Bioresource Technology, 100, 3799-3807.

Wheatley, A.D., 1991, Anaerobic digestion: industrial waste treatment. In Anaerobic Digestion, Wheatley, A.D. A Waste Treatment Technol. 171–223.

Widdel, F., 1988, Microbiology and ecology of sulphate-and sulfur-reducing bacteria. In Biology of anaerobic microorganisms. Zehnder A. J. B. (Ed.). Wiley, New York, 469–586.

Williams R. H., Larson E. D., Katofsky R. E., Chen J., 1995, Methanol and Hydrogen from Biomass for Transportation, Energy for Sustainable Development, Vol. 1, no. 5, pp: 18-34.

Zeikus, J.G., 1980. Microbial population in digesters, Proc. of first Int.Symp. on Anaerobic Digestion, Applied Science Pub. Ltd.

# YASEMİN ÇALIŞKAN

## Özgeçmiş

Mithatpaşa Mahallesi, Feza Sokak, No: 10, Adapazarı, 54100, Sakarya, Türkiye

Tel: +90(555)-576 3191

e-mail: [ycaliskan87@gmail.com](mailto:ycaliskan87@gmail.com)

## EĞİTİM

| Derece        | Bölüm              | Üniversite                       | Yıl       |
|---------------|--------------------|----------------------------------|-----------|
| Lisans        | ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ | SAKARYA ÜNİVERSİTESİ             | 2005-2009 |
| Yüksek Lisans | ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ | GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ | 2010-2013 |

### Yüksek Lisans Tez Konusu:

ORGANİK MADDE İÇEREN KATI ATIKLARIN ENERJİ ÜRETİMİ AMACIYLA ANAEROBİK KOMPOSTLAŞTIRILMASI

## ÇEVRE GÖREVLİSİ BELGESİ

TC Çevre ve Orman Bakanlığı (Önceki)

Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü

03.04.2011

## MESLEKİ DENEYİM

### Proje Asistanlığı

- Türkiye’de Avrupa Birliği Çevre Mevzuatına Uyumlu Tehlikeli Atık Yönetimi, TUBITAK Destekli, 109G266, 2009 – 2011.
- Organik Katı Atıkların Anaerobik Kompostlaştırılması ile Enerji Üretimi, TUBITAK Destekli, 111Y011, 2011 – 2012.

### Staj

| Firma                                              | Eğitim                                | Dönem                       |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| TUVASAŞ                                            | Auto-CAD Çizimi                       | Şubat, 2009 - Nisan, 2009   |
|                                                    | Tehlikeli Atık Yönetimi Kontrolü      |                             |
| ENKA POWER                                         | Emisyon Ölçümü Teknikleri             | Ağustos, 2008 - Eylül, 2008 |
|                                                    | Atıksu Arıtma Tesisi İşletimi         |                             |
| İSTANBUL SU VE KANALİZASYON İDARESİ (İSKİ) FERİKÖY | İçme Suyu Kalite Kontrol Laboratuvarı | Ağustos, 2007 - Eylül, 2007 |

## KAZANILAN SERTİFİKALAR

| Yer                      | Sertifika Adı                                       |
|--------------------------|-----------------------------------------------------|
| ABİGEM-Kocaeli           | ISO 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi           |
|                          | ISO 9001 Kalite Yönetimi ve Kalite Sistemi Eğitimi  |
|                          | Kalite İç Denetimi Eğitimi                          |
| TSE-Sakarya Üniversitesi | ISO 14001 Çevre Yönetimi Sistemi Eğitimi            |
|                          | Kalite Yönetim Sistemi İç Kalite Kontrol Eğitimi    |
|                          | ISO 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi           |
|                          | İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetimi İç Kontrol Eğitimi |

## KATILINILAN KURS VE SEMİNERLER

LAL Dil Okulu/Torbay-England, Intermediate Level, 2007.

Ulusal Katı Atık Yönetimi (UKAY) – Mersin Üniversitesi, 18-20 Eylül, 2010.

## YAYINLAR

Katı Atık Bertarafına Ekolojik Bir Yaklaşım: Kompost Üretimi, Yasemin Çalışkan, Mesut Tekbaş, Nihal Bektaş, Ekoloji Sempozyumu, Düzce Üniversitesi, 05-07 Mayıs, 2011.

Türkiye’de Avrupa Birliği Çevre Mevzuatına Uyumlu Tehlikeli Atık Yönetimi - Ara Raporlar, 2009-2011.

Metal Kaplama Endüstrisi için Tehlikeli Atık Yönetimi El Kitabı, 2011

Plastik Endüstrisi için Tehlikeli Atık Yönetimi El Kitabı, 2011

Türkiye’de Hurda Bakırdan İkincil Bakır Üretimi Sektöründen Kaynaklanan Tehlikeli Atıkların Tür Ve Miktarları, S. Öncel, G. Engin, N. Bektaş, H.C. Yatmaz, S. Bayar, M. Ince, L. Akbulut, Y. Çalışkan, N. Erdem, Ü. Yetiş, İTÜ XIII. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu EKK’ 12, 17-19 Ekim, 2012.

## KİŞİSEL YETERLİLİKLER

YABANCI DİL (İngilizce)

Dinleme: İyi  
Yazma: İyi  
Konuşma: Orta

ÜDS (Üniversiteler Arası Dil Sınavı) : 68.75 /100

BİLGİSAYAR

Microsoft Office 2007 : İyi  
Auto-CAD : İyi

## İLGİ ALANLARI

Takım çalışması, müzik dinlemek.