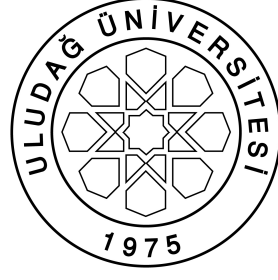


**HAYVANSAL ATIKLARIN VE ARITMA  
ÇAMURLARININ STABİLİZASYONUNDA  
KULLANILAN KOMPOSTLAMA VE ANAEROBİK  
ÇÜRÜTME PROSESLERİNİN VERİMLİLİKLERİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**FEHMİ İHSAN İNAN**



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAYVANSAL ATIKLARIN VE ARITMA ÇAMURLARININ  
STABİLİZASYONUNDA KULLANILAN KOMPOSTLAMA VE ANAEROBİK  
ÇÜRÜTME PROSESLERİNİN VERİMLİLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**FEHİMİ İHSAN İNAN**

Prof. Dr. Ufuk ALKAN

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2012

**Her Hakkı Saklıdır**

## **TEZ ONAYI**

Fehmi İhsan İnan tarafından hazırlanan “Hayvansal Atıkların ve Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonunda Kullanılan Kompostlama ve Anaerobik Çürütme Proseslerinin Verimliliklerinin Karşılaştırılması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman : Prof. Dr. Ufuk Alkan**

**Başkan : Prof. Dr. Ufuk Alkan**

İmza

Uludağ Ü. Mühendislik/Mimarlık Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye : Prof. Dr. Hüseyin S. Başkaya**

İmza

Uludağ Ü. Mühendislik/Mimarlık Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye : Vahap Katkat**

İmza

Uludağ Ü. Ziraat Fakültesi,  
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Kadri ARSLAN**

**Enstitü Müdürü**

.../.../....

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**19/06/2012**

**İmza**

**Fehmi İhsan İnan**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### HAYVANSAL ATIKLARIN VE ARITMA ÇAMURLARININ STABİLİZASYONUNDA KULLANILAN KOMPOSTLAMA VE ANAEROBİK ÇÜRÜTME PROSESLERİNİN VERİMLİLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

**Fehmi İhsan İNAN**

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Ufuk ALKAN

Ülkemizde, enerji bakımından dışa bağımlılık, çiftçilerin daha çok ürün elde edebilmesi için kaliteli ve zararsız gübre ihtiyacı, hayvansal atıkların ve arıtma çamurlarının stabilize edilememesi gibi sorunlardan dolayı kompostlama ve anaerobik çürütme proseslerinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada, belirtilen sorunların giderilmesinde kullanılan yöntemlerden ikisi olan kompostlama ve anaerobik çürütme proseslerinin karşılaştırılmasıyla bu iki proses arasında tercih yapacak yetkililere yol göstermek amaçlanmıştır. Bu çalışma proseslerin patojen giderimi, gübre kalitesi ve tarımdaki verimleri, çevresel etkileri, maliyet, Türkiye ve dünyadaki uygulamaları ve yasal düzenlemeleri açısından karşılaştırılmalarını kapsar.

Literatür araştırmaları sonucunda mezofilik anaerobik çürütücülerin patojen giderimi bakımından çoğunlukla yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Bu durumda tesise bir hijyenizasyon prosesi dahil edilmelidir. Termofilik anaerobik çürütücüler ile kompostlama proseslerinde ise patojen giderimi genellikle standartlara uygun şekilde gerçekleşmektedir.

Kompost ve biyogübrenin tarımdaki verimlilikleri üzerine yapılan literatür araştırmasında sınırlı verilere dayanarak kompost ve biyogübre için benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Her iki ürün de birçok durumda mineral gübreden veya yaş gübreden daha tercih edilebilirdir.

Arazi maliyetleri de söz konusu olduğunda kompost tesislerinin daha fazla alan ihtiyacı olması ve ilk yatırım maliyetlerinin de anaerobik çürütme tesislerinin ilk yatırım maliyetlerine göre daha yüksek olması beklenir. Arazinin kişi veya kuruluşa ait olduğu durumlarda ise reaktör içerisinde gerçekleştirilen kompost prosesleri hariç anaerobik proseslere göre daha ilkel olan yığın kompost proseslerinin ilk yatırım maliyetleri daha düşük olacaktır. Ayrıca anaerobik çürütme ile elde edilen biyogazı elektrik enerjisine çevirdikten sonra devlete satmak veya ısıtma amaçlı kullanmak mümkündür.

Ülkemizdeki yasal düzenlemeler, diğer ülkelerin yasal düzenlemeleri ile karşılaştırıldığında, prosesler kurulurken ilgili kurum veya kişilere daha çok teşvik verilmesi gerektiği söylenebilir. Ayrıca gübreler için kalite standartları oluşturması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** anaerobik çürütme, kompost, arıtma çamuru, hayvansal atıklar, gübre, verim, karşılaştırma

**2012, xiv + 220 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

**Fehmi Ihsan INAN**

### COMPARISON OF THE EFFICIENCIES OF COMPOSTING AND ANAEROBIC DIGESTION PROCESSES USED FOR THE STABILIZATION OF SEWAGE SLUDGES AND ANIMAL WASTES

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Ufuk ALKAN

In our country, the significance of anaerobic digestion and compost increase day after day due to problems such as dependence on foreign countries for energy; requiring better and harmless fertilizer which has better quality to increase yield for farmers; and no stabilization of manure and sludges. In this study, compost and anaerobic digestion processes, which are used to solve this problem, are compared, aiming to guide authorized persons. This study includes comparisons of the processes in terms of pathogen removal, fertilizer quality and efficiency on farm, environmental impacts, costs, applications and regulations in the world and Turkey.

As a result of literature researches, it is observed that mesophilic anaerobic digestion systems are often not sufficient in terms of pathogen removal. In this situation, it's necessary to add a hygenization process to the facility.

Also pathogen removal on termophilic anaerobic digestion systems and composting processes are mostly suitable for the regulations.

Referring to the limited researches on biofertilizer and compost efficiencies on farms, It's observed that compost and biofertilizer are similar crop yields on farms. Both the products are more preferable than mineral fertilizers or manure in most situations.

If land costs include to the processes, compost systems need more place than anaerobic processes; therefore, capital costs of composting facilities are expected to be more expensive than anaerobic facilities. Provided that the land belongs to a person or a foundation, compost systems which are more primitive than anaerobic processes (except for reactor compost) are more economical than anaerobic processes in terms of initiation costs. In addition, it's possible to sell biogas which is produced by anaerobic processes to the government after converting to electricity energy or used for heating purposes.

Comparing our national regulations and those of other countries, it is possible to say that our country needs to give out subsidies to the authorized people and/or foundations during process establishment. In addition to that, some quality standards must be established for fertilizers.

**Key Words:** anaerobic digestion, compost, sludge, manure, fertilizer, efficiency, comparison

**2012, xiv + 220 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında emeği geçen ve bu uzun tezi defalarca okumak zorunda kalan danışman hocam Prof. Dr. Ufuk ALKAN'a, tez hakkında fikir alış verişi yaptığım ve diğer bazı konularda bana yardımcı olan arkadaşım Abdullah ÇATALTAŐ'a, sevgili Araç. Gör. Özge SIVRİOğLU'na, kaynak sağlamamda yardımcı olan ve görüşleriyle bana fikir veren Serkan ANACAK'a, tez savunma sunumu aşamasında bana destek olan arkadaşım Yasin BAYRAKTAR'a ve tez yazımı süresince kaprislerimi çeken aileme bir teőekkürü borç bilirim.

Fehmi İhsan İNAN

19.06.2012

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. HAYVANSAL ATIKLARIN VE ARITMA ÇAMURLARININ KOMPOSTLANMASI VE ANAEROBİK ÇÜRÜTÜLMESİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>3</b>
2.1. Kompostlama Hakkında Genel Bilgiler.....	3
2.1.1. Kompostun tanımı .....	3
2.1.2. Kompostun amaçları ve faydaları.....	4
2.1.3. Kompostun tarihçesi .....	7
2.1.4. Kompostlamanın mekanizması .....	9
2.1.5. Kompost mikrobiyolojisi .....	13
2.1.6. Kompostlama metotları.....	26
2.1.7. Anaerobik kompostlama .....	31
2.2. Anaerobik Çürütme Prosesi Hakkında Genel Bilgiler.....	33
2.2.1. Anaerobik çürütmenin tanımı.....	33
2.2.2. Anaerobik çürütmenin amaçları ve faydaları.....	33
2.2.3. Anaerobik çürütmenin tarihçesi .....	35
2.2.4. Anaerobik çürütmenin mekanizması .....	36
2.2.5. Anaerobik çürütme mikrobiyolojisi.....	38
2.2.6. Anaerobik reaktör tipleri.....	49
2.2.7. Anaerobik reaktör tasarım kriterleri .....	55
2.3. Hayvansal Atıkların Miktar ve Özellikleri.....	57



2.3.1.	Hayvansal atıkların miktarları.....	57
2.3.2.	Hayvansal atıkların özellikleri.....	59
2.4.	Aritma Çamurlarının Kaynakları, Miktar ve Özellikleri .....	62
2.4.1.	Aritma çamurlarının kaynakları .....	62
2.4.2.	Aritma çamurlarının miktar ve özellikleri .....	63
<b>3.</b>	<b>KOMPOSTLAMA VE ANAEROBİK ÇÜRÜTME İLE PATOJEN GİDERİMİ.....</b>	<b>73</b>
3.1.	Hayvansal Atıklarda ve Aritma Çamurlarında Bulunan Patojen Mikroorganizmalar.....	73
3.2.	Kompostlama ile Patojen Giderimi.....	77
3.3.	Anaerobik Çürütme ile Patojen Giderimi.....	82
3.4.	Anaerobik Çürütmenin Yetersiz Kaldığı Durumlarda Patojen Giderimi için Alternatif Prosesler.....	86
3.4.1.	Hijyenizasyon.....	87
3.4.2.	Termal hidroliz.....	88
3.4.3.	Mikrodalga yöntemi.....	88
3.4.4.	Termal kurutma .....	89
3.4.5.	Alkali stabilizasyon .....	89
3.4.6.	Solar kurutma .....	90
3.5.	Bölüm Değerlendirmesi.....	92
<b>4.</b>	<b>KOMPOSTLAMA VE ANAEROBİK ÇÜRÜTME TEKNOLOJİLERİ İLE ÜRETİLEN ÜRÜNLER, BU ÜRÜNLERİN KARAKTERİSTİKLERİ VE TARIMSAL UYGULAMALARI.....</b>	<b>94</b>
4.1.	Kompostun Karakteristiği.....	94
4.2.	Kompostun Tarım Uygulamaları.....	96
4.3.	Biyogübre (Anaerobik Çürütme ile Elde Edilen Gübre) ve Biyogübrenin Besi Maddesi Kalitesi.....	99
4.3.1.	Biyogübrenin tanımı .....	99
4.3.2.	Biyogübrenin karakteristiği.....	100
4.4.	Biyogübrenin Tarım Uygulamaları.....	103
4.5.	Biyogaz .....	108

4.6.	Bölüm Değerlendirmesi .....	113
<b>5.</b>	<b>MALİYET DEĞERLENDİRMESİ .....</b>	<b>115</b>
5.1.	Kompost Tesisi Maliyetlerinin İncelenmesi .....	115
5.1.1.	İlk yatırım maliyeti .....	116
5.1.2.	İşletme gelirleri.....	117
5.1.3.	İşletme giderleri.....	118
5.1.4.	Kompost tesisleri fizibilite analizi.....	119
5.2.	Anaerobik Çürütme Tesisi Maliyetlerinin İncelenmesi.....	120
5.2.1.	İlk yatırım maliyeti.....	121
5.2.2.	İşletme gelirleri.....	125
5.2.3.	İşletme giderleri.....	127
5.2.4.	Anaerobik çürütme tesisleri fizibilite analizi .....	129
5.3.	Belirli Kapasitedeki Reaktör Kompost ve Anaerobik Çürütme Proseslerinden Oluşan İki Örnek Tesis Maliyetlerinin Karşılaştırılması.....	130
5.3.1.	Bölgedeki atık miktarları .....	131
5.3.2.	Yapılması öngörülen örnek kompost ve anaerobik çürütme tesisleri Hakkında Teknik Bilgiler.....	132
5.3.3.	Örnek reaktör kompost tesisi maliyet incelemesi.....	134
5.3.4.	Örnek anaerobik çürütme tesisi maliyet incelemesi.....	137
5.4.	Bölüm Değerlendirmesi .....	142
<b>6.</b>	<b>ÇEVRESEL ETKİLER VE KÜRESEL ISINMA PROBLEMİ.....</b>	<b>145</b>
6.1.	Kompostlamannın Çevresel Etkileri.....	146
6.1.1.	Su kalitesi .....	146
6.1.2.	Hava kalitesi .....	150
6.1.3.	Koku.....	151
6.1.4.	Gürültü .....	152
6.1.5.	Vektörler .....	153
6.1.6.	Yangınlar .....	153
6.1.7.	Organik ve inorganik kirleticiler .....	154

6.2.	Anaerobik Çürütmenin Çevresel Etkileri.....	155
6.3.	Kompostlama ve Anaerobik Çürütme Teknolojilerinin Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması .....	157
6.4.	Bölüm Değerlendirmesi .....	163
<b>7.</b>	<b>TÜRKİYE’DEKİ VE DÜNYADAKİ UYGULAMALAR.....</b>	<b>165</b>
7.1.	Türkiye’de Kompostlama.....	165
7.2.	Türkiye’de Anaerobik Çürütme .....	166
7.3.	Avrupa ve Amerika’da Kompostlama .....	170
7.4.	Avrupa ve Amerika’da Anaerobik Çürütme .....	175
7.5.	Avrupa Birliği’nde Kompostlama ve Anaerobik Çürütme Teknolojilerinin Kullanımlarının Karşılaştırılması.....	182
7.6.	Bölüm Değerlendirmesi .....	183
<b>8.</b>	<b>TÜRKİYE’DE VE AVRUPA BİRLİĞİNDE KOMPOST VE ANAEROBİK ÇÜRÜTME İLE İLGİLİ YASAL DÜZENLEMELER.....</b>	<b>185</b>
8.1.	Türkiye’de Stabilize Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılması.....	185
8.2.	Türkiye’de Hayvansal Atıkların Tarımda Kullanılması .....	187
8.3.	Ülkemizde Kompost ile İlgili Diğer Yasal Düzenlemeler .....	190
8.4.	Ülkemizde Anaerobik Çürütme ile İlgili Diğer Yasal Düzenlemeler .....	192
8.5.	Avrupa Birliğinde Stabilize Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılması.....	194
8.6.	Avrupa Birliğinde Hayvansal Atıkların Tarımda Kullanılması .....	196
8.7.	Dünyada Kompost ile İlgili Diğer Yasal Düzenlemeler .....	197
8.8.	Dünyada Anaerobik Çürütme ile İlgili Diğer Yasal Düzenlemeler .....	201
8.9.	Bölüm Değerlendirmesi .....	202
<b>9.</b>	<b>SONUÇLAR.....</b>	<b>204</b>
<b>10.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>208</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>220</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
dBa	Desibel A
Hac	Uçucu yağ asidi
Kob (cfu)	Koloni oluşturma birimi.
Ks	Yarı doygunluk sabiti
$\mu_{max}$	maksimum spesifik büyüme oranı

### Avrupa Birliği Ülkeleri İçin Kullanılan Kısaltmalar

Kısaltma	Açıklama	Kısaltma	Açıklama	Kısaltma	Açıklama
AT	Avusturya	FI	Finlandiya	MT	Malta
BE	Belçika	FR	Fransa	NL	Hollanda
BG	Bulgaristan	GR	Yunanistan	PL	Polonya
	Kıbrıs Rum				
CY	Cumh.	HU	Macaristan	PT	Portekiz
CZ	Çek Cumhuriyeti	IE	İrlanda	RO	Romanya
DE	Almanya	IT	İtalya	SE	İsveç
DK	Danimarka	LT	Litvanya	SI	Slovenya
EE	Estonya	LU	Lüksemburg	SK	Slovakya
ES	İspanya	LV	Letonya	UK	İngiltere

### Tezde Yer Alan Diğer Önemli Kısaltmalar

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AÇ	Aktif Çamur
AgStar	Geri dönüşümün ve hayvansal atıklardan elde edilen metan gazının kullanımının tanıtımını sağlayan EPA'nın kurduğu gönüllü ve sosyal yardım programı programı.
ASAE	Amerikan Halkı Yönetim Ortaklığı (American Society of Association Executives)
ATT	Atık su arıtma tesisi
KM	Kuru madde
Mt	Milyon ton.
MUSD	Milyon Amerikan Doları
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
ÖÇÇ	Ön çökeltim çamuru
PJ	Petajoule
TKM	Toplam katı madde
TM	Taze madde
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
USD	Amerikan Doları

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Basitleştirilmiş kompostlama işlemi.....	10
Şekil 2.2 Kompostlama işleminin evreleri.....	11
Şekil 2.3 Alışlagelmiş kompostlama işleminde materyal akışı.....	12
Şekil 2.4 Kompostun zaman-sıcaklık ilişkisi.....	14
Şekil 2.5. Psikrofil, mezofilik ve termofilik mikroorganizmaların sıcaklık aralıkları ve üreme zamanları .....	15
Şekil 2.6 Kompostta zamana bağlı mikrobiyal komünite değişimi .....	16
Şekil 2.7 Kompostlama prosesi ile kapalı kompostlamadaki CO <sub>2</sub> ve sıcaklık gelişimi grafiği.....	25
Şekil 2.8 Sıralı yığın kompostlama metodu.....	27
Şekil 2.9 Pasif havalandırılmalı yığın metodu .....	28
Şekil 2.10 Havalandırılmalı statik yığın kompostlama metodu .....	29
Şekil 2.11 Reaktör kompostlama metodu .....	30
Şekil 2.12 Biyokütlenin anaerobik fermantasyonundaki evreler ve mikroorganizma grupları.....	37
Şekil 2.13 Siliyatlı protozoaların sayısı ile metan üretimi arasındaki ilişki.....	41
Şekil 2.14 Hidrojen üreten asetojenlerin aktiviteleri.....	43
Şekil 2.15 Kapalı lagün sisteminin şematik çizimi.....	50
Şekil 2.16 Tam karıştırmalı çürütücülerin şematik çizimi.....	51
Şekil 2.17 Piston akışlı reaktörlerin şematik çizimi.....	51
Şekil 2.18 Kontak reaktörlerin şematik çizimi.....	52
Şekil 2.19 Sabit film reaktörlerin şematik çizimi.....	53
Şekil 2.20 IBR reaktörlerin şematik çizimi.....	54
Şekil 2.21 Ardışık kesikli anaerobik reaktörün şematik çizimi ve Aşamaları.....	54
Şekil 2.22 Biyogaz tesisinin temel elemanları.....	55
Şekil 2.23 1 Ton KM içeren atık çamurun farklı işlem düzeylerindeki miktarları.....	64
Şekil 3.1 Tünel tipi kompost sırasında Enterococci türünün iki farklı test aygıtı ile inaktivasyonu.....	82
Şekil 5.1 Reaktör kompost resisi akım şeması .....	133
Şekil 5.2 Anaerobik çürütücülerde ton başına düşen ilk yatırım maliyeti.....	142
Şekil 6.1 Nemli maddelerden gelen sızıntı suyunu tutmak için örtülü depolama .....	147
Şekil 6.2 Kompost tabanı yüzeysel akış suyu arıtmak için çimle kaplanmış infiltrasyon alanı .....	149
Şekil 6.3 Toplama havuzunun tipik karakteristikleri .....	149
Şekil 6.4 Şehir/Tarım atık yönetiminden kaynaklanan CO <sub>2</sub> miktarları .....	158
Şekil 6.5 Yöntemlerin küresel ısınmaya etkisi .....	159
Şekil 6.6 Yöntemlerin asidifikasyona etkisi .....	160
Şekil 6.7 Yöntemlerin nütrient artışına etkisi .....	161

<b>Şekil 6.8</b> Yöntemlerin fotokimyasal oksidasyona etkisi .....	161
<b>Şekil 6.9</b> Düzenli depolama, yakma, kompostlama ve anaerobik çürütmenin çevreye olan toplam etkileri .....	162
<b>Şekil 7.1</b> Türkiye’de biyogaz üretimi .....	168
<b>Şekil 7.2</b> Türkiye’de 2010 yılı istatistikleri atıklardan enerji eldesi .....	169
<b>Şekil 7.3</b> EU27’de atık tiplerine göre üretilen kompost miktarları .....	174
<b>Şekil 7.4</b> Avrupa ülkelerinde kompost ve anaerobik çürütme prosesleri, işlenen atıklar .....	176
<b>Şekil 7.5</b> Almanya’daki anaerobik çürütücülerin sayıları .....	177
<b>Şekil 7.6</b> A.B.D.’de anaerobik çürütücü projelerinin yıllık sayıları .....	178
<b>Şekil 7.7</b> Avusturya Voralberg’te tepesi kauçuk membranla kaplı çiftlik tipi biyogaz tesisi .....	179
<b>Şekil 7.8</b> Danimarka’da biyogaz üretimi 2000-2009 (PJ/yıl) .....	180
<b>Şekil 7.9</b> Avrupada atıklardan enerji eldesi (2010) .....	181

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Kompostlanabilen ve kompostlanması uygun olmayan maddeler .....	6
Çizelge 2.2. Aerobik kompostlamada mikrobiyal popülasyon .....	14
Çizelge 2.3. Kompost prosesinde bulunan bakterilere genel bakış .....	18
Çizelge 2.3 (devam) Kompost prosesinde bulunan bakterilere genel bakış .....	19
Çizelge 2.4. Olgun kompost ile olgunlaşmamış kompostun karşılaştırılması.....	26
Çizelge 2.5. Çeşitli yakıtların ısı değerleri.....	38
maddelere göre sınıflandırılması .....	38
Çizelge 2.6. Anaerobik işlemlerde görev yapan bakterilerin dönüştürdüğü maddelere göre sınıflandırılması .....	40
Çizelge 2.7. Asidojen ve metanojen fazlarına ait kinetik katsayılar.....	43
Çizelge 2.8. Atığın kuru katı madde oranına göre reaktör tipi seçimi.....	57
Çizelge 2.9. Gübre ve üre birlikte hesaplanmış hayvansal atık miktarları.....	59
Çizelge 2.10. Hayvansal atıkların fiziksel özellikleri.....	60
Çizelge 2.11. Hayvansal atıkların özellikleri.....	60
Çizelge 2.12. Hayvansal atıkların organik ve besin elementleri açısından karakterizasyonu .....	61
Çizelge 2.13. ABD'deki arıtma çamuru üretimi .....	64
Çizelge 2.14. 2001 ve 2003 yıllarında Avrupa Birliği'nde çamur oluşumu .....	65
Çizelge 2.15. Farklı çamur tiplerinin bazı karakteristik özellikleri .....	68
Çizelge 2.16. Çeşitli proseslerden elde çamurun konsantrasyonları .....	69
Çizelge 2.17. Arıtılmamış (ham) ve çürümüş çamurun kimyasal bileşimi .....	71
Çizelge 2.18. Atık su arıtma çamurunun özellikleri -bileşimin %'si olarak-.....	72
Çizelge 3.1. İnsan ve hayvanlarda bağırsak kökenli patojenlerin yaygınlığı .....	73
Çizelge 3.2. Hayvan dışkıında bulunması muhtemel patojenler .....	75
Çizelge 3.3. Evsel atık su arıtma çamurunda bulunması muhtemel patojenler .....	76
Çizelge 3.4. İşlenmemiş evsel atık su çamurunda bulunan tipik mikroorganizma miktarları.....	76
Çizelge 3.5. Kompostlama metodu ile <i>Salmonella seftenberg</i> W775 giderimi.....	80
Çizelge 3.6. Kompostlamada yaygın olarak görülen patojen ve parazitlerin zamana ve sıcaklığa bağlı olarak yaşam süreleri.....	81
Çizelge 3.7. Bir biyogaz reaktöründe patojenlerin yaşam süreleri .....	85
Çizelge 3.8. Anaerobik çürütme sırasında parazit yumurtaların öldürülme oranları .....	86
Çizelge 3.9. Hayvansal Yan Ürünler Direktifi'ndeki anaerobik çürütme için minimum gereklilikler .....	87
Çizelge 4.1. Nihai kullanımına göre kompost kalite kılavuzu .....	95
Çizelge 4.2. Tamamlanmış komposttaki elementlerin konsantrasyonları .....	96
Çizelge 4.3. Farklı metotlarda mısır taneciklerinin verimi (kg/ha) .....	97
Çizelge 4.4. Mısırdaki gözlenen değerler (1999) .....	97
Çizelge 4.5. 2000-2006 yıllarında Tigray şehrinde 9 bitki üzerinde yapılan kompost denemeleri sonuçları .....	98
Çizelge 4.6. Sığır biyogübresinin besi maddesi içeriği .....	102
Çizelge 4.7. Anaerobik çürütme ile gübredeki nütrient değişimi.....	102
Çizelge 4.8. Hayvansal atıklardan elde edilen biyogübrenin ağır metal içeriği ve PAS 110 .....	103
Çizelge 4.9. Biyogübrenin bazı bitkiler üzerinde denemeleri.....	105

<b>Çizelge 4.10.</b> Biyogübrenin yer lahanası mahsül verimine etkisi.....	106
<b>Çizelge 4.11.</b> Biyogübrenin tekil soğandaki askorbik asit ve azot içeriğine etkisi .....	106
<b>Çizelge 4.12.</b> Gübre uygulamasıyla birlikte topraktaki fiziksel ve kimyasal değişimler .....	107
<b>Çizelge 4.13.</b> Çürütülmüş gübre ve kimyasal gübrenin bitki büyümesine etkileri.....	107
<b>Çizelge 4.14.</b> Biyogaz bileşimi .....	108
<b>Çizelge 4.15.</b> Hayvansal atıklar ve arıtma çamurlarından biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarlar.....	109
<b>Çizelge 4.16.</b> Biyogazın doğalgaz ile karşılaştırmalı ısıl değerleri.....	109
<b>Çizelge 4.17.</b> Biyogaz potansiyeli ve yıllık gelirler.....	112
<b>Çizelge 4.18.</b> Hayvansal atıklardan üretilmiş kompost ve biyogübredeki C/N değerlerinin kıyaslaması.....	113
<b>Çizelge 5.1.</b> Kompost ilk yatırım maliyetleri için örnek çalışmalar.....	116
<b>Çizelge 5.2.</b> Çorum kompost tesisi ilk yatırım bilgileri ve arazi kullanımı.....	117
<b>Çizelge 5.3.</b> Çorum kompost tesisi için hesaplanan işletme giderleri.....	119
<b>Çizelge 5.4.</b> Bir kompost tesisi için örnek fizibilite analizi .....	120
<b>Çizelge 5.5.</b> Çorum kompost tesisi çalışması fizibilite özeti .....	120
<b>Çizelge 5.6.</b> Küçük, orta ve büyük ölçekli anaerobik çürütücüler için ilk yatırım maliyetleri.....	122
<b>Çizelge 5.7.</b> A.B.D. de inşa edilen bazı çiftlik tipi anaerobik çürütücülerin ilk yatırım maliyetleri.....	122
<b>Çizelge 5.8.</b> Çiftlik tipi küçük anaerobik çürütücüler için ilk yatırım maliyetleri .....	123
<b>Çizelge 5.9.</b> 300 ton/gün (10 000 BBH atığı) arıtma kapasiteli anaerobik çürütme tesisi ilk yatırım maliyeti ana bileşenleri.....	123
<b>Çizelge 5.10.</b> Kayseri anaerobik çürütme tesisi projesi ilk yatırım maliyetleri .....	124
<b>Çizelge 5.11.</b> Anaerobik çürütücü için örnek ilk yatırım maliyetleri .....	124
<b>Çizelge 5.12.</b> Biyogübre üretim potansiyeli.....	126
<b>Çizelge 5.13.</b> Hayvan sayısına göre günlük ve yıllık biyogübre üretimi ve gelir miktarları .....	126
<b>Çizelge 5.14.</b> Suluova merkezi anaerobik çürütücü tesisi geliri .....	127
<b>Çizelge 5.15.</b> Küçük, orta ve büyük işletmeler için işletme giderleri.....	128
<b>Çizelge 5.16.</b> Suluova Merkezi Biyometan Tesisi giderleri .....	128
<b>Çizelge 5.17.</b> Kayseri Anaerobik Çürütücü planlamasında işletme giderleri.....	129
<b>Çizelge 5.18.</b> 20 000 ton/yıl kapasiteli örnek kompost tesisi için ilk yatırım inşaat maliyeti.....	134
<b>Çizelge 5.19.</b> 20 000 ton/yıl kapasiteli örnek kompost tesisi için ilk yatırım mekanik maliyeti.....	135
<b>Çizelge 5.20.</b> 20 000 ton/yıl kapasiteli örnek kompost tesisi için toplam ilk yatırım maliyeti.....	135
<b>Çizelge 5.21.</b> 20 000 ton/yıl kapasiteli örnek kompost tesisi için yıllık işletme giderleri..	136
<b>Çizelge 5.22.</b> 20 000 ton/yıl kapasiteli örnek kompost tesisi için yıllık işletme gelirleri...	136
<b>Çizelge 5.23.</b> 12 000 t/yıl kapasiteli örnek anaerobik çürütme tesisinin özellikleri .....	138
<b>Çizelge 5.24.</b> 12 000 ton/yıl kapasiteli örnek anaerobik çürütme tesisi için ilk yatırım inşaat maliyeti.....	139
<b>Çizelge 5.25.</b> 12 000 ton/yıl kapasiteli örnek anaerobik çürütme tesisi için ilk yatırım mekanik maliyeti.....	139
<b>Çizelge 5.26.</b> 12 000 ton/yıl kapasiteli örnek anaerobik çürütme tesisi için ilk yatırım	139



toplam maliyeti.....	140
<b>Çizelge 5.27.</b> 12 000 ton/yıl kap. örn. anaerobik çürütme tesisi için yıllık işletme gid....	140
<b>Çizelge 5.28.</b> 12 000 ton/yıl kapasiteli örnek anaerobik çürütme tesisi için yıllık işletme gelirleri.....	140
<b>Çizelge 6.1.</b> Kompost tesislerinde kokuya neden olabilecek koku bileşikleri .....	152
<b>Çizelge 6.2.</b> Kullanımına göre kompostun ihtiyacı .....	154
<b>Çizelge 6.3.</b> Biyogaz içerisindeki bileşikler ve çalışma ortamında izin verilebilecek en yüksek konsantrasyonlar .....	156
<b>Çizelge 6.4.</b> 750 ton/gün kapasiteli bir anaerobik çürütücüde işlenen atıklar sayesinde çevreye salınması engellenen sera gazı miktarları.....	157
<b>Çizelge 6.5.</b> Sera gazlarının azaltılmasından dolayı ton atık başına yansıyan maddi kazanç .....	157
<b>Çizelge 6.6.</b> Dört metodun küresel ısınmaya, ötrifikasyona ve asidifikasyona etkileri.....	158
<b>Çizelge 7.1.</b> Yıllara göre kompost tesislerinin kapasite ve geri kazanım miktarları .....	165
<b>Çizelge 7.2.</b> Avrupa Birliği'ne üye ülkelerin ürettikleri kompost miktarları .....	171
<b>Çizelge 7.3.</b> EU27'de ayrı ayrı toplanan ve kompostlanan biyoatık ve bahçe atıkları miktarları .....	172
<b>Çizelge 7.4.</b> Avrupa Birliği'ne üye ülkelerin ürettikleri kompost miktarları .....	173
<b>Çizelge 7.5.</b> Gelişmekte olan ülkeler veya kıtalarda biyogaz tesisleri .....	181
<b>Çizelge 7.6</b> Avrupa Birliği üye ülkelerinin organik atıkların arıtımında kullanıldıkları opsiyonlar.....	182
<b>Çizelge 8.1.</b> Türkiye'de toprakta ve stabilize arıtma çamurunda bulunabilecek ağır metal sınır değerleri.....	186
<b>Çizelge 8.2.</b> Türkiye'de toprağa uygulanabilecek stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri.....	186
<b>Çizelge 8.3.</b> Türkiye'de toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri.....	187
<b>Çizelge 8.4.</b> Hayvansal içerikli organik gübrelerin üretim ve pazarlama kriterleri .....	188
<b>Çizelge 8.5.</b> Elde edilen gübredeki maksimum ağır metal oranları (ppm) .....	189
<b>Çizelge 8.6.</b> Hayvanların altlıklı veya altlıksız dışkıları kullanılarak elde edilen organik gübrelerdeki zararlı mikroorganizma seviyeleri .....	190
<b>Çizelge 8.7.</b> Kompostun kullanılabilmesi için toprakta öngörülen limit değerler .....	191
<b>Çizelge 8.8.</b> Kompostun ağır metal yükü sınır değerleri .....	191
<b>Çizelge 8.9.</b> Avrupa Birliği'nde toprakta ve stabilize arıtma çamurunda bulunabilecek ağır metal sınır değerleri .....	194
<b>Çizelge 8.10.</b> Avrupa'da arıtma çamurunun tarımda kullanılabilmesi için bazı ülkelerin ağır metal sınır değerleri .....	195
<b>Çizelge 8.11.</b> Avrupa'da toprağa uygulanabilecek stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri.....	195
<b>Çizelge 8.12.</b> Avrupa'da toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri.....	196
<b>Çizelge 8.13.</b> AB Organik Tarım Direktifi ile çürütülmüş gübrede bulunabilecek ağır metal sınır değerleri.....	196
<b>Çizelge 8.14.</b> AB gübrelerin tanımlamaları, içerik gereksinimleri ve kullanım şartları....	197
<b>Çizelge 8.15.</b> Amerika EPA standardının arıtma çamuru kaynaklı komposttaki ağır metal limitleri.....	198
<b>Çizelge 8.16.</b> Avrupa ülkelerinde topraktaki ağır metal limitleri, mg/kg .....	199
<b>Çizelge 8.17.</b> Bazı Avrupa ülkelerinde ve Amerika'da kullanılacak kompostun	

biyolojik işlem sırasında hijyenleşmesi için gerekli sıcaklıkta bekletme süreleri .....	200
<b>Çizelge 8.18.</b> AB standardı kompost bileşenlerinin sınır değerleri .....	200

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde son yıllarda hızla gelişen endüstriyel faaliyetler, çevresel atık problemlerini de beraberinde getirmiştir. Arıtma işlemi sonucunda ortaya çıkan çamur tabakasının, insanlara ve çevreye verdiği değişik zararlar bulunmaktadır. İçerdiği organik maddeler, mikroorganizmaların çoğalmasına fırsat tanır. Bu mikroorganizmalar değişik hastalıklara neden olacağından mutlaka bu çamurun stabilize hale getirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda ülkemizdeki gelişen tarım ve entegre hayvan çiftliklerinin sayı ve kapasitelerindeki artışlar nedeniyle de hayvansal atıklardan kaynaklanan çevre sorunları artmaktadır. Özellikle hayvancılığın yapıldığı bölgelerde bu atıklar büyük sorun teşkil etmekte ve o bölgede yaşayan bölge halkı için tehdit oluşturmaktadır. Bu yüzden tarımsal, endüstriyel ve evsel atıkların bertaraf edilmesi veya değerlendirilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Tarımsal ve endüstriyel atıkların başlıcaları olan hayvansal atıklar ve arıtma çamurları en iyi şekilde değerlendirilerek toplumun hizmetine sunulmalıdır.

Bugün Avrupa ülkelerinde atık su arıtma çamurlarının 1/3'ü tarımsal faaliyetlerde gübre olarak kullanılmakta, diğer 2/3'lük kısmı ise yakılmakta veya atık olarak depolanmaktadır. Çamurların tarımda kullanılmasının sınırlandırılması ile birlikte atık çamur sorunu daha da büyümüştür. Bu sınırlamaya neden olarak, çamur miktarındaki artış, çamurun gübre olarak yalnızca toprağın ürün verme zamanları dışında kullanılabilmesi, ağır metaller, inatçı organik bileşikler ve patojen içeriği gibi çamurun içermesi muhtemel zararlı maddelerin varlığı sayılabilir. Atıksu arıtma çamurlarının tarımda değerlendirilmesi, çevre kirliliğinin önlenmesi ve sahip olunan doğal kaynakların korunması açısından etkin bir geri dönüşürme prosesidir. Bu metot diğer değerlendirme metotları ile kıyaslandığında mantıklı atık muamele yöntemidir. İçerdiği besleyiciler ile organik gübre olarak kullanılan çamur, toprağı bitkilerin gelişmesine uygun hale getirir. Düşük besleyici seviyesi nedeniyle tek başına yeterli olmasa da gerekli suni gübre miktarına katkıda bulunduğu için gübreleme masraflarını azaltmaktadır. Bunun yanı sıra atık çamur toprak iyileştiricisi olarak da kullanılabilir. Ancak çamurun tarımda kullanılmadan önce stabilize edilmesi gerekmektedir.

Hayvansal atıklar yüksek miktarda patojen içerirler ve bu atıkların doğrudan tarımda kullanılması, çevre ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Ayrıca hayvansal atıkların gelişmiş olarak depolanması ciddi şekilde koku problemine neden olur. Hayvan gübresinin depolanması esnasında anaerobik reaksiyon sonucu koku verici hidrojen sülfür gibi gazlar oluşur. Bu yüzden hayvansal atıklardan ileri gelen koku problemini ve patojen içeriğini ortadan kaldırmak için atığın stabilize edilmesi gerekmektedir.

Hayvansal atıkları ve arıtma çamurlarını değerlendirmede günümüzdeki en önemli yöntemlerden ikisi anaerobik çürütme ve kompostlama teknolojileridir. Bu iki proses, Avrupa ve Amerika'da uzun yıllardır kullanılmasına rağmen proseslerin önemi ülkemizde yeni yeni kavranmaya başlamıştır.

Bu çalışmada inceleyeceğimiz kompostlamada (aerobik) gübre, biyolojik arıtma tesisi çamuru, yaprak, kağıt ve yiyecek atıkları gibi organik maddelerin mikroorganizmalar vasıtasıyla kompost adı verilen toprağımsı bir yapıya dönüştürüldüğü biyolojik bir işlemdir. Bu işlem yaprak ve diğer organik atıkların doğal olarak çürütüldüğü işlemle aynıdır. Kompostlamada sadece şartlar kontrol altına alınarak organik maddelerin daha hızlı çürümesi sağlanır.

Kompostlama işlemi ziraata çok yatkın bir işlemdir. Bunun nedeni çiftlik atıklarının özellikleri, kompost için gereken arazinin çiftlikte doğal olarak bulunması ve kompostun çiftçiye sağladığı yararlarıdır. Kompostlamada kullanılan ekipman birçok çiftlikte kolayca bulunabilmektedir.

Anaerobik çürütme ise aerobik kompostlamanın aksine havasız ortamda ve anaerobik mikroorganizmalar vasıtasıyla organik maddelerin parçalandığı bir prosestir. Ek olarak ortamda kullanılabilir biyogaz oluşur. Elde edilen biyogaz yakılarak veya elektrik enerjisine çevrilerek çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Kompostlamaya göre daha üstün teknoloji gerektiren bir prosestir. Anaerobik çürütme ve kompostlama sonrası elde edilen stabilize atıkların tarımda gübre veya toprak iyileştiricisi olarak kullanılması da mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada her iki prosesin patojen giderimleri, tarımda kullanılabilirlikleri, maliyet ve yasal zorunluluklar gibi konular detaylı şekilde birbirleriyle karşılaştırılarak anlatılacaktır.

## **2. HAYVANSAL ATIKLARIN VE ARITMA ÇAMURLARININ KOMPOSTLANMASI VE ANAEROBİK ÇÜRÜTÜLMESİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER**

### **2.1. Kompostlama Hakkında Genel Bilgiler**

#### **2.1.1. Kompostun tanımı**

Biyolojik ayrışma, doğanın varoluşundan bu yana süregelen doğal bir süreçtir. Bitkiler kendiliğinden toprağa düşer ve burada yavaşça çürüyerek bitki, hayvanlar ve mikroorganizmalar için gerekli mineral ve nütrientleri sağlar. Kompostlama da genellikle biyolojik ayrışma ile eş zamanlı olarak kullanılır (EPA 1994). En basit yoluyla kompostlama; organik maddenin çürütülmesi yöntemidir. Daha biçimsel olarak; organik maddelerin birincil bileşenlerine ayrışarak organik maddece zengin, koyu renkli, bileşenlerine ayrıştırılmış bitki ve hayvan atıklarından oluşan, tarımda gübre veya toprak iyileştiricisi olarak kullanılabilen ve humus adı verilen maddeyi oluşturması işlemine kompostlama denir (Smith 2011). Başka bir benzer ifade ile kompostlama, ayrışabilir organik maddelerin mikroorganizmaların aktiviteleri sonucu biyokimyasal yolla aerobik koşullarda parçalanmaya tabi tutularak, hiçbir patojen mikroorganizma içermeyen, bol miktarda bitki besin elementleri ihtiva eden, organik madde bakımından zengin, su tutma kapasitesi yüksek, sağlık yönünden zararsız bir tür organik humusun oluşturulması olayıdır. Bu humusça zengin maddeye kompost denir. 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 3. maddesinde; organik esaslı katı atıkların oksijen ortamında ayrıştırılması suretiyle üretilen toprak iyileştirici madde kompost olarak tanımlanmaktadır (KAKY 1991).

Humus, bitki artıklarının toprakta birikmesiyle oluşan, koyu renkli organik maddedir (Anonim 2012b). Humus'un oluşması çok uzun bir zaman sonucu meydana gelir. Toprağın üst kademelerinde 10-30 cm aralığında bulunan ince bir tabakadır. Humus'un ekolojik sistemde toprağın verimliliğini sürekli kılan bir görevi vardır. Toprağın verimliliği, o toprağın bünyesindeki besin maddelerinin zenginliği ile ölçülür. Besin maddelerinin zenginliğini ise, o topraktaki organik maddenin miktarı belirler. Organik

materyalin temel maddesi humustur. Humusun kimyasal karakteristiği çok geniş çeşitliliktedir. Her çeşit humus kolloidal veya jel gibi formlarda, bitki sakızlarını, ligninleri ve bakteriler ve funguslar tarafından taşınarak parçalanmış reçine ve nişasta içeren biyokimyasal bileşiklerin karışımıdır. Humus oluşumunda toprak canlıları hem toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini hem de biyolojik sağlığını geliştirir (Hanson 1997).

Kompost, geri dönüşümün bir modelidir. Tıpkı diğer geri dönüşüm yöntemleri gibi bahçe atıkları ve belediyeye ait atıkların kompostlanmasında deponi alanlarına veya yakmaya gönderilmesi gereken katı atık miktarını azaltarak bertaraf maliyetlerini düşürür. Aynı zamanda kompost çiftçiler, bahçe düzenleyicileri, bahçıvanlar, devlet birimleri ve özel mülk sahipleri tarafından toprak iyileştirici veya saman örtüsü olarak kullanılabilen değerli bir üründür (EPA 1994).

### **2.1.2. Kompostun amaçları ve faydaları**

Kompost proseslerinin farklı insanlar için farklı amaçları vardır. Bir çiftçi için kompost etkili bir gübre iken çiçek yetiştirme yoksunu bir şehir sakini için ise düşük çöp faturasını sağlayan yöntemin ötesine geçmemektedir.

Kompost teknolojisi günümüzde çiftçilerin ürün verimini artırmak için kullandığı sürdürülebilir tarımın içinde yer alan uygun bir yöntemdir. Şu anda profesyonel yetiştiriciler, kompostu daha da geliştirerek bitkilere faydasının yanı sıra haşereleri etkisiz hale getirmek ve hastalıkları önlemek için de kullanımını başarmışlardır. Kompostun bu faydalı kullanımı ile, yetiştiriciler maddi açıdan fayda sağlamakta ve pestisitlerin kullanımını azalmaktadır (EPA 1997).

EPA 2008 verilerine dayanarak deponi sahalarına gönderilen atıkların yarısından fazlasını bahçe atıkları, mutfak atıkları ve kağıt ürünleri oluşturmaktadır (Anonim 2012a). Benzer şekilde 1998 yılında ABD’de arıtma çamurlarının % 25’i deponi sahalarında bertaraf edilmiştir (<http://www.eea.europa.eu>, 2012). Bu organik materyalleri evde kompostlamanın yanı sıra, okul ve ticari firmalar tarafından da kompostlanarak oluşabilecek atık miktarını ciddi miktarda düşürmek mümkündür.

Ayrıca bu atıkların evlerde kompostlanması ile ortamın karbondioksit oranı düşer (Anonim 2012a).

Kompostun kullanımı çok amaçlıdır. Birçok bahçıvan kompostu ekim yapmadan önce toprağın yapısını güçlendirmesi için toprak iyileştiricisi amacıyla kullanır. Bu teknik, kil gibi kötü topraklar için etkilidir ve ayrıca yumuşaklığı ile çok sıkışmış toprakların su drenajını artırır. Toprağa serpilerek 2,5-5 cm aralığındaki kompost içerisindeki besinleri salarak bitkilerin onu gübre olarak kullanmasını sağlar. İllinois Üniversitesi'ne göre kompostun hayvan altığı olarak da kullanılması mümkündür ve kompostun sıvı kısmına kompost çayı denir.

Kuvvetli kimyasal gübreler yanlış kullanıldığında besin yüzeysel akışına ve yeraltı sularının kirlenmesine neden olabilir. Bu sorunlara organik kompost neden olmaz. Kimyasal gübrelerin aksine kompost besinlerini toprağa daha yavaş salarak bitkilerin ihtiyacı olan azot, fosfor, potasyum gibi önemli besinlere daha uzun süre erişimlerini sağlar. Kimyasal gübre gibi sık kullanım gerektirmez (Anonim 2012a).

EPA'ya (Environmental Protection Agency) göre kompostlanabilen ve kompostlanması uygun olmayan maddeler tablo haline getirilerek Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Kompostlanabilen ve kompostlanması uygun olmayan maddeler (EPA 2001).

---

**Kompostlanabilen maddeler**

---

Hayvansal atıklar, Meyve ve sebzeler, bahçe atıkları, karton, temiz kağıt, kahve tortusu ve filtresi, pamuklu paçavralar, keten, yumurta kabukları, yangın külleri, saç ve post, saman ve ot, ev bitkileri, yapraklar, ceviz kabuğu, talaş, gazete, çay artıkları, odun parçaları, yün, ağıl atıkları

---

**Kompostlanması uygun olmayan maddeler**

---

Kara ceviz ağacı yaprakları ve dalları (Bitkilere zararlı olabilmektedir.)

Kömür (Bitkilere zararlı olabilmektedir.)

Günlük üretim maddeleri (Süt, yağ, krema, yoğurt) ve yumurta\* (Koku problemleri oluşturur ve kemirgenler ve sinekler gibi böcekleri çekerler)

Hasta ve böcek istilasına uğramış bitkiler (Kompost oluşumu sonrası hastalık ve böceklerin hayatta kalmalarıyla birlikte diğer bitkilere zarar verme olasılıkları vardır.)

Gres, domuz yağı, yağlar\* (Koku problemleri oluşturur ve kemirgenler ve sinekler gibi böcekleri çekerler)

Ev hayvanları atıkları (köpek, kedi dışkıları, kedi kumu) (Parazit, bakteriyel patojen ve virüs içerebilir ve insan sağlığına zararlıdır.)

Kimyasal pestisitlerle arıtılan ağıl atıkları (Faydalı kompost mikroorganizmalarını öldürebilir.)

---

\*Yerel kompost işletmelerinizi inceleyiniz. Bu ürünleri kabul eden ticari kompost işletmeleri mevcut olabilir.

Kompost kullanımının yararları şöyle özetlenebilir;

- Toprak yapısını, poroziteyi ve kütle yoğunluğunu geliştirir, bu yüzden daha iyi bitkilerin yetişmesine imkan tanır.
- Ağır toprakların sızma kapasitesini artırır, yüzeysel akış ve erozyonu azaltır.
- Kumlu topraklardaki su tutma kapasitesini artırır, su kaybını ve filtrelenmesini azaltır.
- Toprağa çeşitli makro ve mikro nütrientler kazandırır.
- Önemli miktarda organik madde sağlar.
- Toprağın kation değişimi kapasitesini artırarak bitkilerin kullanımı için gerekli olan nütrient tutma yeteneğini artırır.
- Toprağa yararlı mikroorganizmalar sunar.
- Toprak pH'nın stabilitesini artırır.
- Bazı kirleticileri bağlayabilir veya parçalayabilir (EPA 2001).



### 2.1.3. Kompostun tarihçesi

#### *Cilalı Taş Devri ve Eski Medeniyetler*

Kentsel atıkların oluşumu ve yönetimi insan medeniyeti ve şehirleşme ile başlar. Cilalı taş devrinde esas alışkanlıkları avcılık ve toplayıcılık olan insan ırkı bu alışkanlıklarını tarımcılık ve üreticilik olarak değiştirmişlerdir. Yerleşkelerin kurulmasından itibaren çoğunlukla atık çukurları kullanılmıştır. 6000 yıl önce inşa edildiği düşünülen ilk atık çukuru taştan yapılmıştır ve Sümer şehirlerinde bulunmuştur. Bu kuyuların içinde depolanan organik şehir atıkları tarım alanlarında nihai uygulama için kullanılmıştır.

Güney Amerika, Hindistan, Çin ve Japonya'daki eski medeniyetlerde yoğun bir şekilde tarımcılıkla uğraşmıştır ve tarım, hayvan ve insan atıklarının gübre olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu atıkların çoğu atık kuyularında veya yığın halinde uzun süre bekletilerek çürütülmüş ve bu şekilde toprak iyileştiricisi üretimi sağlanmıştır. Milattan önce 1800-1200 yıllarına ait benzer sistemdeki büyük atık kuyuları Girit medeniyetlerindeki şehir girişlerinde rastlanmıştır. Bir milyondan fazla nüfusu olan Roma İmparatorluğu'nda şehir atık yönetimi için şehir yönetimi tarafından organize edilen ve desteklenen çok daha ileri teknoloji sistemler geliştirilmiştir. Şehir içerisindeki hijyenik şartları muhafaza edebilmek için şehir atıkları belirli aralıklarla daimi çalışanlar tarafından toplanarak şehir dışına taşınmış ve tarımsal alanlara uygulanmıştır (Diaz ve Bertoldi 2007).

Ancak kompostlamanın en kesin ve teknik tanımlarından biri 13. Yüzyıldaki tapınak şövalyeleri tarafından yürütülmüştür. Tapınak şövalyeleri haçlı seferleri sırasında askeri düzende idiler ancak müslümanlar kutsal topraklar Filistin'in üzerinde iken tapınak şövalyeleri İspanya ve Güney Fransa'da zamanlarının çoğunu tarıma bağlı kalarak geçirmişlerdir. Bu dokümanlardan bazıları hala Madrid Milli Kütüphanesinde ve Madrid Tarihi Milli Arşivlerinde bulunmaktadır (Bertoldi 1999).

#### *Yirminci Yüzyıl*

Kompostlama çalışmalarını ilk dokümanlama çabaları 1933 yılında Hindistan'da organik atıkların kompostlanması ile başlamıştır. Bu olay Sir Albert Howard tarafından modern kompostlamanın tarihteki ilk büyük gelişmesi olarak gerçekleştirilmiştir. Howard

ve arkadaşları ‘‘Indore proses’’ olarak bilinen kompost yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntemde ilk olarak hayvan gübresi denenmiştir. 1933 yılında Ayyar tarafından Hindistan’da bu metot kullanılarak modifiye edilmiş ve geliştirilmiştir. Daha sonra Hindistan Tarım Araştırma Konseyi geliştirilen Indore prosesine Bangalore Prosesi adını vermiştir.

1935 yılında Scott ve ark. Kuzey Çin’de kompostlamanın tarım sağlığı ile ilişkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada insan dışkısı kullanılmıştır. Ancak çalışma 1941 yılında II. Dünya Savaşı yüzünden durmuştur ve nihayetinde Scott 1952 yılında bu çalışmayı yayınlamıştır. Scott ve arkadaşlarının yayınladığı bu çalışmada kırsal alanlardaki insan atıklarının ve diğer atıkların kompostlanması sırasında oluşan problemler hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir.

Waksman ve ark. 1926-1941 yılları arasında sebze atıkları ve ahır dışkılarının aerobik olarak ayrışması üzerine temel bir araştırma yapmışlardır. Bu araştırmada özgün mikroorganizma grupları aracılığıyla sıcaklığın ayrışma oranına etkisi üzerine önemli bulgulara rastlanmıştır.

Kompostlama ile ilgili ilk yayınlardan biri olan ‘‘ XI. Composts – Formulas, Analyses and Value’’ adı altında Kuzey Karolina Tarım Deney İstasyonu Bülten tarafından 1888 yılında yayınlanmıştır.

1950-1955 yılları arasında Berkeley’deki California Üniversitesi’nde Golueke tarafından kompostun en önemli yönlerinden biri olan karışık belediye atıklarının, yemek artıklarının ve biyolojik olarak parçalanabilir diğer atıkların kompostlanması araştırmaları sunulmuştur. Golueke ve ark. yaptıkları bu çalışma modern kompost bilgisine önemli katkıda bulunmuştur.

1949 yılında ABD’de Frazer prosesi patenti alınmıştır. Bu proseste dilimlenen organik materyal, kapalı, tamamen mekanize edilmiş aerobik bir çürütücünün içeresine konulur. Organik madde, aşağıya doğru sürekli olarak karıştırılır ve daha sonra kompostlanan bu madde ızgaradan geçirilir.

Stovroff ve ark. 1954 yılında pilot ölçekli tesislerle endüstriyel atıkların ve belediye atıklarının kompostlanarak tarımda gübre olarak kullanımının finansal fizibilitesini

araştırmışlardır. 1960'lı yıllarda ABD Halk Sağlığı Birimi Florida ve Johnson şehrinde belediye katı atıklarının biyoatıklarla karıştırılarak kompostlanabilmesi için 2 adet örnek tesis inşa etmiştir. Bu örnek projeler ile teknik ve finansal bilgi toplanmıştır.

1975 yılında ABD Tarım Müdürlüğü (USDA) Beltsville'de bugünkü adıyla bilinen havalı statik yığın yöntemini geliştirmişlerdir.

Avrupa Toplum Komisyonu yani günümüzdeki adıyla bilinen Avrupa Birliği (EU) birkaç yıldır atık yönetimi sektöründe enerji geri dönüşümü, geri dönüşüm, ve kompostlama konuları üzerinde oldukça aktiftir. Avrupa Birliği, araştırmaları finansal olarak desteklemekte ve koordine etmektedir. Kompostlama ile ilgili birkaç farklı program şunlardır; COST68, R&D Program, The THERMIE, Biomass for Energy and Industry. 1980'li yıllarda Avrupa'da organik maddenin biyolojik olarak parçalanması ile ilgili birçok araştırma gerçekleşmiştir. Açıkça görülmektedir ki Avrupa Toplum Komisyonu bu zaman içerisinde araştırmaların hızlanmasında büyük rol oynamıştır. (Diaz ve de Bertoldi 2007).

#### **2.1.4. Kompostlamanın mekanizması**

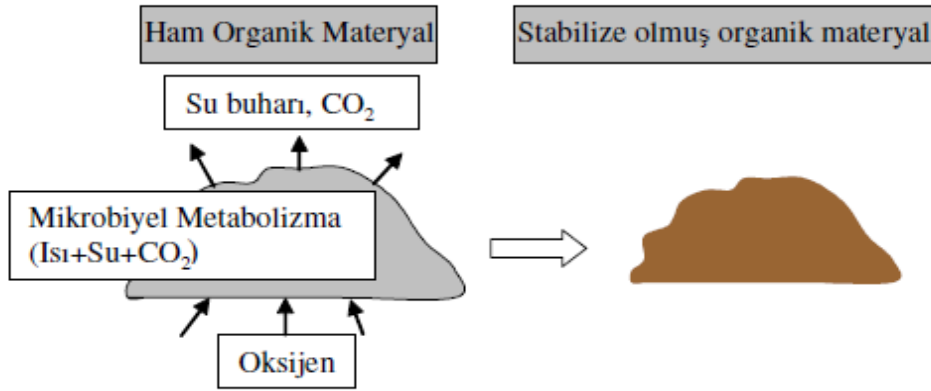
Kompostlamada hammadde bir yığına veya diziye (uzatılmış yığın) yerleştirilir ve burada ayrışma başlar. Ayrışmanın oranı hem kompost teknolojisinin seviyesine hem de fiziksel, kimyasal, biyolojik faktörlere, oksijen seviyesine, nem miktarına ve sıcaklığa bağlı olarak değişir. Bu faktörlerin dikkatli bir şekilde kontrol edildiği ve yönetildiği bir kompostlama en düzgün çalışan kompostlamadır (EPA 1994).

Kompostlama işlemi sırasında mikroorganizmalar organik materyal ayrışırken oksijen kullanırlar. Aktif kompostlama sırasında büyük 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. Kompostlamada işlem sırası şu şekildedir; biyokimyasal reaksiyonun gerçekleşebilmesi için mikroorganizma O<sub>2</sub>'i 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 kullanılabilir (Ekinci ve ark. 2004; Keener ve ark. 2000). Kompostlama prosesi genelde aerobik bir süreçtir ve enerji kaynağı olarak organik atığı metabolize eden mikroorganizmalar tarafından yerine getirilmektedir (Diaz ve ark. 2003).

### Kompostlamanın evreleri

Basitleştirilmiş bir kompostlama işleminin özeti Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.1** Basitleştirilmiş kompostlama işlemi (Keener ve ark. 2000).

Kontrollü koşullarda yapılan kompostlama işlemi, kompostlama ve olgunlaşma olarak 2 evreden meydana gelmektedir (Chen ve Inbar 1993). Bu evreler Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Kompostlama evreleri ise; başlangıç evresi, yüksek ayrışma evresi ve stabilizasyon evresi olarak 4 alt evreden meydana gelir.

**1) Başlangıç evresi:** Bu evre 1-3 gün sürer. Basit şeker, nişasta ve protein gibi bileşikler mezofilik mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılır. Sıcaklık çok hızlı bir şekilde yükselir.

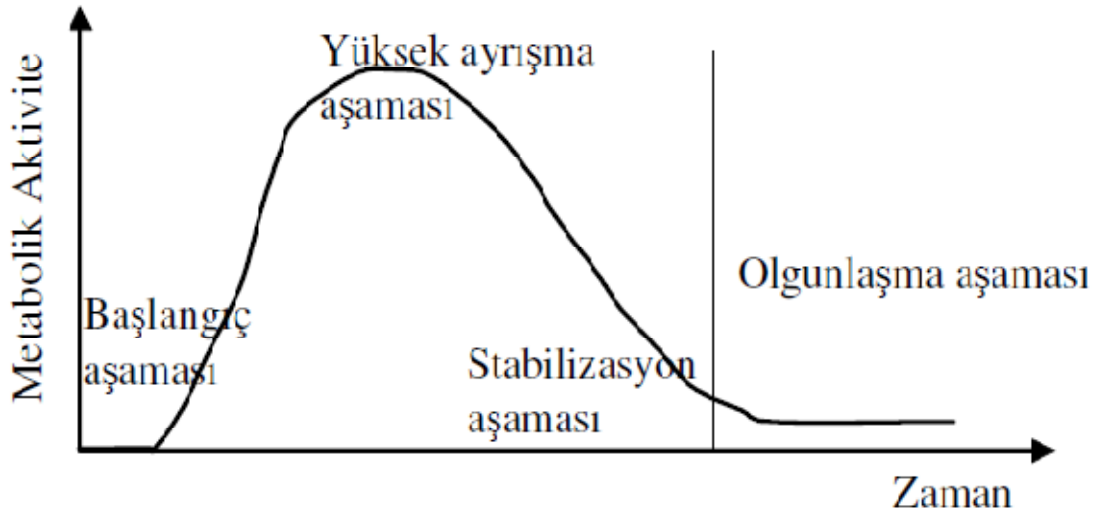
**2) Yüksek ayrışma evresi:** Bu evre 10-100 gün sürer. Yağlar, hemiselüloz, selüloz, ve bazı ligninler termofilik mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılır. Sıcaklık 40 °C’nin üzerine çıkar ve bu evrede patojenik mikroorganizmalar yok edilir. Oksijen tüketimi ve

CO<sub>2</sub> üretimi en yüksek noktaya çıkar. Eğer kompostlama işlemi iyi bir şekilde kontrol edilemezse yüksek miktarlarda NH<sub>3</sub>-N gazı ve diğer gazların çıkışı olur.

**3) Stabilizasyon evresi:** Bu evre de 10-100 gün sürer. Hemiselüloz, selüloz, ve bazı ligninler ayrışmaya devam eder ve sıcaklık düşer.

**4) Olgunlaşma evresi:** Olgunlaşma evresinde mezofilik mikroorganizmalar yeniden koloni oluştururlar. Olgunlaşma evresi en az 1 ay, genellikle 3-6 ay sürmektedir.

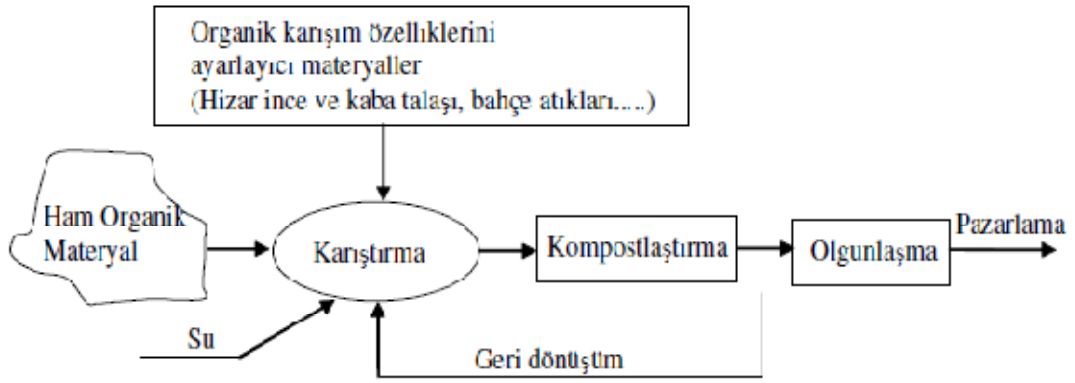
Herhangi bir evrenin süresi, kompostlanacak organik materyal, Karbon/Azot oranı (C/N oranı), parçacık büyüklüğü, karıştırma sıklığı ve diğer birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir.



**Şekil 2.2** Kompostlama işleminin evreleri (Ekinci ve ark. 2004; Keener ve ark. 2000).

EPA'ya göre ise kompostlama 2 ana evreden oluşmaktadır. Birinci evrede mikroorganizmalar kompost hammaddesini daha basit yapıya bileşiklere ayrıştırarak yapılan metabolik aktiviteler sonucu ısı üretirler. Bu evrede kompost yığınının miktarı azalmış olur. İkinci evrede ise; kompost "olgunlaşır" veya tamamlanır. Bu evrede mikroorganizmalar hazırda bulunan nütrientleri çabucak tüketirler. Sonuçta ısı üretimi yavaş yavaş azalır ve kompost kuru, kolayca ufalanan bir doku haline dönüşür. Bu olgunlaşma evresi bittiğinde kompost stabilize olmuş veya olgun kompost adını alır. Bu iki ana evre detaylandırıldığında 4 evreye bölünmektedir. Bu evrelere; mezofilik, termofilik, soğuma ve olgunlaşma evreleri de denilebilir (EPA 1994).

Şekil 2.3'de alışlagelmiş kompostlama sistemlerinde materyal akışı verilmiştir. C/N oranı, nem, pH gibi faktörler dikkate alınarak bir karışım hazırlamak için ana materyal, karışım ayarlayıcılar (amendment), geri dönüştürülmüş kompost materyali (recycled compost material) karıştırılır. Daha sonra, kompostlamanın başlaması için yığın yapılır veya reaktöre doldurulur. Kullanılan kompost sistemine bağlı olarak, günlük, her 3 veya 4 günde bir, haftalık veya aylık periyotlarda karıştırılır. Oluşan komposttan çok az veya hiç ısı çıkışı gözlenmezse materyal stabilize olmuş demektir ve olgunlaşma evresine geçilir (Ekinci ve ark. 2004).



**Şekil 2.3** Alışlagelmiş kompostlama işleminde materyal akışı (Ekinci ve ark. 2004; Keener ve ark. 2000).

Kompostlama teknolojisi, hem fiziksel hem kimyasal hem de biyolojik işlemlerden geçtiğinden prosese etki eden birçok faktör bulunmaktadır (Rynk 1992). Bu faktörlerden özellikle sıcaklık, havalandırma, nem kontrolü, yığın yüksekliği, başlangıç nemi ve organik materyale ait kinetik parametreler kompostlaştırma işleminin ekonomik olarak yürütülmesinde son derece önemlidirler. Kompost işletmelerinin ekonomik olarak yürütülebilmesi için kompostlama işlemine etki eden bu faktörlerin optimum şekilde ayarlanması gerekmektedir (Haug 1993). Ancak büyük ölçekli tesislerde bu faktörlerin tamamının optimum düzeyde tutulması mümkün değildir.

## **2.1.5. Kompost mikrobiyolojisi**

### **2.1.5.1. Kompostlamada görev alan mikroorganizmalar**

Kompostlama bir grup mikroorganizmanın ardından gelen takipçi mikroorganizmalar vasıtasıyla yapılan mikrobiyal aktivitelerin sonucudur. Farklı tip mikroorganizmalar, kompost yığınının farklı evrelerinde aktif olurlar. Kompostlamada bakteri ve fungusların yanı sıra besin temin etmek için dolaşan veya kompost hammaddesini parçalayan rotiferler, nematodlar, keneler, yaykuyruk böcekleri, tohum böcekleri (sow bugs), kım kanatlılar ve toprak solucanları hammaddenin azalmasında rol oynarlar. Kompost içerisindeki bu gezinme ve parçalama faktörleri kompostun fiziksel olarak parçalanmasına, mikrobiyolojik oluşumlar için daha geniş yüzey ve alanların oluşmasına neden olur (EPA 1994).

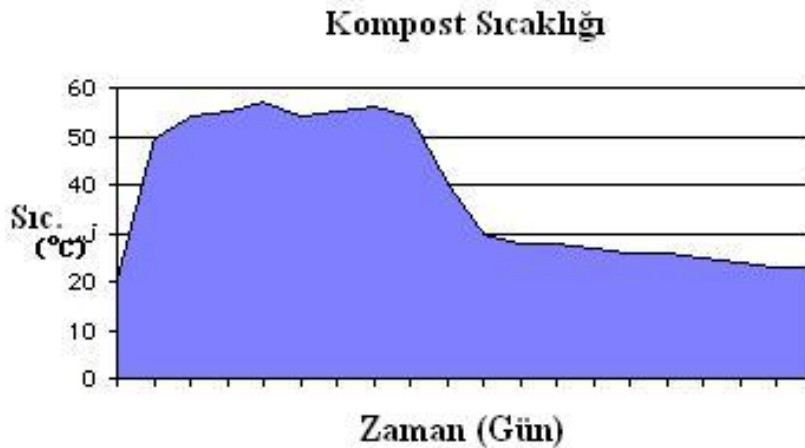
Kompost prosesinde mikroorganizmalar organik maddeyi parçalayarak karbondioksit, su, ısı ve humus üreterek nispeten stabil olan organik bir ürün oluştururlar. Optimum şartlar altında kompost 3 evreden oluşur. Bunlar; 1) Mezofilik veya birkaç gün süren orta sıcaklık evresi 2) Termofilik veya birkaç günden birkaç aya kadar sürebilen yüksek sıcaklık evresi 3) Birkaç ay süren soğuma yani olgunlaşma evresidir (Trautmann ve Olynciw 2001). Insam ve Bertoldi (2007) kompost prosesini 4 evreye ayırmıştır. Termofilik ve olgunlaşma evreleri arasında Soğuma (ikinci mezofilik evre) yer alır.

Kompostlama işlemi yüksek yoğunlukta mikroorganizmaların yüksek metabolik aktiviteleri sonucudur. Çizelge 2.2.'de kompostun sıcaklığına göre mikroorganizma yoğunluğunu göstermektedir.

**Çizelge 2.2.** Aerobik Kompostlamada Mikrobiyal Popülasyon (EPA 1994)

Organizma	Mezofilik	Termofilik	Mezofilikten Soğuma (70°C den soğuma)	Tespit edilen canlı türü sayısı
	Sıc. (40 °C)	Sıc. (40-70 °C)		
<b>Bakteriler</b>				
Mezofilik	108	106	101	6
Termofilik	104	109	107	1
<b>Aktinomisetler</b>				
Termofilik	104	108	105	14
<b>Fungi</b>				
Mezofilik	106	103	105	18
Termofilik	103	107	106	16

Yapılan bir başka çalışmada kompostun zamana göre sıcaklık değişimi Şekil 2.4.'deki gibi gerçekleşmiştir.



**Şekil 2.4** Kompostun zaman-sıcaklık ilişkisi (Trautmann ve Olynciw 2001).

Her kompost evresinde farklı mikroorganizma türleri baskındır. Başlangıçtaki parçalanma kolay parçalanabilen bileşiklerin mezofilik mikroorganizmalar tarafından parçalanmasıyla oluşur. Bu evrede mezofilik mikroorganizmalar baskındırlar. Hızlı parçalanmadan dolayı ilk evrede sıcaklık hızla artar.

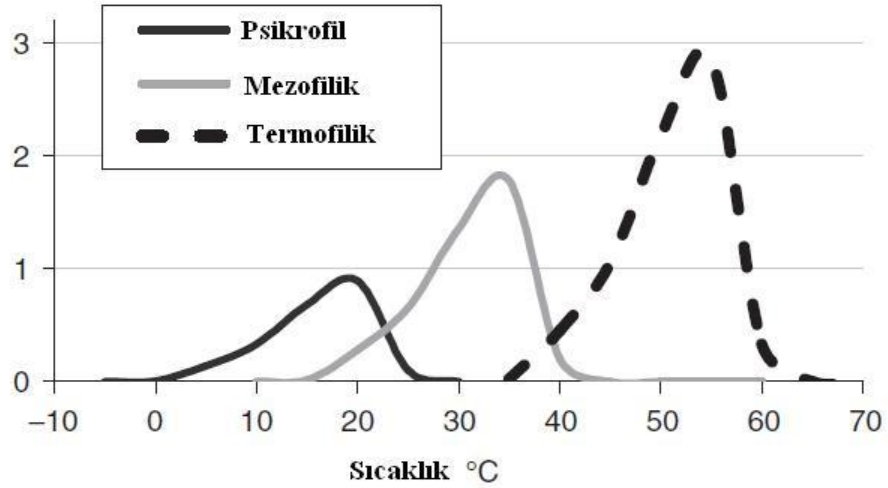
Sıcaklık 40 °C'nin üzerine ulaştığında mezofilik mikroorganizmalar daha az rekabetçi hale geçerler ve onların yerini termofilik mikroorganizmalar veya diğer adıyla ısıyı seven mikroorganizmalar alır. Sıcaklık 55 °C ve üzerindeyken insan ve bitki kaynaklı



patojenlerin bir çoğu yok olur. Çünkü 65 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda birçok mikroorganizma formu ölür. Bu yüzden kompost üreticileri kompostu bu sıcaklıklarda tutabilmek için kompostu havalandırıp karıştırırlar.

Termofilik evre sırasında yüksek sıcaklık ile, proteinlerin, yağların, selüloz ve hemiselüloz gibi kompleks karbonhidratların parçalanması hızlanır. Bu yüksek enerjili bileşiklerin kaynağı azalmaya başlar ve kompost sıcaklığı düşüğe geçer. Böylelikle mezofilik mikroorganizmalar kalan organik maddenin olgunlaşması safhasında tekrar devreye girerler (Trautmann ve Olynciw 2001). Şekil 2.5.'de mikroorganizma türlerinin sıcaklıkla ilişkili değişimleri gösterilmiştir.

#### Saatlik Çoğalma Oranı

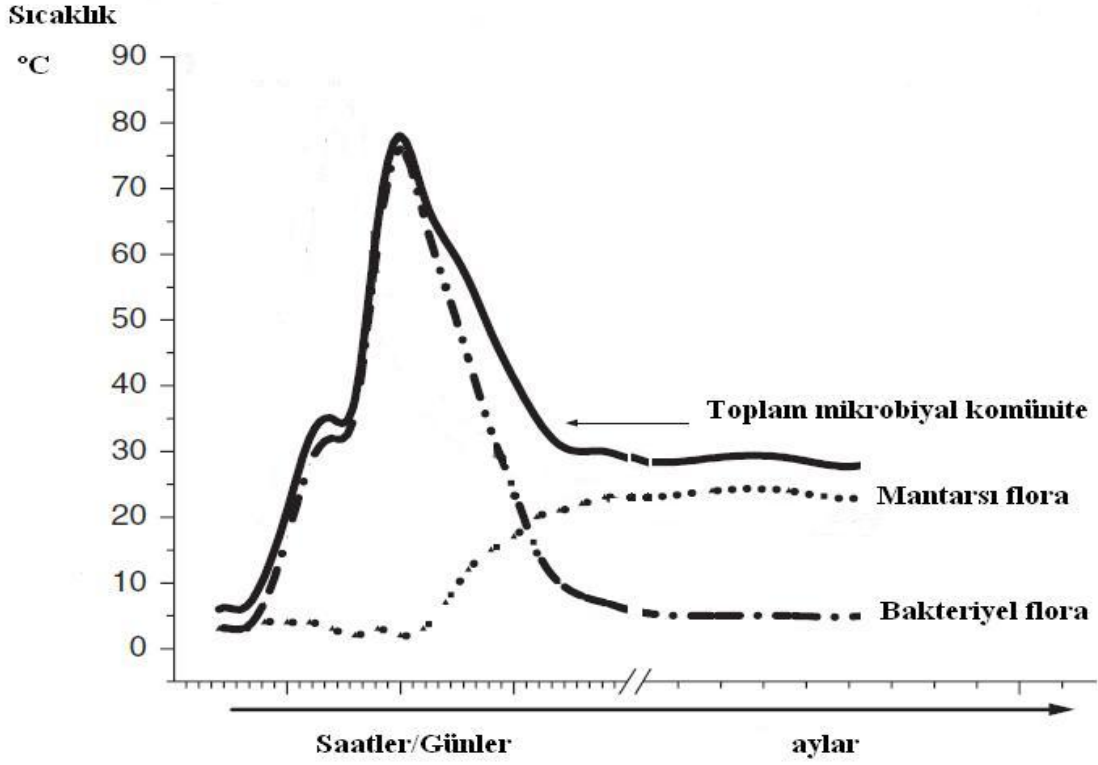


**Şekil 2.5** Psikrofil, mezofilik ve termofilik mikroorganizmaların sıcaklık aralıkları ve üreme zamanları (Insam ve Bertoldi 2007).

Bakteri, fungi ve aktinomisetlerin kompostlaşmaya etki eden mikroorganizmalar olduğu bilinmektedir. Fungiler, daha büyüktür ve düşük nem ile düşük pH derecelerine toleranslıdır. Ancak oksijen azlığına dayanamazlar ve odunsu dokular gibi ayrışmaya direnci olan maddelere etkilidirler. Aktinomisetler, fungiler gibi filamentler oluştursalar da boyutları daha küçüktür. Kolaylıkla ayrışan bileşikler ortamdan uzaklaştıktan sonra ve nemin azaldığı durumlarda daha fazladır. Asitli şartlarda toleranslı değildirler.

Organik maddenin parçalanmasına mikro ve daha üst düzey organizmalar katılırlar. Bakteriler, aktinomisetler ve mantarlar atığı doğrudan kullanırlar ve birinci düzey

ayrıştırıcılar olarak adlandırılırlar. Bu mikroorganizmalar, bir üst düzeyde yer alan protozoa, rotifer, mayt ve çeşitli böcekler tarafından yenirler. (Topkaya 2001). Şekil 2.6.'da zamana bağlı olarak kompost içerisindeki komünite değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Kompostta zamana bağlı mikrobiyal komünite değişimi (Insam ve Bertoldi M. 2007).

### Bakteriler

Ayrışma prosesine en önemli etkide bulunan canlılar kolay ayrışabilen nütrientleri (önce protein, karbonhidrat ve şekerler) işleyen ve kompost yığnında gözlenen ilk canlılar olan bakterilerdir (EPA 1994). Bakteriler kompost içerisindeki en küçük ve en fazla sayıda olan canlı organizmalardır. Bakteriler bir gram kompostta bulunan milyarlarca organizmanın %80 ila 90'ını oluştururlar. Bakteriler, komposttaki sıcaklık artışı ve organik madde parçalanmasından sorumludurlar. Kompost işleminin başlangıcında (0-40 °C) mezofilik bakteriler baskındırlar. Ayrıca bu bakteri formlarının çoğu yüzey

toprağında bulunabilir. Kompost, 40 °C'nin üzerine çıktığında termofilik bakteriler devreye girer. Bu evredeki mikrobiyal popülasyonda Bacillus cinsi baskındır. Bacillus türlerinin çeşitliliği 55-60 °C'de oldukça yüksekken kompost 60 °C'nin üzerine çıktığında önemli ölçüde azalır. Şartlar bu tür için uygun olmayan hale geldiğinde kalın çeperli, sıcaklığa, soğuğa, kuraklığa, besin eksikliğine karşı dirençli endospor halinde ortamda yaşamaya devam ederler. Bu türler ortam koşullarının uygun hale gelmesiyle tekrar devreye girebilmek için hazır şekilde beklerler.

En yüksek kompost sıcaklıklarında Thermus cinsi tek başına kalır. Kompost üreticileri, doğada evrimleşerek bu bakterilerin nasıl bu yüksek sıcaklıklarda dayanabilecek hale geldiğini merak etmektedirler. Thermus bakterileri ilk olarak Yellowstone Milli Parkı kaplıcalarında bulunmuştur ve bu bakterilerin burada evrimleşmiş olabileceği düşünülmektedir. Thermus türlerinin doğada bulunduğu diğer ortamlar mezofiliktir (Trautmann ve Olynciw 2001) ve türleri şunlardır; T. antranikianii, T. aquaticus, T. brockianus, T. caldophilus, T. filiformis, T. igniterrae, T. kavarayuensis, T. nonproteolyticus, T. oshimai, T. rehai, T. scotoductus, T. thermophilus, T. Thermophilus HB27, T. yunnanensi T.sp., T.sp. manikaranii , T. spp.

(<http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Thermus>, 2011).

Kompost prosesinde bulunan bakterilere genel bakış Çizelge 2.3.'de verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Kompost prosesinde bulunan bakterilere genel bakış (Insam ve Bertoldi 2007).

Filogenetik Grup	Tür	Ekolojik ilişki	Bulunduğu evre	Referans
Alfa	<i>Pseudomonas putida</i> strain ATCC 11172	Patojenik		Alfreider vd. (2002)
	<i>Pseudomonas</i> sp.			Miller (1996)
	<i>Methylosinus trichosporium</i>	Metanotrofik		Murrell vd. (1998)
	<i>Caulobacter</i> spp.		Erken	Michel vd. (2002)
	<i>Erythrobacter longus</i>		Erken	Michel vd. (2002)
Beta	<i>Nitrosospira briensis</i>	Nitrifikasyon bakt.		Murell vd. (1998), Kowalchuk vd. (1999)
	<i>Nitrosomonas europaea</i>	Nitrifikasyon bakt.		Murell vd. (1998), Kowalchuk vd. (1999)
	<i>Nitrosolobus multiformis</i>	Nitrifikasyon bakt.	Orta	Michel vd. (2002)
Gama	<i>Escherichia coli</i>	Potansiyel Patojen		Lott Fischer (1998)
	<i>Methylomonas methanica</i>	Metanotrof		Murrell vd. (1998)
	<i>Azotobacter chroococcum</i>	N-fixer	Geç	Bess (1999)
	<i>Salmonella</i> sp.	Patojenik		Lott Fischer (1998)
	<i>Streptomyces rectus</i>			Miller (1996)
	<i>S. thermofusus</i>			Miller (1996)
	<i>S. violaceus-ruber</i>			Miller (1996)
	<i>S. thermoviolaceus</i>			Miller (1996)
	<i>Streptomyces</i> sp.			Miller (1996)
	<i>Nocardia</i> sp.			Miller (1996)
<i>Microbispora bispora</i>		Termofilik	Miller (1996)	
<i>Actinomadura</i> sp.		Termofilik	Degli-Innocenti vd. (2002)	

**Çizelge 2.3 (devam)** Kompost prosesinde bulunan bakterilere genel bakış (Insam ve Bertoldi 2007).

<b>Filogenetik Grup</b>	<b>Tür</b>	<b>Ekolojik İlişki</b>	<b>Bulunduğu evre</b>	<b>Referans</b>
	<i>Bacillus stearothermophilus</i>	<b>Komposttaki klasik termofilik</b>		<b>Çeşitli</b>
<b>Endospor formları</b>	<i>B. thermodenitrificans</i>	<b>Termofilik denitrifikasyon bakt.</b>		Blanc vd. (1997)
	<i>B. brevis</i>			Miller (1996)
	<i>B. circulans</i>			
	<i>B. coagulans</i>			
	<i>B. sphaericus</i>			
	<i>B. subtilis</i>			
	<i>B. licheniformis</i> <i>Bacillus sp.</i>	<b>Potansiyel patojen</b>		Lott Fischer (1998)
	<i>Clostridium thermocellum</i> <i>Clostridium spp.</i>	<b>Bazıları N-Fixer</b>	<b>Anaerobik</b>	de Bertoldi vd. (1983)
	<i>Klebsiella sp.</i>	<b>N-fixation</b>		de Bertoldi vd. (1983)
<b>Aktinomisetler</b>	<i>Saccharomonospora viridis</i>	<b>Patojenik</b>		Lott Fischer (1998)
	<i>Streptomyces thermovulgaris</i>	<b>Patojenik</b>	<b>Termofilik</b>	
	<i>Actinobifida chromogena</i>			Miller (1996)
	<i>Thermoactinomyces vulgaris</i>		<b>Termofilik</b>	Miller (1996)
	<i>Micropolyspora faeni</i>			Miller (1996)
	<i>Pseudonocardia thermophila</i>			Miller (1996)
	<i>Thermomonospora curvata</i>			Miller (1996)
	<i>Th. viridis</i>			
	<i>Th. sacchari</i>			
		<i>Thermus sp.</i>		<b>Termofilik</b>
<b>Deinococcus/ Thermus grubu</b>	<i>Hydrogenobacter</i>			

## **Aktinomisetler**

Kompostlamada selüloz, lignin, kitin gibi kompleks organiklerin ve proteinlerin parçalanmasında önemli rol oynarlar. Bazı türleri kompostun termofilik evresinde görülürken diğer türleri ise son evreye kalan en dirençli bileşiklerin parçalanmasında büyük öneme sahiptirler. Aktinomisetler, ipliksi dallanmış filamentler gibi uzun şekildedirler ve kompost içerisinde örümcek ağı gibi görünürler. Bu filamentler çoğunlukla, kompost işleminin sonlarına doğru belirirler (Trautmann ve Olynciw 2001).

## **Fungiler**

Küf ve mayalar dahil fungiler toplu olarak topraktaki ve komposttaki birçok kompleks bitki polimerlerin parçalanmasından sorumludurlar. Fungiler kompostta önemlidir, çünkü dayanıklı artıkları parçalarlar ve bakterilere parçalamalarına devam edebilmeleri için olanak sağlarlar.

Birçok fungi, saprofitler olarak sınıflandırılır. Çünkü fungiler ölü veya ölmekte olan bitki ve hayvanların organik maddelerini parçalayarak enerji elde ederler. Fungi türleri kompostun hem mezofilik hem de termofilik evresinde bulunurlar. Fungilerin çoğu, kompostta sıcaklık yüksek olduğunda dış tabakada yaşarlar. (Trautmann ve Olynciw 2001). Fungiler bakterilere oranla daha düşük neme tolerans gösterirler. Bazı fungi türlerinin bakterilere göre daha düşük miktarda azot gereksinimi vardır. Bu yüzden bakterilerin ayrıştıramadığı selülozlu maddeleri ayrıştırabilirler (EPA, 1994).

## **Protozoalar**

Protozoalar tek hücreli canlılardır. Su damlacıkları içerisinde bulunurlar ancak kompostta parçalamada kısmen küçük rolleri vardır. Protozoalar, organik maddeden besini bakterilerin yaptığı gibi sağlarlar ama aynı zamanda bakteri ve fungileri sindirerek ikincil tüketiciler olarak hareket ederler.

## **Rotiferler**

Rotiferler mikroskobik çok hücreli canlılardır ve komposttaki su tabakasında bulunurlar. Hem organik madde ile hem de bakteri ve fungiler ile beslenmektedirler. (Trautmann ve Olynciw 2001).

## 2.1.5.2. Kompostlamaya etki eden faktörler

### Oksijen (Havalandırma)

Kompostlama aerobik veya anaerobik şartlarda gerçekleşebilmektedir ancak aerobik proses anaerobik procese oranla 10-20 kat daha hızlıdır. Ayrıca anaerobik kompostlamada açığa çıkan hidrojen sülfür ve amonyum gazlarından dolayı koku problemleri daha fazladır. Oksijen yokluğunda ek olarak metan gazı da oluşmaktadır.

Mikroorganizmalar kompost hammaddesindeki organik bileşiklerini parçalayabilmek için oksijene ihtiyaç duyarlar. Yeterli oksijen olmadığı takdirde kompostta mikroorganizma sayısı azalacak ve yerini anaerobik mikroorganizmalara bırakacaktır. Bu olay havadaki oksijen konsantrasyonunun %5-15'inin altına indiğinde gerçekleşir. (Havadaki O<sub>2</sub> konsantrasyonu %21'dir). Aerobik kompostlama için gereken minimum oksijen konsantrasyonu %5 ve ideal konsantrasyon ise %10'dur. (Pace ve ark. 1995; Cooperband 2005). Rynk (1992)'ye göre ideal oksijen konsantrasyonu benzer şekilde %5'den yüksek olmalıdır.

Aerobik mikrobiyal aktiviteyi desteklemek için kompost içerisinde havanın bulunabileceği boşluklar bulunmalıdır. Kompostlamada havalandırma, kompost yığınının karıştırılmasıyla, ters çevrilmesiyle veya özel havalandırıcılar yardımıyla sağlanabilir.

### **Kompostlamada ihtiyaç duyulan oksijen miktarı;**

- a) Prosesin aşamasına; Kompostlamamın genellikle ilk evrelerinde oksijene ihtiyaç duyulur. Çoğunlukla olgunlaşma evresinde oksijene ihtiyaç duyulmaz.
- b) Hammadde cinsine; Sık, azot bakımından zengin (çim gibi), maddeler oksijene daha çok ihtiyaç duyarlar.
- c) Kompost hammaddesinin partikül büyüklüğü; Küçük partiküllerdeki kompost hammaddeleri (2,5-5 cm'den daha küçük) sıkışarak hava boşluklarına engel olur. Bu yüzden hammadde, kompostlamadan önce çok küçük parçalara ayrılmamalıdır.

- d) Hammaddenin nem içeriği; Yüksek nem miktarı olan hammaddeler (yiyecek ve bahçe artıkları gibi) oksijene daha çok ihtiyaç duyarlar.

Komposta gereğinden fazla oksijen vermek, kompost yığınını kurutur ve kompostlamayı engeller (EPA 1994).

### **Partikül boyutu**

Kompostun partikül boyutu kompostlama işlemine etki etmektedir. Genel olarak, küçük parçalardaki kompost hammaddesi daha yüksek kompostlanma oranına sahiptir. Küçük hammadde parçaları hacimlerine oranla daha geniş yüzey alanlarına sahiptirler. Bu da mikroorganizmaların organik bileşikleri parçalamak için daha fazla yüzey alanında faaliyet göstermesi demektir. Küçük parçalı kompost ayrıca elektrik iletkenliğini azaltır ve daha homojen bir karışımdır. Artan yalıtım kapasitesi kompost yığınındaki optimum sıcaklığı korumaya destek olur. Aynı zamanda partikül boyutları çok da küçük olmamalıdır ki bu da oksijen için gerekli boşlukların kapanmasına sebep olur ve kompostlamayı engeller (EPA 1994). Hayvansal atıkların kompostlanmasında kompostlanabilir partikül boyutları 0,5-5,0 cm, önerilen ise 0,5-2,5 cm'dir (Rynk 1992). Arıtma çamurlarının kompostlanmasında ise partikül çapı 1,6 cm'den büyük olmamalıdır (Gouin 1992). Buna göre hayvansal atıkların ve arıtma çamurlarının birlikte kompostlanması için partikül boyutu 0,5-1,6 cm aralığında seçilmesi doğru olacaktır.

### **Nütrient seviyesi ve dengesi**

Kompostlamadaki etkiyi devam ettirmek için mikroorganizmalar uygun formlardaki yeterli konsantrasyonlarda ve münasip oranlarda bazı nütrientlere ihtiyaç duyarlar. Mikroorganizmalar tarafından ihtiyaç duyulan olmazsa olmaz nütrientler karbon, azot, fosfor ve potasyumdur. Mikroorganizmalar karbonu enerji kaynağı olarak kullanırlar. Ayrıca karbon ve azota proteinleri sentezlemek, yeni hücreler inşa etmek ve çoğalmak için ihtiyaç duymaktadırlar. Yeni hücre oluşumları ve metabolizma için fosfor ve potasyum da olmazsa olmaz nütrientlerdendir. Kompost sistemlerinde karbon ve azot ayrışma verimini sınırlayıcı faktörlerdir.



Ayrıca kompost organizmaları mikro nütrientlere veya iz elementlere ihtiyaç duymaktadırlar. Burada ana mikronütrientler bor, kalsiyum, klorid, kobalt, bakır, demir, magnezyum, mangan, molibden, selenyum, sodyum ve çinkodur. Bazı mikroorganizmalar nütrientlerin belirli formlarını kullanmaya yetkin değildirler. Mikroorganizmalar büyük molekülleri ve özellikle farklı tip zincirleri kolay parçalayamazlar ve bu ayrışmayı oldukça yavaşlatır. Sonuç olarak bazı tip hammaddeler iyi kompost koşullarına rağmen diğer hammaddelere göre daha yavaş ayrışır. Örneğin lignin ve kitin çok geniş kompleks moleküllerdir ve mikroorganizmalar için çabucak besin kaynağı oluşturamazlar.

Yüksek C/N oranı (örn. yüksek C ve düşük N) kompost hammaddesinin parçalanmasında mikroorganizmaların büyümesini inhibe eder. Düşük C/N oranı (örn. Düşük C ve yüksek N) başlangıçta mikrobiyal büyümeyi ve ayrışmayı hızlandırır. Bu hızlanma ile eğer yığın iyi havalandırılmıyorsa oksijen çabucak tüketilir ve anaerobik kötü kokulu şartlar oluşur. Komposttaki çok yüksek miktarlardaki azot kütlesi mikrobiyal popülasyon için toksik olabilecek amonyağa dönüşebilir ve böylece kompost prosesi inhibe olur (EPA 1994).

Hayvansal atıkların aerobik kompostlanmasında en uygun C:N oranı 25:1 – 30:1 olarak seçilmelidir (Rynk 1992). Balkcom ve ark. (2001); Kosobucki ve ark. 'nın (2000) arıtma çamurlarının kompostlanması üzerine yaptığı çalışmalarda kullanılan C:N oranları ise 20-30:1 aralıklarındadır. Arıtma çamurlarının ve hayvansal atıkların birlikte kompostlanması için 25-30:1 aralıkları uygun olacaktır.

## **Nem**

Kompost yığınındaki nem oranı mikrobiyal aktivite, oksijen seviyeleri ve sıcaklık gibi diğer kompost parametreleriyle birbirine bağlıdır. Mikroorganizmalar nütrientleri sindirmek ve yeni hücreler üretmek için neme ihtiyaç duyarlar. Mikroorganizmalar burada ayrıca su üretirler. Eğer su oluşumu buharlaşma ve havalandırma vasıtasıyla kaybedilen sudan daha fazla olursa (yüksek sıcaklıklarda) oksijen akışı engellenir ve anaerobik koşullarla sonuçlanır. Bu olay genellikle % 65'in üzerinde nem seviyelerinde gözlenir. Eğer nem içeriği % 40-45 seviyelerinin altına düşerse, nütrientler sulu olmazlar ve mikroorganizmalar için çok kolay olurlar. Böylelikle mikrobiyal aktivite

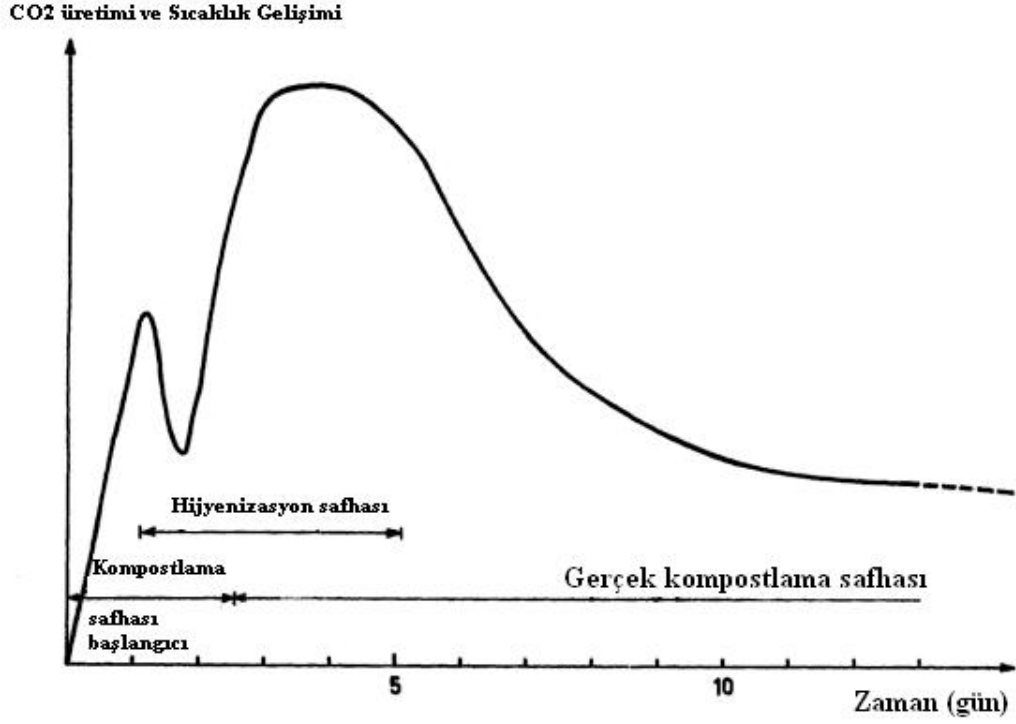
azalır ve kompostlama yavaşlar. %20 nem seviyesinin altında çok düşük mikrobiyal aktivite gözlenir (EPA 1994). En uygun nem içeriği % 50-60 olarak belirtilmiştir (Rynk 1992).

### **Sıcaklık**

Kompostlamada sıcaklık, ayrışma hızını etkileyen başlıca etkenlerden biridir. En etkili kompost sıcaklıkları 45-59 °C'dir. Eğer sıcaklık 20 °C'nin altına inerse organizmalar çoğalamazlar ve kompostlama yavaşlar. Eğer sıcaklık 59 °C'nin üzerine çıkarsa bazı mikroorganizmalar ölür veya inhibe olur ve mikroorganizma çeşitliliğinin azalmasıyla ayrışma yavaşlar.

Mikroorganizmalar tolere edebilecekleri en yüksek sıcaklıklarda en yüksek verimle organik maddeleri ayrıştırma eğilimindedirler. Mikrobiyal ayrışma oranı limite ulaşana kadar sıcaklıkla birlikte artar. Bu yüzden en etkili kompost yönetimi, kompostu mikroorganizma gruplarının tolere edebileceği en yüksek sıcaklıklarda onları inhibe etmeden veya öldürmeden işletmektir (EPA 1994). Rynk (1992)'e göre hayvansal atıkların kompostlanmasında en uygun sıcaklık 54-60 °C arasında olmalıdır.

Şekil 2.7.'de kompostlama sırasındaki CO<sub>2</sub> ve sıcaklığın zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Kompostun sıcaklık-mikroorganizma ilişkileri ve sıcaklık değişimleri hakkında daha geniş bilgi '*Kompost Mikrobiyolojisi*' bölümünde yer almaktadır.



**Şekil 2.7** Kompostlama prosesi ile kapalı kompostlamadaki CO<sub>2</sub> ve sıcaklık gelişimi grafiği (Valdmaa 1973)

### Asidite / Alkalinite (pH)

Bakteriler pH seviyesi 6,5-7 arasında yaşamayı tercih ederler (EPA 1994). Fungiler ise daha geniş pH aralıklarında rahat yaşayabilmektedirler. Genel olarak pH seçimi 5,5 – 8 arasındadır. pH 6'nın altına düştüğü takdirde mikroorganizmalar, özellikle bakteriler ölürlere ve ayrışma yavaşlar. pH seviyesi 9'un üzerine çıktığında ise azot amonyaka dönüşür ve organizmalar tarafından uygun olmayan hale gelir. Bu da kompost prosesini oldukça yavaşlatır (EPA 1994).

Kompostlama sistemleri statik yığın, havalı statik yığın, çevrilen namlu, havalı çevrilen namlu, reaktör ve tünel kompost sistemleri olarak sınıflandırılabilir. En iyi teknolojiyi temsil eden sistem seçimi kompostlanacak materyal çeşidine, çevresel ve ekonomik faktörlere bağlıdır. Bunun yanında, başarılı bir kompostlama sadece kompostlama sistemlerinin iyi yönetilmesiyle gerçekleştirilebilir (Ekinci ve ark. 2004; Keener ve ark. 2000).

Hayvansal atıkların ve arıtma çamurlarının kompostlanmasında en iyi sonuçları alabilmek için pH seviyesi 6,5-7,2 arasında olmalıdır (Sweeten ve Auvermann 2008).

Olgunlaşmış ve olgunlaşmamış kompost arasındaki farklar Çizelge 2.4.'de belirtilmektedir.

**Çizelge 2.4.** Olgun kompost ile olgunlaşmamış kompostun karşılaştırılması (Erdin 2006)

<b>Olgun Kompostlarda</b>	<b>Olgunlaşmamış Kompostlarda</b>
Azot nitrat olarak bulunur.	Azot amonyum olarak bulunur.
Kükürt sülfat olarak bulunur.	Kükürt kısmen sülfid olarak bulunur.
Oksijen gereksinimi azdır.	Oksijen gereksinimi fazladır.
Çürümez	Çürüme tehlikesi vardır.
İz elementler mevcuttur bitki alabilir.	İz elementler yoktur. Yıkanabilir.
Fazla miktarda vitamin ve antibiyotikler mevcuttur.	Az miktarda vitamin ve antibiyotikler mevcuttur.
Su tutma özelliği fazladır.	Su tutma özelliği azdır.
Kil-humus kompleksi vardır.	Kil-humus kompleksi yoktur.

### **2.1.6. Kompostlama metotları**

Geniş çeşitliliğe sahip olan mevcut kompostlama metotlarını genel olarak yığın ve tünel tipi kompostlama olarak 2 kategoriye ayırmak mümkündür. Yığın tipi kompost sistemlerinin ana özelliği, substratın yığınlar halinde birleştirilmesidir. Bu yığınlar genellikle 1,5-2,5 m yüksekliğinde ve uzatılmış şekildedirler. Tünel tipi kompost metotlarında ise kompostun tamamı veya bir kısmı reaktör içerisine yerleştirilir. Ayrıca birçok tünel tipi kompostlama yönteminde kompostun olgunlaşabilmesi için yığın metoduna da ihtiyaç duyulmaktadır. (Diaz ve ark. 2007).

## Yığın tipi kompostlama metotları

### *Pasif kompostlama*

Pasif kompostlama oldukça düşük yönetim sistemine sahiptir. Kompostlama oldukça yavaştır. Ağaç yaprakları, çeşitli kabuklar, hayvan altı altlıklar ve hızar talaşları gibi gözenekli organik maddelerin kompostlaması için pratiktir. Yığındaki materyal aerobik kompostlama için gereken koşulları her zaman karşılamaz. Materyalin azot muhtevası yüksek ve karbon muhtevası düşüktür (Öztürk M. 2008).

### *Sıralı yığın kompostlama*

Sıralı yığın metodu dünyada uygulanan en genel metotlardan biridir. Sıralı yığın kompostlama, ham madde karışımının uzun yığınlar şeklinde veya düzenli aralıklarla döndürülen veya karıştırılan yığın-sıraları şeklinde oluşturulmasıdır. Sıralı yığınların yükseklikleri 0,9 m (hayvansal atık gibi yoğun maddeler için) ile 3,6 m (yaprak gibi kabarık maddeler için) arasında değişir. Genişlikleri ise 3-6 m arasında değişir. Döndürmede kullanılacak teçhizat yığın sıralarının boyutları, şekli ve aralarındaki mesafeye göre belirlenir. Sıralı yığın kompostlama metoduna bir örnek Şekil 2.8.'de verilmiştir.



**Şekil 2.8** Sıralı yığın kompostlama metodu (Öztürk M. 2008).

### ***Pasif havalandırmalı yığın metodu***

Pasif havalandırmalı sıralı yığın olarak bilinen metot yığın sıraları içine gömülmüş delikli borular sayesinde kompost yığınının hava verilerek yapılır. Bu boruların ucu açıktır. Sıcak gazın sıralı yığının dışında yükselmesiyle oluşan baca etkisinden dolayı hava borulara, oradan da sıralı yığına doğru hareket eder. Yığınların yüksekliği 0,9-1,2 m olmalı ve nemin emilmesi ve sıralı yığını yalıtım için saman, turba yosunu veya bitmiş komposttan oluşturulmuş bir taban üzerine serilmelidir. Pasif havalandırmalı yığın metoduna bir örnek Şekil 2.9.'da verilmiştir.



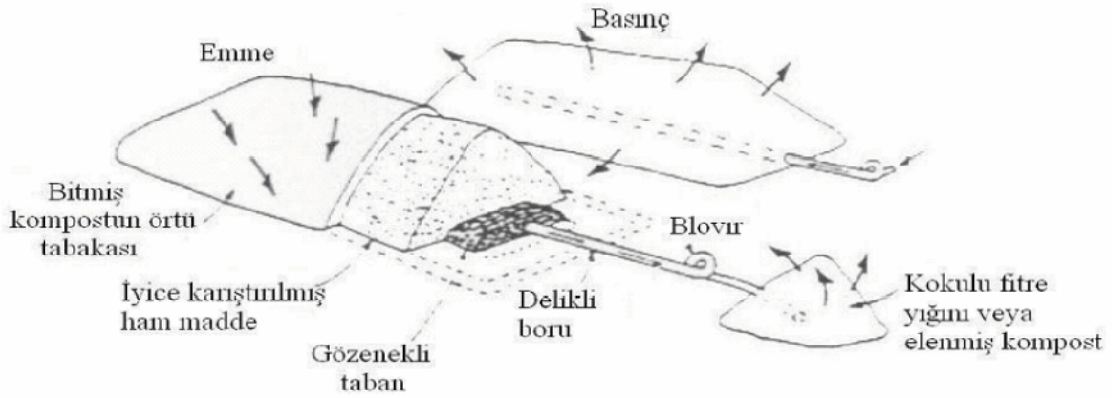
**Şekil 2.9** Pasif havalandırmalı yığın metodu (Öztürk M. 2008)

### ***Havalandırmalı statik yığın kompostlama***

Havalandırmalı statik yığın kompostlama, yığınlara üfleyicilerle basınçlı hava verilerek yapılır. Üfleyiciler kullanılarak işlem doğrudan kontrol edilebilir ve daha büyük yığınlar oluşturulabilir. Yığın oluşturulduğunda madde döndürülmez veya karıştırılmaz. Yığın gerektiği gibi oluşturulduysa, havalandırma verimli ve hava yığın içinde uniform dağılıyorsa aktif kompostlama periyodu yaklaşık 3-5 hafta sürer. Havalandırılmış statik yığın tekniğinde ham madde karışımı; tahta yongaları, saman sapları veya diğer çok gözenekli maddelerden oluşturulmuş bir taban üzerine serilir. Gözenekli taban içinde delikli havalandırma borusu vardır. (Şekil 2.10). Bu boru havayı yığına veren veya yığından atan bir üfleyici ile bağlantılıdır. Yığının ilk yüksekliği maddenin porozitesine, hava koşullarına ve yığını oluşturmada kullanılan ekipmana bağlı olarak 1,5-2,5 m

arasında değişir (Öztürk M. 2008). Havalandırmalı statik kompostlama Şu Şekilde gerçekleşir;

1. Atık ile yapı malzemesi karıştırılarak hazır hale getirilir.
2. Oluşan karışım yığınlar haline getirilir.
3. Kompostlama prosesi gerçekleşir.
4. Kompostlanan karışım elekten geçirilerek yeniden kullanılabilir yapı malzemeleri ayklanır.
5. Olgunlaşma aşaması
6. Depolama (Diaz ve ark. 2007).



**Şekil 2.10** Havalandırmalı statik yığın kompostlama metodu (Öztürk M. 2008).

### **Tünel tipi kompostlama metotları**

Tünel tipi kompostlamanın bir diğer adı da reaktör kompostlamadır. Kompostlama işlemi biyolojik bir işlem olduğundan bu üniteler biyoreaktör olarak da adlandırılabilir. Biyoreaktörlerin sayısı ve cinsi son birkaç yılda hızla artmıŐtır (Diaz ve ark. 2007). Biyoreaktörler Őekillerine göre düŐey ve yatay olarak ikiye ayrılırlar. Kanallar, depolar, konteynırlar ve tüneller yatay reaktörleri oluŐtururken, dikey reaktörler ise genellikle silindir Şeklinde konteynır veya tanklardan oluŐurlar. (Haug 1993, Diaz ve ark. 2007). Ayrıca biyoreaktörler;

- Piston akımlı dikey reaktör
- Piston akımlı yatay reaktör
- Silo tipi kompost reaktörü
- Döner yatay tambur
- Yatay ve üzeri açık dikdörtgen tank
- Karıştırmalı dikey reaktör
- Karıştırmalı dikdörtgen yataklar olarak sıralanabilir (Yıldız ve ark. 2009).

Depoda kompostlama, kapalı reaktörde kompostlama metotlarının en kolay olanıdır. Maddeler duvarlar ve çatıdan oluşan yapı içinde tutulurlar. Depolar ayrıca mevsimsel değişikliklerden etkilenmezler, kokuyu tutarlar ve sıcaklık kontrolü sağlarlar. Depoda kompostlama metotları havalandırmalı statik yığınlar gibi çalışır. Bu metot basınçlı havalandırma ile deponun tabanından hava verilerek yapılır ve maddeler çok seyrek döndürülür.

Konteynır içerisinde kompostlamada üfleyiciye bağlı havalandırma boruları vardır. Gübre ve kuru düzenleyiciler konteynıra günlük beslenir ve konteynır toplanana kadar birkaç gün havalandırılır ve kompostlamayı bitirmek için merkezi bir tesise gönderilir. Kompost konteynırını toplandıktan sonra yerine yenisi konur (Öztürk M. 2008).



**Şekil 2.11** Reaktör kompostlama metodu (Yıldız ve ark. 2009).



### 2.1.7. Anaerobik kompostlama

Yüzyıllar önce Çinli pirinç çiftçileri pirinçlerinin daha iyi yetişebilmesi için anaerobik kompostlamayı uygulamışlardır. 1900'lerden önce de anaerobik kompostlama çoğu çinli pirinç çiftçisi için yaygın hale gelmiştir (Anonim 2012c).

Anaerobik kompostlama, organik maddenin fermantasyon sırasında yavaş olarak parçalanmasıdır. Kompost içerisinde çoğunluğunu bakterilerin oluşturduğu mikroorganizmalar düşük oksijenli ortamda çoğalarak organik madde içerisinde bulunan azotlu veya kükürtlü bileşikleri azaltarak humusa, organik asitlere ve gazlara dönüştürürler. Biri bittiğinde diğerine geçebilmek için genellikle iki ayrı reaktör kullanılır (Cowan ve ark. 1994). Yavaş parçalanma ve koku gibi problemlerinden dolayı yaygın değildir.

**Anaerobik olarak kompostlanabilir materyaller:** Yağsız mutfak artıkları, ev bitkileri artıkları, kahve esaslı ürünler ve filtreleri, yumurta kabukları, hayvan ve insan saçları, kılları, çay poşetleri, temizlenmemiş kağıt havlular ve kağıt mendiller.

**Kompost içerisinde az miktarda bulunmasına izin verilen materyaller:** odun külleri, ot, yaprak

**Anaerobik olarak kompostlanamayan materyaller:** Et ve kemikler, hayvan yağları, kömür külü, günlük ürünler, odunsu bahçe atıkları, toz, **hayvan ve insan dışkıları (patojen içeriğinden dolayı)**

Anaerobik kompostlama en iyi yağsız mutfak artıkları ve yumuşak bahçe artıkları gibi zengin azot içerikli materyaller ile gerçekleşir. Kuru yaprak, toz, odunsu bahçe bitkileri gibi karbon içeriği yüksek materyallerin kullanılmasından kaçınmak oldukça önemlidir. Bu tarz materyaller anaerobik kompostlamayı yavaşlatır veya durdurur. Bu yüzden aerobik olarak kompostlanmalıdır.

Anaerobik kompostun olgunlaşabilmesi için nem ve kompostlanan materyal içeriğine bağlı olarak 3 aydan daha uzun bir süre gereklidir (Cowan ve ark. 1994).

Düzenli statik yığın kompostta anaerobik koşulları yüksek tutabilmek için nem içeriğinin %70'in üzerinde olması önerilir. Yığma normalden fazla su eklemek oksijeni

yığından uzaklaştırır (Anonim 2012c). Anaerobik kompostlamada, aerobik kompostlamanın aksine yığın karıştırılmasına gerek yoktur. Anaerobik kompostlamada aktif olan mikroorganizmalar hakkında çok fazla bilgi mevcut değildir ancak anaerobik parçalanmada etkili olan organizmaların kompostlamada da bulunduğu bilinmektedir (<http://urbanindia.nic.in/publicinfo/swm/chap14.pdf>, 2011).

Aerobik ve anaerobik kompost proseslerindeki komposta dönüşüm oranları sırasıyla % 42 ve % 33 tür. Anaerobik kompost prosesinde, yaş ağırlık bazında reaktöre alınan organik katı atığın takriben % 12'lik kısmı % 55 - 60 CH<sub>4</sub> ihtiva eden biyogaza dönüşür. Havasız kompost sistemlerinde proses seçiminde, başlıca iki proses esas alınır;

1) Çamur çürütme benzeri düşük katılı prosesler

2) Yüksek katılı (kuru) prosesler arasında yapılır.

(<http://www.ibb.gov.tr/sites/atikyonetimi/Documents/pdf/kompost-tesis.pdf>, 2011).

### **Anaerobik Kompostlamanın Avantajları**

- Aerobik kompostlamaya göre çok daha basittir.
- Aerobik kompost ile karşılaştırıldığında hacim başına düşen kullanışlı humus daha fazladır.
- Tamamlanmış kompostta anaerobik organizmaların aerobik organizmalardan daha az azot kullanma eğiliminden dolayı daha yüksek seviyede amonyum mevcuttur.
- Anaerobik kompostlamada biyogaz elde edilir.

### **Anaerobik Kompostlamanın Dezavantajları**

- Organik materyallerin parçalanmasıyla oluşan hidrojen sülfür gibi sülfür içerikli bileşenlerden dolayı çok ağır kokular oluşabilir.
- Aerobik kompost ile karşılaştırıldığında daha prosesin tamamlanabilmesi için gereken süre çok daha uzundur.
- Eğer anaerobik kompost gerektiği kadar bekletilmezse (1 yıl gibi) patojen içerme riskiyle karşı karşıyadır (Anonim 2012c).

## **2.2. Anaerobik Çürütme Prosesi Hakkında Genel Bilgiler**

### **2.2.1. Anaerobik çürütmenin tanımı**

Hayvansal atıkların ve arıtma çamurlarının değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer proses de anaerobik çürütme prosesidir. Anaerobik çürütme, insanoğlu tarafından başlangıçta yiyecek ve içecek üretimi için kullanılan en eski biyolojik proseslerden biridir. Yüzyıllardır uygulanmasına ve geliştirilmesine rağmen ancak son yıllarda özellikle endüstriyel atık su için yüksek arıtma verimleri sağlanabilmiştir.

Anaerobik çürütme, organik karbonun çeşitli indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonları ile karbondioksit ve metana dönüştüğü bir prosestir. Çok sayıda mikroorganizma kolektif bir şekilde bu reaksiyonları katalizler. Bozunma sonucu karbondioksit ve metana ilave olarak, az miktarda elementel azot, hidrojen, amonyak ve hidrojen sülfür oluşur. Bu gazın karışımına biyogaz denir. Biyogazın ısıl değeri doğalgazdan daha düşüktür ve bazı özel uygulamalar için kalitesinin iyileştirilmesi gerekir (Öztürk İ. ve ark 2009).

### **2.2.2. Anaerobik çürütmenin amaçları ve faydaları**

Anaerobik çürütmenin amaçları, aerobik çürütmede olduğu gibi organik maddeyi stabilize etmek, hacmi azaltmak ve patojenik organizmaları yok etmektir (Spellman 2004). Anaerobik çürütmenin bir başka amacı da, çamuru arıtma sırasında en az biyokütle oluşumu ile sıvı ve gaz son ürünlerine dönüştürmektir. Aerobik çürütmeye göre çok daha ekonomiktir (Clisso 2002). Anaerobik çürütme oksijen yokluğunda bakteriler, mayalar ve funguslar tarafından biyolojik olarak parçalanabilir atıkların çürütülmesi amaçlı, tarımda kullanılabilir stabil biyogübre ve yakılarak veya elektrik üretiminde kullanılabilen biyogaz elde edilen bir prosestir ([http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/T25\\_exemption.pdf](http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/T25_exemption.pdf), 2011).

Yüksek organik yükleme oranları ve düşük çamur üretimi diğer biyolojik operasyonlara göre anaerobik çürütmenin bazı avantajlarından. Elbette bu avantajlardan en büyüğü biyogaz üretimidir. Tabii ki proses sonunda pozitif enerji çıkışı olan tek yöntem anaerobik çürütme değildir ancak üretilen biyogaz fosil yakıtların yerini alabilir ve böylelikle sera gazlarının azaltılmasına doğrudan etki eder (Anonim 2002).

**Anaerobik çürütmenin avantaj ve dezavantajları** şu şekildedir;

#### **Avantajları**

- Patojenik ve fekal mikroorganizmaların büyük çoğunluğunu yok eder.
- Koku ve diğer çevresel etkiler oldukça düşüktür.
- Çürütmeden çıkan atık gübre olarak kullanılabilir. Biyogaz üretiminden sonra elde edilen gübre daha kolay kullanılabilir gübredir.
- Evlerden çıkan diğer katı evsel atıklar ve tarımsal atıklar da hayvansal atıklarla veya arıtma çamurlarıyla birlikte biyogaz üretiminde kullanılabilir.
- Özellikle ülkemizde hayvancılığın gelişmesine teşvik edici unsur olacaktır. Dolayısıyla suni gübreye bağımlılığı azaltarak sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunur. Ayrıca ülkemizin dışarıya olan enerji bağımlılığını azaltır.
- Anaerobik çürütme, enerji üretme prosesidir. Oluşan biyogaz, elektrik enerjisine çevrilerek prosesin maliyeti düşürülebilir. Ayrıca büyük binaların ısıtılmasında da kullanmak mümkündür.
- Fosil olmayan bir yakıttan elde edilmiş enerji küresel ısınmanın etkisini azaltır. Benzer şekilde, metan gazının toplanmasından dolayı, havadaki metan gazının azaltılmasında büyük rol oynar.

#### **Dezavantajları**

- Yüksek ilk yatırım maliyetleri, kalifiye personel ve kontrol gereklidir.
- Mikroorganizmaların çoğunun ölmesi için prosesin termofilik olması veya pastörizasyon içermesi gerekir.
- Atık ve azot miktarlarında azalma olmaz (Svoboda 2003; Tolay ve ark. 2008).

### 2.2.3. Anaerobik çürütmenin tarihçesi

Organik maddelerin büyük yığınlar içerisinde çürütülmesine imkan sağlandığı takdirde, yanıcı gazların üretilmediği birkaç yüzyıldır bilinmektedir ve John Dalton ve Humphrey Davy'nin 1804-1808 yılları arasında keşfettiği metan gazı da bir yanıcı gazdır.

1968 yılında Bechamp'ın raporuna göre metan gazı mikrobiyolojik prosesler aracılığıyla organik maddelerin ayrışması ile şekillenir. Omelianski 1890'larda selülozun fermantasyonunda hidrojen gazının, asetik ve bütrik asitin salınımından sorumlu mikroorganizmaları izole etmiştir. Ayrıca metanın hidrojen ve karbondioksitten oluşumunu da rapor etmiştir. 1910'lu yıllarda Sohngen Omelianski'nin buluşunu onaylamış ve ayrıca kompleks materyallerin fermantasyonu sonucu asetik asit, karbondioksit ve hidrojen oluşumunu raporlamıştır. Deneysel çalışmalarında hidrojen karbondioksit ile reaksiyona girerek metanı oluşturmuştur. Ayrıca asetik asidin dekarboksilasyon yolu ile metana dönüştüğünü varsaymıştır. Bu varsayım on yıllarca tartışmada kalmıştır ama aslında bunun doğru olduğu şu anda bilinmektedir.

Bir Fransız olan Mouras 1881 yılında anaerobik çürütmeyi kendi buluşu olan ilkel bir çöktürme tankı içerisinde ilk kez bir arıtım yolu olarak uygulamıştır ve bunu "otomatik çöpçü" olarak adlandırmıştır. Daha sonra 1895 yılında bir İngiliz olan Cameron, Mouras'ın otomatik çöpçüsüne benzeyen ve daha iyi arıtım verimiyle çalışan bir tank inşa etmiştir ve bunu septik tank olarak adlandırmıştır. Septik tankları kullanırken elde edilen başarılı sonuçlardan dolayı 1897 yılında Exeter yerel yönetimi şehir atık sularının arıtımının bu tanklarda gerçekleştirilebileceğini onaylamıştır. Ayrıca septik tanklar içerisinde çamurun parçalanmasıyla oluşan metan gazının değeri Cameron tarafından tanımlanmıştır ve oluşan bu gaz, bertaraf ünitelerindeki ışıklandırma ve ısıtma işlemlerinde kullanılmıştır.

Anaerobik çürütme, takip eden yıllarda özellikle evsel atık sularından elde edilen parçalanabilir katıların stabilizasyonunda kullanılmıştır. Bu olay, hayvansal atıkların ve arıtma çamurlarının çürütülmesinde bugün bile kullanılan tam karışımli reaktörlerin dizaynına öncü olmuştur. 1970'lerin başında fosil yakıt fiyatlarının keskin yükselişi ve

kirlilik kontrol yasalarının zorlayıcılığıyla endüstriyel atık sularda anaerobik çürütme yönteminin kullanılması teşvik edilmiştir (Tauseef ve ark. 2010).

### **Hindistan’da Biyogaz**

Batının aksine enerjinin önemli ve petrol fiyatlarının yükselmekte olduğu Hindistan’da anaerobik çürütme prosesi, dünyanın diğer birçok ülkesine göre daha önemliydi. Bu yüzden Hindistan’da anaerobik çürütme prosesinde öncelik biyogaz tesislerinden çok enerji üretimi üzerinedir. Hindistan’ın anaerobik çürütmeye olan ilgisine ilk kanıt, 1897 yılında Bombay’daki Matunga Leper sığınağında insan dışkısından üretilen gazın ışıklandırma ihtiyacına karşılık olarak kullanılmasıdır.

Chawla (1986)’ya göre Hindistan’da hayvan dışkısından gaz üretimi için yapılan ilk teşebbüs 1900 yılında gerçekleşmiştir. Ancak ilk başarılı teşebbüs, 1937 yılında gerçekleşebilmiştir.

Teknolojinin yoğun araştırmaları ancak 1950’lerde birkaç ünite dizaynı ile başlamıştır. Bunlar içinde en kayda değer, Grama Laxmi III. olarak bilinen Joshbai Patel tarafından geliştirilendir. Bu daha sonra bu dizayn Khadi ve Köy Endüstri Komisyonu (KVIC) tarafından geliştirilen yüzer çatılı modelin prototipi olmuştur.

2009 yılındaki bir rapora göre devletin 6. beş yıllık kalkınma planında anaerobik çürütme tesisleri teşvik edilerek tahmini olarak bir milyon evsel tip ve yüzlerce büyük ölçekli tesisinin inşa edilmesi vaadi gerçekleştirilmiştir. Günümüzde ise Hindistan’da 4 milyon’a yakın biyogaz tesisi bulunmaktadır.

Bu yüzden Hindistan dünyada, Çin’den sonra en büyük ikinci biyogaz tesisi sahibi ülkedir (Tauseef ve ark. 2010).

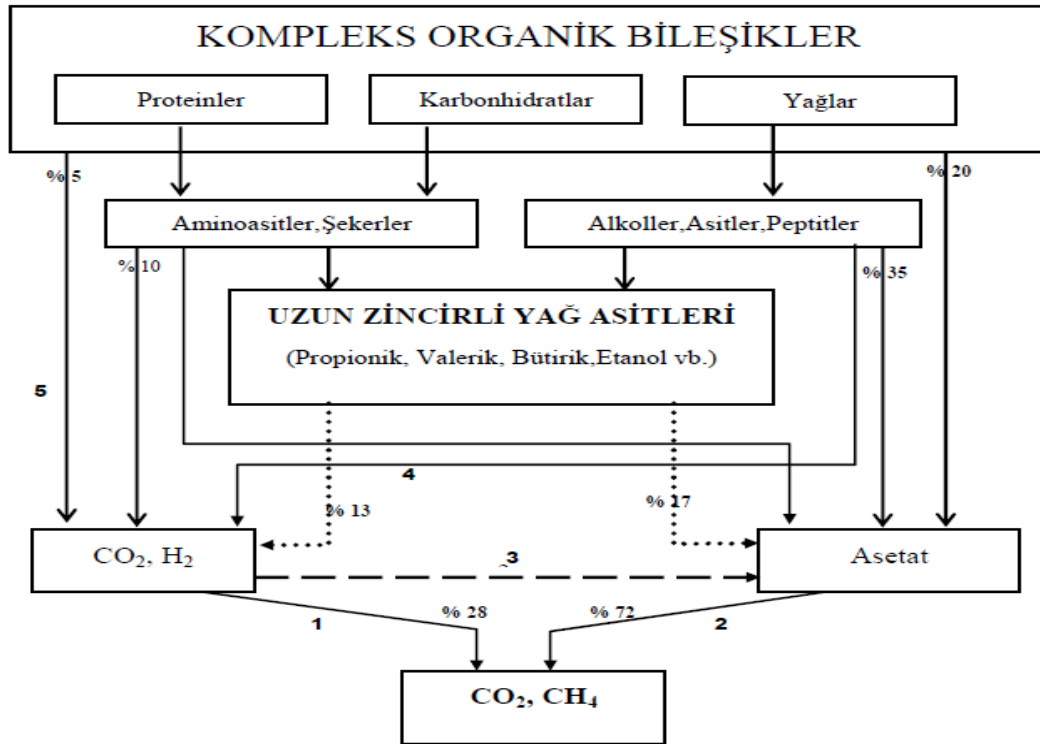
#### **2.2.4. Anaerobik çürütmenin mekanizması**

Anaerobik çürütme 3 evrede gerçekleşmektedir. Bunlar; hidroliz, asit oluşumu ve metan oluşumu evreleridir. Şekil 2.12’de biyokütlenin anaerobik fermantasyonundaki evreler ve mikroorganizma grupları verilmiştir. Hidroliz evresinde karmaşık yapıları organik moleküller, mikroorganizmaların hücre dışı enzimleri ile daha küçük ve daha basit

yapıda moleküllere dönüşmektedir. Bu evrede selüloz, lignin ve hemiselüloz gibi karbonhidratlar glikoz, pentoz ve heksoza; proteinler, polipeptid ve aminoasitlere; ve yağlar ise alkoller, asitler ve hidrojene dönüşmektedir. Yağların hidrolizi çok yavaş gerçekleştiğinden, hidroliz evresi anaerobik işlemlerde biyolojik parçalanma hızını belirleyen evredir.

Asit oluşum evresinde görev alan mikroorganizmalar tarafından kullanılabilir yapıya dönüştürülen organik moleküller valerik asit, bütrik asit, propiyonik asit ve asetik asit gibi organik asitlere, ve metanola dönüştürülmektedir. Bu evrede çözülmüş karbonhidratlar etanol, H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'e, amino asitler, süksinik asit ve H<sub>2</sub>'e, yağ asitleri ise asetat ve H<sub>2</sub>'e dönüşmektedir.

Metan oluşum evresinde ise, asit oluşum evresinde oluşan organik asitler, H<sub>2</sub> ve asetat, metan oluşturan mikroorganizmalar tarafından kullanılmakta ve biyogaza dönüştürülmektedir. Bu evrede oluşan metanın % 70'i asetatın dekarboksilasyonu, geriye kalanı ise hidrojen kullanan metan bakterileri tarafından CO<sub>2</sub>'in indirgenme reaksiyonları ile oluşmaktadır.



**Şekil 2.12** Biyokütlenin anaerobik fermantasyonundaki evreler ve mikroorganizma grupları (Tolay ve ark. 2008).

Anaerobik parçalanma sonucu, %50-80 CH<sub>4</sub> (metan) ve % 20-50 CO<sub>2</sub> (karbondioksit) ve çok az miktarlarda hidrojen, karbonmonoksit, azot, oksijen ve hidrojen sülfür gibi içeren gaz karışımı oluşmaktadır (Tolay ve ark. 2008). Biyolojik yolla üretilen bu gaz biyogaz olarak tanımlanmaktadır. Oluşan bu gazın bileşimi kullanılan hammaddeye ve ortam koşullarına göre değişmekle beraber % 99 CH<sub>4</sub> içeren biyogazın (doğalgaz) ısıl değeri 37,3 MJ/m<sup>3</sup> , % 65 CH<sub>4</sub> içeren biyogazın ısıl değeri ise 24,0 MJ/m<sup>3</sup> dür. Çizelge 2.5.'de çeşitli yakıtların ısıl değerleri verilmektedir.

**Çizelge 2.5.** Çeşitli yakıtların ısıl değerleri (Staffort ve ark. 1980)

Yakıt Türü	Isıl Değeri	
	MJ/L	MJ/kg
Propan		25,5
Bütan		49,6
Gazolin		47,1
Dizel yakıtı		45,6
Fuel oil		43,2
Doğalgaz (%99 CH <sub>4</sub> )	37,3*	52
Biyogaz (%65 CH <sub>4</sub> )		33,5
Kömür		
Bitümlü		32,6
Linyit		14
Odun		19,8
Elektrik	3,6\$	

\*MJ/m<sup>3</sup> : MJ/kW

### 2.2.5. Anaerobik çürütme mikrobiyolojisi

Anaerobik çürütme, ekosistemde bulunan birkaç grup mikroorganizmanın karmaşık yapıları organik bileşiklerini metan, karbondioksit , hidrojen sülfür, su amonyak ve yanında yeni bakteri hücreleri gibi son ürünlere dönüştürürken yaptıkları etkileşimli çalışma olarak tanımlanabilir (Chernicharo 2007). Çoğunluğu metanojenler ve bakteriler olan bu mikroorganizma grupları kompleks yüksek moleküler ağırlıklı organik bileşiklerin metana dönüşmesinde rol oynarlar (Qi 2008).



Organik Madde ----»  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{S}$

Anaerobik parçalanmada; öncelikle polimerik yapıdaki kompleks maddeleri (polisakkaritler, proteinler ve lipitler) birinci grup organizmalar, enzim salgılayarak glukoz ve aminoasitler gibi daha küçük boyutta hücre zarından geçebilecek çözünebilir ürünlere dönüştürürler. Daha basit ve çözünebilir yapıdaki bu bileşikler, asetojenik bakteriler vasıtasıyla fermantasyon ve anaerobik oksidasyonla kısa zincirli yağ asitlerine, uçucu yağ asitlerine, alkollere, karbondioksite, hidrojene ve amonyağa dönüşmektedirler. Asetat dışındaki kısa zincirli yağ asitleri de metan üreten bakteriler vasıtasıyla asetata, hidrojen gazına ve karbondioksite dönüştürürler. Prosesin son safhasında asetatin parçalanması ve  $\text{H}_2$  ile  $\text{CO}_2$ 'in sentezi yoluyla metan üretimi gerçekleşmektedir. Anaerobik parçalanma farklı mikroorganizma gruplarının yer aldığı oldukça karmaşık bir biyokimyasal süreçtir.

Anaerobik işlemlerde görev yapan temel bakteriler dönüştürdükleri maddelere göre şu şekilde gruplandırılabilir.

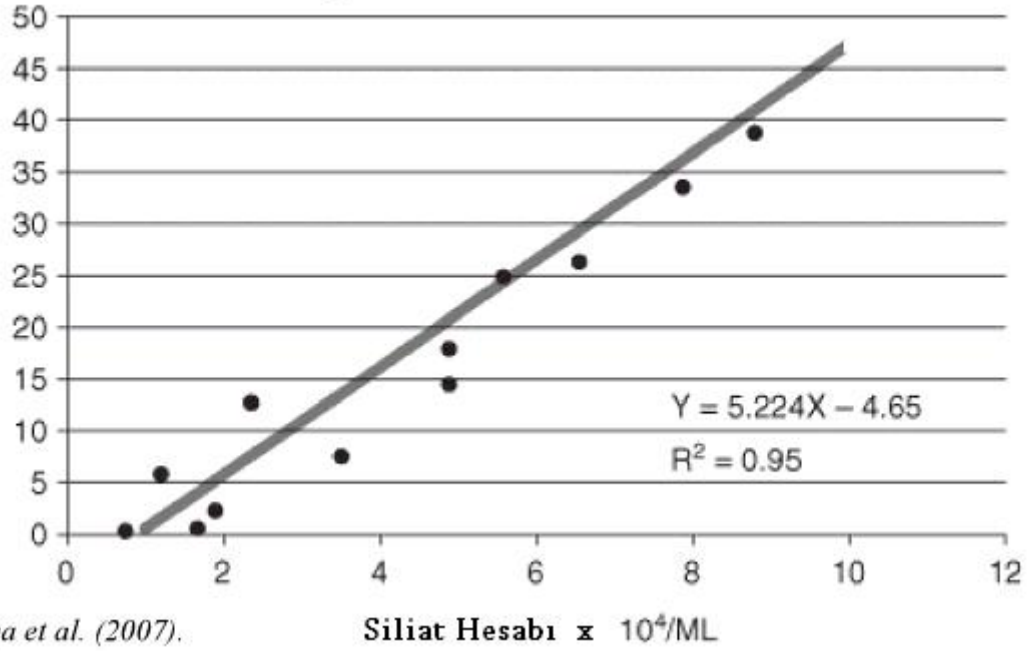
**Çizelge 2.6.** Anaerobik işlemlerde görev yapan bakterilerin dönüştürdükleri maddelere göre sınıflandırılması (Demirer ve ark. 2001)

<b>Bakteri</b>	<b>Cins veya Türler</b>
Proteinleri, amino asit ve şekere dönüştüren bakteriler	<i>Clostridium, Proteus vulgaris, Bacteriodes, Peptococcus, Bacillus, Vibrio,</i>
Karbonhidratları basit şekerlere dönüştüren bakteriler	<i>Clostridium, Bacteriodes, Staphylococcus, Acetovibrio cellulities,</i>
Yağları: yağ asitleri, amino asitler ve alkollere dönüştüren bakteriler	<i>Clostridium, Staphylococcus, Micrococcus</i>
Amino asit ve şekerleri, yağ asitleri, ve alkollere dönüştüren bakteriler	<i>Zymomonas mobilis</i>
Amino asitleri doğrudan asetata dönüştüren bakteriler	<i>Lactobacillus, Escherichia, Staphylococcus Micrococcus, Bacillus, Pseudomonas, Desulfovibrio, Selenomonas, Sarcina, Streptococcus,</i>
Amino asitleri ara ürünlere dönüştüren bakteriler	<i>Desulfobacter, Desulfuromonas, Clostridium, Streptococcus, Eubacterium</i>
Yağ asitleri ve alkolleri ara ürünlere dönüştüren bakteriler	<i>Clostridium, Syntrophomonas wolfei</i>
Ara ürünleri asetat ve H <sub>2</sub> 'e dönüştüren bakteriler	<i>Syntrophomonas wolfei, Syntrophobacter wolinii,</i>
Asetatı H <sub>2</sub> 'e dönüştüren bakteriler	<i>Clostridium aceticum</i>
Asetatı metana dönüştüren bakteriler	<i>Methanothrix, Methanosarcina, Methanosprillum</i>
H <sub>2</sub> 'i metana dönüştüren bakteriler	<i>Methanobacterium, Methanobrevibacterium, Methanoplanus</i>

Gruplarda görüldüğü gibi her madde, o maddeyi parçalayabilen mikroorganizmalar tarafından parçalanabilmektedir.

Bazı fungi ve anaerobik protozoaların anaerobik çürütücülerde bulunabilmesine karşın sistemde bakteri ve metanojenler hiç kuşkusuz dominant mikroorganizmalardır (Qi 2008). Sürekli karışimli reaktörlerde siliatlı protozoaların sayısı KOİ giderimi ve metan üretimi ile güçlü bir şekilde ilişkilendirilmiştir (Şekil 2.13.).

Metan üretimi oranı (ml/gün)



Şekil 2.13 Siliatlı protozoaların sayısı ile metan üretimi arasındaki ilişki (Bitton 2011).

Sayıları oldukça fazla ve fakültatif olan *Bacterioides*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Lactobacillus* ve *Streptococcus* organik bileşiklerin hidrolizi ve fermentasyonunda görev alırlar (Qi 2008).

Anaerobik sistemlerde rol alan ve birbirleriyle çok yakın ilişkileri olan mikroorganizmaları

Hidrolitik bakteriler,

Asit üreten fermentasyon bakterileri,

Hidrojen üreten asetojenik bakteriler

Homoasetojenik bakteriler ve

Metanojenik bakteriler olarak da 5 gruba ayırmak mümkündür.

### **Hidrolitik bakteriler**

Bu grup bakteriler sakkaritler, proteinler, lipitler, selüloz ve lignin gibi karmaşık yapılı organik maddeleri parçalayarak çözünebilir monomerler olan aminoasit, glukoz, yağ asitleri ve şekerleri oluştururlar. Oluşan bu monomerler, diğer grup bakterilerin doğrudan alabilmesi için hazır durumdadır. Kompleks bileşiklerin hidrolizi proteaz ve lipaz ve selülaz gibi hücre dışı enzimler tarafından desteklenir. Bununla birlikte hidrolitik evre diğer evrelere göre yavaştır ve selülozlu maddeler gibi lignin içeren atıkların anaerobik olarak çürütülmesinde sınırlandırılabilir (Qi 2008). Hidrolitik bakterilerin meydana getirdiği reaksiyonlar şu şekildedir (Arıkan 2008);

Polimer maddeler → Heksozlar → C<sub>2</sub> – C<sub>3</sub> – C<sub>4</sub>'lü bileşikler

### **Asit üreten fermantasyon bakterileri**

Çözünmüş organik bileşikler bu aşamada fermantatif bakteriler tarafından propiyonik, bütirik ve asetik asit gibi uçucu yağ asitleri, alkoller, laktik asit, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> ve H<sub>2</sub>S gibi bileşiklere dönüştürürler. Asidojenez kademesinin ürünleri asetojenler ve metanojenler için önemlidir.

Bu fazda H<sub>2</sub>, metanojenler tarafından etkili şekilde ortamdaki giderilirse asetat ana bitiş ürünü olur. Metanojenlerin daha az aktif olması durumunda ortamda H<sub>2</sub> birikiminden dolayı daha indirgenmiş ürünler olan propiyonat ve bütirat oluşacak ve hatta daha da indirgenmiş ürünler olan laktat ve alkoller oluşacaktır. Stabilitesi bozulmuş anaerobik reaktörlerde sık olarak bu indirgenmiş ürünlere rastlanmaktadır.

Asidojenez fazı anaerobik işlemlerde en hızlı gerçekleşenidir ve yüksek ΔG'ler elde edildiğinden yüksek bakteriyel çoğalma değerleri gerçekleşir. Asidojenez ve metanojenez fazlarına ait kinetik katsayılar Çizelge 2.7.'de verilmiştir.

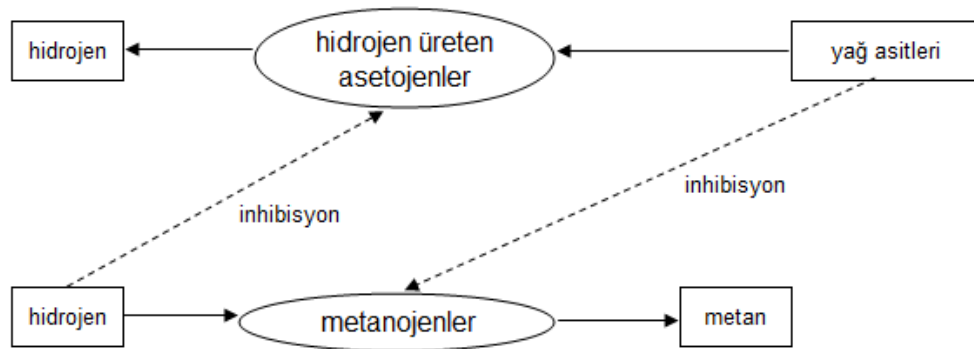
**Çizelge 2.7.** Asidojenez ve metanojenez fazlarına ait kinetik katsayılar (Alkan 2012).

Proses	Substrat dönüşüm			
	hızı g KOİ / g UAKM.gün	Y g UAKM / g KOİ	K <sub>S</sub> mg KOİ / L	μ <sub>max</sub> gün <sup>-1</sup>
Asidojenler	13	0.15	200	2.0
Metanojenler	3	0.03	30	0.12

### Hidrojen üreten asetojenik bakteriler

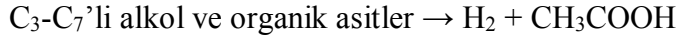
Asetik asit bakterileri olarak da anılan H<sub>2</sub> üreten asetojenik bakteriler, asidik şartlarda büyürler. Hidrojen üreten asetojenik bakteriler, çoğalmaları için gerekli enerjiyi organik asit ve solventlerin asetik asit, H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>' e parçalanması sonucu açığa çıkan enerjiden sağlarlar. Termodinamik sebeplerle asetik asit bakterileri sadece H<sub>2</sub> kullanan mikroorganizma alt grupları ile birlikte yaşarlar. Asit oluşturucu bakteriler, çözülmüş organik maddeleri asetik asit başta olmak üzere uçucu yağ asitleri, hidrojen (H<sub>2</sub>) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gibi daha küçük yapıllı maddelere dönüştürürler (Arıkan 2008).

Bu grup ana yağ asitlerinden (propiyonik, bütirik), alkollerden ve diğer yağ asitlerinden (valerik asit, izovalerik asit), asetik asit, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> gibi ürünlerin oluşumundan sorumludur. Bu türler özellikle lipidlerin hidrolizi sonucu ortaya çıkan uzun zincirli yağ asitlerinin β oksidasyonunda görev alırlar ve aynı zamanda aromatik bileşiklerin anaerobik ayrışmasını da sağlarlar (Alkan 2012).

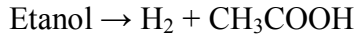


**Şekil 2.14.** Hidrojen üreten asetojenlerin aktiviteleri (Alkan 2012).

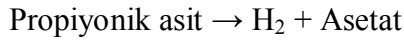
Hidrojen üreten asetojenik bakterilerin meydana getirdiği reaksiyonlar aşağıda belirtildiği şekildedir. (Arıkan 2008);



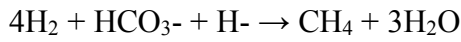
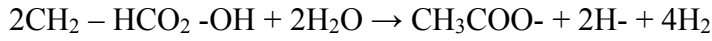
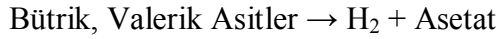
Ortamda metanojen bakteriler bulunduğunda;



Ortamda desulfovibrio veya methanosprillum+ desulfovibrio bulunduğunda;



Ortamda metanojen bakteriler bulunduğunda;

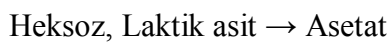


### **Homoasetojenik bakteriler**

Aynı zamanda hidrojen tüketen asetojenik bakteriler olarak bilinirler. Homoasetojenik bakteriler hem metan habercisi olan asetik asidi oluştururlar hem de  $H_2$ 'i kullanarak ortamda  $H_2$  konsantrasyonunu dengede tutarlar. Bunlar metan üretim metabolizmasında rol oynarlar ve  $H_2$ ,  $CO_2$  ve şekerler gibi çok karbonlu bileşikleri katabolize ederler (Arıkan 2008).

Bu gruptaki bakteriler zorunlu anaerobik olup, hidrojen üreten asetojenlere gerekli olan düşük hidrojen konsantrasyonlu ortamın oluşumunu sağlarlar. Hidrojen konsantrasyonunun azaltılmasındaki rolü metanojenlere nazaran daha küçük ölçektir (Alkan 2012).

Homoasetojenik bakterilerin meydana getirdiği reaksiyonlar şu şekildedir (Arıkan 2008).



$H_2 / CO_2, HCOOH, (CH_3OH) \rightarrow$  Asetat

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CH_3COOH$

$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2 + 4ATP$

Mackie ve Bryant (1981)'in çalışmalarında da büyükbaş hayvan dışkısının anaerobik olarak çürütülmesinde  $CO_2$ 'in asetata indirgenmesi sonucu oluşan toplam asetatin sadece %5'lik kısmının sağlanmış olduğu tespit edilmiştir. Bunun bir açıklaması, gerçek şartlar altında (yani düşük kısmi  $H_2$  basıncı) metanojenlerin homoasetojenlerle rekabette bulunması olabilir (Alkan 2003).

### **Metanojenik bakteriler**

Metanojenez kademesini gerçekleştiren metanojenik bakteriler zorunlu anaerobiktir. Diğer bakterilerden ayrı bir grup olup Arkiyalar olarak adlandırılırlar (Alkan 2012). Organik maddelerin anaerobik olarak çürütülerek metan ve karbondioksitin oluşması sağlanan bu son aşamada metanojenik bakteriler rol alır (Chernicharo 2007). Metanojenik bakteriler asetat kullanan (asetotrofik) metanojenler ve hidrojen kullanan (hidrojenotrofik) metanojenler olmak üzere ikiye ayrılır. Asetotrofik metanojenler asetati metan ve karbondioksit ayırırlar. Hidrojenotrofik metanojenler ise hidrojeni elektron verici, karbondioksiti ise elektron alıcı gibi kullanarak metan üretirler (Arıkan 2008).

***Asetotrofik bakteriler*** : Bir diğer adıyla *asetat kullanan bakteriler* veya *asetiklastik metanojenler* şeklindedir. Asetattan metan oluşturabilecek sadece birkaç çeşit metanojenik bakteri türü olmasına rağmen genellikle anaerobik çürütmede en baskın mikroorganizmalardır. Toplam metan üretiminin %60-70'inden sorumludurlar (Augusto 2007). Bunu gerçekleştiren sadece iki cins bakteridir; methanotrix (methannoseneta) ve methanosarcina.

Methanosarcina daha büyük spesifik çoğalma hızına ( $\mu_{max}$ ) sahipken methanotrix daha düşük  $K_s$ 'ye sahip olup asetat için afinitesi daha yüksektir. Bu nedenle düşük asetat

konsantrasyonlarında methanotrix dominant olurken yüksek asetat konsantrasyonlarında yüksek  $\mu_{max}$ 'a sahip methanosarcina dominant olacaktır.

Fizyolojik olarak methanotrix filamentli yapıya sahipken methanosarcina çok sayıdaki cocci şeklindeki hücrenin agregatlarından oluşmaktadır.

Methanosarcina en büyük çoğunluktaki metanojen olup,  $H_2 + CO_2$ , asetat, metanol ve metilaminleri de kullanabilirler. Methanotrix ise sadece asetatı kullanabilir (Alkan 2012).

***Hidrojenotrofik bakteriler*** : Bir diğer adıyla *hidrojen kullanan bakteriler* veya *hidrojenotrofik bakteriler* şeklindedir. Asetotrofik mikroorganizmaların tersine bilinen bütün metanojenik türleri, hidrojen ve karbondioksitten metan üretebilmektedir (Augusto 2007). Bu gruptaki bakteriler toplam metan üretiminin %30'unu gerçekleştirir. Bu bakteriler hidrojeni kullanarak  $CO_2$ , format, metanol ve metil aminlerin metana indirgenmesini sağlarlar.  $H_2$  ve  $CO_2$  kullanırken heterolitotrofik ototrof olarak çoğalıp enerji ve karbon kaynağı olarak inorganik  $CO_2$ 'i kullanırlar.

Formik asit ve metanol kullanan metan bakterileri çok hızlı çoğalıp ve 2 günlük bekletme süresinde bile büyümelerini sürdürebilirler. Bununla birlikte en önemli metan bakteri grubu olan asetik ve propiyonik asit ile çalışan bakteriler çok yavaş çoğalırlar ve bundan dolayı 4 gün veya daha uzun bekletme sürelerine gereksinim duyarlar. Bu bakteriler atığın stabilizasyonundaki en büyük görevi görürler. Bu bakterilerin büyüme hızının yavaş oluşu ve asit giderme hızlarının düşük oluşu anaerobik arıtımın dizaynında bu kademenin odak noktası olmasına neden olmuştur (Alkan 2012).

Her mikroorganizma grubu kendilerinden önceki grupların ürettikleri maddeleri besin maddesi olarak kullanmaktadır. Hiçbir mikroorganizma tek başına basit yapılu maddeler dahi olsa bir organik maddeyi metana dönüştürememektedir.



## **Anaerobik çürütme prosesinin işletilmesinde etkili faktörler**

### **Sıcaklık**

Belediye atık su arıtma tesislerinde anaerobik çürütme prosesi, 25-40 °C arasında optimum sıcaklık olarak yaklaşık 35°C'de mezofilik şartlarda işletilmelidir. Termofilik şartlar ise 50-65 °C arasındadır. Termofilik şartlar daha yüksek yükleme oranına izin verir ve yüksek patojen giderimi sağlar. Ancak yüksek sıcaklıklarda toksitlere karşı duyarlılık daha fazladır.

Asetojenik bakterilerle kıyaslandığında metanojenik bakteriler daha yavaş çoğalırlar ve sıcaklıktaki küçük değişimlere daha hassastırlar. Uçucu asitlerin metanojenler tarafından kullanılması konusuna gelince, sıcaklıktaki bir düşüş, maksimum spesifik büyüme oranındaki ( $\mu_{max}$ ) düşüşe öncülük eder, oysa ki yarı doygunluk sabiti (Ks) artar. Bu yüzden mezofilik reaktörler optimal sıcaklıkları olan 30-35 °C'de işletilmek üzere dizayn edilmelidir (Bitton 2011).

### **Bekleme süresi**

Atık su karakterine ve çevresel şartlara bağlı olan bekleme süresi, çürütücü içerisinde anaerobik bakteriler tarafından gerçekleştirilen kimyasal değişim için yeterli uzunlukta olmalıdır. Mezofilik ve termofilik reaktörlerin bekleme süreleri 25-35 gün civarındadır ancak daha düşük de olması mümkündür (Bitton 2011).

### **pH**

Ortamda asidofilik ve alkafilik metanojenlerin olmasına karşın en etkin pH değeri 7,0-7,2 dir ve pH 6,0'ya yaklaşırsa proses başarısız olabilir. Asidojenik bakteriler biyoreaktörün daha düşük pH'lara yöneldiği organik asitleri üretirler. Normal şartlar altında bu pH düşüşü metanojenler aracılığıyla üretilen bikarbonat tarafından tamponlanır. Elverişsiz koşullarda sistemin tamponlama kapasitesi bozulabilir ve sonuçta metan üretimi durur. Asidite, metanojenlere için asetojenik bakterilere göre

daha kısıtlayıcıdır. Uçucu asit seviyesindeki bir artış sistemin bozulmasına neden olabilir. Alkaliniteyi artırarak pH ayarı yapmak için kullanılan metotlardan biri sodyum hidroksit, sodyum bikarbonat ve susuz amonyak gibi kimyasalların ilavesidir (Bitton 2011).

### **Kimyasal bileşim**

Lignin gibi bazı bileşikler anaerobik mikroorganizmalar tarafından zor parçalanır. Ortamdaki nütrientlerin oranı (Azot, fosfor, sülfür) uygun olmalıdır. Anaerobik bakteriler için C:N:P oranı 700:5:1'dir (Lettinga 1995). Ayrıca bazı yatırımcılar optimum gaz üretimi için C:N oranının 25-30:1 olması gerektiğini tartışmaktadır. Metanojenler sülfür ve amonyağı kükürt ve azot kaynağı olarak kullanırlar. 150-200 mg/l'in üzerindeki seviyelerdeki iyonize olmamış sülfür metanojenler için toksik olmasına rağmen ana kükürt kaynağıdır. Ayrıca iz elementler olan demir, kobalt, molibden ve nikel de gereklidir. 10 µM'den düşük miktarlardaki Nikel, metan üretimini önemli miktarlarda artırdığı laboratuvar koşullarında görülmüştür. Nikel ilavesi metanojenlerin asetat kullanımını 2 den 10 g asetat / g<sup>-1</sup> uçucu askıda katı (VSS) gün<sup>-1</sup>'e yükseltebilir (Bitton 2011).

### **Toksik maddeler**

**Oksijen** : Metanojenler zorunlu anaeroblardır ve iz miktarda oksijenden bile etkilenebilirler. Ancak yeni buluşlar göstermektedir ki metanojenler özellikle granüler formdaki çamurlarda yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı reaktörlerinde (UASB) oksijene karşı koyabilirler. Ayrıca oksijen granül halindeki çamurlardaki filamentli mikroorganizmaların büyüme ve bağlanmasına zarar verebilir (Lettinga 1995).

**Amonyak** : İyonize olmamış amonyak metanojenler için oldukça toksiktir. İyonize olmamış amonyağın üretimi pH değerine bağlıdır. Yüksek pH değerinde daha çok iyonize olmamış amonyak üretilir. Nötral pH değerlerinde düşük toksisite gözlenir. Amonyak 1 500-3 000 mg/l seviyelerinde metanojenler için toksik etki oluşturur.

**Klorlu hidrokarbonlar** : Klorlu alifatikler metanojenlere aerobik heterotrofik mikroorganizmalara göre daha toksiktir. Kloroform metanojenler için oldukça toksiktir.

**Zincirli benzen bileşikleri** : Metanojenlerin saf kültürleri (Methanotrix, Methanobacterium espanoale, Methanobacterium bryantii gibi) zincirli benzen bileşikleri tarafından inhibe edilirler.

**Formaldehit** : Formaldehit konsantrasyonu 100 mg/L seviyelerinde metanojenler hızlı bir şekilde inhibe olurlar ancak düşük konsantrasyonlarda yeniden ortaya çıkarlar.

**Uçucu asitler** : Eğer pH nötral seviyelerde ayarlanırsa asetik ve bütrik asit gibi uçucu asitler metanojenlere karşı düşük miktarlarda toksisite gösterirler.

**Uzun zincirli yağ asitleri** : Asetoklastik metanojenleri inhibe ederler.

**Ağır metaller** : Endüstriyel kaynaklardan gelen, atık suda veya arıtma çamurunda bulunan ağır metaller anaerobik çürütme için toksiktir. Kurşun arıtma çamurları için en az toksik ağır metaldir. Ayrıca anaerobik çürütme yüksek seviyelerdeki gümüşü tolere edebilir.

**Sülfür** : Anaerobik çürütme için en kuvvetli toksik maddelerden biridir. H<sub>2</sub>S formundaki çözülmüş sülfürün metanlaşma seviyesi nötral pH değerlerinde %20-50 arasındadır. Sülfür seviyesi 150-200 mg/l iken metanojenler için toksisite oluşturur (Bitton 2011).

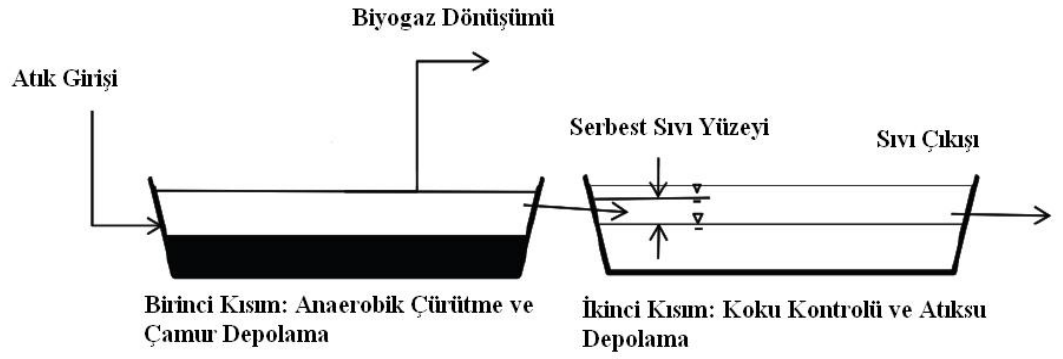
#### 2.2.6. Anaerobik reaktör tipleri

Tüm anaerobik reaktörler aynı temel fonksiyonlarda çalışır. Hayvansal atıkları veya arıtma çamurlarını oksijen yokluğunda tutarak metan formu mikroorganizmaların ortamda üremesini sağlarlar. Oldukça fazla anaerobik reaktör tipi vardır. Burada en yaygın 7 tip incelenecektir. Yapı ve idare teknikleri bakımından **Pasif Sistemler**, **Düşük Hızlı Sistemler** ve **Yüksek Hızlı Sistemler** olarak 3'e ayrılabilir (Hamilton 2009).

## Pasif sistemler

Mevcut arıtmaya biyogaz dönüşümü eklenir.

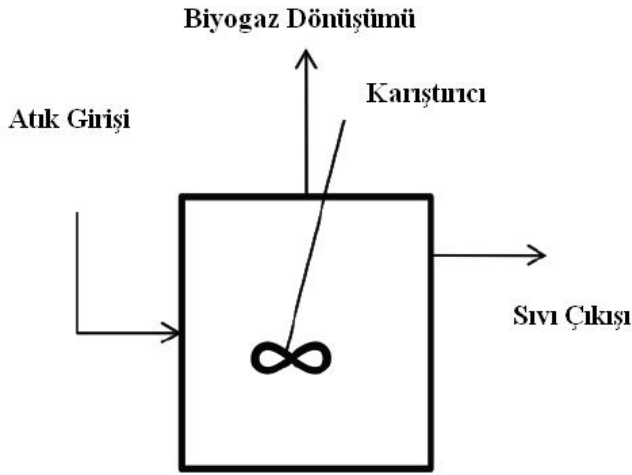
- **Kapalı lagün:** Anaerobik lagünler, üzeri örtülmüş havuzlardır. Hayvan atığı ve diğer atıklar lagüne bir uçtan girer ve diğer uçtan sistemi terk eder. Genellikle düşük sıcaklıkta (psikrofilik) işletilirler ve performansları mevsimsel sıcaklık değişimlerinden çok etkilenir.



Şekil 2.15 Kapalı Lagün Sisteminin Şematik Çizimi (Hamilton 2009).

**Düşük hızlı sistemler:** Çürütücüdeki hayvansal atığın akışı metan formu mikroorganizmaların ana kaynağıdır.

- **Tam karıştırılabilir çürütücüler:** Tam karıştırılabilir çürütücüler sadece tarımsal atıklar ve hayvan atığı için değil endüstriyel atık suların arıtılmasında da çok yaygın olarak kullanılan reaktörlerdendir. Genellikle mezofilik sıcaklık aralığında işletilirler (Öztürk İ. ve ark. 2009).



Şekil 2.16 Tam Karıştırmalı Çürütücülerin Şematik Çizimi (Hamilton 2009).

- **Piston akışlı reaktörler:** Piston akışlı çürütücüler anaerobik çürütücülerin en basitlerindedir. Genellikle konsantre atıklar için kullanılırlar. Atıklar reaktörün bir ucundan girer ve diğer ucundan terk eder. Aktif biyokütleyi kaybetmemek için arıtılan atığın bir kısmı çıkıştan geri döndürülür (Öztürk İ. ve ark. 2009).

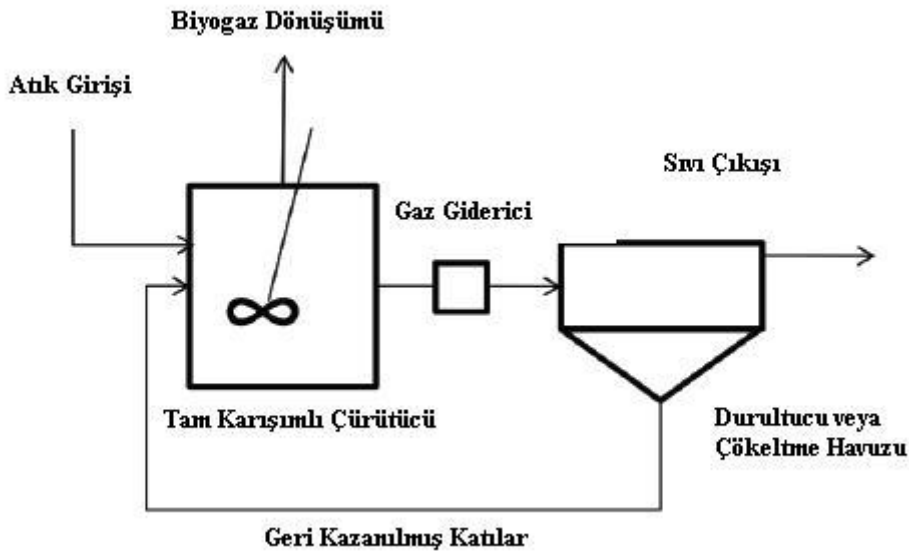


Şekil 2.17 Piston akışlı reaktörlerin şematik çizimi (Hamilton 2009)

**Yüksek hızlı sistemler:** Verimliliği artırmak için metan formu mikroorganizmalar reaktörde hapsedilir.

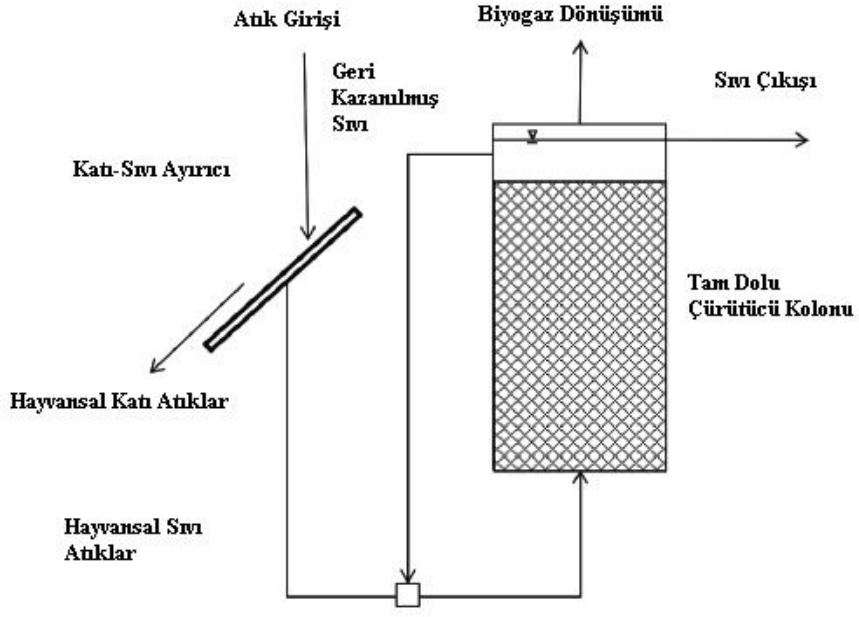
- **Kontak reaktörler:** Kontak reaktörü yüksek hızlı bir prosestir. Tam karıştırmalı reaktörün çıkışına biyokütleyi çöktürüp ayıran bir separator (çökeltme havuzu) yerleştirilerek aktif biyokütlenin reaktöre geri döndürülmesi ve atık-biyokütle temasının artırılması hedeflenir. Düşük ve yüksek sıcaklık bölgelerinde

çalıştırılabilir. Endüstriyel atık suların arıtılmasında da yaygın olarak kullanılan bir prostedir. Sadece sürekli reaktör olarak değil, ardışık kesikli reaktör olarak da işletilebilir. Bu reaktörler genellikle iki veya daha fazla tanktan oluşur ve doldur boşalt ilkesine göre çalışırlar. Kontak stabilizasyon reaktörü kontak reaktörünün başka bir versiyonudur. Hızlı parçalanabilen organik maddeler kontak reaktörde çürütülür. Birinci reaktörde oluşan bakterinin fazlası ve yavaş parçalanabilen organik maddeler ikinci reaktörde (stabilizasyon reaktörü) çürütülerek biyogaza dönüştürülür (Öztürk İ. ve ark. 2009).



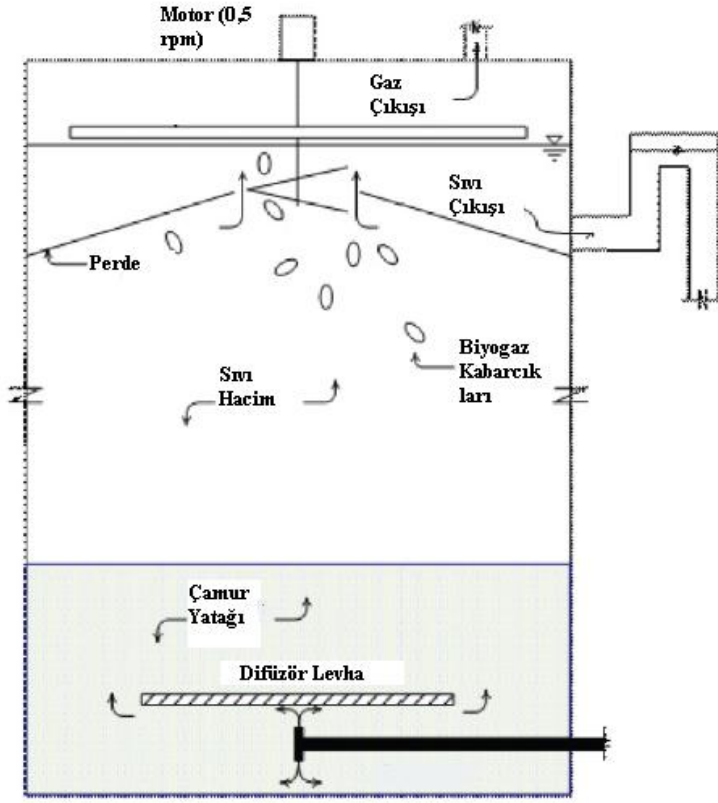
Şekil 2.18 Kontak Reaktörlerin Şematik Çizimi (Hamilton 2009).

- **Sabit film reaktörler:** Bu reaktörler ayrıca Bağlı Büyüme Reaktörleri veya Anaerobik Filtreler olarak da adlandırılırlar (Hamilton 2009). Bu reaktörler plastik materyal ile inşa edilmiş bir tank ve bu plastiğin üzerinde çamur veya biyofilm tabakası şeklinde tutunmuş ve büyüyen bakteri gruplarından dolayı Sabit Film Reaktörler olarak adlandırılırlar. Bu sistem, yoğunluğu %1'den daha düşük toplam katı madde içeriği olan Florida süt üretimindeki gibi durumlar için uygundur (Wilkie 2000).



Şekil 2.19 Sabit Film Reaktörlerin Şematik Çizimi (Hamilton 2009).

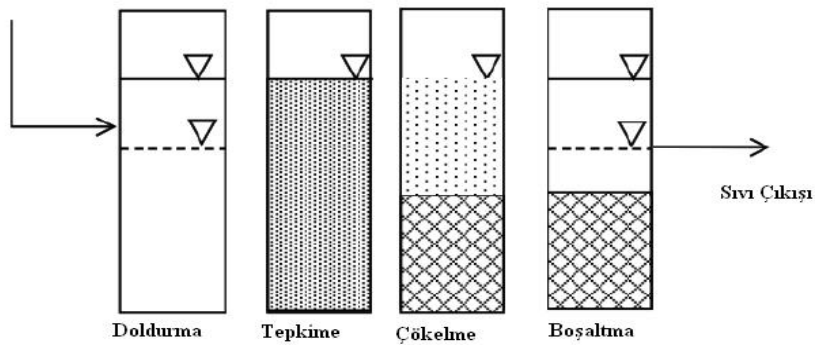
- **Askıda medya çürütücüler:** Bu tip çürütücülerde organizmalar akışkanın yukarı doğru hareketinde sürekli olarak askıda kalırlar. Bazı dizaynlarda organizmaları biyofilme dönüştürmek için kum gibi yapay destek medyaları kullanılır. Bunlara **Akışkan yataklı çürütücüler** adı verilir. Askıda medya Çürütücülerinin 2 yaygın tipi **Yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı Reaktörü (UASB reaktör)** ve **IBR çürütücü (Induced Blanked Reactor)**'dür.



Şekil 2.20 IBR reaktörlerin şematik çizimi (Hamilton 2009)

- **Ardışık yığın çürütücüler: Ardışık kesikli anaerobik reaktör (ASBR çürütücü)** kesikli karıştırmalı reaktörlerin bir çeşididir.

Atık Girişi



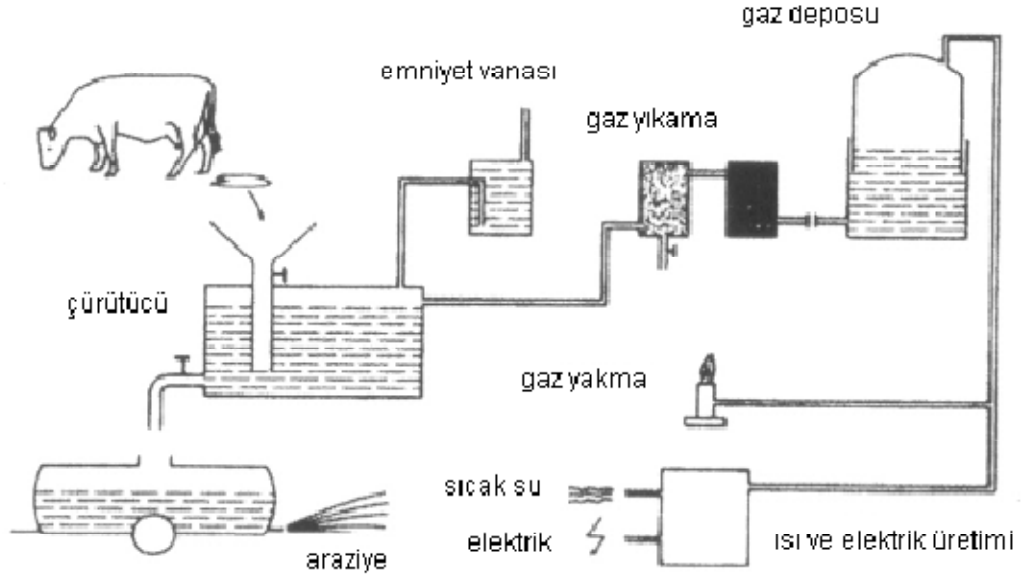
Şekil 2.21 Ardışık kesikli anaerobik reaktörün şematik çizimi ve aşamaları (Hamilton 2009).



## 2.2.7. Anaerobik reaktör tasarım kriterleri

Günümüzde kullanılan modern çiftlik tipi biyogaz tesisleri, Şekil 2.17.'de görüldüğü gibi, dört ana ekipmandan oluşur.

- Anaerobik çürütücü, besleme tankı, sanitasyon (pastörizasyon) birimi,
- Emniyet ve gaz yıkama birimi,
- Gaz depolama,
- Gaz ve çıkan gübrenin kullanım birimleri.



Şekil 2.22 Biyogaz tesisinin temel elemanları (Öztürk İ. ve ark. 2009)

Bu tesisin kalbi çürütücüdür. Değişik çürütücü tipleri geliştirilmiştir. Büyük çürütücülerde değişik derinliklerde iki veya üç karıştırıcı kullanılabilir. Karıştırıcı seçilirken çökmenin engellenmesi ve tam karıştırılma için gerekli güç ihtiyacı dikkate alınmalıdır. Biyogaz tesislerini boyutlandırırken esas alınacak en önemli iki parametreden biri hidrolik alıkonma (bekletme) süresidir (HRT) ve şöyle tanımlanır:

$$Q_h(\text{gün}) = \frac{\text{Reaktör Hacmi, V}}{\text{Günlük Debi, Q}} = \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3/\text{Gün}}$$

Minimum bekletme süresi, atığın türüne ve çürütücü sıcaklığına bağlıdır. Tarımsal atıkların anaerobik çürütülmesinde hızı kısıtlayan adım hidrolizdir. Farklı kökenli atıkların hidroliz hızları farklıdır. Hidroliz hızı aynı zamanda sıcaklığa bağlıdır ve sıcaklık arttıkça hidroliz hızı da arttığından minimum bekletme süresi kısalmaktadır. Mezofilik çürütme için aşağıdaki ortalama bekletme süreleri esas alınabilir (Öztürk İ. ve ark. 2009).

Büyükbaş (inek) hayvan atığı : 12 - 18 gün

Büyükbaş (inek) hayvan atığı ve saman : 18 – 36 gün

Domuz atığı : 10 – 15 gün

Tasarımdaki en önemli ikinci parametre olan organik yük ( $L_v$ ) veya OLR, birim çürütücü hacmine günde beslenebilen organik madde miktarını gösterir.

$$L_v = \frac{Q * \%UKM}{V} = \frac{\%UKM}{\theta h} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \text{gün}} \right)$$

Mezofilik reaktörler için optimum  $L_v$ ;

Büyükbaş (inek) hayvan atığı : 2,5 – 3,5 kg UKM / m<sup>3</sup>gün

Büyükbaş (inek) hayvan atığı ve saman : 5 – 7 kg UKM / m<sup>3</sup>gün

Domuz atığı : 3 – 3,5 kg UKM / m<sup>3</sup>gün

İkincil substratların miktarı artarsa  $L_v$ 'yi azaltmak tavsiye edilmektedir. Anaerobik çürütücülerde proses kontrolü ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Çürütücüler genellikle emniyetli tasarlandığı için aşırı besleme söz konusu değildir. En önemli proses izleme parametresi biyogaz üretimidir. Reaktör sıvı ortamının kuvvetli tampon özelliğinden dolayı pH iyi bir gösterge değildir. Zaman zaman CO<sub>2</sub> içeriği de prosesin gidişini görmek için kullanılabilir.

Hayvan atığı ve evsel organik katı atıklarla beslenen anaerobik çürütücülerde, biyogazdaki H<sub>2</sub>S oranı % 0,2-0,6 (2 000 – 6 000 ppm) arasındadır. Biyogazın, enerji

üretmek amacıyla gaz motorlarında kullanılabilmesi için H<sub>2</sub>S oranının 200 ppm'in altına inmesi istenmektedir.

Biyogaz tesisleri tasarlanırken öncelikle arıtılacak atık miktarı (debi) ve % kuru katı madde oranı (KM) bilinmelidir. Atığın kuru katı madde oranı reaktör tipinin seçiminde kritik önem taşır. (Çizelge 2.8.)

**Çizelge 2.8.** Atığın kuru katı madde oranına göre reaktör tipi seçimi (Öztürk İ. ve ark. 2009)

<b>Reaktör Tipi</b>	<b>% KM</b>
Piston akımlı reaktör	> % 12
Tam karışımli reaktör	%3 - 12
Kapalı lagünler	< % 3

### **2.3. Hayvansal Atıkların Miktar ve Özellikleri**

Hayvan katı atıkları gübre olarak veya kurutulduktan sonra yakıt kaynağı şeklinde tarih boyunca kullanılmıştır. Geçtiğimiz yıllardaki çiftlik kapasitelerinde ve dolayısıyla gübre miktarlarındaki büyük artışlar nedeniyle gübreden kaynaklanan çevre problemleri gündeme gelmiştir. Ülkemizdeki gelişen tarım ve entegre hayvan çiftlikleri sayı ve kapasitelerindeki artışlar nedeniyle hayvansal atıklardan kaynaklanan çevre sorunları artmaktadır.

#### **2.3.1. Hayvansal atıkların miktarları**

Hayvan gübresinin miktarı hayvanın cinsi, yaşı, üretkenliği, yemlerin içerisindeki nütrient miktarları ve sindirilebilme oranlarına bağlıdır.

2005 yılında Amerika Ziraat Mühendisleri Birliği tarafından ASAE Standartları adı altında bazı hayvansal atıkların miktarlarını hesaplamak için formülasyonlar verilmiştir.

### **Tanımlar:**

Süt= Süt Üretimi (kg/hayvan/gün)  $M_E$ =Toplam hayvan dışkısı (kg/hayvan/gün) DMI= Alınan kuru besin maddesi (kg kuru yem/hayvan/gün) MF= Süt yağı (g/g süt/gün) MTP= Süt proteini (g/g süt/gün) BW= Ortalama ağırlığı (kg) DIM=Süt günü (gün)

#### **a) Süt ineği regresyon formülleri**

$$M_E = (\text{Süt} \times 0,172) + (\text{DMI} \times 2,207) + (\text{MF} \times 171,830) + (\text{MTP} \times 505,310) - 8,170 \quad (1)$$

*Çalışma arası hatası (Inter-study error) : 8,50*

*Kalıntı hatası : 7,00*

$$M_E = (\text{Süt} \times 0,954) + (\text{BW} \times 0,037) + (\text{DIM} \times 0,017) + (\text{MF} \times 186,720) + (\text{MTP} \times 1141,480) - 33,06 \quad (2)$$

*Çalışma arası hatası (Inter-study error) : 5,08*

*Kalıntı hatası : 8,33*

$$M_E = (\text{Süt} \times 0,647) + 143,212 \quad (3)$$

*Çalışma arası hatası (Inter-study error) : 6,94*

*Kalıntı hatası : 9,19*

#### **b) Sütten kesilmiş inek regresyon formülleri**

$$M_E = (\text{BW} \times 0,022) + 121,844 \quad (4)$$

*Çalışma arası hatası (Inter-study error): 5,93*

*Kalıntı hatası : 5,71*

#### **c) Düve regresyon formülleri**

$$M_E = (\text{DMI} \times 3,886) - (\text{BW} \times 0,029) + 5,641 \quad (5)$$

*Çalışma arası hatası (Inter-study error): 5,34*

*Kalıntı hatası : 2,61*

$$M_E = (BW \times 0,018) + 117,817 \quad (6)$$

*Çalışma arası hatası (Inter-study error): 4,02*

*Kalıntı hatası : 3,55*

Çizelge 2.9.'da ASAE 2005 standartlarına göre hazırlanan çiftlik ve kümes hayvanları değerleri verilmektedir.

**Çizelge 2.9.** Gübre ve üre birlikte hesaplanmış hayvansal atık miktarları (Anonim 2005)

<b>Hayvan Cinsi</b>	<b>Gübre Miktarı (kg/gün)</b>
Süt İneği	69
Sütten kesilmiş inek	38
Düve (440 kg)	22
Buzağı (150 kg)	8,5
Süt danası (118 kg)	3,5
Et tavuğu	4,9
Hindi (Erkek)	36
Hindi (Dişi)	17
Ördek	6,5

### 2.3.2. Hayvansal atıkların özellikleri

Hayvan gübresi içeriği, hayvanın cinsine, bulunduğu ortama, yediklerine, mevsime ve daha birçok faktöre göre değişmektedir (Anonim 2001). Hayvan gübresinde yalnızca su içeriği ve yoğunluk parametreleri diğer parametrelere oranla daha az değişkendir. Taze çiftlik hayvan gübresi için su içeriği %88-92 ve kümes hayvanları gübresi için %73-75 arasında değişmektedir. Eğer hayvan hasta değilse veya yeminde gereğinden fazla tuz yoksa bu oranlar kabul edilebilir (<http://ohioline.osu.edu/b604/0002.html>, 2011). Anaerobik çürütmede ve kompostlamada kullanılacak bazı hayvansal atıkların fiziksel özellikleri Çizelge 2.10.'da, C/N ve Nem oranları ise Çizelge 2.11.'de verilmiştir.

**Çizelge 2.10.** Hayvansal atıkların fiziksel özellikleri (Anonim 2001).

<b>Parametre</b>	<b>Sığır (Süt)</b>	<b>Sığır (Et)</b>	<b>Tavuk (Et ve Yumurta)</b>	<b>Koyun</b>
hayvan ağırlığı, kg	636	431	2-2.3	45
katı atık üretimi, l/gün	36,8	28,3	0,095-0,160	3,1
atık yoğunluğu, t/m <sup>3</sup>	0,99	0,96	0,96	1,04
katı madde miktarı, %	15	15	15-85 (72)	23

**Çizelge 2.11.** Hayvansal Atıkların Özellikleri (Tchobanoglous ve ark. 1993)

<b>Atık Cinsi</b>	<b>%N</b>	<b>C/N Oranı</b>
İnek gübresi	1,7	18
Domuz gübresi	3,75	20
At gübresi	2,3	25
Kümes hayvanları gübresi	6,3	15
Koyun gübresi	3,75	22

Hayvansal atıkların organik ve besin elementleri açısından karakterizasyonu Çizelge 2.12.'de verilmiştir. Sığır gübresinin diğer hayvan gübrelerine göre tarımda daha verimli olduğu çeşitli kaynaklarca belirtilmiştir.

**Çizelge 2.12.** Hayvan atıklarının organik ve besin elementleri açısından karakterizasyonu (her kg hayvan ağırlığı için g/gün olarak) (Anonim 2001).

Hayvan	BOİ	KOİ	NH <sub>3</sub> -N	Toplam N	ToplamP	K	Kaynak
	1.1-2.2	10.0	-	0.36	0.115	0.29	Moore, 1969
	-	-	-	0.35-0.44	0.11-0.12	-	Tainganides ve ark. 1966
							Hart, 1960
<i>inek (eti için beslenen)</i>	1.02	-	-	0.29	-	-	Loehr ve ark. 1967
	1.87	3.26	0.11	0.26	-	-	Witzel, 1966
	1.84	-	-	0.26	-	-	Vollenweider, 1968
	-	15.0	-	0.41	0.25	-	
	-	-	-	0.16	0.31	-	Townshed ve ark. 1969
<b>ort.</b>	-	-	-	-	-	-	Dale ve ark. 1967
	1.61	9.42	0.11	0.32	0.18	0.29	
<i>inek (süti için beslenen)</i>	0.31	1.53	8.4	-	0.38	0.12	Hart ve ark. 1965
	-	1.53	19.1	-	-	-	Jeffrey ve ark. 1963
	-	1.32	5.8	0.23	0.37	-	Witzel, 1966
	-	0.44	-	-	0.49	-	Water Poll. Rep., 1964
<b>ort.</b>	-	0.95	5.7	-	0.16	0.11	Townshend, ve ark. 1969
	0.31	1.15	9.8	0.23	0.35	0.12	
<i>koyun</i>	-	-	-	0.86	-	-	Hart, 1960
	-	-	-	0.34	0.25	-	Vollenweider, 1968
<b>ort.</b>	-	-	-	0.60	0.25	-	
<i>tavuk</i>	-	-	-	0.52	0.12	2.36	Ohio State Univ., 1993

## 2.4. Arıtma Çamurlarının Kaynakları, Miktar ve Özellikleri

### 2.4.1. Arıtma çamurlarının kaynakları

Tipik bir evsel atık suyun temel yapı taşları; farklı tiplerde katıların (çözünmüş, askıda, uçucu vs.), organiklerin (çoğunlukla BOİ ve KOİ), inorganik kimyasallar (nitrojen, fosfor, sülfür bileşikleri), metaller ve mikroorganizmalardır. Atık su arıtma tesisleri bu zararlı yapıların çevre ve insan sağlığına etkilerini azaltmak için dizayn edilirler. Bu tesislerin aşamaları genellikle birincil, ikincil ve üçüncül (ileri) arıtma şeklindedir.

Çöktürme veya ön çöktürme tankı olarak bilinen birincil arıtma ünitesinde basit olarak; ağır katıların tank dibine çökmesi ve hafif katıların su yüzeyinde durması sağlanır. Yüzen maddeye skum tabakası adı verilir. Dipte kalan tabaka ile birlikte toplanarak bertaraf edilir. Birincil arıtmada oluşan çamura ham birincil çamur adı verilir. Bu çamur, yüksek derecede patojenik mikroorganizma ve yüksek oranda su içeren zararlı bir yapıdır (Sanin ve ark. 2011). Ön çöktürmeden çıkan çamur gri renkli ve yapışkan olup, çoğu zaman yoğun kokuludur. Bu çamur kolaylıkla çürütülebilir (Erdin 2006).

Tipik ikincil arıtma üniteleri temel aktif çamur sistemlerinin bazı varyasyonlarıdır. Bu sistemler atıksuda bulunan çözünmüş yüksek enerjili maddeleri ortamdan uzaklaştırma için en ideal sistemlerden biridir. Malesef ki; aktif çamurda üretilen mikroorganizmaların miktarı, sistemin ihtiyacından fazla olmaktadır. Bu sebeple; bu katılardan bazıları kirlenmek zorunda kalmaktadır. Bu biyolojik atık madde (atık aktif çamur) atıksu arıtma tesislerinin en büyük baş ağrılarından biridir. Atık aktif çamur, genellikle birincil ham çamur ile karıştırılır ve anaerobik çürütücülerde çürütülür. Oluşan bu yeni karışım çamura “karışık çürümüş çamur” adı verilir ve genellikle son bertaraftan önce susuzlaştırılır.

Son on yılda azot ve fosfor gibi nütrientlerin giderimi önem kazanmıştır. Azot ve fosfor gibi elementlerin de arıtıldığı bu son sisteme ileri arıtma sistemleri denmektedir. İleri arıtma yöntemiyle azot ve fosfor gideriminde fizikokimyasal proseslerden veya biyolojik tekniklerden biri ile uygulanabilmektedir. Nitrojen giderimi için anoksik ve anaerobik prosesler vasıtasıyla biyolojik seriler tarafından azotlu maddeler azot gazına

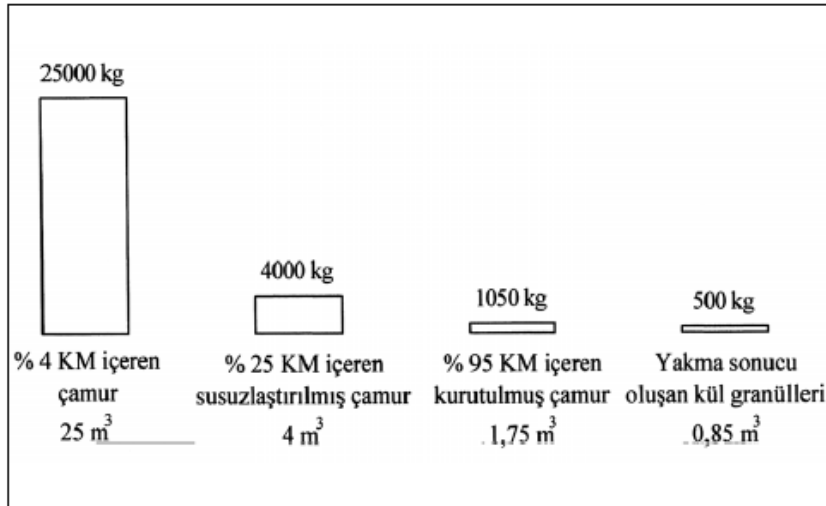


dönüşmektedir. Hem fosfor hem azot giderimi için aktif çamur sistem reaktörleri özel dizayn edilmiş olmalı ve düzgün işletilmelidir.

Bu nütrientleri gidermenin bir başka yolu da demir veya alüminyum tuzlarını kullanarak çöktürmektir. Yapılan bu kimyasal arıtma ile oluşacak çamurda demir ve alüminyum tuzları mevcut olacaktır. Atık su arıtma çamurları kaynaklarından bir diğeri de alüminyum sülfattır (Alum). Bu alum genellikle kimyasal arıtmada koagülasyon ve flokülasyon için kullanılır ve oluşan bu çamura ‘‘atık alum çamuru’’ adı verilir (Sanin ve ark. 2011).

#### **2.4.2. Arıtma çamurlarının miktar ve özellikleri**

Atık su arıtma tesisleri, atık suyun içerisinde çözünmüş veya askıda bulunan maddeleri arıtarak bir çamur tabakası meydana getirir. Bu çamur tabakasının önemli bir kısmını atık suyun içerisinde bulunan ayrılabilir katılar oluşturmaktadır, geriye kalan kısım ise biyolojik arıtma sonucunda oluşmaktadır. Mekanik su gidermesi yapılmamış olan ham çamurun katı madde (KM) oranı yaklaşık %2 civarındadır. Eğer çürütme işlemi yapılırsa bu oran %6 oranına kadar yükselir. Çürütme işleminden önce veya sonra çamur, mekanik su gidermeye tabi tutulursa yaklaşık %25 KM oranına sahip olur. Termal kurutma ile ise bu oran %95'e kadar çıkar. Bu değerler Şekil 2.23.'de gösterilmiştir. (Ayvaz 2000).



**Şekil 2.23** 1 Ton KM içeren atık çamurun farklı işlem düzeylerindeki miktarları (Ayvaz 2000)

Çamurun miktarı ve özellikleri çoğunlukla arıtma tesisinin arıtma seviyesine, arıtma tesisi içerisindeki ünitelere ve uygulama biçimlerine ve gelen atık suyun içeriğine bağlıdır. Daha yüksek miktarlardaki atık su arıtımı genellikle daha büyük miktarlarda arıtma çamuru oluşumuna sebep olur ve ayrıca çamurdaki bazı kirleticileri konsantrasyonlarının artmasına sebep olabilir. Kimyasal arıtmaya karşın biyolojik arıtmada tamamen farklı tip arıtma çamuru oluşmaktadır.

Modern toplumumuzda oluşan arıtma çamur miktarları dengesizdir. EPA'ya göre; ABD'deki arıtma tesislerinde yılda 7 milyonun üzerinde kuru metrik ton çamur oluşması beklenmiştir. 2010 yılına kadar olan çamur oluşumu miktarları Çizelge 2.13.'de gösterilmiştir. Ancak görüldüğü gibi şu anki üretim 8 milyona yaklaşmıştır. Bu rakamlar, çamur oluşumunun tahminleri aştığını ispatlamaktadır.

**Çizelge 2.13.** ABD'deki arıtma çamuru üretimi (Sanin ve ark. 2011).

Yıl	Toplam (milyon kuru metrik ton)
1998	6,3
2000	6,5
2005	6,9
2010	7,5

Kanada, Japonya ve Avrupa Birliği'ndeki diğer ÷lkelerde de çamur oluşumu artışı gözlenmiştir. Çeşitli ÷lkelerdeki çamur miktarındaki artış Çizelge 2.14.'de verilmiştir. Daha yüksek popülasyon oranından dolayı Avrupa Birliği üye ÷lkelerindeki çamur oluşum oranları A.B.D.'ye göre daha yüksektir (Sanin ve ark. 2011).

**Çizelge 2.14.** 2001 ve 2003 yıllarında Avrupa Birliği'nde çamur oluşumu (Sanin ve ark. 2011).

Ülke	(Kuru maddedeki metrik ton)	
	2001	2003
Avusturya	96 110	115 448
Belçika (Flemenk Bölgesi)	81 351	76 072
Belçika (Fransız Bölgesi)	18 514	23 520
Danimarka	158 017	140 021 (2002)
Finlandiya	159 900	150 000
Fransa	893 252	910 255 (2002)
Almanya	2 300 686	2 172 196
Yunanistan	67 755	79 757
İrlanda	33 559	42 147
İtalya	884 964	905 336
Lüksemburg	-	7 750
Hollanda	536 000	550 000
Portekiz	209 014	408 710 (2002)
İspanya	892 238	1 012 157
İsveç	220 000	220 000
İngiltere	1 186 615	1 360 366
<b>Toplam</b>	<b>7 737 975</b>	<b>8 173 735</b>

#### a) Arıtma çamurunun fiziksel özellikleri

Çamur arıtımı ve son uzaklaştırma yöntemlerinin belirlenmesinde, çamur ve katı maddenin özelliği ve içeriğini bilmek çok önemlidir. Bu aynı zamanda katı atığın kaynağı, sistemdeki çamur yaşı ve proses tipi ile de yakından ilgilidir.

**Izgara ve elekte tutulan atıklar:** Büyük boyutlu organik ve inorganik maddelerin tutulmasında kullanılır. Organik madde içeriği sistemin yapısına ve mevsime göre değişir.

**Kum:** Hızlı çökme özelliğine sahip, ağır inorganik katılardan oluşmaktadır. İşletme şartlarına da bağlı olarak yağ ve gres gibi organik maddeleri de içerirler.

**Köpük/Yağ:** Birincil ve ikincil çöktürme havuzları yüzeyinden sıyrılarak alınan yüzen maddeleri içerir. Köpük, yağ, bitkisel ve mineral yağlar, hayvansal katı yağlar, parafin, sabun, yiyecek atıkları, sebze ve meyve kabukları, kağıt ve karton, izmarit, plastik maddeler, kum ve benzeri maddeleri içerir. Özgül ağırlığı genellikle 0,95'dir.

**Birincil çamur:** Birincil (ön) çöktürmeden çıkan çamur gri ve yapışkan olup çoğu zaman yoğun kokuludur. Bu çamur kolaylıkla çürütülebilir.

**Kimyasal çöktürme çamuru:** Metal tuzları ile yapılan çöktürmeden çıkan çamur koyu renkli, demir içeriği yüksek kırmızı renklidir. Kokusu birincil çamur kadar yoğun değildir. Çamurdaki demir veya alum hidratları, çamuru jelatinimsi yapar. Tankta bırakılması durumunda birincil çamur gibi yavaş bir çürümeye uğrar. Önemli miktarda gaz çıkışı olur ve tankta uzun süreli kalırsa çamur yoğunluğu artar.

**Aktif (Biyolojik) çamur:** Kahverengi ve flok ağırlıklıdır. Koyu renk gözleniyor ise septik şartlar oluşmuş demektir. Renk açık ise az havalandırma sonucu çökme özelliği kötü çamurdur. İyi şartlardaki çamur toprak kokusundadır. Çamur kolaylıkla septikleşmeye meyillidir, çürük yumurta kokusu yayabilir. Yalnız veya birincil çamurlar karışmış aktif çamur kolayca çürüyebilir.

**Damlatmalı filtre çamuru:** Kahverengimsi, floklu ve taze olduğunda nispeten kokusuzdur. Aktif çamura göre daha yavaş parçalanmaya uğrar ancak kolay çürütülebilir.

**Aerobik çürütülmüş çamur:** Kahve ve koyu kahve renklidir. Floküler özelliklidir. Kötü kokulu olmayıp çoğunlukla küf kokuludur. İyi çürütülmüş çamur kurutma yataklarında kolaylıkla susuzlaştırılabilir.

**Anaerobik çürütülmüş çamur:** Koyu kahve-siyah renkli olup, kötü kokmaz, kokusu hafif, sıcak katran, yanmış lastik veya mühür mumu gibidir. Çamur ince tabak şeklinde kurutma yatağına yayıldığında katılar yüzeyde tutulur, su hızlı şekilde direne olur ve katılar yatak üzerinde yavaşça çökerler. Çamur kurudukça gaz çıkar, zengin bahçe toprağı özelliklerindedir.

**Kompost ürünü:** Koyu kahve-siyah renklidir. Ancak kompostlamada kullanılan odun kırıntıları ve geri döndürülen kompost dolayısıyla renk değişebilir. İyi kompostlanmış çamur kokusuz olup, ticari değerde bahçe toprağı şartlandırıcısı olarak kullanılabilir.

**Foseptik (septik tank) çamuru:** Siyah renklidir. İyi çürütülmemesi durumunda hidrojen sülfür ve diğer gazlardan dolayı kötü koku yayar. Bu durumdaki çamurun kurutulmasında ciddi koku problemleri ile karşılaşılır.

**Çizelge 2.15. ve 2.16.** da farklı çamur tiplerinin bazı karakteristik özellikleri gösterilmektedir. Çeşitli proses ve işlemler sonucu üretilen çamur miktarı ve fiziksel özellikleri ile ilgili bilgiler aşağıdaki çizelgede verilmektedir. Bu bilgiler oldukça faydalı olmasına karşın üretilen çamur miktarının büyük değişkenlik gösterdiği unutulmamalıdır.

**Çizelge 2.15.** Farklı çamur tiplerinin bazı karakteristik özellikleri (Metcalf & Eddy 2003).

Arıtma İşlemleri ve Prosesleri	Çamur Katısının Özgül Ağırlığı	Çamurun Özgül Ağırlığı	Kuru madde kg/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	
			Aralık	Tipik
Birincil çamur	1,4	1,02	110-170	150
Aktif çamur	1,25	1,005	72-100	80
Damlatmalı filtre humusu <sup>a</sup>	1,45	1,025	60-100	70
Uzun havalandırma sist. <sup>a</sup>	1,3	1,015	80-120	100 <sup>a</sup>
Havalandırma lagün <sup>a</sup>	1,3	1,01	80-120	100 <sup>a</sup>
Filtrasyon tesisi	1,2	1,005	12-24	18
Alg giderimi	1,2	1,005	12-24	18
Fosfor giderimi için Ön çöktürme tanklarına kimyasal ilavesi				
Düşük dozda kireç (350-500 mg/l)	1,9	1,04	240-400	300 <sup>b</sup>
Yüksek dozda kireç (800-1600 mg/l)	2,2	1,05	600-1300	800 <sup>b</sup>
Askıda büyüyen A.Ç. ile nitrifikasyon	-	-	-	- <sup>c</sup>
Askıda büyüyen A.Ç ile denitrifikasyon	1,2	1,005	12-30	18
Kaba kum filtreler	1,28	1,02	-	- <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Ön arıtmanın olmadığı varsayılmıştır. <sup>b</sup> Katılar ayrıca ön çöktürmede giderilir. <sup>c</sup> ihmal edilebilir <sup>d</sup> ön arıtma yok <sup>e</sup> Biyolojik arıtmadan gelen çamuru da içerir.

**Çizelge 2.16.** Çeşitli proseslerden elde çamurun konsantrasyonları (Metcalf & Eddy 2003).

Arıtma İşlemleri	Çamur Kuru Madde Konsantrasyonu (% kuru madde)	
	Aralık	Tipik
<b>Ön çökeltim tankı</b>		
Ön çökeltim çamuru	4-10	5
Siklona gönderilen ön çökeltim çamuru	0,5-3	1,5
Ön çökeltim çamuru ve aktif çamur	3-8	4
Ön çökeltim ve damlatmalı filtre humusu	4-10	5
P giderimi için demir ilaveli ön çökeltim çamuru	0,5-3	2
P giderimi için kireç (düşük doz) ilaveli (öçç)	2-8	4
P giderimi için kireç (yüksek doz) ilaveli (öçç)	4-16	10
Köpük	3-10	5
<b>Son Çökeltim Tankı</b>		
<b>Aktif çamur</b>		
Ön çökeltim tankı olan	0,5-1,5	0,8
Ön çökeltim tankı olmayan	0,8-2,5	1,3
<b>Saf oksijenli aktif çamur</b>		
Ön çökeltim tankı olan	1,3-3	2
Ön çökeltim tankı olmayan	1,4-4	2,5
Damlatmalı filtre humusu	1-3	1,5
Döner biyodisk sistemi	1-3	1,5
<b>Graviteli yoğunlaştırıcı</b>		
Sadece ön çökeltim çamuru	5-10	8
Ön çökeltim çamuru ve aktif çamur	2-8	4
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	4-9	5
<b>Flotasyonlu yoğunlaştırma</b>		
<b>Sadece aktif çamur</b>		
Kimyasal madde ilavesi ile	4-6	5
Kimyasal madde ilavesi olmadan	3-5	4
<b>Santrifüj yoğunlaştırıcı</b>		
Sadece aktif çamur	4-8	5
<b>Bantlı yoğunlaştırıcı</b>		
Kimyasal madde ilavesi sadece atık aktif çamur	3-6	5
<b>Anaerobik çürütme</b>		
Sadece ön çökeltim çamuru	5-10	7
Ön çökeltim çamuru ve aktif çamur	2,5-7	3,5
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	3-8	4
<b>Aerobik çürütme</b>		
Sadece ön çökeltim çamuru	2,5-7	3,5
Ön çökeltim çamuru ve aktif çamur	2,5-7	3,5
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	1,5-4	2,5
Sadece atık aktif çamur	0,8-2,5	1,5

## b) Arıtma çamurunun kimyasal özellikleri

Endüstriyel arıtma çamurlarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, endüstrinin tipine, kullanılan hammaddeye, yapılan işleme göre çok değişik özelliklerde olabilir. Klasik bir şehir atık su arıtma tesisinden çıkan çamurdaki azot, fosfor ve potasyum yüzdeleri arasındaki oran 3:2:0'dir (Spellman, 1997).

**Azot**, çamurun uygulanma hızını belirleyen en önemli parametredir. Arıtma çamurlarındaki azot yüzdesi çamurun tipine bağlı olarak % 1,8 ila % 5,9 arasında değişmektedir. Arıtma çamurunun toprağa verilmesinden sonra mevcut  $\text{NH}_4$ 'un büyük bir kısmı nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ) dönüşmektedir. Özellikle rutubetli bölgelerde toprağa, ürünün ihtiyaç duyduğundan daha fazla miktarda verilen azot, topraktan sızabilmekte ve nitratin yeraltı sularına bulaşmasına neden olabilmektedir. Bu yüzden tarımsal uygulamalarda, toprağa uygulanacak çamurdaki yıllık azot miktarının hesabında, yetiştirilecek tarımsal ürünün ihtiyaç duyduğu azot miktarları baz alınmaktadır.

Çoğu arıtma çamurunda **potasyum** düşük miktarlarda bulunmaktadır. Arıtma çamurunda bulunan potasyumun hemen hemen tümü inorganik formlarda bulunmaktadır. Bu nedenle çamur toprağa verildiğinde bitkiye yararlı hale geçmesi için mineralize olmasına gerek yoktur.

Çamurun metal içeriği oldukça değişkendir. Önemli metaller; çinko, bakır, nikel, kadmiyum ve kurşundur. Çamur çok ince tabakalar halinde uygulandığında, çinko ve bakır mikronütrientler olduklarından, bitki büyümesini olumlu etkilerler (Aksu 2008).

Arıtılmamış (ham) ve çürümüş çamurun kimyasal bileşimi ile ilgili bilgiler Çizelge 2.17.'de verilmektedir. Son uzaklaştırma yönteminin belirlenmesinde besi maddesi de dahil olmak üzere kimyasal bileşiklerin çoğunun bilinmesi önemlidir. Havasız çürütme sisteminin kontrolünde pH, alkalinite ve organik asit içeriğinin ölçülmesi oldukça önemlidir. Yakma ve arazide bertaraf metodunun uygulanması durumunda çamurdaki ağır metal, pestisit ve hidrokarbonlar ölçülmelidir. Yakma gibi termal proses kullanılacağında çamurun enerji içeriği de hesaplanmalıdır.



**Çizelge 2.17.** Arıtılmamış (ham) ve çürümüş çamurun kimyasal bileşimi (Metcalf & Eddy 2003).

Parametre	Ham Birincil Çamur		Çürütülmüş Birincil Çamur		Aktif Çamur Sistemi Çamuru
	Aralık	Tipik	Aralık	Tipik	Aralık
Toplam katı madde (% TKM)	2-8	5	6-12	10	0,83-1,16
Uçucu katı madde (TKM'nin %'si)	60-80	65	30-60	40	59-88
<b>Yağ ve gres (TKM'nin %'si)</b>					
Eterde çözünebilen	6-30	-	5-20	18	-
Eterde ekstrakte olan	7--35	-	-	-	5-12
Protein (TKM'nin %'si)	20-30	25	15-20	18	32-41
Azot (TKM'nin %'si)	1,5-4	2,5	1,6-6	3	2,4-5
Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , TKM'nin %'si)	0,8-2,8	1,6	1,5-4	2,5	2,8-11
Potasyum (K <sub>2</sub> O, TKM'nin %'si)	0-1	0,4	0-3	1	0,5-0,7
Selüloz (TKM'nin %'si)	8-15	10	8-15	10	-
Demir (sülfitsiz)	2-4	2,5	3-8	4	-
Silika (SiO <sub>2</sub> , TKM'nin %'si)	15-20	-	10-20	-	-
pH	5-8	6	6,5-7,5	7	6,5-8
Alkalinite (mg/l CaCO <sub>3</sub> olarak)	500-1 500	600	2 500-3 500	3000	580-1 100
Organik asitler (mg/l, HAc)	200-2 000	500	100-600	200	1 100-1700 19 000-23 000
Enerji içeriği (kj TKM/kg)	23 000-29 000	25 000	9 000-14 000	12 000	000

Sundstrom ve Klei (1979)'ye göre ise arıtma çamurlarının kimyasal özellikleri aşağıdaki gibidir.

**Çizelge 2.18.** Atık su arıtma çamurunun özellikleri -bileşiminin %'si olarak- (Sundstrom and Klei 1979)

Bileşimi	Mekanik Arıtma Çamuru	Biyolojik Arıtma Çamuru	Çürütülmüş Çamur
Organik Madde	60-80	60-75	45-60
İnorganik Madde (kül)	20-40	25-40	40-55
Protein	20-30	30-40	15-20
Yağ	6-35	5-12	3-20
Selüloz	5-15	5-15	5-15
Azot	2-4	2-6	1,5-6
Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1-3	2-7	1,4-4
Potasyum (K <sub>2</sub> O)	0-1	0-2	0-2

**Aritma çamurunun ısı değeri :** Çamurun ısı değerini, çamurun organik madde içeriği ( C, H, N, vb. ) belirler.  $C_a O_b H_c N_d$  yapısına sahip çamurun yanması için gerekli  $O_2$   
 $C_a O_b H_c N_d + ( a + 0.25c - 0.5b ) ( O_2 ) \implies a ( CO_2 ) + 0.5c ( H_2O ) + 0.5d ( N_2 )$   
Çamurun ısı değeri kaynağına bağlı olarak değişim gösterir. Isıl değer laboratuvarında "kalorimetre" cihazı ile ölçülür. Aşağıda değişik tip çamurların tipik ısı değerleri verilmiş ve bu değerlerin düşük kaliteli kömür ile kıyaslaması yapılmıştır.

Ham ön çökeltme havuzu çamuru = 25 000 kJ / kg KM

Aktif çamur = 20 900 kJ / kg KM

Anaerobik olarak çürütülmüş çamur = 11 620 kJ / kg KM

Düşük kaliteli kömür = 32 238 kJ / kg KM

Çamur belirli oranlarda su içeriğine sahiptir ve 0.5 kg suyun buharlaştırılması için 2.0 - 2.5 MJ ısıya gereksinim vardır. Bu nedenle, çamur için ısı değeri yaklaşık olarak 550 kcal / kg çamurdur.

### 3. KOMPOSTLAMA VE ANAEROBİK ÇÜRÜTME İLE PATOJEN GİDERİMİ

#### 3.1. Hayvansal Atıklarda ve Arıtma Çamurlarında Bulunan Patojen Mikroorganizmalar

İnsan dışkıdaki bakteriyel, parazitik ve viral patojenlerin diğer insanlara bulaşma riski oldukça yüksektir. Bu dışkıdan bertaraf edilmesinde uygulanan proseslerdeki bir hata muhtemelen insan sağlığına karşı en büyük tehdit oluşturur. Hayvan dışkıları da insan ve hayvana bulaşıcı hastalık içeren patojenler içerebilir. Su ve yiyecek ile taşınan salgın hastalıkların bir çoğu yenilebilir hayvanlardan kaynaklanmaktadır. Su ve yiyecek kaynaklarını hayvan dışkılarından korumak, insan, hayvan sağlığı ve tarımın sürekliliği için oldukça önemlidir. Hayvanlarda ve insanlarda bulunan bağırsak kökenli patojenler ve dışkıdaki oranları Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** İnsan ve hayvanlarda bağırsak kökenli patojenlerin yaygınlığı (Olson 2001)

Patojen	İnsan	Sığır	Domuz	Kümes Hayvanları
Salmonella spp.	1%	%0-13	%0-38	%10-100
E. coli 0157:H7	1%	16%	0,4%	1,30%
Campylobacter jejuni	1%	1%	2%	100%
Yersinia enterocolitica	0,002%	<%1	18%	0%
Giardia lamblia	%1-5	%10-100	%1-20	0%
Cryptosporidium spp	1%	%1-100	%0-10	0%

#### Parazitik patojenler

Hayvan parazitlerinin bir çoğu insanda bulaşıcı olabilir. Bu patojenlerin büyük bir kısmı gelişmekte olan ülkelerde, tropik ve subtropik bölgelerde mevcuttur. Bunlardan en önemlileri; *Ascaris suum* ve *Ascaris lumbricoides*, *Toxoplasma gondii*, *Giardia* ve *Cryptosporidium*dur.

## **Bakteriyel patojenler**

Salmonella spp. gibi hayvanlardaki bazı bakterilerin insana bulaşıcı etki yaptığı uzun yıllardır bilinmektedir. Son zamanlarda ise *E. coli* O157:H7 ve *Campylobacter* gibi patojenler ortaya çıkmıştır (Olson 2001).

Hayvan dışkılarında bulunması muhtemel patojen grupları Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Hayvan dışkısında bulunması muhtemel patojenler (LeaMaster ve ark. 1998)

<b>Patojen</b>	<b>Hastalık</b>	<b>Kaynak</b>
<b><i>Virüsler</i></b>	-	-
<b><i>Bakteriler</i></b>		
Salmonella (1700 serotip)	Salmonellosis	Hayvanlar ve kuşlar
Shigella sp	Basilli dizanteri	İnsanlar hariç
Escherichia coli	Mide ve bağırsak iltihabı	Birçok hayvan
Mycobacterium sp.(çok nadir)	Tüberkiloz	Süt veren büyükbaşlar
Yersinia enterocolica (nadir)	Mide ve bağırsak iltihabı	Hayvanlar ve kümes hayvanları
Clostridial diseases	Mide ve bağırsak iltihabı, kangren, gıda zehirlenmesi	Toprak ve bitkiler
Leptospira interrogans*		
Listeria monocytogenes	beyin iltihabı	Hayvanlar, kuşlar ve toprak
Campylobacter (Vibrio)	Mide ve bağırsak iltihabı	Büyükbaş hayvanlar ve koyun
Chlamydia psittaci	psittakoz	Kuşlar
<b><i>Fungi</i></b>		
Candida sp.	Deride ve sistemsel mantar hastalıkları	Hayvanlar, kuşlar, meyveler, doğa
Aspergillus fumigatus	Akciğer mantar hastalıkları	Doğa
<b><i>Protozoa</i></b>		
Giardia lamblia	Giardiasis	Misk faresi, kunduz gibi hayvanlar
Balantidium coli (çok nadir)	Dizanteri	Domuz ve memeliler
Cryptosporidia	Dizanteri	Dana, buzağı gibi hayvanlar
Toxoplasma	Toxoplasmosis	Kediler
<b><i>Helmintler</i></b>		
Ascarids (A. suum)	Large round worm	Domuzlar
Toxocara (T.canis and T.cati)	Visceral larva migrans Ocular larva migrans	Köpek ve kediler
Ancylostoma sp.	Kancalıkurt hastalıkları	Köpek ve kediler
Echinococcus (şerit solucan)	Hadatit hastalıkları	Köpekler
Strongyloides stercoralis	Small roundworm	Köpek ve kediler

\* *Leptospira interrogans* : Bu organizmalar kuru bir çevrede yaşayamazlar, bu yüzden kompostlaştırmada hayatta kalmaları mümkün değildir.

Arıtma çamurunda bulunması muhtemel patojenler Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Evsel atık su arıtma çamurunda bulunması muhtemel patojenler (Carrington 2001)

<b>Grup</b>	<b>Tür</b>
<b>Bakteriler</b>	Salmonella spp., Shigella spp., Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa, Yersinia enterocolitica, Clostridium botulinum, Bacillus anthracis, Listeria monocytogenes, Vibrio cholera, Mycobacterium spp., Leptospira spp., Campylobacter spp., Staphylococcus, Streptococcus
<b>Virüsler</b>	Poliovirus, Coxsackievirus, Echovirus, 'New' enterovirus, Adenovirus, Reovirus, Hepatitis A Virus, Rotavirus, Astrovirus, Calicivirus, Coronavirus, Norwalk-like calicivirus, Küçük yuvarlak virüsler, Parvovirus, Adenoassociated viruses, Influenza virus
<b>Protozoalar</b>	Entamoeba histolytica, Giardia lamblia, Toxoplasma gondii, Sarcocystis
<b>Helmintler</b>	Taenia saginata, Taenia solium, Diphyllbothrium latum, Echinococcus granulosus, Ascaris lumbricoides, Ancylostoma duodenale, Toxocara canis, Toxocara cati, Trichuris trichura
<b>Fungiler</b>	Aspergillus spp., Aspergillus fumigatus, Phialophora richardsii, Geotrichum candidum, Trichophyton spp., Epidermophyton spp.
<b>Mayalar</b>	Candida albicans, Candida krusei, Candida tropicalis, Candida guilliermondii, Cryptococcus neoformans, Trichosporon

*Not: Mayalar Fungi grubuna dahil olmakla beraber çizelgede türleri ayrı olarak gösterilmiştir.*

İşlenmemiş evsel atık su çamurunda bulunan tipik mikroorganizma değerleri (ıslak ağırlıkça) Çizelge 3.4.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** İşlenmemiş evsel atık su çamurunda bulunan tipik mikroorganizma miktarları (Carrington 2001)

<b>Mikroorganizmalar</b>	<b>Miktar</b>
<b>Bakteriler</b>	
Escherichia coli	$10^6 \text{ g}^{-1}$
Salmonella	$10^2-10^3 \text{ g}^{-1}$
<b>Virüsler</b>	
Entero	$10^2-10^4 \text{ g}^{-1}$
<b>Protozoalar</b>	
Giardia	$10^2-10^3 \text{ g}^{-1}$
<b>Helmintler</b>	
Ascaris	$10^2-10^3 \text{ g}^{-1}$
Toxacara	$10-10^2 \text{ g}^{-1}$
Taenia	$5 \text{ g}^{-1}$

Hayvansal atıklarda ve arıtma çamurlarında, yukarıdaki çizelgede görüldüğü gibi birçok benzer patojenik mikroorganizma grupları mevcuttur.

### 3.2. Kompostlama ile Patojen Giderimi

Bir kompost yığını 55-60 °C’de en az 3 gün süreyle beklediğinde patojenlerin etkili bir şekilde yok edildiği literatürde belirtilmiştir. Statik yığın ve kısmen tünel tipi kompost teknolojilerinin patojen gideriminde en etkili yöntemler olduğu kabul edilmektedir. Strauch ve Berg (1980), kompost prosesi doğru işletildiği takdirde Salmonella, Ascaris yumurtalarının ve enterovirüslerin yok edilebileceğini gözlemlemiştir. Benzer şekilde Sobsey ve ark. (2003) ve Gannon ve ark. (2004) tarafından kompostun iyi yönetilmesi halinde patojen seviyesinin 4 logdan daha fazla indirgenebileceği belirtilmiştir. Ancak bu 4 logluk giderimin sağlanabilmesi, işletme ve dizayn koşullarına bağlıdır. Sobsey ve ark. (2003) mezofilik şartlarda (35-45 °C) yönetilen; aerobik ve anaerobik biyolojik arıtma proseslerinde (kompost ve anaerobik çürütme dahil) patojen gideriminin 1-2 logdan fazla olmasının pek muhtemel olmadığı rapor edilmiştir (Schmoll ve ark. 2006).

Bir kompost tesisinde belediye atıklarının fekal koliform değeri başlangıçta  $10^9$  CFU/g KM de iken kompostlanarak  $10^2$  CFU/g KM değerinin altına düşürülmüştür. Aynı proseste fekal streptococci türü  $3,4 \cdot 10^9$  dan  $8,7 \cdot 10^4$  CFU/g KM değerine indirilmiştir (Deportes ve ark. 1998). Novak (1994) ve Plachy (1995)’in de dahil olduğu birkaç bilim adamı, kompost teknolojisinin yüksek miktarda patojenik bakteri, fungi ve helmint yumurtaları giderimi sağladığı ve hümik kısmın oldukça büyük bir kısmıyla yüksek kaliteli organik gübre elde edildiğini rapor etmişlerdir (Burton ve Turner 2003).

İnsan patojenleri çiftlik orijinli atıklara nadiren karışabilirken, *Giardia* ve *Cryptosporidium parvum* salgınlarının çiftlik hayvanlarında bulunduğu tespit edilmiştir. Bunların her ikisi de insanlarda ve hayvanlarda bağışıklık sistemini zayıflatarak ishale neden olan protozoalardır. Protozoalar enfeksiyonlu hayvanların dışkılarından sistler halinde bulaşılır.

Bu parazitler enfeksiyon taşıyan hayvanların dışkılarıyla kirlenmiş yiyecek ve suyla çiftlik hayvanlarına geçebilir. Eğer bu protozoa hayvanlarda ishale neden oluyorsa gübredeki protozoa kistleri de fazla olur. Enfeksiyon belirtisi göstermeyen hayvanlar protozoaları taşıyabilir ve dışkılarıyla dökebilirler.

Protozoalar 60 °C sıcaklığa 30 dakika maruz bırakılarak tahrip edilebilir. Kompost yığının sıcaklığı 60 °C'ye ulaşırken yığının yüzeyine yakın maddeler bu sıcaklığa ulaşamayabilir. Bu nedenle yığınlar döndürülerek yığının her noktasında aynı sıcaklığın olması sağlanır. Eğer kompostun her tarafında yüksek sıcaklıklara ulaşamazsa patojenler oluşabilir.

Literatürde protozoaları 60 °C'den daha düşük sıcaklıklarda birkaç gün maruz bırakılarak öldürüldüğü belirtilir. (Öztürk M. 2008)

*Salmonella* gibi patojenlerin kompostlaşma sırasında tekrar büyüdüğü gözlenmiştir. Salmonella'nın yeniden büyümesi nem içeriğine bağlı olup nem içeriği %20'yi geçtiğinde büyüme başlayabilir. Ayrıca, sıcaklık ve C/N oranı da önemli olup 20 – 40 °C arası ve C/N oranı 15/1'den büyükse yeniden büyüme gözlenir. Bazı araştırmacılar, kompostlaşma sırasında mikrobiyal aktivitenin düşmemesi için sıcaklığın 60 °C'nin altında tutulması gerektiğini vurgulamaktadır. Fakat artan sıcaklıkla daha iyi patojen giderildiği bilinmektedir.

*Aspergillus fumigatus\** gibi bazı patojenik mantarlar ise, 30-45 °C arasında kompostun üst kısmında büyüyebilirler. Sıcaklık 60 °C'yi aşarsa, bunların sayısı önemli derecede azalır. Bu patojen mantarlar kompost tesislerinde çalışan işçilerde sağlık problemleri oluşturabilir ve özellikle ciğerlere zarar verebilir. Dolayısıyla, mantarlar tarafından üretilen zararlı sporları solumamak için kompost tesisinde çalışan işçiler koruyucu maske giymelidirler.

\**Aspergillus*, dünyanın her yerine yayılmış yaklaşık 200 mantar (küf) türünden oluşmuş bir cinstir. Yuvarlak hücrelerden oluşmuş mayalardan farklı olarak, Aspergilluslar hif olarak adlandırılan hücre zincirlerinden oluşan ipliksi mantar türleridir. Hayvanlarda, özellikle kuşlarda solunumla ilgili ciddi bir hastalık olan Asperjilloz hastalığına yol açar. Bazı Aspergillus türleri patojendir, insan ve hayvanlarda ciddi hastalıklara yol açabilirler. Yayılmacı olanlardan en yaygınları



*Aspergillus fumigatus* ve *Aspergillus flavus*. Alerjik hastalığa neden olanlar arasında en yaygın olanlar *Aspergillus fumigatus* ve *Aspergillus clavatus*. Diğer bazıları zirai patojendir (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Aspergillus>, 2011).

Hayvan dışkılarından yapılmış bir kompostun, satışa sunulmadan önce patojen içeriği analiz edilmelidir. Çok fazla patojen çeşidi olduğundan bunların hepsini laboratuarlarda ölçmek çok pahalı olacaktır. Birkaç temsilci patojen belirleyip bunları ölçmek daha pratik olacaktır. Bu temsilci mikroorganizma türlerinin incelenmesi, kompost yığnında olası patojen içeriğinin miktarının belirlenmesinde yeterli olur (LeaMaster ve ark. 1998). *Salmonella senftenberg W775* (H<sub>2</sub>S negatif) dışında başka indikatör mikroorganizmalar özellikle İskandinav ülkelerinde tartışma konusudur. Bunlardan en önemlileri;

- *Enterococci faecalis*
- *Escherichia coli*
- *Campylobacter*
- *ECBO virus*
- *Bovine Parvovirus (BPV)*
- *Coliphages ve*
- *Ascaris suum*'dur (Böhm 2007).

Bir kompost prosesinden hijyenik ürün elde etmek için prosesin nasıl yürütüleceğine dair öneriler mevcuttur. Kesin kurallar şunlar olabilir; Kompost prosesi materyalinin nemi %45-50 arasında ve pH değeri 7 civarı olmalıdır. Eğer yığn metodu kullanılıyorsa, 55° C de en az 2 hafta süreyle bekletilmelidir. Eğer tünel teknolojisi kullanılıyorsa 65 °C'de 1 hafta yeterli olacaktır. (Böhm 2007)

Yapılan bir araştırmada evsel nitelikli atıksu çamuru Kneer kompostlama teknolojisi (Uygun materyallerle donanmış kapalı konteynırlarda yapılan bir metot; [http://www.horstmann.pl/\\_uk/kompostownie.shtml](http://www.horstmann.pl/_uk/kompostownie.shtml), 2011) kullanılarak arazide aerobik kompost içeriğindeki *Salmonella* giderimleri ölçülmüştür. Kompost hazırlanırken çimen, talaş ve evsel arıtma çamuru sırasıyla 2/3;1/3;1 oranlarında karıştırılmıştır. Çizelge 3.5'de *Salmonella senftenberg W775* giderimi görülmektedir. (cfu/g) (Szala ve Paluszak 2007).

**Çizelge 3.5.** Kompostlama metodu ile *Salmonella seftenberg* W775 giderimi (Szala ve Paluszak 2007)

Mevsim	Biyokütle katmanları	Yığından örnek alma süreleri (gün)				
		0	4	11	18	
Bahar	üst	3.83x10 <sup>8</sup>		4.82x10 <sup>5</sup>	2.45x10 <sup>4</sup>	1.64x10 <sup>2</sup>
	orta			3.15x10 <sup>4</sup>	1.34x10 <sup>2</sup>	nd
	alt			1.20x10 <sup>7</sup>	1.97x10 <sup>7</sup>	1.07x10 <sup>6</sup>
	kontrol			5.50x10 <sup>8</sup>	1.12x10 <sup>8</sup>	3.83x10 <sup>6</sup>
Yaz		0	6	13	20	27
	üst	2.83x10 <sup>8</sup>	3.08x10 <sup>8</sup>	nd	nd	nd
	orta		6.65x10 <sup>7</sup>	nd	nd	nd
	alt		1.07x10 <sup>8</sup>	6.67x10 <sup>5</sup>	3.17x10 <sup>3</sup>	nd
	kontrol		2.83x10 <sup>8</sup>	3.83x10 <sup>8</sup>	3.83x10 <sup>8</sup>	3.17x10 <sup>7</sup>
Sonbahar		0	6	13	17	24
	üst	9.67x10 <sup>8</sup>	4.32x10 <sup>6</sup>	7.83x10 <sup>4</sup>	1.40x10 <sup>3</sup>	nd
	orta		1.48x10 <sup>6</sup>	1.30x10 <sup>6</sup>	8.00x10 <sup>6</sup>	nd
	alt		2.65x10 <sup>7</sup>	9.00x10 <sup>6</sup>	5.50x10 <sup>6</sup>	7.15x10 <sup>5</sup>
	kontrol		7.83x10 <sup>7</sup>	4.83x10 <sup>7</sup>	9.67x10 <sup>7</sup>	6.17x10 <sup>7</sup>

nd: bakteri tespit edilmemiştir.

Shepherd ve ark. (2009) kümes hayvanları atıklarının kompostlanması sırasında yaptığı mikrobiyal analizlerde kompostun birinci evresinde *E.Coli* ve *Salmonella*'nın yüzeyde direndikleri gözlenmiştir. Ancak kompostun ikinci evresinde *Salmonella*'ya rastlanmamış ve büyük miktarda *E.Coli* ve koliform giderimi gerçekleşmiştir.

Das ve ark. (2002) yaptığı çalışmada kümes hayvanları atıklarının kompostlanmasında 60 °C sıcaklıkta *E.Coli* giderimi %99,9 oranında olmuş ve *Salmonella* sayısı ölçülemeyecek değere kadar indirgenmiştir.

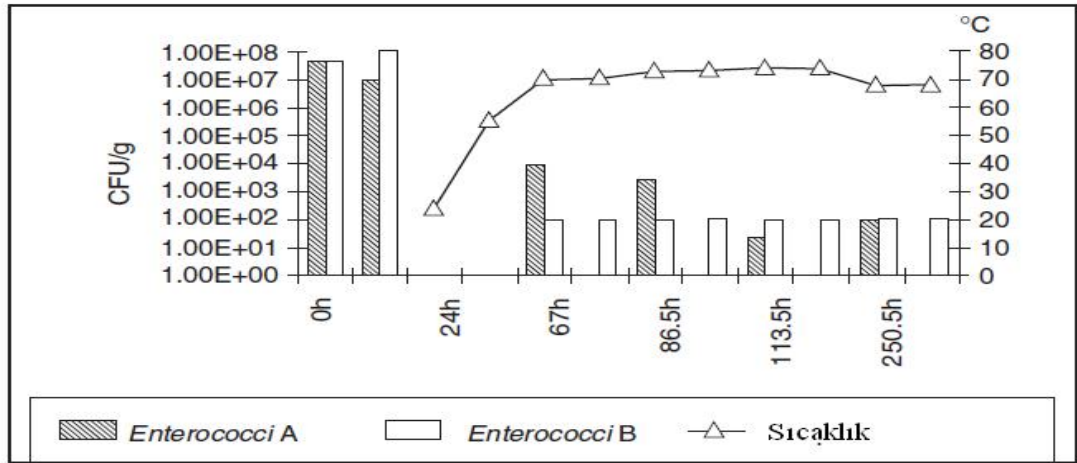
Martin ve ark. (1998) kümes hayvan atıklarının kompostlanmasında yaptığı bir çalışmada 64 örnek üzerinde ne *Salmonella spp.* ne de *E.Coli O157:H7* bulunmuştur.

Kompostlamada yaygın olarak görülen patojen ve parazitlerin zamana ve sıcaklığa bağlı olarak yaşam süreleri Tchobanoglous ve ark. (1993) tarafından ilişkilendirilmiştir. (Çizelge 3.6.)

**Çizelge 3.6.** Kompostlamada yaygın olarak görülen patojen ve parazitlerin zamana ve sıcaklığa bağlı olarak yaşam süreleri (Tchobanoglous ve ark. 1993)

<b>Organizma</b>	<b>Gözlem Sonucu</b>
Salmonella typhosa	46 °C'nin üzerinde büyüme yok, 55-60 °C'de 30 dk. da veya 60 °C'de 20 dk'da ölüm
Salmonella sp.	55 °C'de 1 saatte veya 60 °C'de 15-20 dk'da ölüm
Shigella sp.	55 °C'de 1 saatte ölüm
Escherichia Coli	55 °C'de 1 saatte veya 60 °C'de 15-20 dk'da çoğunluğu ölür
Entamoeba histolytica sistleri	45 °C'de birkaç dk'da veya 55 °C'de birkaç sn.'de ölüm
Taenia saginata	55 °C'de birkaç dk.'da ölüm
Trichinella spiralis larvae	55 °C'de çabuk veya 60 °C'de hemen ölür
Brucella abortus or Br. suis	62-63 °C'de 3 dk'da veya 55 °C'de 1 saatte ölüm
Micrococcus pyogenes var aureus	50 °C'de 10 dk'da ölüm
Streptococcus pyogenes	54 °C'de 10 dk'da ölüm
Mycobacterium tuberculosis var. Hominis	66 °C'de 15-20 dk'da veya bir an için 67 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ölüm
Corynebacterium diphteria	55 °C'de 45 dk'da ölüm
Necator americanus	45 °C'de 50 dk'da ölüm
Ascaris lumbricoides yumurtaları	50 °C'nin üzerinde en az 1 saatte ölüm

Moos ve Haas (2000), yarı teknik tünel tipi kompostlama üzerine yaptıkları çalışmada seçilen *Enterococci* türünün 25-65 °C'deki inaktivasyon süresini incelemişlerdir. (Şekil 3.1.).



**Şekil 3.1** Tünel tipi kompost sırasında Enterococci türünün iki farklı test aygıtı ile inaktivasyonu (Böhm 2007) A— Tip 3 Taşıyıcılar; B — Tip 2 Taşıyıcılar

### 3.3. Anaerobik Çürütme ile Patojen Giderimi

Atık su arıtımda patojenik bakteriler tamamen elemine edilemez ve bazıları arıtım sırasında oluşan çamura tutunarak son çökeltme havuzlarında çöker ve uzaklaştırılan çamur içinde yüksek miktarda patojen bakteriler bulunabilir. Dolayısıyla, çamurda bulunan patojen bakterilerin inaktive edilmesi halk sağlığı için gereklidir. Çamurda bulunabilecek en önemli patojenler; *Salmonella*, *Shigella*, *Campylobacter*, *Yersinia*, *Leptospira* ve patojenik *E.coli*'dir. Ayrıca *Ascaris* gibi helmint parazitleri de çamurda bulunur.

Anaerobik çürütmede, bekletme zamanı, sıcaklık ve çamur yükleme hızı gibi işletme parametreleri patojen giderimi üzerine önemli etkisi vardır. Anaerobik çürütmede 1-3-log patojen ve indikatör bakteri giderimi gözlenir.

Danimarka'da atıklar merkezi biyogaz tesislerinde gübre haline dönüştürülerek tarımda kullanılmaktadır. Anaerobik çürütücüden çıkan bu çürütülmüş materyallerin tarımda kullanılabilmesi için patojen içeriği açısından uygun olması gerekir. Bunun uygun olabilmesi için termofilik şartlardaki anaerobik çürütücülerde Danimarka'da 52 °C'de

10 saat veya 55 °C'de 6 saat zorunlu bekleme süreleri vardır. Termofilik şartlarda ise atıkların Danimarka yasalarına göre 70 °C'de en az 1 saat bekletilmesi gerekir.

Termofilik (55 °C) merkezi biyogaz sistemlerinde yapılan geniş kapsamlı çalışmalar sonucu hayvan dışkısında ve atıklarda 4 log *enterococci* giderimi gözlenmiştir. Bu 4 logluk giderim için 55 °C'de 2 saatlik bekleme süresi yeterli olacaktır. *Enterococci* türüyle doğru orantılı olarak diğer patojenik türlerin çoğu ölmüştür. Ancak *porcine parvovirüs* gibi bazı virüs türleri ve bazı bakteri sporları sıcağa dayanıklı oldukları için yalnızca sayılarında azalma olmuştur. Biyogaz işletmelerinde patojen giderimi araştırmaları yaparken sıcaklık 60 derecenin üzerindeyse *fecal enterococci* türünün, laboratuvar araştırmalarında ise 50-80 °C sıcaklıklarda *porcine parvovirüs* türünün indikatör olarak kullanılması tavsiye edilmektedir (Lund ve ark. 1996).

Martin (2000), mezofilik bir anaerobik çürütücüde 20 günlük bekleme süresi ile %99'dan fazla bir patojen giderimi sağlanacağı belirtmiştir. Domuz dışkılarındaki patojenlerin giderimi için en iyi yöntemlerin klasik kompostlama, otomatik ısıtmalı aerobik çürütme ve mezofilik veya termofilik anaerobik çürütme yöntemleri olduğunu söylemiştir. Rosen ve ark. (2000) mezofilik anaerobik çürütmede %90'dan fazla patojen giderimi olduğunu belirtmiştir. Cummings ve Jewel (1977) ise mezofilik bir çürütücüde yabancı ot tohumlarının birçok formunun hayatta kalabileceğini rapor etmiştir. **Mezofilik** reaktörlerde mükemmel bir patojen giderimi olduğu iddiası kabul edilemez. Ancak termofilik anaerobik reaktörlerde tam bir patojen giderimi olduğu kabul edilmiştir (Bowman 2009). Bir başka görüşe göre 30-35 °C'de çürütülen gübredeki parazit yumurtalarının % 95'inden fazlası ve neredeyse tüm hastalık yapıcı bakterilerin yok olması mümkündür (Gomez ve Gonzales 1978).

Méndez-Contreras ve ark. (2009) yaptığı çalışmada **mezofilik** anaerobik reaktörden çıkan evsel arıtma çamurunun patojen içeriği incelenmiştir. **Mezofilik** anaerobik reaktörde indikatör organizmaların ve patojenik bakterilerin çoğu önemli ölçüde yok edilememiştir ve yalnızca 2 logluk bir giderim gözlenmiştir. Deneyler sonucu *Helminth ova* mikroorganizma grubunun en dayanıklı olduğu belirlenmiştir. Benzer sonuçlar farklı çalışmalarda Kunte ve ark. (2000) ; Rojas-Oropeza ve ark. (2001) tarafından da rapor edilmiştir. Mezofilik anaerobik proses, indikatör ve patojenik bakterileri veya helmint parazitlerini tamamen gideremediği için Meksika yasalarına göre C sınıfı gübre

elde edilmiştir. C sınıfı gübrelerin tarımda kullanılması uygundur ancak çalışmada üretilen gübredeki Salmonella giderimi C sınıfı limitlerini aşmıştır. **Termofilik** anaerobik reaktörden çıkan gübre ise Meksika ve EPA 503 (1996) yasalarına göre A sınıfındadır ve fekal koliform ve *Salmonella spp.* tamamen yok edilmiştir. **Mezofilik** anaerobik çürütücüler, düşük bakteri konsantrasyonu olan tarım veya yiyecek endüstrilerinde tavsiye edilmektedir. Herhangi bir kısıtlama olmaksızın termofilik reaktörden çıkan evsel çamurun Meksika kurallarına göre doğrudan tarımda kullanılması uygun olabilmektedir.

Yapılan bir çalışmada, 22 gün bekletme zamanına sahip bir anaerobik çürütme tankında 2,3-log fekal koliform giderimi, 32 günlük bir bekletme zamanına sahip anaerobik çürütücü de ise; 2,9-log fekal koliform giderimi sağlanmıştır.

Başka bir çalışmada hayvansal atık 40 gün bekleme süreli hem termofilik hem de mezofilik reaktörlere konularak *E.Coli* ve *Salmonella spp.* değerleri ölçülmüştür. Çalışma boyunca her iki reaktörün çıkışında da *Salmonella spp.* bakterisine rastlanmadığı görülmüştür. Termofilik reaktörde *E.coli* sayım sonuçları sürekli olarak 10 cfu (koloni oluşturan birim)/kg değerinin altında kalırken mezofilik reaktörde bu değer zaman zaman 1.000 cfu/kg mertebelerinde gerçekleşmiştir. **Mezofilik** reaktördeki 35°C'lik sıcaklığın *E.coli* bakterilerinin bertarafında yeterli olmadığı, termofilik reaktördeki 55°C'lik sıcaklığın ise *E.coli* bakterilerini tamamen yok ettiği de göz ardı edilmemelidir (Coşkun ve ark. 2011).

Klasik anaerobik çürütme tek aşamalı olmaktadır. İki kademeli modern anaerobik çürütücülerde ise, daha yüksek patojen ve fekal koliform giderimleri söz konusu olabilmektedir. Mesela, çamur bekletme zamanı 10 gün olan iki kademeli bir çürütücüde fekal koliform giderimi oldukça yüksektir. Fakat başka bir anaerobik çürütücü de yapılan çalışmalara göre, *Salmonella* giderimi A Sınıfı çamur özelliklerini sağlayamamakta ve *Salmonella* konsantrasyonu 4 çamurda 3 MPN'dan büyük olduğu gözlenmiştir.

Öztürk M.'nin (2005) yayınladığı raporda anaerobik çürüme esnasında patojenlerin en az %90 oranında giderileceği ve haşerelerde önemli oranda azalma olacağı belirtilmiştir.

Chatfield ve ark. (2000) yaptığı bir çalışmada **termofilik** anaerobik çürütücüde *Salmonella spp.* giderimi neredeyse %100 iken, *E.Coli*'de bu oran %99,9999 ve *Fecal streptococci*'de %99,99 olmuştur.

Çizelge 3.7.'de bir biyogaz reaktöründe patojenlerin yaşam süreleri verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Bir biyogaz reaktöründe patojenlerin yaşam süreleri (Werner ve ark. 1989)

Bakteri	Termofilik Respirasyon 53-55 °C		Mezofilik Respirasyon 35-37 °C		Pisikofilik Respirasyon 8-25 °C	
	Ölüm (Gün)	Ölüm (Oran) (%)	Ölüm (Gün)	Ölüm (Oran) (%)	Ölüm (Gün)	Ölüm (Oran) (%)
<i>Salmonella</i>	1-2	100	7	100	44	100
<i>Shigella</i>	1	100	5	100	30	100
<i>Polioviruses</i>			9	100		
<i>Schistosoma ova</i>	Birkaç saat	100	7	100	7-22	100
<i>Hookworm ova</i>	1	100	10	100	30	90
<i>Ascaris ova</i>	2	100	36	98,8	100	53
<i>Colititre</i>	2	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>-2</sup>	21	10 <sup>-4</sup>	40-60	10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-4</sup>

Kolera ve sarılık mikropları da anaerobik çürüme olaylarına karşı çok duyarlıdır. Verem basilleri çürüme olayını atlattıkları, ancak virulans oluşları (hastalık yapabilme derecesi) şiddetli bir şekilde azalır. Çin'de Szechnan Eyaletinin Parazitoloji Enstitüsünde yapılan çalışmalarda çürük çamurdaki parazit yumurtalarının taze çamurdakilerden % 95 daha az olduğu saptanmıştır. Patojenleri öldürme oranı hem çürütme sıcaklığına, hem de çürütme süresine bağlıdır. (Erdin 2006) (Çizelge 3.8. ).

**Çizelge 3.8.** Anaerobik çürütme sırasında parazit yumurtaların öldürülme oranları (Erdin 2006)

<b>Parazitler</b>	<b>25-30 °C Öldürme oranı</b>	<b>Çürütme süresi</b>
Bilharzien yumurtası	> % 99	14 gün
Kancalı solucan yumurtaları	> % 90	30 gün
İerit solucanı yumurtaları	> % 99	70 gün

Mezofilik bir anaerobik çürütücüden çıkan biyogübrede patojen giderimi tamamen gerçekleşmeyebilir. Bu durumda tekrar termal bir işlemle patojenlerin giderimi sağlanabilir. Ancak bu durum ilave bir ısıl işlem ve ekstra bir maliyet getirecektir. Termofilik reaktörlerde ise mezofilik reaktörlere göre daha fazla ısı gerektiğinden maliyet daha fazla olacaktır ancak bu reaktörlerde metan gazı çıkışı mezofilik reaktörlere göre yüksek miktarda olacağından durumun maliyet analizinin yapılması gerekmektedir. Laboratuvar ve pilot ölçekli çalışmalarla mezofilik ve termofilik reaktörlerinin brüt maliyetlerinin ve metan üretimi ile oluşan gübreden gelen katma değer çıkarılmasıyla birlikte net maliyetlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Eğer mezofilik işlem sonrası patojenlerin giderimi için ilave bir ısıl işlem yapılması gerekirse bu işlemin de maliyetinin eklenmesi gerekir. Bu durumda hangi sistemin maliyeti daha düşükse o sistem tercih edilebilir. Burada unutulmaması gereken her atık türü için bu maliyetlerin farklı olacağı ve bazı atık türlerinde mezofilik reaktörler ile de yeterli bir patojen giderimi sağlanabileceğidir. Bu yüzden hangi atık türü olursa olsun bir ön çalışma yapmak gerekir (Coşkun 2011 - Kişisel görüşme)

#### **3.4. Anaerobik Çürütmenin Yetersiz Kaldığı Durumlarda Patojen Giderimi için Alternatif Prosesler**

Avrupa Birliği Hayvansal Yan Ürünler Direktifi'ne göre anaerobik olarak çürütülecek gübrenin patojen içeriği yüksek risk oluşturuyorsa; 55 °C termofilik sıcaklıkta 20 gün boyunca 24 saat veya mezofilik şartlarda 70 °C'de en az 1 saat süreyle çürütülmesi (veya çürütmeden önce/sonra ısı verilerek) veya elde edilen biyogübrenin kompostlanması gerekmektedir. Avrupa Birliği'nin Hayvansal Yan Ürünler Direktifi'nde yer alan anaerobik çürütme için minimum gereklilikler Çizelge 3.9.'da



verilmiştir (Anonim 2007). Çizelge 3.12.'de verilen proses sıcaklığı ve temas süresine erişemeyen proste patojen giderimi için alternatif bir çözüm gerekir.

**Çizelge 3.9.** Hayvansal Yan Ürünler Direktifi'ndeki Anaerobik Çürütme için Minimum Gereklilikler (Anonim 2007).

<b>Sistem</b>	<b>Avrupa Birliği ABP Düzenlemeleri 1774/2002</b>
Teknoloji	Kapalı Reaktör
Maximum Partikül Boyutu	12 mm.
Minimum Sıcaklık	70 °C
<b>En düşük sıcaklıkta harcanması gereken en düşük süre</b>	<b>1 saat</b>

***Not:** Anaerobik çürütme ve kompost ile ilgili yasal düzenlemeler ile ilgili detaylı bilgi "Türkiye'de ve Avrupa Birliğinde Kompost ve Anaerobik Çürütme ile İlgili Yasal Düzenlemeler" başlığı altında incelenmiştir.*

#### **3.4.1. Hijyenizasyon**

Hijyenizasyon, patojen içeren, bulaşıcı veya bazı formları kirlenmiş her hammadde için gereklidir. Birçok şirket basit mezofilik 32 °C'de bir anaerobik çürütme ile patojen giderimini sağlayabilmiştir. Ancak kapsamlı araştırmalar patojenlerin kabul edilebilir seviyelere indirilebilmesi için termofilik şartlarda çürütmeyi önermektedir. Eğer niyet hayvansal atığı yalnızca arıtıp çıkan atık suyu tarlaya yaymak ise, bu kadar özenli olmaya gerek yoktur ancak sera, topraksız yetiştirme gibi ticari bir operasyonda kullanılacaksa biyokatıların patojen giderimi için A Sınıfı Standardı devreye girer. Amerika ve Kanada'da termofilik çürütme ile A Sınıfı patojen giderimi sağlamak mümkündür. Anaerobik çürütme tesisi işletmecileri hijyenizasyon ve pastörizasyon ünitelerini çürütücünün sonrasına ilave etmeyi daha çok tercih etmektedirler (Anonim 2007).

**Sanitasyon :** Düşük sıcaklıklarda uzun süre ile ısı verilmesi işlemidir. Sanitasyon değerlerine anaerobik çürütme ve kompostlama ile de ulaşılabilir. Hayvansal atıkların hijyenizasyonunda sanitasyon yöntemi tek başına yeterli değildir.

**Sterilizasyon** : Sterilizasyon basitçe, bir haznede yüksek sıcaklıkla patojenik bakterilerin öldürülmesi işlemidir (Pongrácz 2011). Kesintisiz olarak en az 20 dakika 133 °C'den fazla sıcaklıkta ve buhar basıncı 3 bardan aşağı olmayacak şekilde uygulanan yöntemdir (Anonim 2007).

**Pastörizasyon** : Pastörizasyon, gıda sanayinde, besin maddelerini hastalık yapıcı mikroorganizmalardan arındırmak amacıyla uygulanan ısıtma yöntemidir. İlk kez 1860'larda Fransız bilim adamı 'Louis Pasteur' tarafından geliştirilen ve onun adıyla anılan bu yöntem, mikroorganizmaların ısı yardımıyla tahrip edilmesi esasına dayanır. İçinde enzim ve bakteri bulunan besleyici özelliği olan maddenin 60 C den 100 °C dereceye kadar ısıtılarak öldürme veya etkisiz hale getirilme işlemidir. (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Pastörizasyon>, 2012).

Pastörizasyonun hedefi sterilizasyon gibi tüm yaşayan formları yok etmek değildir. Anaerobik çürütme sonrası stabil gübre oluşmasına rağmen, oluşan gübre hala bir miktar bakteriyel patojen içermektedir. Üretilen bu gübre tarımsal alanlara uygulanabilir ancak satılamaz veya halka dağıtılamaz. Bu problemin çözümü için termofilik anaerobik çürütme veya pastörizasyon işlemi kullanılması gerekir (Dennis ve Burke 2000).

### 3.4.2. Termal hidroliz

Yüksek sıcaklık ve basınçta (133-200°C, 12 bar gibi) uygulanan bir yöntemdir. Termal hidrolizden çıkan gübreyi çürüttükten sonra susuzlaştırarak satışa sunmak çok daha kolaydır. Bazı firmalar %100 daha fazla biyogaz üretimi sağlayacağını iddia etmektedir (Anonim 2007).

### 3.4.3. Mikrodalga yöntemi

Mikrodalgalar, 0,01 mm ile 1m aralığındaki dalgaları gönderen elektromanyetik spektrumdur. Mikrodalga ışınları 30 ile 0,3 GHz arasındaki frekanslarda nitelendirilmiştir. Bir mikrodalga fırınında üretilen ışınlar polar materyaller tarafından

absorbe edilebilir. Yemek artıkları gibi yüksek nem içeriğindeki atıklar mikrodalga yöntemi için iyi adaylardır. Ancak tüm materyaller mikrodalga yöntemi ile hızlı bir şekilde ısıtılamazlar.

Mikrodalga yöntemi son 20 yılda hızla gelişmiştir. Bugün mikrodalga ışınlamasının ana uygulamaları yiyecek uygulamaları, odun kurutma, organik parçalama, tıbbi atık sterilizasyonu, yiyecek, toprak ve hayvan dışısındaki patojenleri öldürme işlemlerinde kullanılmaktadır. Anaerobik çürütme ile kombine şekilde yapılan çalışmalarda patojen gideriminin yanı sıra, biyolojik çözünebilirliğin ve metan gazı üretiminin arttığı görülmüştür (Alqarallelh 2012).

#### **3.4.4. Termal kurutma**

Bu proseste ısı uygulanarak nem buharlaştırılır ve çamuru susuzlaştırarak patojenlerinden arındırılır. Böylelikle elde edilen gübre tarımda kullanılabilir hale gelir. Pazarlama ve dağıtım maliyetleri de dahil olmak üzere 40 \$/ton maliyet söz konusudur. Diğer yöntemlere göre pahalı bir prosestir (Gerald ve Fredericks 1995).

#### **3.4.5. Alkali stabilizasyon**

Çamurların alkali olarak stabilizasyonu 1890'lardan beri uygulanmaktadır. En çok kullanılan alkali stabilizasyon katkı maddeleri, düşük maliyetlerinden dolayı sönmemiş kireç (Kalsiyum Oksit, CaO) ve sönmüş kireçtir (Kalsiyum Hidroksit, Ca(OH)<sub>2</sub>). Kireçle stabilizasyon yöntemi ise oldukça kolaydır. Kireç ilavesi yapılan materyalin (arıtma çamuru, hayvansal atık vs.) temas süresi sırasında pH'ı yükselir. Benzer şekilde çamura uygun miktarda kalsiyum oksit (CaO) ilavesi sırasında pH 12 ve üzerine, sıcaklık da 55-70 °C'ye yükselir. Yeterli temas süresi sonunda patojenler ve mikroorganizmalar inaktive olur veya ölürlür. Alkali stabilizasyon proseslerinde patojen ve mikroorganizma gideriminin dışında virüslerin de azaldığı gözlemlenmiştir (Svoboda 2003).

Torres (2008) Anaerobik çürütme sırasında biyogaz üretimini ve KOİ çözünebilirliğini artırmak için belediyeye ait katı atıklar üzerinde 1 Litre reaktör ve oda sıcaklığı içerisinde çalışma gerçekleştirmiştir. Kireç  $\text{Ca(OH)}_2$  oranı (40-100 meq  $\text{Ca(OH)}_2/\text{L}$ ) ve stabilizasyon süreleri 1-6 saat olarak ayarlanmış ve 6 saat için kireç ilavesi 62 meq  $\text{Ca(OH)}_2/\text{L}$  'e ulaştığında optimum KOİ çözünebilirliği gözlenmiştir. Bu şartlar altında KOİ'nin %11,5'i çözülmüştür. En yüksek metan üretimi oranı kireçle stabilize edilmemiş reaktörden çıkan ürünle karşılaştırıldığında %172 olarak gözlenmiştir (Alqarallelh 2012).

Kireçle stabilizasyon için minimum US EPA kriterleri 2 saat süreyle pH 12'dir. Gerekli dozaj miktarı çamurun tipine göre değişmektedir. Kireçle stabilizasyon organik parçalanmaya neden olmaz. EPA "Part 503" düzenlemesine göre karışımın pH'ı 12 ve üzerinde en az 72 saat süreyle ve 52°C de en az 12 saat sürede olursa, A Sınıfı gübre kalitesine ulaşmak mümkündür. Yine A Sınıfı için alternatif olarak, proses 70°C'de en az yarım saat süreyle pH 12 seviyesinde işletilebilir. Kireçle stabilizasyon sonrası arıtma çamurunun gübre olarak kullanılması mümkündür. (Wang 2009). Yapılan bir laboratuvar çalışmasında alkali stabilizasyon sonrası biyokatıların patojen içeriği açısından tarımda kullanılmasına müsait olduğu belirtilmiştir. (Bean ve ark. 2007). Ancak alkali stabilizasyon sonrası tarımda kullanım, toprağın tamponlama kapasitesi ve pH seviyesinden dolayı kısıtlanır (Svoboda 2003).

#### **3.4.6. Solar kurutma**

Solar kurutma prosesine 1995 yılında birkaç ticari firma aracılığıyla Almanya, İtalya, Avusturya ve Belçika'da yıllık 10 000 tondan fazla ıslak çamurun kurutulmasıyla başlanmıştır. 2001 yılında ABD ve Avustralya'da da benzer sistemler inşa edilmiştir. Küçük ve orta ölçekli tesisler için ekonomik açıdan oldukça büyük getirileri olmuştur. Solar sistemlerin bakım maliyetine neredeyse hiç gereksinimi yoktur. Solar kurutma ile katı konsantrasyonunu % 2-35'den % 90 ve üzerine çıkarmak mümkün hale gelmiştir. Bu proses ortalama iklimdeki ülkelerde küçük ve orta ölçekli tesisler için, sıcak iklimdeki ülkelerde de büyük ölçekli tesisler için çekici hale gelmiştir (Bux ve ark. 2001).

Solar kurutma ile Fekal koliform gibi patojenlerin kışın ve sonbaharda bile önemli ölçüde azaltılması mümkündür (Bux ve ark. 2001). Salihoglu ve ark. (2007) yaptığı arıtma çamurlarının sınırlı miktarda kireçle kombine olarak güneşle kurutulması çalışmasında kapalı kurutma sisteminde açık sisteme göre çok daha yüksek patojen giderimi sağlanmıştır. Yaz aylarındaki 45 günlük kurutma süresinin sonunda çamurdaki koliform içeriği EPA değerlerine de uygun bir şekilde  $2 \times 10^6$  CFU/g KM 'nin altına indirilmiştir.

Solar kurutma hayvansal atıkların kurutulması için kullanılabilir (http://www.iea-shc.org/task29/index.html, 2012). Kötü kalitede bir çürütme işlemi sonrası dahi solar kurutma işlemi arıtma çamurunun tamamen stabilize hale gelmesini sağlar. (Bux ve ark. 2001).

### 3.5. Bölüm Değerlendirmesi

İster anaerobik olsun ister aerobik olsun kompostlama ve anaerobik çürütme işlemleri birbirlerine benzerler. Her iki proseste de mikroorganizmalar organik maddeyi parçalayarak stabil hale getirmektedir.

Anaerobik çürütme ve kompostlamada rol oynayan mikroorganizmalar, atığın içeriğine, prosesin sıcaklığına ve türüne bağlı olarak değişse de, proseslerin patojen giderimi verimliliklerini incelerken *Salmonella*, *E.Coli*, *Enterococci* gibi benzer tür indikatör mikroorganizmaların sayımı yapılmaktadır.

Kompostlama işlemi kontrollü bir şekilde yönetildiği takdirde patojen içeriği bakımından uygun seviyeye gelebilmektedir. Ancak uygulamada mezofilik ve termofilik olarak karşımıza çıkan anaerobik çürütme proseslerinde durum farklıdır. Termofilik bir anaerobik çürütücüde sıcaklık 55 °C ve üzerinde seyrederken mezofilik bir reaktörde bu değer 35 °C lerdedir. Patojen giderimleri de sıcaklık ve bekleme süresiyle bağlantılı olduğundan dolayı termofilik anaerobik çürütücülerde patojen giderimleri istenen seviyelere ulaşırken mezofilik çürütücülerde (bazı atık türlerinde) bu giderim gerçekleşemeyebilmektedir.

Mezofilik anaerobik çürütücülerde yabancı ot tohumlarının birçok formu hayatta kalabilmektedir. Jewel ve Kabrick, 1980; Bowman, 2009; Cummings ve Jewel; 1977 gibi bilim adamları mezofilik reaktörlerde tam bir patojen giderimi olmadığını ispatlamışlardır.

Statik yağın kompost, tünel tipi kompost prosesleriyle termofilik anaerobik çürütme proseslerinin patojen giderimleri benzerlik gösterirken mezofilik anaerobik çürütme proseslerinde daha düşük seviyededir.

İyi bir patojen giderimi sağlamak isteniyorsa, öncelikle hammaddenin patojen seviyesi bilinmeli ve buna göre hareket edilmelidir. Eğer çamur, patojen seviyesi çok yüksek olmayan endüstriyel arıtma çamuru veya ön işlemden geçmiş evsel arıtma çamuru ise, proses olarak mezofilik anaerobik çürütücüler düşünülebilir. Ancak patojen içeriği çok yüksek hayvansal atıklar veya ön işlemden geçmemiş evsel arıtma çamurlarında mezofilik anaerobik çürütmeden sonra istenilen patojen seviyelerine ulaşamayabilir.

Böyle bir durumda mühendislik biliminin gereği olarak burada en uygun maliyetli ve optimum etkinlikte proses/prosesler inşa edilmelidir. Kompost ve termofilik anaerobik çürütücüler bu yöntemlerden ikisi olabilirken, mezofilik anaerobik çürütücülerin modifikasyonları da kurulabilir. Örneğin 2 kademeli mezofilik bir anaerobik çürütücü veya tek kademeli uzun bekleme süreli mezofilik anaerobik çürütücüler kompostlama ve termofilik anaerobik çürütücüler için alternatif olabilirler. Ayrıca klasik mezofilik bir anaerobik çürütücüden sonra pastörizasyon (70 °C’de en az 1 saat) gibi termal işlemler uygulanarak da patojen seviyelerini istenen düzeye getirmek mümkün olabilir.

Anaerobik çürütme sonrası patojen içeriği istenen düzeylere getirilemiyorsa çürütme prosesi ilave sistemler ile kombine edilmelidir. Şu anda en yaygın sistem pastörizasyondur. Eğer çürütme sonrası patojen içeriği istenen seviyeye yakın ancak ulaşamaz seviyelerdeyse pastörizasyona göre daha ekonomik olması muhtemel sanitasyon prosesleri tercih edilebilir. Dünyada anaerobik çürütülmüş çamurların mikrodalga ve solar yöntemlerle susuzlaştırılması konuları üzerine çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bu konuların üzerinde daha çok durulması gerekmektedir.

## 4. KOMPOSTLAMA VE ANAEROBİK ÇÜRÜTME TEKNOLOJİLERİ İLE ÜRETİLEN ÜRÜNLER, BU ÜRÜNLERİN KARAKTERİSTİKLERİ VE TARIMSAL UYGULAMALARI

### 4.1. Kompostun Karakteristiği

Sürekli olarak yüksek kaliteli bir kompost üretimi özellikle kompostun sadece çiftlikte kullanılmadığı, ancak pazarlandığı durumlarda önemlidir. Eğer kompost saksı bitkiler gibi yüksek değerli ürünlerde; besi bitkilerinde; fide yatakları gibi hassas bitkilere tatbik edilecek veya toprak ve diğer katkı maddeleriyle beraber kullanılacaksa kompost kalitesinin önemi daha da artar. Diğer açıdan kompost sadece tarladaki ürünlerde, toprak düzenleyicisi olarak çiftliklerde ve fide dikmeden önce ilave edilecekse; üretilen kompostun kalitesi daha az önem arz eder. Partikül boyutu gibi kriterler bazı çiftlik uygulamalarında önemli değildir. Ayrıca toprak düşük kaliteli kompostun muhtemel ters etkilerini tamponlar.

Kompost kalitesi genellikle partikül boyutu; pH; eriyen tuzlar; stabilite ve zararlı otlar, ağır metaller, fitotoksik bileşikler ve yabancı maddeler gibi toprakta istenmeyen bileşenlerin varlığına bağlıdır. Kalite ayrıca yığından yığına ürünün üniformluğu ile de belirlenir.

Partikül çapı 1,27 cm'den daha küçük, pH'ı 6 ile 7.8 arasında, çözümlü tuz seviyesi 2,5 *mmho\*/cm*'den daha az, düşük solunum oranı, zararlı ot olmayan ve bileşen konsantrasyonları EPA'nın ve ülke standartlarının altında olan kompostun birçok kullanım alanı vardır. Solunum oranı oksijen tüketimine göre belirlenir ve stabilite ile ilgilidir. Kompost karakteristikleri bu standartları sağlamazsa kullanım alanı sınırlanır. Örneğin, çözümlü tuz seviyesi 2,5 *mmhos/cm*'den fazla olan kompost bitkilerde kullanılmadan önce diğer maddelerle seyreltilmiş olmalıdır. pH'ı 7,8'den büyük olan kompost yüksek pH'a ihtiyacı olan asidik topraklar veya ürünlerde kullanılabilir (Öztürk M. 2008).

Çizelge 4.1.'de son kullanımına bağlı olarak kompost kalite kılavuzuna bir örnek verilmiştir.



**Çizelge 4.1.** Nihai kullanımına göre kompost kalite kılavuzu (Öztürk M. 2008)

Karakteristik	Kompostun Kullanım Yeri			
	Saksı Toprağı	Saksı Toprağı İyileştirme	Tarla Toprağı üst tabakası	Tarla Toprağı İyileştirme
Renk	Koyu kahve veya siyah	Koyu kahve veya siyah	Koyu kahve veya siyah	Koyu kahve veya siyah
Koku	Toprak kokusunda olmalı	İstenmeyen koku olmamalı	İstenmeyen koku olmamalı	İstenmeyen koku olmamalı
pH	5,0 – 7,6	N/A	N/A	N/A
Partikül boyutu	<13 mm	<13 mm	<7 mm	<13 mm
Tuz kons. (mmho/cm)	<2,5	<6	<5	<20
Yabancı maddeler	Cam, plastik ve 3-13cm çaplı yabancı partiküllerin ıslak karışımının %1'inden fazlasını içermemeli	Cam, plastik ve 3-13cm çaplı yabancı partiküllerin ıslak karışımının %1'inden fazlasını içermemeli	Cam, plastik ve 3-13cm çaplı yabancı partiküllerin ıslak karışımının %1'inden fazlasını içermemeli	Cam, plastik ve 3-13cm çaplı yabancı partiküllerin ıslak karışımının %5'inden fazlasını içermemeli
Ağır metaller	EPA değerlerini aşmamalı	EPA değerlerini aşmamalı	EPA değerlerini aşmamalı	EPA değerlerini aşmamalı
Solunum oranı (mg/kg.saat)	<200	<200	<200	<400

EPA, Türkiye ve Avrupa'nın komposttaki ağır metal limitleri "Türkiye'de ve Avrupa Birliğinde Kompost ve Anaerobik Çürütme ile İlgili Yasal Düzenlemeler" başlığı altında incelenmiştir.

Çizelge 4.2.'de tamamlanmış komposttaki elementlerin olması gereken aralıkları verilmektedir.

**Çizelge 4.2.** Tamamlanmış komposttaki elementlerin konsantrasyonları (Erdin 2006)

ELEMENT	NORMAL ARALIK
	Major elementler (gr/100 gr kuru bazında)
N	0,1-1,8
P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,1-1,7 (0,2-3,8)
K (K <sub>2</sub> O)	0,1-2,3 (0,1-2,8)
S	0,5-3,0
Alkalinite (CaO olarak)	1-20
Toplam Tuzlar (KCL Olarak)	0,5-2,0
	Minör Elementler (mg/kg kuru bazında)
B	60-340
Cd	15-40
Cu	90-260
Fe	8 000-15 000
Hg	1-5
Mn	300-1 300
Mo	10
Pb	200-400
Zn	800-1 200

Ayrıca Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde kompostun tarımda kullanılabilmesi için hijyenik yönden kusursuz olması, insan ve tüm canlı sağlığını tehdit etmemesi şartı yanında organik madde içeriğinin kuru maddenin minimum % 0-30'u su muhtevasının en fazla % 50 olması, içindeki kompost olmamış madde miktarının ağırlıkça % 2'yi aşmaması şartları da vardır (Erdin 1981).

#### 4.2. Kompostun Tarım Uygulamaları

Delgado ve ark.'nin (2002) evsel arıtma çamurlarının kompostlanarak mısır üzerinde 4 yıl boyunca yaptıkları araştırmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. (Çizelge 4.3.)

**Çizelge 4.3.** Farklı metotlarda mısır taneciklerinin verimi (kg/ha) (Delgado ve ark. 2002)

Gübre	1996	1997	1998	1999	Ortalama üretim
Mineral	10 418	13 597	10 006	11 852	11 401
1. Karışım	11 545	14 117	11 947	13 565	12 793
2. Karışım	13 818	15 708	12 840	13954	14 080

**Mineral:** (Kontrol) Normal gübre ile; 800 kg/ha N (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)-P (CaHPO<sub>4</sub>)-K (KCL) (15- 15-15) en fazla gübreleme miktarı: 350 kg/ha üre (46 %).

**1.Karışım:** Normal gübrenin arıtılmasıyla; 8000 kg/ha arıtma çamuru kompostu ve en fazla gübreleme miktarı: 350 kg/ha üre (46 %).

**2.Karışım:** Normal gübrenin arıtılmasıyla; 12000 kg/ha arıtma çamuru kompostu ve en fazla gübreleme miktarı: 350 kg/ha üre (46 %)

Çizelge 4.3. göstermektedir ki; 2. Karışım prosesinde (12 000 kg/ha arıtma çamuru kompostu + 350 kg üre/ha) ortalama 14 080 kg/ha ile kontrol prosesine göre %23,5'lik ve 1. Karışım prosesine göre de % 10'luk bir üretim fazlalığı gözlenmiştir.

**Çizelge 4.4.** Mısırdaki gözlenen değerler (1999) (Delgado ve ark. 2002).

Gübre Tipi	Zn*	Cu*	Cr*	Pb*	Cd*	Ni*	P(%)	K(%)	Ca(%)
Mineral	18,8	2,5	2,3	0,5	0,005	3,2	0,27	0,29	0,004
1. Karışım	15,7	3,9	2,1	0,5	0,005	3	0,22	0,26	0,003
2. Karışım	14,3	4,4	2,8	0,7	0,005	3	0,21	0,2	0,003

\*: ağır metal (mg/kg)

Çizelge 4.4.'de üretilen kompostun ağır metal ve toksisite açısından tehdit oluşturmayacağı gözlenmiştir (Delgado ve ark. 2002).

Edwards (2007) yaptığı çalışmada çeşitli bitkilere önerilen oranda (120kg/ha) hayvansal atıklardan üretilen kompost 6 yıl boyunca uygulanmıştır (Çizelge 4.5.).

**Çizelge 4.5.** 2000-2006 yıllarında Tigray şehrinde 9 bitki üzerinde yapılan kompost denemeleri sonuçları (Edwards 2007)

Bitki Türü	Kontrol		Kompost		K. Gübre	
	Tane	Sap	Tane	Sap	Tane	Sap
Arpa	1 115 n=56	2 478 n=52	2 349 n=57	4 456 n=55	1 861 n=36	3 739 n=35
Buğday	1 228 n=73	2 342 n=67	2 494 n=61	3 823 n=57	1 692 n=48	3 413 n=45
Parmak darı	1 142 n=16	2 242 n=16	2 652 n=14	4 748 n=13	1 848 n=8	3 839 n=7
Hanfets*	858 n=31	2 235 n=31	1 341 n=31	3 396 n=31	1 199 n=29	2 237 n=29
Mısır	1 760 n=31	3 531 n=20	3 748 n=41	4 957 n=31	2 900 n=25	3 858 n=13
Süpürge darısı	1 338 n=14	2 446 n=13	2 497 n=11	3 362 n=10	2 480 n=5	4 433 n=5
Teff	1 151 n=106	2 471 n=94	2 143 n=75	3 801 n=66	1 683 n=71	3 515 n=68
Bakla	1 378 n=20	2 121 n=17	2 857 n=23	4 158 n=24	2 696 n=3	3 783 n=3
Bezelye	1 527 n=9	1 201 n=9	1 964 n=9	1 625 n=9	0	0

\*Hanfets: arpa ve buğday karışımı, n=kaydedilen bitki sayısı

İstatistiksel sonuçlara dayanarak ( $\alpha=0,05$ ) kimyasal gübre kullanılan bitkilerin üretiminde hiçbir şey kullanılmadan üretilen bitkilere nazaran üretimde önemli derecede artış olduğu ve kompost kullanılarak üretilen bitkilerin de kimyasal gübre kullanılarak üretilen bitkilere göre önemli derecede üretim artışı olduğu hesaplanmıştır (Edwards, 2007)

### **4.3. Biyogübre (Anaerobik Çürütme ile Elde Edilen Gübre) ve Biyogübrenin Besi Maddesi Kalitesi**

#### **4.3.1. Biyogübrenin tanımı**

Ülkemizde hayvan atıkları gübre olarak veya kurutulduktan sonra yakıt kaynağı şeklinde tarih boyunca kullanılmıştır. Hayvan gübreleri içerdikleri zararlı bitki tohumlarının ve patojen mikroorganizmaların yok edilmesi amacıyla taze olarak toprağa verilmezler. Gübreliliklerde belirli süre bekletilmeleri gerekir. Bu zorunlu bekleme süresi içerisinde karbon, azot, potasyum ve fosfor gibi bitki besin maddelerinin önemli bir kısmı kaybolur. Bu kaybın değeri yaklaşık %30-33 kuru madde kaybına karşılık gelmektedir. Gübrenin bu zorunlu bekletilme süresini ortadan kaldırmak ve kayıp olan gübreyi biyogaz olarak geri kazanmak amacıyla hayvansal atıklar anaerobik çürütülmeye tabi tutulurlar. Fermantasyon sonucu elde edilecek olan organik gübrenin diğer bir üstünlüğü de anaerobik çürüme sonucunda patojen mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olmasıdır.

Anaerobik çürütmeden sonra elde edilen gübre daha kolay kullanılabilir gübredir. Özellikle ülkemizde hayvancılığın gelişmesini teşvik edici unsur olacaktır. Hammadde olarak hayvan gübresi tek başına veya tarım kuruluşlarında bulunan diğer organik atıklarla karıştırılarak kullanılabilir (Tolay ve ark. 2008).

Ham gübreler yaban otu tohumu ve hastalığa sebep olan mikroorganizmalar içerir. Anaerobik arıtma sonucu oluşan gübrede yaban otu tohumlarının çimlenme kabiliyeti düşer. Gübre içinde bulunan yaban otu tohumları %95 oranında bozunur. Anaerobik çürütülmüş gübrede tüm tohumlar tahrip olduğu için, çamur minimum riskli olarak kullanılır. Böylece yaban otu tohumu ile mücadele bedeli de minimize edilir.

Anaerobik arıtım esnasında küçük moleküllü organik maddelerin çoğu bozunur. Lignin gibi bozunmayan maddeler, toprağın humus yapısına katkıda bulunur. Toprağın humus yapısını dengeler. Böylece fermente olmuş gübre humus yapıcı maddelerle toprağın gübrenmesine yardımcı olur.

Biyogübrenin bitkilerin gelişmesi ve toprağın yapısına olan faydaları aşağıda sunulduğu gibidir.

- Biyogübrenin kullanılması ile toprağımızın su tutma kapasitesi artar. Toprağın su geçirgenliği iyileşir. Böylece biyogübre atılan topraklarda suyun toprak yüzeyinden akıp gitmesi ve buharlaşmasına engel olunur. Su toprak yüzeyinden akarken tarıma elverişli toprakları da götüreceğinden toprağın tarlamızda kalmasını sağlar. Bu durum erozyonun son derece büyük zararlar verdiği ülkemiz toprakları için gerçekten çok önemlidir.
- Biyogübre toprağın kolay tava gelmesini sağlar ve işlenmesini kolaylaştırır.
- Biyogübre kullanılan ince yapılı ve kumlu topraklarda toprak parçacıklarının birbirine bağlanmasını sağlar. Ağır killi topraklarda ise toprağın gevşemesini ve toprak içeride boşlukları artırır. Her iki durumda da toprağı bitki gelişimi için daha iyi bir yapı kazandırır.
- Biyogübre en önemli özelliklerinden biriside zengin mikroorganizma kaynağı olmasıdır. 1 gram sığır dışkısında 60 ila 137 milyar bakteri bulunmaktadır. Toprağı katılan biyogübre, topraktaki mikroorganizma sayısını ve etkinliğini artırır. Böylece bitkilerin gelişmesi için çok yararlı olan, topraktaki faaliyetleri artırır.
- Biyogübre yapısı nedeniyle toprağın havalanmasını uygun hale getirir. Yine biyogübre toprakta var olan ve bitkilerin kullanamadığı bazı besin maddelerini bitkiler için faydalı hale getirir.
- Biyogübre bitkilerin gelişmesi için lazım olan besin maddelerini, doğrudan toprağı sağlar.
- Biyogaz üreteçlerinden çıkan fermente atık gübrenin kompostlanması neticesinde, organik madde yönünden çok yüksek değerli bir biyogübre elde edilir (Gümüşçü ve Uyanık 2010).

#### **4.3.2. Biyogübrenin karakteristiğı**

Anaerobik reaktörlerden çıkan ve çamur veya atık olarak adlandırılan maddeler Azot (N), Fosfor (P), Potasyum (K) ve birçok iz element içeriğinden dolayı iyi bir bitki besin element kaynağı ve organik madde açısından iyi bir toprak iyileştirici maddedir. Bu

atıklar kurutulduğunda hayvan yemlerine katılan katkı maddesi olarak da değerlendirilmektedir (Ardıç ve Taner 2005). Literatürde, çeşitli atıkların karışımının çürütülmesi ile gübrenin N:P:K oranı yaklaşık 3:1:0,3 olarak belirtilmiştir. Bu oran bitkinin ihtiyacı olan Azot, fosfor ve potasyumu karşılar (Voca ve ark. 2005). Bitkiler için en önemli olan besi maddelerinden Azot ve Fosfor miktarı çürütme sırasında aynı kaldığı için değerinden hiçbir şey yitirmemektedir. Ayrıca organik madde mikroorganizmalar tarafından parçalanıp küçük yapıli moleküllere dönüştürülmekte ve bu sırada bitkiler için gerekli olan besi maddeleri serbest duruma geçmekte olup bitkiler tarafından daha kolay kullanılabilmekte ve böylelikle oluşan biyogübre açık ortamda olgunlaşan gübreye nazaran %30-45 veriminin artmasını sağlamaktadır (Gümüşçü ve Uyanık 2010).

Biyogübre komposta göre daha yüksek Fosfor ve Potasyum içerir. Bu yüzden topraktaki eksik nütrientleri sağlamak için komposttan daha etkilidir. Biyogübredeki ortalama Fosfor-Potasyum oranı yaklaşık 1:3'dür (Makadi ve ark. 2011).

Biyogübrede organik maddelerin önemli miktarı kararlı hale dönüşmektedir. Anaerobik işlemde sonra gübre içinde bulunan organik maddelerin %40-60'ı metan ve karbondioksite dönüşerek karbon miktarında önemli azalma olmaktadır. Bu azalma sayesinde C/N oranında azot lehine önemli bir artış ile sonuçlanır. Yani C/N değeri düşer. Bir gübre örneğinde başlangıçtaki gübrede amonyak azotu 2.9 g/lit iken anaerobik çürüme sonrası bu miktar 3.7 g/lit'ye çıkmıştır. C/N oranı da 8'den 4'e inmiştir. Gübrenin besi maddesi kalitesi artmış olur.

Anaerobik çürüme işleminden sonra gübre içinde Amonyum konsantrasyonu artmaktadır. Arıtılmış gübre mineral gübre gibi hareket etmektedir. Bitki kökleri tarafından daha bol olarak kullanılmaktadır. Bitkiler arıtılmış çamurdaki çözünür haldeki azotu daha iyi kullanırlar. Çürümüş çamur kullanıldığında ürün verimliliği %3-5 oranında artar (Öztürk M. 2005).

Biyogübrenin besi maddesi içeriği çürütülen materyal ve işletme koşullarına bağlıdır. Düşük kuru madde (%1-8 KM) ve yüksek nem oranına sahiptir. Ağır metaller gibi potansiyel toksik elementler içerebilir. Çizelge 4.6.'da sığır atıklarından üretilmiş biyogübrenin besi maddesi içeriği yer almaktadır.

**Çizelge 4.6.** Sığır biyogübresinin besi maddesi içeriği (Anonim 2008).

<b>Parametre</b>	<b>Normal (Whole) Biyogübre</b>	<b>Ayrılmış sıvı kısım</b>	<b>Ayrılmış katı kısım</b>
Kuru Madde (%)	7	3,1	23
Toplam N (kg/ton)	5,47	4,6	9
Kullanılabilir N (kg/ton)	3,29	3,3	3,3
Kalan Organik N (kg/ton)	2,18	1,3	5,7
Fosfor (kg/ton)	1,02	0,2	4,2

Çizelge 4.7.'de çürütücülerin giriş ve çıkış analizlerinin güvenilir karşılaştırmaları özetlenmiştir.

**Çizelge 4.7.** Anaerobik çürütme ile gübredeki nütrient değişimi (Çürütücünün giriş ve çıkış değerleri -pH hariç- % olarak tanımlanmıştır) (Smith ve ark. 2007).

<b>Yer</b>	<b>Materyal</b>	<b>KM</b>	<b>Toplam N</b>	<b>NH4-N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>pH</b>	<b>KOİ</b>	<b>Kaynak</b>
Suffolk	Sığır, domuz	-10	13	15	18	0,45	-38	Nielsen 1980
Kent	Süt ineği	-29,5	-11,5	-12,4	-12,7	-0,09	-33,3	Friman 1982
Kuzey İrlanda	Et Sığırı	-26,1	-14,3	8,7		0,4	-24,4	Clarkson 1990
İskoçya	Süt ineği	-19,2		10,2			-17,2	Anon. 1981
Danimarka	Sığır		-7	32				Moller 2006
USA (NY)	Süt İneği	-25,2	10,4	33,3	3,2	0,5	-41,9	Martin 2004
USA (Wisc.)	Süt İneği	-35,4	-6,6	24,9	-8,4	0,6	-38,5	Martin 2005
USA (NY)	Süt İneği	-27,3	6,7	36,5	2,1	0,7	-30,3	Cheng ve ark. 1999
USA (NY)	Süt İneği	-25,1	0,9	27,7	0	0,18	-9,3	Wright ve ark. 2004
USA (NY)	Süt İneği	-60,3	-4,6	11,3	-6,2	0,3	-61,3	Wright ve ark. 2004
USA (NY)	Süt İneği	-11,1	3,5	37,7	5,9	0,29	-9	Wright ve ark. 2004
USA (NY)	Süt İneği	-16,4	-5,5	31,1	10,9	0,22	-14,3	Wright ve ark. 2004
<b>Ortalama</b>		<b>-25,6</b>	<b>-0,8</b>	<b>25,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,4</b>	<b>-29,9</b>	
Medyan		-25,15	0	29,4	1,05	0,4	-31,8	



Tüm bu araştırmaların sonucunda kuru madde içeriğinin ortalama %25 in üzerinde azaldığı görünmektedir. Bu da organik maddenin parçalanarak metan ve karbondioksit üretimiyle substrattan karbon kaybını yansıtmaktadır. NH<sub>4</sub>-N ve pH değerlerinin artması , proses esnasında NH<sub>4</sub>-N üretimi (proteinlerin parçalanması ile) ve CO<sub>2</sub> oluşumundan kaynaklanır.

Çizelge 4.7.'de belirtilen Toplam N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve K<sub>2</sub>O verileri ufak ve tutarsız değişiklikler gösterse de, bu maddeler çürütme prosesinde korunacağı için bu tür değişiklikler öngörölmeyecekti (Smith ve ark. 2007).

Hayvansal atıklardan elde edilen biyogübrenin ağır metal içeriği ve İngiltere'deki Biyogübre kalitesini ölçen PAS110 kuralları ile karşılaştırılmalı olarak Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.8.** Hayvansal atıklardan elde edilen biyogübrenin ağır metal içeriği ve PAS 110 (Williams ve Esteves 2011).

<b>Ağır metal konsantrasyonu</b>	<b>Hayvan biyogübresi</b>	<b>PAS 110 (2010)</b>
Çinko	200	400
Bakır	127	200
Kadmiyum	0,6	1,5
Nikel	11,4	50
Kurşun	11,3	200
Krom	10,4	100
Civa	<0,05	1

#### **4.4. Biyogübrenin Tarım Uygulamaları**

Substratın anaerobik çürütücüde ısı ile çürütölməsi sonucu patojenler büyük ölçüde yok olmaktadır. İşletme sıcaklığının fazla olması demek, patojen gideriminin de o oranda fazla olması anlamına gelir. Sonuç olarak çürütölmüş hayvan gübresi çürütölmemiş hayvan gübresine oranla daha az patojen içermektedir. Biyogübre tarımda kullanılmadan önce patojen açısından güvenilir değilse pastörizasyon işlemi önerilmektedir. Pastörizasyon; hayvansal atığın 70 °C'de 1 saat süreyle ısıtılmasıdır.

Eğer bu işlem çürütmeden önce yapılacaksa buna ön-pastörizasyon prosesi denir. Anaerobik çürütmeden sonra yapılan pastörizasyona ise son-pastörizasyon prosesi denilebilir (Lund ve ark. 1996). Pastörizasyon ve diğer patojen giderimi yöntemleri için ‘‘Anaerobik Çürütmenin Yetersiz Kaldığı Durumlarda Patojen Giderimi için Alternatif Prosesler’’ bölümünde daha detaylı bilgi verilmiştir.

Küçük ölçekli özerk anaerobik çürütücülerden çıkan biyogübrenin yakınlardaki tarımsal alanlarda gübre olarak kullanılması oldukça kolaydır. Ancak büyük ölçekli işletmelerde depolama ve taşıma maliyetleri daha yüksek olacaktır. Ek olarak biyogübrenin tarımda kullanımında azot ve diğer nütrientler için sınır değerler mevcuttur. Özellikle büyük ölçekli işletmelerde endüstriyel atıkların anaerobik çürütülmesi bazı sorunlara yol açabilir. Çürütülmüş çamurun iyileştirilmesi için değişik yöntemler mevcuttur. Genellikle katı kısım sıvı kısımdan pres filtre veya dekantör gibi yöntemlerle ayrıştırılmaktadır. Katı kısmın tarım alanlarında doğrudan kullanılması uygun olabilmektedir. Son zamanlarda katı kısmın kompostlanma veya arıtılma gerekliliği giderek artmaktadır (Braun ve ark. 2009).

Danimarka’daki denemelerde biyogübre ve işlenmemiş gübre için azotun bitkiler tarafından kullanımı karşılaştırılmıştır. Biyogübreden azot kullanımı %80 iken işlenmemiş gübreden kullanım hayvansal atığın cinsine göre %50-70 arasında değişmiştir.

Biyogübrenin katı madde içeriği daha düşük olduğundan tarımda kullanımı işlenmemiş gübreye göre daha kolaydır. Biyogübre daha uniform bir üründür, pompalanması daha kolaydır ([http://www.biogas.org.nz/Publications/Resources/Biogas-Digestate-Factsheet\\_Renquist-Heubeck.pdf](http://www.biogas.org.nz/Publications/Resources/Biogas-Digestate-Factsheet_Renquist-Heubeck.pdf), 2012).

Biyogaz tesisinde üretilen gübre ile gübrelenen bitkilerde ham gübre ile gübrelenen bitkilere göre % 16 ila 20 oranında mahsul artışı olmaktadır.

Anaerobik çürütülen atıkların tarımdaki verimi, yer elması, pirinç, mısır ve pamuk üzerinde yapılan çalışmalarla belirlenerek Çizelge 4.9.’da verilmiştir.

**Çizelge 4.9.** Biyogübrenin bazı bitkiler üzerinde denemeleri (Werner ve ark. 1989)

Uygulanan Bitkiler	Çürütülmüş Çamur Miktarı (m <sup>3</sup> /ha)	Verim		Artış (kg/ha)	Artış (%)
		Yaş gübre ile (kg/ha)	Çürütülmüş gübre ile (kg/ha)		
<b>Yer elması</b>	17	21 500	24 000	2 500	12
<b>Pirinç</b>	15	6 000	6 500	500	8
<b>Mısır</b>	22,5	4 600	5 000	400	9
<b>Pamuk</b>	22,5	1 200	1 300	100	8

Bir başka araştırmaya göre de, biyogaz üretiminden sonra gübrenin bitki besleme açısından değerinde % 20 artış sağlanmıştır. Mesela, gübreden biyogaz elde edildikten sonra, aynı gübrenin toprağa verilmesi sonucunda, buğdayda %16, pancarda ise % 25’lik bir verim artışı meydana geldiği belirtilmiştir (Alçıçek 1994).

Almanya’da her yıl 7 milyon ton ıslak ve kuru biyogübre tarımda kullanılmaktadır ancak bilimsel açıdan bu gübrelerin farklı topraklarda mahsul verimleri araştırmaları hala zayıftır. Bermejo ve Ellmer (2010)’ın biyogübrenin tarımda kullanılmasının 2009 yılında elde edilen ilk sonuçlarına göre biyogübrenin bitkiler üzerindeki etkisinin toprağın cinsine bağlı olduğu belirtilmiştir. Araştırma killi ve kumlu toprak üzerindeki bitkilere aynı miktar mineral gübre ve biyogübre eklenerek yapılmıştır. Kumlu toprak üzerinde yapılan çalışmada mineral gübrenin kullanıldığı bitkilerin mahsul verimi biyogübrenin kullanıldığı bitkilere göre daha yüksek olmuştur.

Losak ve ark. (2011) biyogübre ve mineral gübrelerin tarımdaki etkilerini yer lahanası üzerinde araştırmışlardır. Gübre çeşitleri olarak; 1) Kontrol: Gübresiz 2)Üre 3)Biyogübre ve 4)Üre, üçlü süper fosfat, KCl, MgSO<sub>4</sub> kullanılmıştır. Çalışma sonucu lahanadaki tekil soğanların ağırlıkları ölçülerek ağırlıklarındaki artış oranları, tekil soğanlarda bulunan nitrat ve askorbik asit miktarları hesaplanarak Çizelge 4.10. ve Çizelge 4.11.’de verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** Biyogübrenin yer lahanası mahsül verimine etkisi (Losak ve ark. 2011)

No	Gübreleme	Tekil soğanların ağırlığı	
		g	Rölatif (%)
1	Kontrol (Gübresiz)	37a	22,9
2	N	161b	100
3	Biyogübre	206c	127,9
4	NPKMg	208c	129,2

Farklı harfler (a, b, c) gübreleme yöntemleri arasındaki büyük farkları göstermektedir.

**Çizelge. 4.11.** Biyogübrenin tekil soğandaki askorbik asit ve azot içeriğine etkisi (Losak ve ark. 2011)

Gübreleme	Askorbik Asit İçeriği		Azot İçeriği	
	mg/kg TM	Rölatif %	mg/kg TM	Rölatif %
Kontrol (Gübresiz)	511a	66,2	41a	6
N	772b	100	678c	100
Biyogübre	778b	100,8	228b	33,6
NPKMg	789b	102,2	641c	94,5

TM: Taze madde. Farklı harfler (a, b, c) gübreleme yöntemleri arasındaki büyük farkları göstermektedir.

Not: Askorbik asit bahçecilikte en önemli nütriental kalite faktörlerinden biridir ve insan vücudunda birçok biyolojik aktiviteye sahiptir.

Adekan ve ark. (2010) kimyasal gübre, 30 günden fazla süreyle çürütülmüş ve çürütülmemiş hayvan gübreleri ile marul üzerinde çalışma yapmışlardır. Kimyasal gübre gübrelenmemiş marula göre %200 artış sağlarken, çürütülmemiş gübre ile %548-933'lük ve çürütülmüş gübre ile %509-812'lik artış sağlanmıştır. Bu verilere göre çürütülmüş gübre (biyogübre) > çürütülmemiş gübre > kimyasal gübre şeklinde sıralanmıştır. Bu çalışma, Haubenschild Farms, Inc. Princeton, Minnesota (T36N R26W) 2004'de Minnesota Üniversitesinde çürütülmüş ve çürütülmemiş gübrelerin tarımda uygulanması için yapılan bir başka çalışmayı da desteklemektedir (Adekan ve ark. 2010).

Bugüne kadar, kompostlanmış hayvansal atıklar bahçe besleme malzemesi olarak kullanımında en yüksek sınıfta kalite kontrol standartlarıyla tanışmamıştır. Ayrıca kompostlanma sonrası büyük ölçüde kütle kaybı yaşandığından pazarlanabilir ürün

hacmi azalmaktadır. Kompostlamanın aksine anaerobik çürütme ile oluşan gübre nütrientleri korur (Kruger ve ark. 2008).

Joo ve Lee (1989) yaptıkları çalışmada sığır ve domuz atıklarının çürütülmesiyle üretilen gübrenin tarla denemesinde 2 yıl boyunca hektar başına 12 Mg ha<sup>-1</sup> uygulanan biyogübre topraktaki organik madde içeriğini %0,5 , kütle yoğunluğunu %10 ve toplam poroziteyi % 4 artırmıştır. (Çizelge 4.12.) Ayrıca toprakta ciddi miktarda fosfor artışı olmuştur. Biyogübrenin mısır, sudan otu ve soya fasulyesine uygulanması sonucu sadece kimyasal gübre uygulanan aynı türden bitkilerle nazaran sırasıyla büyümede %29, %31 ve %56'lık artış gözlenmiştir (Çizelge 4.13.).

**Çizelge 4.12.** Gübre uygulamasıyla birlikte topraktaki fiziksel ve kimyasal değişimler (Joo ve Lee 1989)

Uygulama metodu	Toprak derinliği	Yoğunluk (g cm <sup>3</sup> )	Porozite (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	OM (%)
Kontrol	0-5	1,19	55,2	71	1,4
	10-20	1,30	50,9	32	1,4
Gübre*	0-5	1,08	59,2	100	1,9
	10-20	1,24	53,3	40	2,0

\*Çürütülmüş domuz gübresi. Kontrol: Gübresiz üretim.

**Çizelge 4.13.** Çürütülmüş gübre ve kimyasal gübrenin bitki büyümesine etkileri (Joo ve Lee 1989)

Uygulama metodu	Mısır	Sudan otu	Soya fasülyesi
	kg/ha		
Kimyasal gübre	10 500	4 800	158
Çürütülmüş gübre	13 500	6 300	246

1-1.2 ton yer fıstığı veya süpürge darısı üretmek için hektar başına 33 kg N, 11 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve 48 kg K<sub>2</sub>O kullanmak gerekir. Çürütülmüş sıvı gübre içindeki azot, fosfor ve potasyum miktarına bakılarak bitki türüne göre toprağa ilave edilir. Normalde çürütülmüş sıvı gübre sulu olduğu için hektar başına 30-60 ton sıvı gübre kullanmak yeterlidir. Bir hektar yer fıstığı için kabaca 6-8 m<sup>3</sup> kapasiteli bir tesisten elde edilen

çürümüş çamur yeterlidir. Çürümüş çamurun çimen üzerinde yakıcı etkisi taze gübreye göre daha düşüktür (Öztürk M. 2005).

#### 4.5. Biyogaz

Biyogaz, organik maddelerin anaerobik ortamda birbiriyle bağlantılı çalışan bir grup bakteri tarafından parçalanması ile gerçekleşir. Bu esnada son ürün olarak açığa çıkan bileşenler metan (CH<sub>4</sub>), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O), hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S), amonyak (NH<sub>3</sub>), azot (N<sub>2</sub>) ve hidrojen (H<sub>2</sub>). Oksijensiz ortamlarda bekletilen organik maddeler öncelikle su içerisinde ayrışır ve bu işlem hidroliz olarak adlandırılır. Ayrıştırılan organik maddeler, asit oluşturan bakteriler tarafından uçucu yağ asitlerine çevrilir. Oluşturulan bu ürünler daha sonra metan üreten bakteriler tarafından metana çevrilir. Üretilen biyogaz üretimden hemen sonra kojenerasyon sistemleri olarak adlandırılan sistemlerde yakılarak elektrik enerjisine dönüştürülebilir ve ısı enerjisi olarak da kullanmak mümkündür. Ünite, şebeke ile senkronize çalışacak yapıda olur ise, tesisinin ihtiyaç fazlası istenildiği takdirde şebekeye taşınabilir. Kullanılmadan önce biyogaz içerisindeki H<sub>2</sub>S ve su buharından arındırılması gerekmektedir. Temizlenen biyogaz, toplama tanklarında (gazometre) yakma öncesi biriktirilebilir. (Gümüşçü ve Uyanık 2010; Tolay ve ark. 2008).

Biyogazın bileşimi sabit olmayıp kullanılan organik atığın bileşimine, sıcaklık ve pH gibi değişkenlerine bağlıdır. Tipik bir biyogaz bileşimi Çizelge 4.14.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.14.** Biyogaz bileşimi (Ekinci M. S., 2007)

<b>Madde</b>	<b>Sembol</b>	<b>Yüzde</b>
Metan	CH <sub>4</sub>	60-70
Karbondioksit	CO <sub>2</sub>	30-40
Hidrojen sülfür	H <sub>2</sub> S	0-2
Azot	N <sub>2</sub>	Eser miktarda
Su buharı	H <sub>2</sub> O	Eser miktarda
Hidrojen gazı	H <sub>2</sub>	Eser miktarda

Çizelge 4.15’de hayvansal atıklar ve arıtma çamurlarından elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları verilmektedir.

**Çizelge 4.15.** Hayvansal atıklar ve arıtma çamurlarından biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları (Ekinci 2007)

<b>Kaynak</b>	<b>Biyogaz Verimi (l/kg)</b>	<b>Metan Oranı (hacim yüzdesi)</b>
Sığır gübresi	90-310	65
Kümes hayvanları	310-620	60
Domuz gübresi	340-550	65-70
Arıtma çamuru	310-800	65-80

Çizelge 4.16.’da biyogazın doğalgaz ile karşılaştırmalı olarak ısıl değerleri verilmiştir (Türker 2008).

**Çizelge 4.16.** Biyogazın Doğalgaz ile karşılaştırmalı ısıl değerleri (Türker 2008).

	<b>Biyogaz (%65 metan)</b>	<b>Biyogaz (%55 metan)</b>	<b>Doğalgaz</b>
Üst ısı değeri (kWh/m <sup>3</sup> )	7,1	6	12
Alt ısı değeri (kWh/m <sup>3</sup> )	6,5	5,5	10,8

### **Biyogazın araç yakıtı olarak kullanımı**

Organik katı atıklar anaerobik çürütmeyle biyogaz elde edilmesi nedeniyle benzin yerine kullanılabilen mükemmel bir enerji kaynağıdır. (Krzystek ve ark. 2001)

Atıklardan üretilen biyogazın araçlarda yakıt olarak kullanımının giderek yaygınlaşmasında başlıca aşağıdaki etkenler rol oynamaktadır:

- Araç kaynaklı hava kirliliğinin azaltılması
- Gürültü kirliliğinin azaltılması
- Dış kaynaklı petrole bağımlılığının azaltılması

- Atıklardan üretilen biyogazın, gaz yakma bacasında yakılarak heba edilmesinin önlenmesi
- Biyogazın araçlarda yakıt olarak kullanılması yoluyla gelir elde edilmesi
- Benzin ve dizel yerine atıklardan üretilen biyogaz kullanımı yoluyla ekonomik fayda temini

Yakın tarihli veriler itibariyle ~14 Avrupa şehrinde biyogaz araç yakıtı olarak kullanılmaktadır. Bu alanda öncü konumundaki iki ülke İsveç ve İsviçre'dir. (Landahl ve Plombin 2004). Uygun bir ıslak gaz temizleyici (scrubber) sisteminde arıtılarak CH<sub>4</sub> içeriği %95 (90) düzeyine yükseltilebiyen biyogaz daha sonra 200–250 bar basınç altında depolanıp biyogaz istasyonlarında otogaza benzer tarzda satılmaktadır. Takriben 0,7 €/m<sup>3</sup>'e malolan bu tür biyogazın araç yakıtı olarak satış bedeli 0,7 – 1,1 €/m<sup>3</sup> aralığında değişmekte olup, benzine göre daima daha ucuz tutulmaktadır. Araçlarda yakıt olarak kullanılan biyogazın CO<sub>2</sub> emisyonları diğer yakıtlara göre çok düşüktür (Çizelge 4.14.) NO<sub>x</sub> ve partikül emisyonları bakımından biyogazın diğer araç yakıtlarına göre çok önemli çevresel ve ekonomik üstünlükleri mevcuttur (dizel yakıtına göre ~8 kat daha az NO<sub>x</sub> + partikül emisyonu üretimi).

1 ton uçucu katı madde içeren hayvan gübresinden minimum 220 m<sup>3</sup> maksimum 400 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilir. Bu değer inek gübresi için Deniz ve ark. (1984) tarafından 380 m<sup>3</sup>/ton uçucu katı madde olarak verilmiştir. Hayvansal atıklardan elde edilen katı maddenin yaklaşık %70'i uçucu katı madde formundadır. Bu verilerden yola çıkarak, biyogaz üretimi için 275 m<sup>3</sup>/ ton katı madde kabulü bu çalışmada kullanılacaktır. Oluşan biyogazın bileşenleri CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> ve diğer gazlardır. Bunların dağılım oranı ise % 65 CH<sub>4</sub>, % 32 CO<sub>2</sub> ve % 3 diğer gazlardır. 1 m<sup>3</sup> metan gazı 10 kwh enerjiye eşdeğerdir. (Öztürk İ. ve ark 2009).

1 m<sup>3</sup> biyogazın kalori değeri 5000 kcal olup, diğer yakıtlara etkili eşdeğerleri aşağıda verilmiştir.

1 m<sup>3</sup> biogaz = 4.70 kWh elektrik  
 = 0,62 litre gazyağı  
 = 3,47 kg odun  
 = 1,46 kg kömür



= 0,43 kg bütan gazı  
= 1,18 m<sup>3</sup> doğal gaz.

### ***Minimum biyogaz üretimi***

Tesiste ortalama 1 500 büyük baş hayvan olacağı varsayımıyla;  
*Çiftlikte oluşan hayvansal atık üretimi* (20 kg/gün kabulü ile)  
1500 \* 20 = 30 000 kg ham gübre/gündür.

*Bunun katı içeriği* (gübrenin % 15 katı madde içerdiği kabulü ile)  
30 000 \* 0.15 = 4 500 kg katı madde/gündür.

*Üretilebilecek biyogaz* (275 m<sup>3</sup> biyogaz/ ton katı madde kabulü ile)  
4 500 \* 0,275 = 1 237.5 m<sup>3</sup> biyogaz / gündür.

*Elektrik enerjisi eşdeğeri* (1 m<sup>3</sup> biyogaz = 4.70 kWh elektrik kabulü ile)  
1 237.5 \* 4.70 = 5 816. 25 kWh elektrik enerjisi/gündür.

#### *Aylık üretim*

5 816. 25 \* 30 = 174 487.5 kWh / aydır.

#### *Yıllık üretim*

174 487.5 \* 12 = 2 093 850 kWh / yıldır.

*Yıllık biyogaz dan gelebilecek gelir* (1 kWh elektrik 0.2 TL kabulü ile)

2 093 850 \* 0.2 = 418 770 TL / yıldır.

### ***Maksimum biyogaz üretimi***

*Çiftlikte oluşan hayvansal atık üretimi* (35 kg/gün kabulü ile)  
1 500 \* 35 = 52 500 kg ham gübre/gündür.

*Bunun katı içeriği* (gübrenin % 15 katı madde içerdiği kabulü ile)  
52 500 \* 0.15 = 7 875 kg katı madde/gündür.

*Üretilebilecek biyogaz* (275 m<sup>3</sup> biyogaz/ ton katı madde kabulü ile)  
7 875 \* 0.275 = 2 165.625 m<sup>3</sup> biyogaz / gündür.

*Elektrik enerjisi eşdeğeri* (1 m<sup>3</sup> biyogaz = 4.70 kWh elektrik kabulü ile)  
2 165.625 \* 4.70 = 10 178.44 kWh elektrik enerjisi/gündür.

#### *Aylık üretim*

10 178.44 \* 30 = 305 353.2 kWh / aydır.

#### *Yıllık üretim*

$305\,353.2 * 12 = 3\,664\,238.4$  kWh / yıldır.

*Yıllık biyogaz dan gelebilecek gelir* (1 kWh elektrik 0.2 TL kabulü ile)

$3\,664\,238.4 * 0.2 = 732\,847.68$  TL / yıldır.

En kötü senaryo, en iyi senaryo göre yapılan hesaplamalar neticesinde bulunan elde edilebilecek enerji miktarları ve bunların TL'ye çevrilmesi neticesinde (1 kWh = 0,2 TL) işletim sırasında elde edilebilecek gelirler şöyle tablolaştırılabilir.

**Çizelge 4.17.** Biyogaz potansiyeli ve yıllık gelirler (Gümüştü ve Uyanık 2010)

Hayvan Sayısı	Ort. Günlük			
	Biyogaz (m <sup>3</sup> /gün)	Yıllık Biyogaz (m <sup>3</sup> /yıl)	Elektrik Enerjisi (kWh/yıl)	Gelir (TL/yıl)
100	103	37 080	174 276	34 855
200	206	74 160	348 552	69 710
400	412	148 320	697 104	139 420
500	515	185 400	871 380	174 276
1000	1 030	370 800	1 742 760	348 552
1 500	1 700	612 000	2 880 000	576 000
5 000	5 150	1 854 000	8 713 800	1 742 760
10 000	10 300	3 708 000	17 427 600	3 485 520
20 000	20 600	7 416 000	34 855 200	6 971 040
40 000	41 200	14 832 000	69 710 400	13 942 080
80 000	82 400	29 664 000	139 420 800	27 884 160
100 000	113 400	40 824 000	191 872 800	38 374 560

#### 4.6. Bölüm Değerlendirmesi

**Çizelge 4.18.** Hayvansal atıklardan üretilmiş kompost ve biyogübrenin C/N değerleri kıyaslaması; (Karataş 2006; Blackshaw 2005; Erdin 1981)

Gübre Cinsi	C(%)	N (%)	C/N
Taze Hayvan Gübresi			16
Kompost	7,264	0,64	11,35
Biyogübre	8,22	0,85	9,60

Çizelgede görüldüğü gibi C/N oranı en düşük olan Biyogübredir. Gübre, biyogübreye dönüşürken içinde bulunan nitrat türü azotlar, denitrifikasyon sonucu amonyum azotuna dönüşürler. Böylelikle azot lehine bir artış olur ve karbon miktarında da metan gazına dönüşüm nedeniyle azalma olur. C/N oranı en düşük olan biyogübre olduğu için besi maddesi kalitesi daha kaliteli olan gübre biyogübredir diyebiliriz.

Çalışmadaki C/N dışındaki diğer veriler karşılaştırıldığında Biyogübre ile kompost içerisindeki (Fosfor)  $P_2O_5$  ve (Potasyum)  $K_2O$  ve diğer iz elementlerin yüzdeleri benzerlik göstermektedir. Fosfor, Potasyum ve iz elementlerin zenginliği açısından kompost ve biyogübre için bitki kullanımına elverişli demek doğru olur.

Delgado ve ark. mısır üzerinde yaptıkları çalışmada kompostu 2 farklı dozda tarlaya uygulayarak ve mineral gübre ile karşılaştırmışlardır. Uygulama sonucunda kompostun mineral gübreye karşı %12,2 ve %23,5 lik üretim fazlalığı olduğunu görmüşlerdir. Bu sonuçlar kompostun en az mineral gübre kadar kaliteli olduğunu desteklemektedir.

Edwards (2007) mısır üzerinde yaptıkları çalışmada kompostu kimyasal gübre ve gübresiz üretim ile karşılaştırmışlardır. Kompost ile üretim; kimyasal gübreye göre %28,8, gübresiz üretime göre ise %64,5 daha fazla bulunmuştur.

Biyogaz tesisinde üretilen gübre ile gübrelenen bitkilerde ham gübre ile gübrelenen bitkilere göre % 16 ila 20 oranında mahsul artışı olmaktadır.

Chengdu, (1980) verilerine göre mısır üzerinde yaş gübreye oranla %9'luk bir üretim artışı sağlanmıştır. Bir başka araştırmaya göre de, biyogaz üretiminden sonra gübrenin bitki besleme açısından değerinde %20 artış sağlanmıştır.

Literatürde biyogübre ile kompostun tarım uygulamalarında doğrudan bir karşılaştırılması bulunamamıştır. Farklı miktarda uygulanan, farklı kaynaklardan üretilen, farklı cins bitkilere uygulanan kompost ve biyogübre örnekleri çalışmada sunulmuştur. Bu verilerin birbirleriyle kıyaslanması halinde kesin bir sonuç getirmeyecektir. Bu yüzden yukarıdaki verilere dayanarak; kompost ve biyogübrenin yaş gübre ve bazı kimyasal gübrelerden daha iyi olduklarını söyleyebiliriz. Ancak C/N oranlarına baktığımızda biyogübrenin C/N oranının daha düşük olduğunu ve bunun bir avantaj olduğunu söyleyebiliriz. Her şeye rağmen kompost ve biyogübrenin aralarında çok büyük bir üretim farkı olmayacağı düşünülmektedir ve her iki gübreleme yöntemi de önerilmektedir.

Anaerobik çürütmenin kompostlamaya nazaran en büyük avantajı biyogazdır. Biyogaz eldesi ile proses kendi enerji ihtiyacını karşılayabilir. Biyogazın kullanım alanları oldukça geniştir. Biyogaz ile doğrudan yakarak ısınma veya ısıtma, motor yakıtı olarak kullanımıyla ulaşım, türbin yakıtı olarak kullanımı ile elektrik üretimi, mevcut doğalgaza karıştırılarak doğal gaz maliyetlerinin düşürülmesini sağlamak mümkündür. Tüm bu kullanım alanlarının yanı sıra biyogaz çevreye karşı duyarlı bir enerji kaynağıdır. Bu yüzden gelişen koşullarda çevre kirliliğinin önlenmesinde **yeşil yakıt** olarak bilinen organik madde kökenli biyogaz kullanımı daha önemlidir. Biyogaz üretimi için kullanılan ham maddeler tarımsal arazilerde üretildiği için, tarımsal işletmelerde gerek seraların ve iskan yapılarının ısıtılmasında gerekse traktörlerin yakıtı olarak kullanılmasında önemli bir fayda sağlayabilmektedir. Bu şekilde kullanılan biyogaz işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca iyi dizayn edilmiş anaerobik proseslerden biyogaz eldesi sayesinde tesisin kendisini kısa sürede amorti etmesi mümkündür.

## 5. MALİYET DEĞERLENDİRMESİ

### 5.1. Kompost Tesisi Maliyetlerinin İncelenmesi

Kompostlamanın fiyat üzerindeki iki önemli faktörü;

- Fabrikanın kapasitesi
- Üretilen kompostun kalitesidir.

Ham madde deposu, bitmiş kompost deposu, ve olgunlaşma alanı ihtiyacından dolayı kompostlama için çok büyük alan gerekir. Kullanılan teknolojiye bağlı olarak 0,5 hektarlık bir arazi yılda 1 500-2 300 m<sup>3</sup> 'ten 7 646 m<sup>3</sup>'e kadar kompostu işleyebilir.

Diğer tüm operasyonlar gibi kompostlama işlemi; ekipman, emek ve yönetim gerektirir. Eğer eldeki çiftlik ekipmanı ve arazisi kullanılıyorsa kompostlama işleminin yatırımı çok düşük olur. Bu yaklaşım madde hacminin nispeten küçük olduğu durumlarda iyidir, ama çoğu büyük-orta ölçekli çiftliklerde sadece eldeki ekipmanı kullanmanın çok fazla emek gerektirdiği gözlenmiştir. Çiftlik kompostçularının çoğu özel kompostlama ekipmanı satın alırlar. Özel ekipmanla çiftlikte kompostlama operasyonuna başlanması, satın alınan ekipman cinsine bağlı olarak 10 000-100 000 \$'dan daha yüksek bir fiyata mal olabilir.

Bugünkü atık bertaraf krizleri, atık üreticilerinin alternatif bertaraf metotları aramasına neden olmuştur. Bu sayede, çiftçiler çiftlik dışından gelen maddeleri kompostlamak için işlem ücreti alırlar. Atık maddenin maddi karşılığına genellikle çöp ücreti denir (Öztürk M. 2005).

### 5.1.1. İlk yatırım maliyeti

Kompost tesisinin ilk yatırım maliyet unsurları, proje geliştirme giderleri, inşaat işleri, ekipman temini-montaj, işletmeye alma ve eğitim giderleri olarak özetlenebilir (Anonim 2001).

Kompost ilk yatırım maliyetlerinden bazı örnek çalışmalar, Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Kompost ilk yatırım maliyetleri için örnek çalışmalar (Anonim 2001)

<b>Tanım/örnek</b>	<b>*Yatırım gideri/referans</b>
~100 t/gün kapasiteli kompost tesisi	ilk yatırım gideri=2,3 MUSD, (Sulphur Spring-Texas, USA, yalnız kompostlama reaktörleri bedeli, 2001)
4.0 t/gün, çorum kompost tesisi teklif bedeli	ilk yatırım gideri=40 000 USD, (Çorum, 1992)
150 t/gün Kemer/Antalya kompost tesisi (evsel atık),Kemer/Antalya	ilk yatırım gideri=4,75 MUSD, (Kemer/Antalya yapım bedeli 1999, ayıklama bölümü dahil)
400 t/gün kapasiteli Çorum kompost tesisi ilk yatırım fizibilitesi (kanal sistemi kompostlama üniteleri)	~ 4,0 MUSD (1998)

\*MUSD= milyon Amerikan Doları

Çorumda yapılması planlanan 400 ton/gün kapasiteli kompost tesisi için ilk yatırım maliyetleri Çizelge 5.2.'de özetlenmiştir.

**Çizelge 5.2.** Çorum kompost tesisi ilk yatırım bilgileri ve arazi kullanımı (Anonim 2001).

<b>Parametre/Açıklama</b>	<b>Bedel (USD)</b>
Proje Geliştirme Giderleri	<b>275 000</b>
avan ve tatbikat projeleri	200 000
teknik ve idari danışmanlık ücretleri	50 000
finans geliştirme faaliyetleri	25 000
İnşaat İşleri	<b>2 230 000</b>
<i>betonarme inşaat+hafriyat ve zemin hazırlama</i>	550 000
<i>çelik imalat (kompostlama reaktörleri)</i>	1 680 000
Ekipman Temini + Montaj	<b>650 000</b>
Konveyörler	<b>990 000</b>
İşletmeye Alma Faaliyetleri+Testler	<b>200 000</b>
Eğitim Giderleri	<b>150 000</b>
400 t/gün Çorum Kompost Tesisi İlk Yatırım Toplam Maliyeti	<b>4 495 000</b>
	<b>(2001 yılı)</b>

\* maliyet hesaplarında arazinin bedelsiz sağlanacağı varsayılmıştır.

**Kompostlama tesisi arazi gereksinimi\*\*:** 4,8 ha (400.0x120.0 m)

### 5.1.2. İşletme gelirleri

Kompost üreticilerinin 2 çeşit gelir imkanı vardır. Bunlar; kompost satışı ve çöp ücretidir. Etkili olabilmek için çöp ücreti ve kompost satışlarından gelen gelirlerin , tesis masraflarına göre kar oranına dikkat etmeleri gerekir. Daha çok para kazanmak için bazı kompost üreticileri küçük küme kompostlardan büyük yığın kompost tesislerine yönelmektedir. Çoğu tesis işletmecileri gelirlerini önceden tahmin edebilmektedirler ancak en iyi durumdaki tesislerde bile doğa şartları bu faktörleri etkileyebilmektedir. Aşırı veya çok az yağış koşulları, ürünün marketlere ulaşma süresi değiştirebilir ki bu da işletme gelirlerini etkiler (Tyler 2003). Küçük çiftçiler için özellikle birlikte hareket ettiklerinde, kompost üretimi ve satışı iyi bir gelir kaynağı olabilmektedir (Canon ve ark. 2003).

Çorum 400 ton/gün kapasiteli kompost tesisi örneğinde işletme gelirleri **gübre (toprak şartlandırıcısı)**

485 ton/gün üretim için, 1,50 cent/kg satış bedeli ve yıllık üretimin %75'inin satılması varsayımları ile,

$1,5 \text{ cent/kg} \times 485 \text{ 000 kg/gün} \times 360 \times 0.75 = 1 \text{ 964 250 USD / yıl}$  olarak hesaplanmıştır.

### 5.1.3. İşletme giderleri

**Pasif yığın** yaklaşımında ilk yığınların oluşturulması ve karıştırılmasında kullanılan ekipman ve emek maliyetleri operasyondaki en büyük maliyetlerdir. Yığını oluşturma maliyeti, gelen maddenin bir tonu için 1-6 \$ arasındadır. Bu kompostlanan maddeye ve kullanılan ekipmana bağlı olarak değişir. Bazı durumlarda organik maddeleri çiftliğe veya çiftliğin dışına taşımak için ilave bir harcamada gerekebilir.

Yükleyici-döndürmeli **sıralı yığın** yaklaşımında yığını döndürme ve oluşturma maliyeti genellikle bir tonun maliyetinin en azından %80'idir. Standart çiftlik ekipmanları ile yığını döndürme ve karıştırma ne kadara mal olduğu, döndürülen maddenin karakteri ve ham yoğunluğu, döndürme sıklığı ve operatörün becerisine bağlıdır. Sıralı yığının bir kere döndürülmesi 1-4 \$/ton'a mal olur. Yığınları yükleyiciyle döndürme küçük ölçekli kompost operasyonuna yüzlerce dolar ve yılda 500 ton madde işleyen büyük ölçekli operasyonlara ise binlerce dolar yük getirir. Sıralı yığın döndürücü kullanan sistemlerde kompostlamanın toplam işletme maliyetinin yaklaşık 5.50 \$/ton olması beklenir. Traktör ile kullanılan (PTO turner) küçük bir sıralı yığın döndürücüsünün saatte 200 ton maddeyi döndürmesi yaklaşık 10 000\$'a mal olur. Daha büyük sıralı yığın döndürücüleri saatte 2 000 tondan fazla maddeyi döndürmesi 75 000-200 000\$'a mal olur.

Belediyelerin havalandırmalı genellikle arıtma çamurlarının kompostlanmasında kullanılan yöntem olan **statik yığın sistemleriyle** yaptığı tecrübeler maliyetin 20-50 \$/ton arasında olduğunu göstermiştir. Sistemin yatırım maliyeti birkaç bin nüfuslu bir köy için 100 000\$ ile, büyük bir şehirden gelen atığı işleyebilen bir sistem için milyon dolar arasında değişmektedir.



**Kapalı reaktördeki** sistemlerin maliyeti 150 \$/ton iken maliyeti tipik olarak ton başına 50-100\$ arasında değişir. Maliyetlerin böyle yüksek olmasının nedeni arazinin az olması ve/veya işlem kontrolünün maksimum olması gerektiğindedir (Öztürk M. 2005).

Çorum kompost 400 ton/gün kapasiteli kompost tesisi için yapılan çalışmada Çizelge 5.3.'deki giderler hesaplanmıştır.

**Çizelge 5.3.** Çorum kompost tesisi için hesaplanan işletme giderleri (Anonim 2001).

<b>Parametre/Açıklama</b>	<b>Miktar (USD/yıl)</b>
<b>Personel</b> (8 kişi x 900USD/ay x 12 ay)	86 400
<b>Gübre taşıma</b> (Bir kamyonun 250/km-gün yol katettiği, 10t taşıdığı, ortalama taşıma mesafesinin 20 km olduğu varsayılarak, 400t gübre + 250t diğer atıklar için 650 USD/günx360)	234 000
<b>Enerji kullanımı</b> (Tesisin gücü 1 037 kW dir, yedek ekipmanlar dahil kurulu güç ise 1 287 kW olarak hesaplanmıştır. Gücün ortalama %75'inin kullanıldığı varsayımı, ve çevre koruma tesisi için enerji bedeli 3.75 cent/kWh kabulü ile $0.0375USD/kWh \times 778kW \times 24 \times 360$ )	252 072
<b>Su ve tüketim malzemesi</b> (50 m <sup>3</sup> /gün x 0,25 USD/m <sup>3</sup> =12,5USD/gün su +50 USD/gün tüketim malzemesi $62,5 USD/gün \times 360$ )	22 500
<b>Faizler</b> (yatırım bedelinin yıllık %5 faizli kredi ile alındığı varsayılarak)	224 750
<b>Sigorta</b> (tahmini)	30 000
<b>Çevre kirliliği ölçümleri</b> (tahmini)	15 000
<b>Bakım ve onarım</b> (tahmini)	40 000
<b>Diğer</b> (2 x yükleyici karıştırma+nakil işlemleri için işletme gideri, 350 USD/günx360 gün)	126 000
<b>TOPLAM (USD/yıl)</b>	<b>1 030 722</b>

#### 5.1.4. Kompost tesisleri fizibilite analizi

Çiftçilerin bireysel reaktör kurarak işletmesine dayanan bir çalışmada yaklaşık 7 ton/gün atığı olan bir çiftlikte tablodaki sonuçlar bulunmuştur.

**Çizelge 5.4.** Bir kompost tesisi için örnek fizibilite analizi (Anonim 2001).

<b>Parametre/Açıklama</b>	<b>Miktar (USD)</b>
<b>İlk yatırım Maliyeti</b>	164 900
<b>Yıllık İşletme Giderleri</b>	1 450
Enerji ihtiyacı (3.7 kWx16 saat+6.0 kWx8 saat= 107.2 kW gün)	1 450
Personel gideri (1/4 personel yılda, 1000 USD/ayx12x1/4)	3 000
<b>Yıllık İşletme Gelirleri</b> (taşıma ve olgunlaştırma işlemleri çıkartıldıktan sonra 0.75 cent/kg bedel varsayılarak, yaklaşık 12000 kg/gün kompost için, tamamının satıldığı düşünülerek 0.0075x12000x360)	32 400
<b>Amorti Süresi</b>	<b>~5.5-6 yıl</b>

*Bireysel kompostlama tesisi arazi gereksinimi\*: 180 m<sup>2</sup> (6.0x30.0 m) \*maliyet hesaplarında arazinin bedelsiz sağlanacağı varsayılmıştır.*

Çorum 400 ton/gün kapasiteli tesiste fizibilite özeti Çizelge 5.5.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.5.** Çorum kompost tesisi çalışması fizibilite özeti (Anonim 2001).

<b>Parametre</b>	<b>Miktar (USD)</b>
İlk yatırım maliyeti	4 495 000
Yıllık İşletme Gelirleri	1 964 250
Yıllık İşletme Giderleri	1 030 722
<b>Amorti Süresi</b>	<b>4,8-5</b>

## **5.2. Anaerobik Çürütme Tesisi Maliyetlerinin İncelenmesi**

Biyogaz tesisi, bir gaz motoru ve bir jeneratörden oluşan kojenerasyon ekipmanları ile elektrik üretir. Motor biyogaz ile çalışır ve jeneratörü çalıştırır. Bu elektriğin küçük bir parçası, karıştırıcılar, pompalar, fan gibi ekipmanlarda kullanılmak üzere tesisin kendi ihtiyacı için kullanılır. Geri kalan elektrik satılabilir ve genel şebekeye verilebilir. Elektrik satış fiyatına bağlı olarak üretilen elektriği devlete satmak kazançlı olacaktır (Tolay ve ark. 2008).

Çürütme sistemi maliyeti oluşturan ana faktörler proje geliştirme giderleri, ilk yatırım maliyeti, eğitim ve işletme giderleri olarak özetlenebilir. Projenin gelir getirmesi beklenen kalemleri ise üretilen elektriğin satışından beklenen gelir, jeneratörden oluşacak sıcak suyun ekonomik olarak değerlendirilmesi ve havasız çürütme prosesi sonucu çürütülmüş çamur kekinin gübre veya toprak şartlandırıcısı olarak satışından elde edilebilecek gelirdir (Anonim 2001).

### **5.2.1. İlk yatırım maliyeti**

Ülkemizde büyük ölçekte biyogaz ve biyogübre üreten tesisler henüz kurulmamıştır. Akdeniz ve Marmara bölgelerinde özel sektör ve TÜBİTAK desteğiyle kurulma aşamasında olan tesislerimiz bulunmaktadır. Bu tür tesisler kurulmadan önce hayvan sayıları dikkate alınarak fizibilite raporları hazırlanmalı ve ilk yatırım maliyetlerinin geri dönüş süreleri hesaplanmalıdır.

Bir havasız çürütme sisteminin ilk yatırım maliyeti çok çeşitli değişkenlere bağlıdır. Sistemde kullanılacak cihazlar korozyona dayanıklı yüksek kalitede ve uzun kullanım süresine sahip olmalıdır. Bu durum maliyeti etkiler. Aynı şekilde, saha hazırlanması, zemin ıslahı ve çürütücülerin kurulacağı alanın peyzaj özelliklerinin iyileştirilmesi proje kapsamında maliyet unsuru olarak değerlendirilmelidir. Proje geliştirme giderleri arasında teknik, yasal ve planlama alanlarında alınacak danışmanlık hizmetleri, gerekli izinler, finansal faaliyetler (finans sağlamak amacıyla yapılacak araştırmalar), üretilen elektriğin satışı için yapılacak bağlantılar sayılabilir (Anonim 2001).

Hayvansal atıklardan biyogaz ve biyogübre üretim sistemi için inşaat ve mekanik aksam ilk yatırım maliyetleri tesisin ana gideridir. Ayrıca proje danışmanlık hizmeti ve müşavirlik alımları da proje gideri olarak eklenmelidir. Bunların yanı sıra, tesisin kurulacağı arazinin bedeli proje ilk yatırım maliyetine eklenmelidir (Gümüşçü ve Uyanık 2010).

Literatürdeki verilere göre küçük, orta ve büyük ölçekli anaerobik çürütücülerin ilk yatırım maliyetleri Çizelge 5.6.'da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.6.** Küçük, orta ve büyük ölçekli anaerobik çürütücüler için ilk yatırım maliyetleri (Nichols 2004).

Tesis Boyutu	İlk Yatırım Maliyeti (USD/ton kapasite yıl)	
	Aralık	Ortalama
<b>Küçük*</b>	450-950	625
<b>Orta*</b>	325-625	505
<b>Büyük*</b>	248-550	400

\* Küçük tesis yıllık kapasitesi 5 000- 6 000 ton, orta boy tesis yıllık kapasitesi 10 000- 15 000 ton, büyük tesis ise yıllık kapasitesi 20 000- 30 000 ton olan tesislerdir.

A.B.D. Tarım Müdürlüğü'nün 2007'de hazırladığı rapora göre inşa edilen bazı anaerobik çürütücülerin ilk yatırım maliyetleri Çizelge 5.7.'de belirtilmiştir.

**Çizelge 5.7.** A.B.D. de inşa edilen bazı çiftlik tipi anaerobik çürütücülerin ilk yatırım maliyetleri (Beddoes ve ark. 2007)

Çiftlik İsmi	Çürütücü Tipi	Çiftlik Tipi	Hayvan Sayısı	Başlangıç Yılı	Toplam İlk yatırım Maliyeti
Futura Dairy	Piston akışlı	Süt ineği	420	2002	355 666
Northeast IA CC Farm	Piston akışlı	Süt ineği	120	2002	271 271
Top Deck Holsteins	Piston akışlı	Süt ineği	700	2002	604 633
Wholesome Dairy	Piston akışlı	Süt ineği	3 000	2002	1 567 343

Çiftlik tipi çürütücülerde yaklaşık 8 ton/gün olan atık için sistemin ilk yatırım maliyeti 162 000 - 324 000 USD arasındadır. Birkaç çiftlikten çıkan atıkları çürütmek için inşa edilecek yaklaşık 30 ton/gün kapasiteli daha büyük çürütücüler için bu maliyet yaklaşık 800 000 USD iken 550 ton/gün kapasiteli bir sistem için 8 000 000 USD'yi bulabilir (Ayıklama sistemi, ön arıtma vs. dahil değildir.) (Monnet 2003).

AgSTAR'ın 40 çiftlik tipi küçük anaerobik çürütücüler üzerinde yaptığı çalışmada ilk yatırım maliyetleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.8.).

**Çizelge 5.8.** Çiftlik tipi küçük anaerobik çürütücüler için ilk yatırım maliyetleri (EPA 2010b).

<b>Çürütücü Tipi</b>	<b>Hayvan Sayısı (Süt İneği)</b>	<b>Çürütücü Kapasitesi (ton/gün)</b>	<b>İlk yatırım Maliyeti (USD)</b>
Tam Karışımli	563	11	320 000
Piston Akımlı	617	12	566 000
Kapalı Lagün	400	8	600 000

AgStar verilerine göre yaklaşık 100 ton/gün kapasiteli kapalı lagün sistemli bir çürütücüde 1 300 000 USD, yaklaşık 140 ton/gün kapasiteli akımlı bir sistemde ise 1 800 000 USD ilk yatırım maliyeti olabileceğini belirtilmiştir. (Süt inekleri için günlük dışkı miktarı 20 kg olarak kabul edilmiştir).

Florida süt çiftlikleri için yapılan bir araştırmada yaklaşık 20 ton/günlük büyükbaş hayvan atıklarının anaerobik olarak çürütülmesi için ortalama 620 000 USD, 65 ton/gün için ortalama 1 000 000 USD ve 18 ton için ortalama 600 000 USD lik maliyetler hesaplanmıştır (Giesy ve ark. 2005).

1993 yılında yapılan bir çalışmada yıllık 2 050 ton hayvan dışkısı ve 1 400 ton çöp karışımı kompostu için ilk yatırım maliyeti 50 000, 110 000 veya 170 000 USD'olan 3 farklı sistemde inşa edilebilir (Anonim 1996).

Suluova Besi OSB'de kurulması planlanan 300 ton/gün (10 000 BBH atığı) arıtma kapasiteli merkezi biyometan tesisi yatırım maliyeti ana bileşenlerinin (2009 yılı başı fiyatları ile) Çizelge 5.9.'daki gibi olması tahmin edilmiştir.

**Çizelge 5.9.** 300 ton/gün (10 000 BBH atığı) arıtma kapasiteli anaerobik çürütme tesisi ilk yatırım maliyeti ana bileşenleri

<b>Parametre/Açıklama</b>	<b>Miktar (USD)</b>
İnşaat İşleri (mühendislik ve müşavirlik dahil)	3 220 750
Mekanik Ekipman, enstrümantasyon, borulama ve montaj işleri	2 153 873
<b>Toplam</b>	<b>5 374 623</b>

Bir başka çalışmada yaklaşık 540 ton ham gübre/gün (30 000 BBH atığı) için Kayseri anaerobik çürütme tesisi projesi ilk yatırım maliyetleri Çizelge 5.10.'da belirtilmiştir.

**Çizelge 5.10.** Kayseri anaerobik çürütme tesisi projesi ilk yatırım maliyetleri (Anonim 2001).

<b>Parametre/Açıklama</b>	<b>Miktar (USD)</b>
<b><i>Proje Geliştirme Giderleri</i></b>	<b>450 000</b>
avan ve tatbikat projeleri	275 000
Teknik ve idari danışmanlık ücretleri	50 000
finans geliştirme faaliyetleri	25 000
elektrik satış bağlantıları	50 000
lisans giderleri	50 000
<b><i>İnşaat İşleri</i></b>	<b>2 250 000</b>
betonarme inşaat+hafriyat ve zemin hazırlama	850 000
çelik imalat	1 400 000
<b><i>Ekipman Temini +Montaj</i></b>	<b>3 100 000</b>
<b><i>Borulama İşleri</i></b>	<b>900 000</b>
<b><i>İşletmeye Alma Faaliyetleri+Testler</i></b>	<b>200 000</b>
<b><i>Eğitim Giderleri</i></b>	<b>150 000</b>
<b>TOPLAM</b>	<b>7 050 000</b>

*Maliyet hesaplarında arazinin bedelsiz sağlanacağı varsayılmıştır. Havasız çürütme sistemi arazi gereksinimi\*\* : 3,7 ha (185.0x200.0 m)*

Dünyada anaerobik çürütme ilk yatırım maliyetleri üzerine yapılan örnek çalışmalar çizelge 5.11.'de verilmiştir.

**Çizelge 5.11.** Anaerobik çürütücü için örnek ilk yatırım maliyetleri (Anonim 2001).

<b>Tanım/örnek</b>	<b>*İlk yatırım maliyeti/referans</b>
1 MW havasız çürütücü	ilk yatırım gideri=6,3 MUSD, (Walford/İngiltere, 2000)
0,04 MW havasız çürütücü	ilk yatırım gideri=0,32 MUSD, (Craven/USA, 1999)
0,16MW havasız çürütücü	ilk yatırım gideri=0,8 MUSD, (Kemer/Antalya öngörülen bedel 2001)

### 5.2.2. İşletme gelirleri

Anaerobik çürütücü tesislerinin ekonomik sürdürülebilirliği bakımından, atık üreticilerinden (besicilerden) alınacak atık toplama gelirleri, tesiste üretilen metan gazından geri kazanılan elektrik ve ısı enerjisi satış gelirleri yanında, hariçten kabul edilen mezbaha atıkları, arıtma çamurları, yemekhane atıkları v.b. atıklardan alınan bertaraf ücreti gelirleri de büyük önem taşımaktadır. Özellikle hariçten kabul edilen atıklardan elde edilen gelirin büyüklüğü yatırımın fizibilitesini ciddi oranda etkilemektedir (Öztürk İ. ve ark. 2009).

#### **Biyogübre üretimi**

Gümüşçü ve Uyanık (2010) yaptıkları çalışmada en iyi ve en kötü senaryoya göre hesaplamalar yapılmıştır. En kötü senaryoda hayvan başına üretilen katı madde miktarı 20 kg, en iyi senaryoda hayvan başına üretilen katı madde miktarı 35 kg olarak alınmıştır.

#### **Minimum biyogübre üretimi;**

Biyogaz üretim tesisinde ortalama 1 500 büyük baş hayvan olacağı bildirilmiştir.

*Çiftlikte oluşan hayvansal atık üretimi* (20 kg/gün kabulü ile)  $1\ 500 * 20 = 30\ 000$  kg ham gübre/gündür. *Bunun katı içeriği* (gübrenin % 15 katı madde içerdiği kabulü ile)  $30\ 000 * 0,15 = 4\ 500$  kg katı madde/gündür. Paketlenebilir pelet haline getirilmiş biyogübrenin ortalama %12 nem içeriğinin olması gerekir. Bunu sağlayabilmek için 5 040 kg biyogübre/gün üretim sağlanacaktır.

#### **Aylık üretim**

$5\ 040 * 30 = 151\ 200$  kg biyogübre / aydır.

#### **Yıllık üretim**

$151\ 200 * 12 = 1\ 814\ 400$  kg biyogübre / yıldır.

*Yıllık biyogübreden gelebilecek gelir* (1 kg biyogübre 0,4 TL kabulü ile)

$1\ 814\ 400 * 0,4 = 725\ 760$  TL/ yıldır.

#### **Maksimum biyogübre üretimi**

*Çiftlikte oluşan hayvansal atık üretimi* (35 kg/gün kabulü ile)  $1\ 500 * 35 = 52\ 500$  kg ham gübre/gündür. *Bunun katı içeriği* (gübrenin % 15 katı madde içerdiği kabulü ile) 52

$500 * 0,15 = 7\ 875$  kg katı madde/gündür. Paketlenebilir pelet haline getirilmiş biyogübrenin ortalama % 12 nem içeriğinin olması gerekir. Bunu sağlayabilmek için 8 820 kg biyogübre/gün üretim sağlanacaktır.

**Aylık üretim**

$8\ 820 * 30 = 264\ 600$  kg biyogübre / aydır.

**Yıllık üretim**

$264\ 600 * 12 = 3\ 175\ 200$  kg biyogübre / yıldır.

*Yıllık biyogübreden gelebilecek gelir* (1 kg biyogübre 0,4 TL kabulü ile)

$3\ 175\ 200 * 0,42 = 1\ 270\ 080$  TL / yıldır.

En kötü senaryo, en iyi senaryoya göre yapılan hesaplamalar neticesinde bulunan biyogübre miktarları ve bunların TL ye çevrilmesi neticesinde işletim sırasında elde edilebilecek gelirler şöyle tablolaştırılabilir.

**Çizelge 5.12.** Biyogübre üretim potansiyeli (Gümüşçü ve Uyanık 2010)

	<b>Biyogübre (kg/yıl)</b>	<b>Gelir (TL/yıl)</b>
En kötü duruma göre	1 814 400	725 760
En iyi duruma göre	3 175 200	1 270 080
Ortalama	2 494 800	997 920

Benzer hesaplamalar farklı hayvan sayıları baz alınarak yapılmış ve Çizelge 5.13. oluşturulmuştur.

**Çizelge 5.13.** Hayvan sayısına göre günlük ve yıllık biyogübre üretimi ve gelir miktarları (Gümüşçü ve Uyanık 2010)

<b>Hayvan sayısı</b>	<b>Ort. Biyogübre (kg/gün)</b>	<b>Ort. Biyogübre (kg/yıl)</b>	<b>Gelir (TL/yıl)</b>
100	196	70 560	28 224
200	392	141 120	56 448
400	784	282 240	112 896
500	980	352 800	141 120
1 000	1 960	705 600	282 240
1 500	6 930	2 494 800	997 920
5 000	16 800	6 048 000	2 419 200
10 000	33 600	12 096 000	4 838 000



Suluova Besi OSB’de kurulması planlanan 300 ton/gün (10 000 BBH atığı) arıtma kapasiteli merkezi anaerobik çürütücü tesisinden elde edilmesi beklenen başlıca gelirler aşağıdaki Çizelge 5.14.’de özetlenmiştir.

**Çizelge 5.14.** Suluova merkezi anaerobik çürütücü tesisi geliri (10 000 BBH’lık 300 ton/gün kabulü %8 KM içeren atık) (Öztürk İ. ve ark. 2009).

<b>Parametre</b>	<b>Gelir</b>
Atık Toplama Geliri (\$/yıl)	114 063
Harici Atık Bertaraf Geliri (\$/yıl)* (50\$/t ücret üzerinden)	365 000
Elektrik Satışı Geliri (%100 teşvikle yaklaşık 0,2/kWh bedel üzerinden)	981 312
Biyogübre satışı (\$/yıl) (%70 KM’li 10\$/t birim fiyatla)	72 498
Isı Enerjisi Satışı Geliri (\$/yıl)	104 200
<b>Toplam Gelir (\$/yıl)</b>	<b>1 637 072</b>

\*kabul edilen harici atığın biyometan enerji maliyeti hariç olmak üzere

Çizelge 5.14.’den de görüldüğü üzere yıllık brüt gelirin  $\approx 1\,640\,000$  \$ olması beklenmektedir.

### 5.2.3. İşletme giderleri

Bir havasız çürütme sisteminin işletme giderleri tesis kapasitesine, tasarım kriterlerine ve yerel koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. İşletme giderleri genel olarak aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır.

- Personel giderleri
- Sigorta
- Taşıma giderleri
- Çevre kirliliği önleme konusundaki harcamalar
- Diğer giderler ve bakım masrafları

Çürütme sisteminin işletme sürecindeki en önemli gelir kaynakları ise üretilen enerji ve gübrenin satışından beklenen gelirdir. Ayrıca, prosesten oluşan sıvı atık tarım alanlarına püskürtmek yoluyla gübre olarak kullanılabilir.

30 ton/gün kapasiteli çiftlik tipi anaerobik çürütücüler için işletme giderleri laboratuvar masrafları hariç yaklaşık 3 250 USD/yıldır. Yaklaşık 30 ton/gün kapasiteli birkaç çiftliğin atığını çürütebilecek kapasitedeki çürütücü sistemleri için bu işletme giderleri 50 000 USD'yi bulmaktadır. Kapasitesi yaklaşık 550 ton/gün olan büyük bir çürütücü sistemi için işletme giderleri 860 000 USD civarındadır (Monnet 2003).

Literatürdeki verilere göre küçük, orta ve büyük ölçekli anaerobik çürütücülerin işletme giderleri Çizelge 5.15.'deki gibidir.

**Çizelge 5.15.** Küçük, orta ve büyük işletmeler için işletme giderleri (Nichols 2004).

Tesis Boyutu	İşletme Giderleri (USD/ton kapasite yıl)	
	Aralık	Ortalama
Küçük*	90-135	110
Orta	75-125	90
Büyük	50-100	70

\*Küçük tesis yıllık kapasitesi 5 000 - 6 000 ton (500 BBH), orta boy tesis yıllık kapasitesi 10 000- 15 000 ton (1 000-1 500 BBH), büyük tesis ise yıllık kapasitesi 20 000 - 30 000 ton (2 000-2 500 BBH) olan tesistir.

Suluova merkezi biyometan tesisinin (10 000 BBH atığı arıtma kapasiteli) başlıca giderleri de aşağıdaki Çizelge 5.16.'da özetlenmiştir.

**Çizelge 5.16.** Suluova Merkezi Biyometan Tesisi giderleri (300 ton/gün 10 000 BBH, %8 KM'li atık) (Öztürk İ. ve ark. 2009).

Parametre	Gelir
<b>Yıllık Yatırım Maliyeti (\$/yıl)</b>	<b>328 640</b>
Faiz + Amortisman = %8 Mekanik Ekipman/ Donanım Ömrü = 10 yıl, Yapıların U. Ömrü = 20 yıl)	
Yönetim Giderleri	57 031
Mühendis/İşçi (Personel) Giderleri	94 672
Yıllık Bakım Sözleşmeleri	57 031
Tesis İçi Elektrik Enerjisi Gideri	73 598
Laboratuvar Giderleri	8 000
Atık Toplama Giderleri	79 884
Diğer Giderler	10 000
<b>Toplam İşletme Maliyeti</b>	<b>380 176</b>

Buna göre toplam yıllık işletme maliyetinin  $\approx 380.000$  \$/yıl olması beklenmektedir.

Kayseri’de yapılan anaerobik çürütücü çalışmasında işletme giderleri toplam 845 000 USD/yıl olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 5.17.** Kayseri anaerobik çürütücü planlamasında işletme giderleri (Anonim 2001).

<b>Parametre/Açıklama</b>	<b>Miktar (USD/yıl)</b>
<b>Personel</b> (10 kişi x 900USD/ayx12 ay )	108 000
<b>Gübre Taşıma</b> (Bir kamyonun 250/km-gün yol katettiği, 10t taşıdığı, ortalama taşıma mesafesinin 20 km olduğu varsayılarak, 540 t gübre için <b>540 USD/günx360</b> )	194 400
<b>Su+kimyasal sarfiyatı</b> (350 m <sup>3</sup> /gün x 0.25 USD/m <sup>3</sup> =87.5USD/ gün su +17.5 USD/gün kimyasal 105 USD/günx360)	37 800
<b>Faizler</b> (yatırım bedelinin yıllık %5 faizli kredi ile alındığı varsayılarak)	352 500 (1. yıl için)
<b>Sigorta</b> (tahmini)	50 000
<b>Çevre kirliliği ölçümleri/lisanslar</b> (tahmini)	25 000
<b>Bakım veOnarım</b> (tahmini)	50 000
<b>Atıksu Arıtma Giderleri</b> (tahmini)	27 600
<b>TOPLAM</b>	845 000

#### 5.2.4. Anaerobik çürütme tesisleri fizibilite analizi

Daha önce verilen gelir/gider tutarları dikkate alındığında Suluova Merkezi Biyometan Tesisi (10 000 BBH atığı arıtma kapasiteli) ilk yatırım maliyeti (ana bileşenler + diğer + faiz), yıllık toplam maliyeti ve gelirleri sırasıyla 6 566 806, 708 817 \$/yıl ve 1 637 072 \$/yıl olup  $\approx 997 933$  \$/yıl’lık bir net gelir gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu durumda yatırımın geri ödeme süresi:

$6 566 806 \$ / 928 255 \$ / \text{yıl} = 7,1 \text{ yıl}$  (yıllık ortalama sıcaklık üzerinden, faizler dahil) olacaktır.

1988 yılında yaklaşık 30 000 USD'ına mal olan yıllık 21 000 m<sup>3</sup> biyogaz üreten bir anaerobik çürütücünden 6 860 USD kar edilmiştir ve 4,2 yıl içinde sistem geri ödemesini yapabilmektedir. (Svoboda 2003).

EPA'nın bir raporuna göre Amerika Birleşik Devletleri Minnesota Eyaleti Projesinde 2000 yılında Haubenschild Çiftlikleri için 1 000 inek kapasiteli bir anaerobik çürütücü inşa edilmiştir. Bu projenin kendi kendini 5 yıl içinde ödemesi düşünülmektedir (Nelson ve Lamb 2002).

Artan giderlerin karşılanmasında kullanılan düzeltme faktörünün yıllık olarak % 3 olarak kabul edilmesi durumunda Kayseri anaerobik çürütme tesisinin işletmeye açılmasını takiben yaklaşık **6 yıl** içinde ilk yatırım gideri olan 7 050 000 USD'nin karşılandığı ve karlı konuma geçtiği görülmektedir. Craven (1999) havasız çürütme sistemi örnek çalışmasında tüm ilk yatırım giderinin karşılandığı periyod **7.8 yıl** olarak hesaplanmıştır. Kayseri pilot tesisi için bulunan **6 yıl** geri dönüş süresi ABD'deki benzer yaklaşıma göre bir miktar daha düşüktür. Bu durum, Türkiye koşulları çerçevesinde hesaplanan işletme giderlerindeki düşüklükten kaynaklanmaktadır. Ancak her iki durumda bulunan sonuçlar birbirleri ile uyum içindedir. Hesaplamalarda, özellikle konservatif bir yaklaşım sergilenmiştir. Örneğin tesisten kaynaklanan sıvı atık (likör) için herhangi bir gübre değeri alınmamıştır. Uygun koşulların sağlanması durumunda Kayseri havasız çürütme sisteminden daha fazla karlılık beklenebilir (Anonim 2001).

### **5.3. Belirli Kapasitedeki Reaktör Kompost ve Anaerobik Çürütme Proseslerinden Oluşan İki Örnek Tesis Maliyetlerinin Karşılaştırılması**

Bu bölümde, Türkiye'deki köylerde kurularak ve yakılarak kullanılan hayvansal atıkların ve arıtma çamurlarının birlikte bertarafı için kurulabilecek merkezi anaerobik çürütme ve kompost tesislerinin maliyet incelemesi yapılacaktır. Köy nüfusu, hayvan sayısı, arıtma çamuru miktarı gibi değerler, örnek değerlerdir.

### 5.3.1. Bölgedeki atık miktarları

Başlıca geçim kaynaklarından biri hayvancılık olan 500 kişilik 4 civar köyün hayvansal atıklarının ve arıtma çamurlarının birlikte kompostlanması veya anaerobik olarak çürütülmesi maliyet analizleri ayrı ayrı hesaplanacaktır.

Köylerde kişi başına 0,6 inek olduğu kabul edilmektedir. Buradan köy başına 300 inek varsayımıyla harekete geçilecektir.

#### **Bir köyün toplam arıtma çamuru**

Köylerde kişi başına 48 kg N / yıl arıtma çamuru olduğu kabul edilmiştir (<http://www.ekolojiteknik.com/?s=aktuel&id=21>, 2011).

Buradan 131 g N/gün arıtma çamuru x 500 = **65 kg** arıtma çamuru /gün olarak hesaplanmıştır. Bu atığın yoğunlaştırma tankından %5 KM oranında çıktığı kabul edilmektedir.

#### **Bir köyün toplam hayvansal atığı**

Kişi başına 1 ineğin 1 köyde 300 inek olduğu hesaplanmıştır.

25 kg hayvansal atık/inek kabulü ile köy başına 300x45kg = **7 500 kg hayvansal atık/gün** bulunur.

#### **Bölgedeki endüstriyel tesisler**

Köylerin etrafındaki endüstriyel tesislerden toplam **2 617 kg endüstriyel arıtma çamuru/gün** çıktığı kabul edilmiştir.

#### **Toplam atık**

4 köy x 65kg arıtma çamuru/gün = **260kg evsel arıtma çamuru /gün**

4 köy x 7 500 kg hayvansal atık /gün = **30 000 kg hayvansal atık/gün**

Endüstriyel arıtma çamuru = **2 617 kg endüstriyel arıtma çamuru/gün**

Maliyet analizi yapılacak tesislerin kapasiteleri **33 ton atık/gün, 12 000 ton/yıl olarak kabul edilmiştir.**

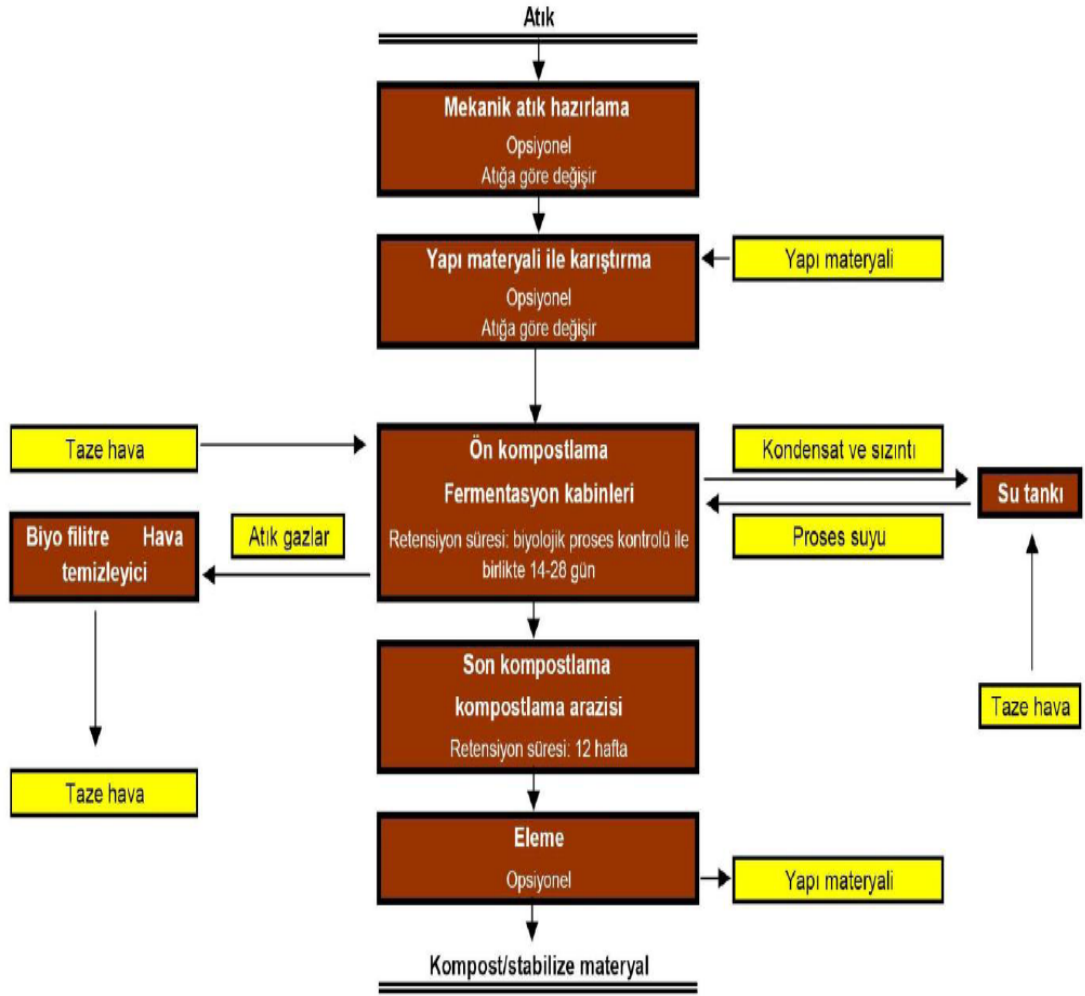
*Not: Nüfus ve üretim artışları ihmal edilecektir.*

### **5.3.2. Yapılması öngörülen örnek kompost ve anaerobik çürütme tesisleri Hakkında Teknik Bilgiler**

#### **5.3.2.1. Örnek kompost tesisi**

Kapasite 20 000 t/yıl, atık % 60 tam organik (12 t, hayvansal, tarımsal yada arıtma çamuru), % 40 zirai atık (8 t, ağaç budama veya sap saman) olarak belirlenmiştir. Sistem kapalı reaktör ardından açık kompost şeklinde işlemektedir (Ardıç 2012).

Kompostlama sistemi kısaca şu şekilde tanımlanabilir; ön işlemden geçen ve prosese giren hammadde muhafaza tertibatlarına (kapalı reaktörlere) kepçelerle yerleştirilir. Reaktörler beton yapı şeklinde imal edilip işlem süresince özel döner veya bölmeli kapılar ile kapatılır ve tüm sistem parametreleri elektro-mekanik tertibatlar vasıtasıyla kontrol edilir. İşlem süreci bitiminde hammadde tekrar kepçe ile çıkartılıp olgunlaşma sürecine bırakılır.



Şekil 5.1 Reaktör Kompost Tesisi Akım Şeması (Anonim 2011j).

**Ön işlem :** Kabul muayene işlemleri tamamlanan hammaddeler kapalı işleme tabi tutulmadan önce öğütme işlemine tabi tutulur. Bu işlemin temel amacı gelen hammaddenin işlem için uygun parçacık boyutuna parçalanması ve homojen bir yapı kazanması ve bu şekilde tekdüze bir kompost yapısının sağlanmasıdır.

**Ön kompostlama :** Bu aşamada kapalı biyoreaktörler içerisinde kontrollü ortam şartları altında hızlı fermantasyon aşaması olarak tanımlayabileceğimiz ön-kompostlama işlemi gerçekleştirilir. Kompostlama işlemi için sıcaklık, su ve oksijen içeriği parametrelerinin veya havalandırmanın garanti altına alınması önemlidir. Bu parametreler en uygun işlem ve iyi bir kompost kalitesinin temeli için gereklidir. Kyberferm kontrol sisteminin

amacı; her bir reaktörün anlık sıcaklık, nem, basınç ve hacim değişimini ölçüp, sistemin belirlenen proses şartlarında kalmasını sağlayarak bunu gerçekleştirmektedir.

**Son fermantasyon :** Son fermantasyon aşamasında, ön fermantasyonda hızlı işleme tabi tutulan ham kompostun olgunlaşması amaçlanır. Bu aşamaya kompost prosesinin açık işlem bölümü de denilebilir, bu bölümde ham nitelikteki kompostun 8 hafta gibi bir sürede olgunlaşması ve kullanıma hazır hale gelmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla kapalı işlemde yükleyiciler vasıtası ile taşınan ham kompostun beton zemin üzerine belli zaman aralıkları içinde karıştırıcılar vasıtası ile karıştırılarak fermantasyonun son aşamasını tamamlaması sağlanır (Anonim 2011j).

### 5.3.3. Örnek reaktör kompost tesisi maliyet incelemesi

#### 5.3.3.1. İlk yatırım maliyeti

**Çizelge 5.18.** 20 000 ton/yıl kapasiteli örnek kompost tesisi için ilk yatırım inşaat maliyeti

<b>İnşaat (Yapı)</b>	<b>Miktar (\$)</b>
Reaktörler için bina	332 753
Son proses bekletme alanı (üstü açık)	318 352
Biyofiltre havuzu	37 159
Kantar	7 034
İdari bina	31 289
Bakım atölyesi	10 560
Paketleme binası	221 411
Hammadde depolama alanı	99 287
Tesis içi asfalt yol	51 281
Tesis koruma duvarı	29 314
<b>Toplam</b>	<b>1 138 440 \$</b>



**Çizelge 5.19.** 20 000 ton/yıl kapasiteli örnek kompost tesisi için ilk yatırım mekanik maliyeti

<b>Mekanik</b>	<b>Miktar (\$)</b>
Tesis (Reaktörler, Filtreler, Havalandırma, Nemlendirici, Yönetim Sistemi)	1 164 600
Ezici	116 460
Karıştırıcı	179 478
Hat Karıştırıcı	231 238
Tambur Elek	100 932
Yarı Otomatik Poşetleme	131 988
Kepçe	258 800
Kantar	12 940
Kamyon	16 822
<b>Toplam</b>	<b>2 213 258 \$</b>

**Çizelge 5.20.** 20 000 ton/yıl kapasiteli örnek kompost tesisi için toplam ilk yatırım maliyeti

<b>Parametre</b>	<b>Miktar (\$)</b>
İnşaat	1 151 384
Mekanik	2 213 258
Diğer Giderler	64 700
<b>Toplam</b>	<b>3 429 342 \$</b>

Çizelge 5.18, Çizelge 5.19. ve Çizelge 5.20.'den görüldüğü üzere mekanik bölüm ilk yatırım maliyetini etkileyen en büyük unsurdur. Mekanik bölümün içerisinde yüksek maliyeti oluşturanlar reaktörler, karıştırıcılar, kepçe ve havalandırma sistemleridir.

### 5.3.3.2. Yıllık işletme giderleri

**Çizelge 5.21.** 20 000 ton/yıl kapasiteli örnek kompost tesisi için yıllık işletme giderleri

<b>Parametre</b>	<b>Miktar (\$)</b>
Personel	90 580
Elektrik Sarfıyat Giderleri İdari Bina (Yıllık)	1 812
Su Sarfıyat Giderleri (Yıllık)	6 470
Yemekhane Giderleri (Yıllık) (2 € kişi/gün)	10 093
Müşavirlik Giderleri (Hukuk, Mali ve Teknik)	12 940
Kırtasiye Giderleri	2 588
İletişim Giderleri (Yıllık)	7 764
Sosyal (Eğitim) Program Giderleri	6 470
Elektrik	97 420
Yedek Parça	15 408
Araçlar için yakıt	207 040
Poşetleme makinası	12 940
Genel Laboratuvar araştırması	6 470
Yıllık Makine Bakım Giderleri	61 944
<b>Toplam</b>	<b>539 939 \$</b>

### 5.3.3.3. Yıllık işletme gelirleri

**Çizelge 5.22.** 20 000 ton/yıl kapasiteli örnek kompost tesisi için yıllık işletme gelirleri

<b>Parametre</b>	<b>Miktar (\$)</b>
Kompost Satışı (15 000 ton x 45 €)	873 450
Endüstriyel Çamur alımı (2 095 ton x 25 €)	67 773
<b>Toplam</b>	<b>941 223</b>

### 5.3.3.4. Fizibilite analizi

Tesis yıllık gelirden yıllık giderin çıkarılması sonucu tesis 401 284 \$ kar getirmektedir. Bu getiri ile kompost tesisi kendisini faiz hesaplamaları hariç 8,5 yıl içerisinde amorti edebilecektir.

#### 5.3.4. Örnek anaerobik çürütme tesisi maliyet incelemesi

Kompost içerisindeki yapı malzemesi kapasiteyi artıracığından 12 000 ton/yıllık bir anaerobik çürütme prosesi ile 20 000 ton/yıllık bir kompost tesisine giren hammadde miktarı aslında aynıdır.

Tesis 12 000 ton/yıl kapasiteli %10 kuru madde oranına sahip büyükbaş hayvan gübresi göz önüne alınarak planlanmıştır. Tesis ana akım şeması şu şekildedir;

Anaerobik Çürütme → Hijyenizasyon Ünitesi → Susuzlaştırma şeklindedir.

**Anaerobik çürütme:** 5 köyün sahip olduğu farzedilen arıtma tesisinin ön ve son çökeltim tanklarından gelen çamur ile çiftlik ve köylerden gelen hayvansal atıklar birleştirilerek çürütme tesisine alınır. Karışımın %10 kuru madde oranına sahip olduğu varsayılmaktadır. Anaerobik çürütme tesisi tek kademeli yüksek hızda arıtım temeline dayanmaktadır. Bu sistemde çamur, gaz çevrimi, mekanik karıştırıcı, pompalar veya hava hareketi (draft), tüp karıştırıcıları tarafından karıştırılır. Reaktöre gelen karışık çamur arıtılmış çamuru uzaklaştırarak tutma tankına gitmesini sağlar. Süpernatant ayırması olmadığından toplam kuru madde %45-50 oranında azalır ve bu nedenle çıkan çamur giren çamurun yarısı kadar yoğunluktadır.

**Reaktör hacminin hesabı :**  $V = 32,9 \text{ ton/gün} \times 35 \text{ gün bekleme süresi} = 1 151 \text{ ton}$

Yoğunlaştırma tankından çıkan arıtma çamuru, hayvansal atıkların ve evsel nitelikli endüstriyel atıkların karıştırıldığı çamurun özgül ağırlığı 1,02 kabul edilirse reaktör hacmi yaklaşık 1 130 m<sup>3</sup> hesaplanır.

**Biyogaz üretimi:** 1 ton sığır dışkısından yaklaşık 33 m<sup>3</sup>/yıl biyogaz üretilir (<http://www.eie.gov.tr/>, 2012). Anaerobik çürütme tesisinde kullanılacak karışık atığın %98'inden fazlası sığır atığı olduğu için diğer atıkların oranlarını ihmal edebiliriz.

Böylece biyogaz üretimi  $12 000 \times 33 = 396 000 \text{ m}^3/\text{yıl} = 1 085 \text{ m}^3/\text{gün} = 45,2 \text{ m}^3/\text{saat}$  olarak hesaplanır.

1 m<sup>3</sup> biyogaz yaklaşık ısı değeri 4.7 kWh.'dır.

Böylece tesis kapasitesi  $4.7 \times 45,2 = 212 \text{ kWh}$  bulunur.

**Yıllık biyogaz satış geliri:** 212 kWh x 0,133 \$/kWh (Kanun no: 5346) x 8760 saat/yıl x 0,65 (ihtiyaç fazlası kısım) = 160 548 \$ olarak hesaplanır.

**Hijyenizasyon ünitesi:** Anaerobik çürütme sonucu patojen içeriğinin istenen düzeylere gelmemesi sonucu uygulanması gereken hijyenizasyon prosesleri ve diğer alternatif yöntemler ‘*Anaerobik Çürütmenin Yetersiz Kaldığı Durumlarda Patojen Giderimi için Alternatif Prosesler*’ konusu altında daha detaylı verilmiştir.

**Susuzlaştırma :** Belt pres ünitesi düşünülmektedir. Yeterli olmadığı takdirde belt pres ünitesinin önüne bir susuzlaştırma tankı da koyulabilir. Anaerobik reaktörden çıkan yaklaşık %5-6 KM içerikli tarımda kullanmaya elverişli çamur, alıcının daha rahat kullanabilmesi ve taşıyabilmesi açısından preslenerek satışa sunulacaktır.

Anaerobik çürütme tesisi Çizelge 5.23.’deki özellikleri oluşturabilmesi için tam kapasite ile çalışmalıdır.

**Çizelge 5.23.** 12 000 t/yıl kapasiteli örnek anaerobik çürütme tesisinin özellikleri

<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
Günlük besleme (BBaş gübre, evsel arıtma çamurları ve evsel nitelikli endüstriyel arıtma çamurları)	32,9 t/gün
Tesis kapasitesi	212 kW
Tesis kapasite kullanım oranı	100%
Yıllık tam kapasite çalışılacak süre	8 760 saat
Ortalama kapasite	212 kWh
Yıllık tesis çıktısı (kaliteli organik gübre %35 KM içerikli)	7 800 ton
İhtiyaç dışı ısı satışı	%65 (tahmini)
Isı birim satış fiyatı	0,03 \$
Birim elektrik satış fiyatı	13,3 \$-cent/kWh (Kanun no: 5346)

#### 5.3.4.1. İlk yatırım maliyeti

**Çizelge 5.24.** 12 000 ton/yıl kapasiteli örnek anaerobik çürütme tesisi için ilk yatırım inşaat maliyeti

<b>Parametre</b>	<b>Miktar (\$)</b>
Hijyenizasyon Ünitesi	600 700
Çürütücü Reaktör	401 684
İkincil yapı maliyetleri (inşaat alanı ekipmanı, komisyon, dozajlama vs.)	69 052
Acil durum gaz aktarma konteynırı	30 120
Dış yapı maliyetleri (duvar, asfalt vs.)	129 400
İdari Bina	44 229
Gübre Poşetleme, susuzlaştırma binası	250 800
Gübre depolama binası	129 400
Kantar	19 410
KDV	301 463
<b>Toplam</b>	<b>1 976 258</b>

**Çizelge 5.25.** 12 000 ton/yıl kapasiteli örnek anaerobik çürütme tesisi için ilk yatırım mekanik maliyeti

<b>Parametre</b>	<b>Miktar (\$)</b>
Borulama ve pompa	46 594
Acil durum ekipman ve tesisat maliyeti	25 580
Elektrik	252 039
Su, analizler, planlama vs.	71 170
Dış maliyetler (işçilik vs.)	64 700
Kantar (mekanik), kamyon	32 350
KDV (%18)	88 638
<b>Toplam</b>	<b>581 071</b>

**Çizelge 5.26.** 12 000 ton/yıl kapasiteli örnek anaerobik çürütme tesisi için ilk yatırım toplam maliyeti

<b>Parametre</b>	<b>Miktar (\$)</b>
İnşaat Maliyeti	1 976 258
Mekanik Maliyeti	581 425
Diğer Giderler	50 000
<b>Toplam İlk Yatırım Maliyeti</b>	<b>2 607 683</b>

Çizelge 5.24, Çizelge 5.25 ve Çizelge 5.26.'da görüldüğü gibi, anaerobik çürütücüde ilk yatırım maliyetini etkileyen en büyük unsur inşaat maliyetidir. Hijyenizasyon ünitesi ve anaerobik reaktör maliyetleri başı çeken yapılardır.

#### 5.3.4.2. Yıllık işletme giderleri

**Çizelge 5.27.** 12 000 ton/yıl kapasiteli örnek anaerobik çürütme tesisi için yıllık işletme giderleri

<b>Parametre</b>	<b>Miktar (\$)</b>
Personel Giderleri	51 760
Elektrik, su	3 882
Yemekhane (Yıllık 2 € kişi/gün)	5 047
Müşavirlik Giderleri (Hukuk, Mali ve Teknik)	12 940
Kırtasiye Giderleri	2 588
İletişim Giderleri (Yıllık)	7 764
Sosyal (Eğitim) Program Giderleri	12 940
Araç yakıtı	116 460
Yedek parça	12 940
Poşetleme ve susuzlaştırma makinaları	12 940
Laboratuvar	6 470
Yıllık makine bakım giderleri	12 940
<b>Toplam</b>	<b>258 671</b>

#### 5.3.4.3. Yıllık işletme gelirleri

**Çizelge 5.28.** 12 000 ton/yıl kapasiteli örnek anaerobik çürütme tesisi için yıllık işletme gelirleri

<b>Parametre</b>	<b>Miktar (\$)</b>
Elektrik satışı	160 548
Gübre satışı (7800 ton/yıl x 35 \$)	273 000
Çamur alımı (yaklaşık 2 600 ton x 20 \$)	52 000
<b>Toplam</b>	<b>485 548</b>

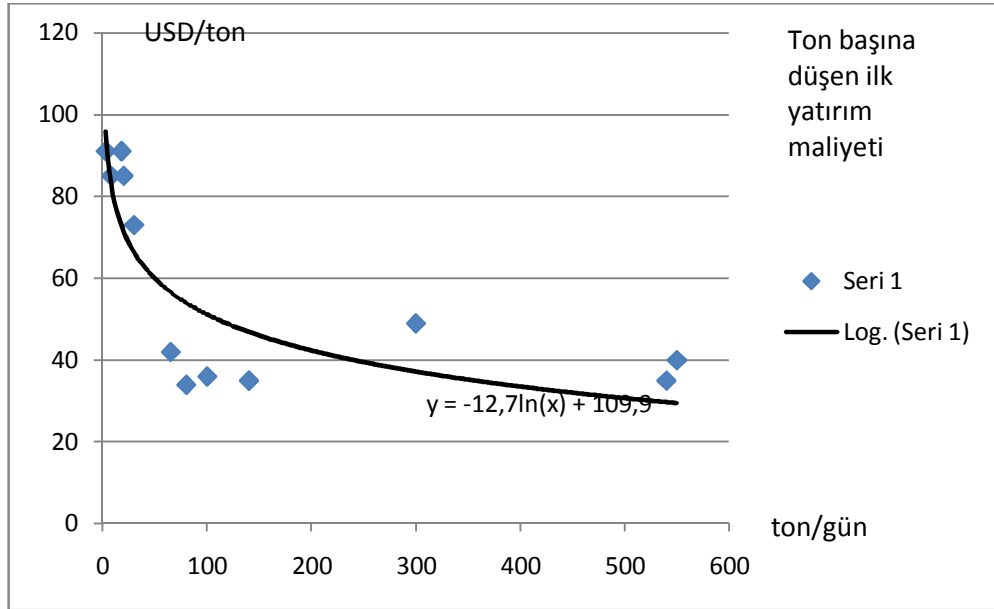
#### **5.3.4.4. Fizibilite analizi**

Tesis yıllık gelirden yıllık giderin çıkarılması sonucu 287 487 \$ kar getirmektedir. Bu getiri ile anaerobik çürütme tesisi kendisini gelir ve borç faizleri hariç 11,4 yıl içerisinde amorti edebilecektir.

#### 5.4. Bölüm Değerlendirmesi

Çalışmalardan anlaşılacağı üzere kendi halinde olan bir çiftçinin kompost yapma maliyetleri, çiftlikteki malzemeleri de kullanmak şartıyla çok düşük olacaktır. Anaerobik çürütücü kurması halinde bu maliyet daha fazla olacaktır. Ancak ortamda birden fazla çiftçi varsa, anaerobik çürütme prosesinin lider ülkelerinden biri olan Danimarka'daki gibi çiftçiler birleşerek merkezi anaerobik çürütme tesisleri kurabilirler.

Anaerobik çürütücülerde, çürütücü kapasitesi büyüdükçe ton başına düşen ilk yatırım maliyeti azalmaktadır. Bunu görebilmek adına bu çalışmada toplanan kısıtlı sayıda verilerden aşağıdaki grafik çıkarılmıştır.



Şekil 5.2 Anaerobik çürütücülerde ton başına düşen ilk yatırım maliyeti

Şekilde görüldüğü gibi ton başına düşen ilk yatırım maliyetinde logaritmik bir azalma söz konusudur. Bu grafikten yola çıkarak, büyük tesislerde ton başına düşen ilk yatırım maliyetinin ve benzer şekilde işletme giderlerinin de azaldığı bilinirken, gelen atığın çıkış miktarında bir azalma görülmemektedir. Yani işletme gelirleri (gübre ve biyogaz) lineer bir şekilde artış göstermektedir. Bundan dolayı tesis kapasitesi büyüdükçe tesisin kar oranları yükselmektedir. Böylelikle tesisin geri ödeme süresi daha kısa olabilir.



Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde ilk yatırım maliyetleri bir miktar daha yüksek ve işletme giderleri de daha düşük olabilir. Bunun sebebi, sistem araçlarının bir kısmının ülke içerisinde üretilmemesinden dolayı ithal edilmesidir. Ancak Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde işçi aylık giderleri daha düşük olduğundan, işletme giderleri gelişmiş ülkelere nazaran daha düşük olabilir. Ülkemiz yasaları Avrupa'ya göre daha hafif olduğundan işçi sağlığı ve güvenliği, yangın, deprem sigortaları gibi muhtelif zorunlu masraflar Avrupa ülkelerinden daha düşük olacaktır.

Araştırmalardan çıkarılan sonuca göre; çok büyük kompost tesislerinin ilk yatırım ve işletme giderleri ile anaerobik tesisler arasında çok büyük farklar gözlemlenmektedir. Büyük tesis inşa edilecekse, tercih yapılmadan önce arazi sorunu da dikkate alınmalıdır. Çalışmada yapılan maliyet hesaplamalarında arazi maliyetleri hesaplanmamıştır. Kompost tesisinin kapladığı alan oldukça fazla iken anaerobik çürütücüde bu alan daha düşük olmaktadır. Tesisin kurulacağı alan bir organize sanayi bölgesi içerisindeyse, arazi masrafları oldukça yüksek olabilir. Bu nedenle kompost tesisi inşası anaerobik çürütücü maliyetlerini geçebilir. Büyük tesislerde biyogaz, arazi ve çıkan gübre miktarı avantajından dolayı anaerobik çürütücüler tercih sebebi olmalıdır.

Son yıllarda ülkemizde kompost, çiftçiler tarafından tanınan ve kullanılmaya başlanan bir toprak düzenleyicisi haline gelmiştir. Ancak biyogübre henüz bilinmemektedir. Yasalarımızda biyogübre, bir organik gübre çeşidi olarak, kompost ise toprak düzenleyicisi olarak kabul edilmektedir. Teoride kaliteli bir toprak düzenleyicisinin satış fiyatı, kaliteli bir organik gübrenin satış fiyatından fazla olamaz. Ancak uygulamada; çiftçi biyogübreyi tanımadığından kompostta rağbet göstermektedir. Dolayısıyla biyogübre için ülkemizde henüz bir piyasa fiyatı oluşmamıştır. Teoride 4-5 yılda kendisini amorti edilmesi beklenen bir anaerobik çürütücü işletmesinin gerçekte gübre satışından elde edilmesi gerekenden daha düşük bir gelir elde edilmesi halinde işletmenin bu sürede kendini amorti etmesi mümkün olmayabilir. Ülkemizde çiftçilere biyogübrenin tanıtımını yapma, en az kompost kadar başarılı bir gübre çeşidi olduğunu anlatma görevi şu an için üreticilere düşmektedir.

Bölüm 5.3'de 4 köyün evsel tarımsal ve sanayi atıkları birleştirilerek merkezi bir tesis kurulması amaçlanmıştır. Alınan değerler tamamen hayali olmakla birlikte benzer

kapasitede tesis yapacaklara bir ön bilgi olması amaçlanmıştır. Benzer kapasitedeki co-compost (karışık atıklı) ve anaerobik çürütme tesislerinin ilk yatırım maliyetleri yakın değerlerdedir. Kompost tesisinin ilk yatırım maliyetini etkileyen en büyük faktörlerden bazıları; kepçe, karıştırıcı, kamyon ve kantardır. Eğer bu araçlardan biri veya bazılarının mevcut veya gereksiz olması halinde ilk yatırım maliyeti anaerobik çürütme tesis maliyetinin de altına düşürülebilir. Bununla beraber anaerobik çürütme tesisi içerisinde daha kullanışlı gübre eldesi için gübre susuzlaştırma yöntemleri ve daha sağlıklı gübre için hijyenizasyon ünitesi de maliyete ilave edilmiştir. Bu ünitelerden biri veya ikisi de atıkların özelliklerine ve gübre satış yöntemine göre çıkarılabilir. Böylelikle ilk yatırım maliyetini 1-1,3 milyon \$ seviyelerine indirmek mümkündür.

Aynı miktarda hammadde kullanılacak bu 2 farklı proste kompost tesisinin kapasitesi, gübre içine katılması gereken yapı malzemeleri nedeniyle yaklaşık %40 daha büyük olacaktır. Bu da ilk yatırım maliyetini etkileyen unsurlardan biridir.

Kompost tesisinde ek olarak kullanılması düşünülen talaş, saman gibi maddelerin araçlarla taşınması ve/veya satın alınması ve daha fazla işçi çalıştırılması gerekebileceğinden işletme maliyetinin daha yüksek olması düşünülmektedir. Bununla beraber elde edilen 15 000 ton toprak iyileştiricisi iyi bir şekilde pazarlanabilecekse tesisin fizibilitesi oldukça yüksek olur.

Anaerobik çürütme tesisinden elde edilecek %35 KM içerikli yaklaşık 7 800 ton gübre toprak iyileştiricisi olan komposta göre daha yüksek fiyatlarda satışa sunulabilirse tesis daha kısa sürede amorti edilebilir. Bir anaerobik tesiste komposta göre her ne kadar daha az personel ihtiyacı olsa da daha kalifiye olmaları gerektiği unutulmamalıdır.

## 6. ÇEVRESEL ETKİLER VE KÜRESEL ISINMA PROBLEMİ

Dünya'da karşılaşılmaması muhtemel enerji krizi ve sera gazı etkileri ülkeleri alternatif enerji kaynakları aramaya itmştir. Bu çerçevede kompostlama, biyogaz gibi teknolojiler dünyanın birçok yerinde evsel katı atıklar ile gübrelerin bertarafı ziraai alanlarda daha fazla tercih edilmektedir. Özellikle çiftliklerdeki gübre atıklarının düzensiz bertarafı sonucu sızıntı suları, yer altı ve yüzeysel suları kirletmektedir (Öztürk M. 2005).

Hayvan atıklarından kaynaklanan çevre sağlığı sorunları bazı endüstriyel atıklar dolayısıyla oluşan problemler kadar zararlı olabilmektedir. Özellikle yüzey sularının alıcı ortama deşarjı, tarımdan dönen sular ve hayvan atıklarının nihai depolama alanı olarak kullanılan araziler su kirliliğinin başlıca kaynakları olarak ortaya çıkmaktadır (Anonim 2001).

Arıtma çamurlarının nihai bertarafı için yapılan çamurun uygun alanlara serilerek tarımsal amaçlarla kullanılması ilk bakışta çok çekici gelse de bu seçenek, çamurdaki kirliliklerin toprak ve/veya bitki ortamına taşınması ve oradan besin zinciri yoluyla canlılara ulaşması sonucu risk oluşturma potansiyeline sahiptir. Ayrıca çamurun araziye bilinçli olarak serilememesi: koku, sinek ve arazi kullanımı açısından sakıncalar doğurmaktadır. Dolayısıyla bu uygulama günümüzde oldukça tartışılmakta; çeşitli yasal yaptırımlarla kullanımı kısıtlanmaktadır. Sözü edilen sakıncaları ortadan kaldırmak üzere, arıtma çamurlarının insan sağlığını riske atmadan tarımda kullanılarak değer yaratmasına olanak veren ve bunun yanı sıra, çamurun birikmesini önleyen bütünsel bir çözüm yöntemi henüz bulunamamıştır (Akyarlı ve ark. 2006).

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına ilginin artmasının nedenlerinden biri asit yağmurları, küresel ısınma, ozon tabakasındaki incelme gibi yanma ürünleri kaynaklı küresel çevre sorunlarının artmasıdır (Demirer ve ark. 2001).

CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O'nun da CO<sub>2</sub>'e göre sırası ile 21 ve 320 kat daha tehlikeli sera gazları olduğu bilinmektedir (Nielsen ve ark. 2007).

Kyoto Protokolü, yenilenebilir enerji kaynakları anlaşmasında; 2008–2012 yılları arasında sera gazlarını % 5 azaltmayı hedeflemiştir. Avrupa Birliği yasalarında 2000 yılında ise sera gazlarının 2010 yılına kadar % 12 azaltılması hedeflenmiştir (Arıkan ve

ark. 2008). Ayrıca Avrupa Birliği 1999 yasalarında 1995 yılından 2016 yılına kadar üretilen evsel nitelikli organik olarak ayrıştırılabilir organik katı atıkların, araziye serilmesinin % 65 oranında azaltılması gerektiği kararına varılmıştır. AB Yenilenebilir Enerji Yönetmeliği'ne (Energy White Paper) göre (EWP 2006), sera gazı salınımlarının 2050 yılına kadar %60 oranında azaltılması, 2020 yılına kadar da belirgin düzeyde azaltıcı önlemlerin yetiştirilmesi öngörülmektedir (Öztürk İ. ve ark. 2009).

## **6.1. Kompostlamanın Çevresel Etkileri**

İyi bir kompost; hijyenik olmalı, rahatsız edici koku içermemeli, patojenik mikroorganizma veya yabancı ot içermemelidir. Rengi kahverengiden siyaha değişen renkte olmalıdır (Özbaş ve ark. 2007).

Temel mineral elementlerle, patojenik ve indikatör organizmaların oranları, kompostun amaçlanan kullanımına göre belirlenir. Örneğin; yapraklı sebze yetiştirilmesinde kullanılması düşünölen kompostta, kadmiyum düşük olmalıdır, fakat kompost kıraç toprakların yeniden yeşillendirilmesinde kullanılacaksa kadmiyum içeriği pek önemli değildir (Akdemir 1998).

Kompostun çevrede oluşturabileceği sıkıntılar şunlardır;

### **6.1.1. Su kalitesi**

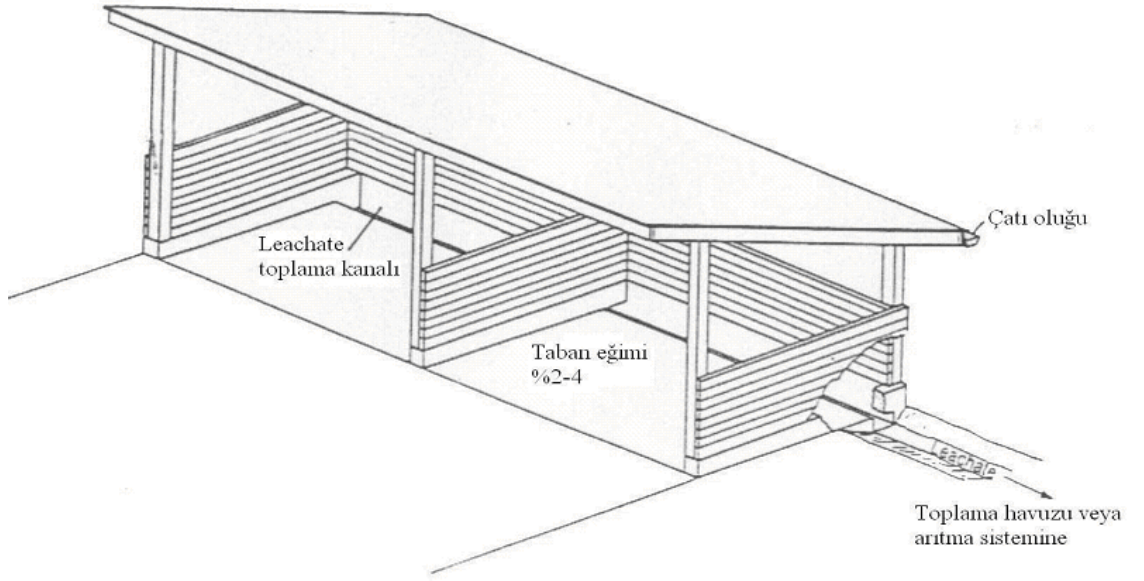
Sızıntı suyu veya yüzeysel akıştaki su kalitesi kompost tesisleri için sıkıntı oluşturabilmektedir. Sızıntı suyu, kompost yığını içerisinden çıkan ve yığınin süzölmüş, çözülmüş veya askıda kalmış kısmıdır. Eğer bu kısım kontrol edilmeden ve arıtılmadan serbest bırakılırsa sızıntı suyu yeraltı ve yeryüzü sularına sızarak buraları kirlitebilir. Kompost yığınından çıkmış, çok yağış alan bölgelerde toprak tarafından absorbe edilemeyen sızıntı suyu yani yüzeysel akış suyu problem yaratabilmektedir. Kompost yığınından çıkan bu sızıntı ve yüzeysel akış suları, kompost tesisindeki bir havuzda

toplanabilir ancak bu da koku problemlerine neden olur. Ayrıca yüzeysel akış suyu erozyona neden olmaktadır.

#### a) Sızıntı suyu

Kompost içerisindeki nem oranı düzgün ayarlanırsa ve kompost sistemi iyi takip edilirse oluşacak sızıntı suyu miktarı azaltılabilir. Ek olarak kompost yığını veya kümelerinin üzeri çatı ile kapatılırsa yağışlarla gelebilecek ekstra nem engellenmiş olur. Ayrıca kompost yığın veya kümelerini bir çatı altında işleterek yağıştan kaynaklanabilecek nem miktarını azaltmak mümkündür. Kompostlanan materyalin nem miktarı gereğinden fazla ise fazladan nem ilave etmeden veya yağış olmadan dahi sızıntı suları birkaç gün içerisinde kendini gösterecektir (EPA 1994).

Şekil 6.1.'de oluşan sızıntı suyunu tutmak için yapılan örnek bir çalışma gösterilmiştir.



**Şekil 6.1** Nemli maddelerden gelen sızıntı suyunu tutmak için örtülü depolama (Öztürk M. 2005).

Belediyeye ait atıksu veya sızıntı suyu arıtma tesislerinin kabul etmesi halinde fazla nemden kaynaklanan kompost sızıntı suları bu tesislere gönderilebilir. Ancak kompost yığımında oluşan fazla sızıntı suyunun atık konsantrasyonu, belediye atıksu arıtma

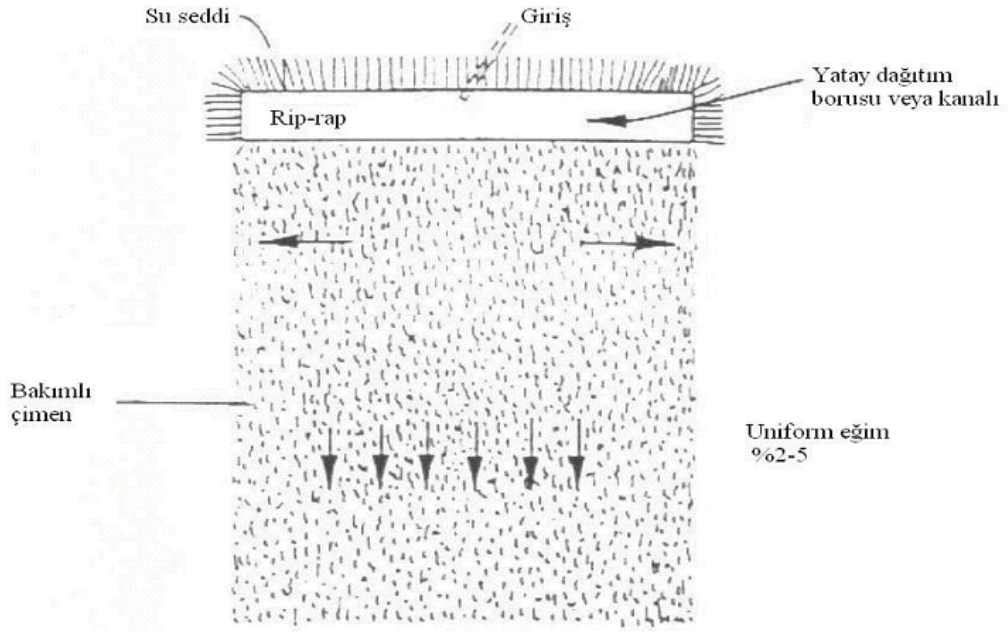
tesisinin kabul edebileceğinden fazla ise kompost tesisine ön arıtma ünitesi gerekebilir (EPA 1994).

Kompostla oluşan sızıntı suyu organik maddelerin doğal ayrışmasından dolayı yüksek miktarda BOİ ve fenol (karbolik asit) içerebilir. Bu yüksek BOİ ihtiyacı nehirlerin ve diğer yüzeysel akış sularının çözünmüş oksijenini tüketerek balık ve su yaşamına tehdit oluşturabilir. Fenol, ligninlerin ayrışması ile oluşan ve çoğunlukla bataklık gibi yoğun organik madde içeren alanlarda bulunan doğal bir maddedir. Oluşan doğal fenol zehirli değildir ancak yüzeysel sulara ve sonuçta rezervuarlara ulaşırsa suyun tadını ve kokusunu değiştirebilir. Doğal fenol ve BOİ yeraltı sularında sorun oluşturmamaktadır çünkü sızarken büyük çoğunluğu toprak tarafından absorbe edilir (Richard and Chadsey 1990).

#### **b) Yüzeysel akış suyu**

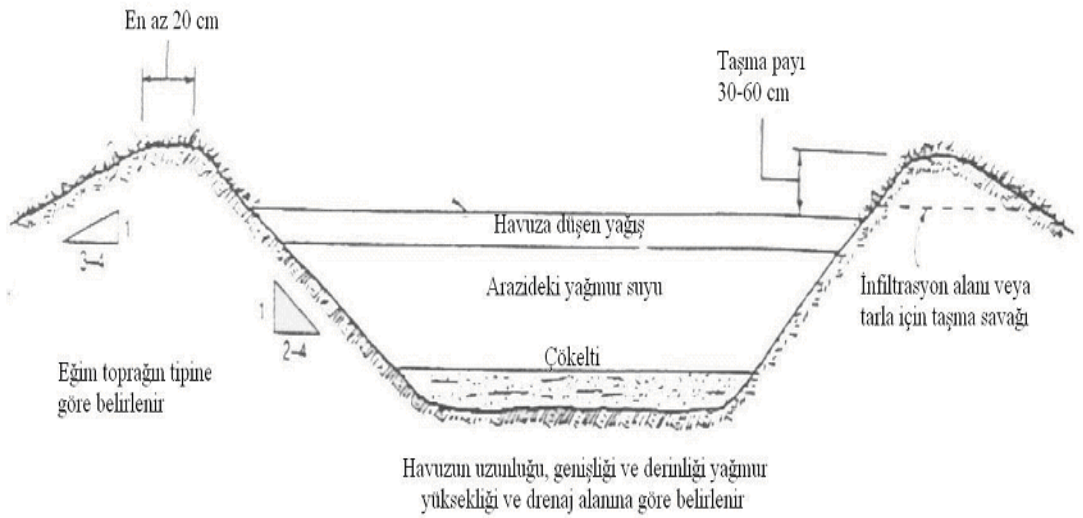
Yüzeysel akış suyu şiddetli yağmurlar sonucu veya kompost işletmesindeki suyla ilgili herhangi bir sebepten dolayı oluşabilir. Örneğin tesis içerisindeki kamyonların veya sabit mekanizmaların yıkanması yüzeysel akış suyuna neden olabilir. Oluşan yüzeysel akış suyu ayrıca düşük miktarda ağır metal, pestisit ve inorganik nütrientleri de içerebilir.

Şekil 6.2'de yüzeysel akış suyunu arıtmak için oluşturulan infiltrasyon alanı gösterilmektedir.



**Şekil 6.2** Kompost tabanı yüzeysel akış suyu arıtmak için çimle kaplanmış infiltrasyon alanı (Öztürk M. 2005).

Şekil 6.3.'de kompostla oluşan sızıntı ve yüzeysel akış sularının toplanacağı havuz için bir örnek ve toplama havuzunun tipik karakteristikleri verilmiştir.



**Şekil 6.3** Toplama havuzunun tipik karakteristikleri (Öztürk M. 2005).

- Araziye gelen suyu kompost tabanından ve depo alanından uzak olan tepelere yönlendirilmeli
- Yüzeysel su kaynakları ve yer altı su kaynakları için tavsiye edilen ayırma mesafelerine uyulmalı
- Ham maddeler ve bitmiş kompost yüzeysel su kaynaklarından ve drenaj alanlarından uzakta depolanmalıdır. Yıkanmaya elverişli ham maddeler bir çatı altında veya yıkanmayı önleyen geçirgen olmayan bir yüzey üzerinde depolanmalıdır.

Arazide depolanan ham maddeler ve bitmiş kompost, toprağın yıkanması yüzünden aktif kompost, sıralı yağınlarında daha fazla kirlilik yaratırlar.

Bu nedenle aşağıdaki kirlilik kontrolü ölçümlerine dikkat edilmelidir;

- Toprak yıkanmasını kontrol altına almak için sıralı yağınların maksimum nem muhtevasının % 65'in altında tutulmalıdır. Azot kaybını önlemek için ham maddeler tavsiye edilen C/N oranında kombine edilmelidir.
- Kompost tabanından ve depo alanından gelen yüzeysel sıvı akışının yüzeysel su kaynaklarına doğrudan karışmasına izin verilmemelidir. Dere, göl ve göletler için sorun yaratan maddelerin çoğunu toprak kullanılır hale getirir. Kaçan sızıntı suyu tarlaya veya infiltrasyon alanına yönlendirilmelidir. Sızıntı suyu sulama için sonradan kullanılmak üzere toplama havuzlarında tutulabilir veya kuru kompostlama maddelerini nemlendirmek için kullanılabilir. İnfiltrasyon işleminden önce katıları tutmak için yüzeysel akış toplama sistemindeki çöktürme cihazı kullanılabilir (Öztürk M. 2005).

### **6.1.2. Hava kalitesi**

Genel olarak hava kalitesi kompostlama için bir sonraki bölümde bahsedilecek koku problemleri hariç majör bir faktör değildir. Araç yoğunluğundan oluşan emisyonlar gibi küçük problemler olabilmektedir. Sıkıştırma kamyonlarına hammadde teslimatını kısıtlayarak veya oluşabilecek araç kuyruklarını en aza indirgeyerek araç trafiğinin



organize edilmesi, bu emisyon problemlerini azaltacaktır. Ayrıca sistem içerisinde kullanılan taşınabilir her araç düzgün ve temiz bir şekilde yönetilmelidir.

Kompost tesislerinde toz kuru yaz aylarında hava kalitesi için problem teşkil etmektedir. Ayrıca kompost tesislerinde oluşan toz, ekipmanı tıkayabilir, işçi sağlığı ve güvenliğini etkileyebilecek bakteri ve fungusları beraberinde taşıyabilir (EPA 1994).

### **6.1.3. Koku**

Kompost tesisleri için koku önemli bir problemdir ve kompost prosesinin birçok evresinde koku oluşabilmektedir. Kompost hammaddesi koku bileşikleri içerebilir, hammadde veya iskartanın toplanması taşınması ve depolanması sırasında veya uygunsuz kompost prosedürleri ile koku oluşabilmektedir. Kompost prosesinde oluşabilecek anaerobik şartlarda oluşan organik asitler, merkaptanlar, alkoller, hidrojen sülfür gazları ve diğer sülfür bileşikleri gibi bileşenler kokuya neden olmaktadır.

Aerobik veya anaerobik koşullarda C/N oranı 20:1'in altında ise, amonyak oluşumu gözlenebilir ve kokuya neden olur (EPA 1994). Eğer kompost sistemi doğru tasarlanmış ve araziye yayılmışsa kompostlama işleminden kaynaklanan kokular iyi bir yönetimle önlenir. Koku kontrolü yalnızca kompost tabanı ile sınırlandırılmamalıdır. Tesisi araziye sıcak havalardaki hakim rüzgarların yönü dikkate alınarak oturtmak gerekir (Öztürk M. 2005).

Kompost tesislerinde kokuya neden olabilecek koku bileşikleri Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 6.1.** Kompost tesislerinde kokuya neden olabilecek koku bileşikleri (EPA 1994)

<b>Sülfür Bileşikleri</b>	
H <sub>2</sub> S	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub>
COS	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> S <sub>3</sub>
CS <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> SH
(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> SH
<b>Amonyak ve Hidrojen içeren Bileşikler</b>	
NH <sub>3</sub>	N(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>
CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	3-methylindole
(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH	
<b>Uçucu Yağ Asitleri</b>	
HCOOH(Formik asit)	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> -COOH (Bütrik asit)
CH <sub>3</sub> COOH (Asetik asit)	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH (Propiyonik asit)	İzovalerik asit (3-Methylbutanoic)
<b>Ketonlar</b>	
(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO	2-pentanone
CH <sub>3</sub> C(O)CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	
<b>Diğer Bileşikler</b>	
C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> NS	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH (Fenol)
CH <sub>3</sub> CHOO (Etanol)	

#### 6.1.4. Gürültü

Kompost tesislerine giren ve kompost tesislerinden çıkan araçlarla kompost proseslerinde kullanılan ekipmanlar gürültü kaynaklarıdır. Normal bir sohbetin ses seviyesi 60 dbA iken ağır bir makinenin ses seviyesi 90 dbA'dır. Kompost işlemleri sırasında gürültü üreten kaynaklar; vasıtalar (doldurma, boşaltma, kornalar, hareket), çekiçli miller, tekneli eziciler, hidrolik güç birimleri, jeneratörler, motorlar, dişli çarklardır. Operasyonun büyüklüğü arttıkça oluşan gürültüde uzun süre etkili olur. Kompostlanan maddeye ve işletme tipine bağlı olarak gürültü sadece mevsimsel bir faktör olabilir. Eğer sıralı yığınlar açıktaysa ılıman hava koşullarında ve yaz mevsiminde daha da dikkat etmek gerekir (Öztürk M. 2005).

Gürültü kirliliğini önlemek için;

- Tesis etrafına sık ağaç ekerek tampon bölge oluşturulması,
- Susturucu, kaput gibi özel ses azaltma ekipmanları kullanmak
- Operasyon saatlerini yan komşulara göre düzenlemek
- Araç trafiğini düzenlemek gerekir (EPA 1994).

#### **6.1.5. Vektörler**

Vektörler hastalık taşıyan küçük hayvan veya böceklerdir. Fareler, sıçanlar, sinekler ve kuşlar kompost tesislerinin potansiyel ziyaretçileridir. Kemirgenler, kompost tesisleri içerisindeki yiyecek ve barınma ihtiyaçlarını karşılamak amaçlı tesise ilgi duyarlar ve ortadan kaldırmak oldukça zordur, profesyonel imha yöntemleri gerekebilir.

Salmonella ve diğer bazı hastalıkları taşıyan sinekler, yığınların anaerobik şartlarda oluşan kokularından ve taşınan hammaddeden etkilenirler. Yığının ulaştığı sıcaklık ile bu canlılar öldürülebilir. Kompost tesislerinde böcek sorunları düzenli tutularak, aerobik koşullarda ve uygun sıcaklıklarda çalışması sağlanarak kontrol altına alınabilir (EPA 1994).

#### **6.1.6. Yangınlar**

Kompost materyali aşırı kuru ve yüksek sıcaklıklarda ise, yangın riski taşımaktadır. Organik materyal % 25 ila 45 nem içeriğinde tutuşabilir. Yığın yüksekliği 4 metreden fazla olmadıkça sıcaklığın 93 °C'nin üzerine çıkması pek muhtemel değildir. Yığın yüksekliğini 3 metre civarında tutmak ve sıcaklık 60 °C'ye ulaştığında kompostu çevirmek yangınları önleyecektir. Bunların dışında tesis yangına hazır bir şekilde inşa edilmeli ve yangın ekipmanları bulundurulmalıdır (EPA 1994).

### 6.1.7. Organik ve inorganik kirleticiler

Kompostun fitonütrient kapasitesi çoğu zaman gübre ile benzer özellik gösterir. Ancak kompost içerisinde olabilecek organik ve inorganik kirleticilerin varlığı çevre için tehlikeli olabilir. Kompostun ağır metal içeriği tarımsal kullanım için ana sınırlayıcı faktördür. Yapılan literatür çalışmalarında, kullanılan kompostun çevredeki ağır metal seviyelerine etkisinin toprağın tipine, bitki türlerine ve kompost kalitesine bağlı olarak farklılıklar gösterdiği görülmüştür (Özbaş ve ark. 2007).

Avrupa’da kompost kullanımını sınırlayıcı yasalar mevcuttur. Bu yasalar ele alınarak Çizelge 6.2.’de hangi ürünler için toprağa en fazla ne kadar kompost uygulanabileceği hesaplanmıştır.

**Çizelge 6.2.** Kullanımına göre kompostun ihtiyacı (Brunt 1985)

Uygulama Tipi	Miktar kg/m <sup>2</sup>
Köklü bitkiler	6-25
Tahıl	10
Arpa	<b>20</b>
Çim alanlar	<b>3-5</b>
Domuz besleme	<b>3 (kg/domuz)</b>
Bağ	<b>8-30</b>
Meyve bahçeleri	<b>20-100</b>
Sebze üretimi	20-50
Dekoratif bitkiler	20-50
Fidanlık	30’a kadar
Bahçeler ve parklar	30-60
Oyun sahaları	40

Kompostlamanın yapıldığı arazinin görülmesi insanı psikolojik olarak etkiler. Bu nedenle kompostlama arazisi daha az görülebilir olursa civardaki komşulardan gelen şikayetlerde azalır. Kompostlama alanının çevreden görülebilirliği ağaç dikilerek veya çiçekler ekilerek azaltılabilir. Eğer arazi halkın görüş alanı içindeyse temiz tutulması gerekir. Arazi çevresindeki çimler kırılmalı, otlar temizlenmeli ve bitkiler bakımlı olmalıdır. Bunun yanında çamurlu araziler daha büyük sorunların oluşmasına neden olur.

## 6.2. Anaerobik Çürütmenin Çevresel Etkileri

Son yıllarda büyük ölçekli çiftlik kapasitelerindeki artış ve bunların oluşturduğu atıklar çevre problemlerini gündeme getirmiştir. Eğer hayvan atıkları arıtılmadan doğaya salınırsa başta metan gazının oluşturduğu küresel ısınma problemi olmak üzere, yer üstü sularının kirlenmesi, patojenik problemler gibi önemli çevre sağlığı sorunları oluşmaktadır. Anaerobik çürütme tesislerinin yapılmasıyla küresel ısınmanın en önemli etkeni olan sera gazları azaltılır. Metan en kötü sera gazlarından biridir (Tolay ve ark. 2008).

Anaerobik çürütme prosesi atmosfere net olarak karbondioksit vermediğinden (oluşan CO<sub>2</sub> biyogazın içerisinde) küresel ısınmaya fosil yakıtlar gibi olumsuz yönde katkıda bulunmaz (Öztürk İ. ve ark. 2009).

Organik maddenin biyogaza dönüşümünün birçok avantajı vardır. Bunlar; enerji kaynağı olması, çürütülmüş atığın toprak iyileştirici olarak kullanılabilmesi, atık giderme problemlerinin giderilmesi, prosesin oksijene ihtiyaç duymaması, fosil yakıtların kullanımını azaltarak atmosferdeki sera gazı emisyonlarını azaltmasıdır.

Biyogaz içerisinde, metan ve karbondioksitin yanı sıra az miktarda iz elementler de bulunmaktadır. Biyogaz içerisindeki iz elementler ve çalışma ortamında izin verilebilecek en yüksek konsantrasyonlar (maksimum değerleri) mg/m<sup>3</sup> olarak Çizelge 6.3.'de verilmektedir. Biyogaz, çoğunlukla % 55–60 metan ve % 40–45 karbondioksit gazlarından oluşmaktadır. Metan gazı havayla hacimsel olarak % 5 ile 15'lik karışımlar oluşturduğunda patlayıcıdır. Havadan hafif bir gaz olan biyogaz, yüzeye çıkmak isterken gaz çekme kuyuları ve odalarında hava ile yer değiştirerek birikebilmektedir. Biyogazın birikmesi sonucunda; ortamdaki hacimsel oksijen oranının % 21'den % 17'nin altına düşmesi durumunda ortamdaki havanın 1/4'ü biyogaz ile yer değiştirmiş olacağı için boğulma tehlikesi meydana gelebilir. Biyogaz içerisinde bulunan hidrojen sülfür 800 ppm'i aşması durumunda toksik etki görülebilmektedir (Gönüllü 1993).

**Çizelge 6.3.** Biyogaz içerisindeki bileşikler ve çalışma ortamında izin verilebilecek en yüksek konsantrasyonlar (Gönüllü 1993).

<b>İz elementler</b>	<b>Konsantrasyon (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>İzin Verilen Maksimum değeri (mg/m<sup>3</sup>)</b>
Benzen	0,03-7	
Kloroetilen	0-264	
Propan	1,4-13	1 800
Bütan	0,3-23	2 350
Pentan	0-12	2 950
Sikloheksan	0,03-11	1 050
Heksan	3-18	180
Sikloheptan	2-6	1 015
Heptan	3-8	2 000
Oktan	0,05-75	2 350
Cumol	0-32	245
Etilbenzol	0,5-236	435
Toluen	0,2-615	750
Ksilol	0-376	870
Diklorometan	0-6	360
Triklorometan	0-2	50
Tetrakloroetan	0-0,6	65
1,1,1-Trikloroetan	0,5-4	1 080
Dikloroetilen	0-294	40
Trikloroetilen	0-182	260
Perkloroetilen	0,1-142	345
Klorobenzol	0-0,2	230
Hidrojen sülfür	0-600	15

Hayvansal atıkların anaerobik çürütülmesiyle üretilen biyogübre, depolanırken veya püskürtme veya serme yöntemleriyle tarım alanlarına uygulanırken biyogübre içerisindeki amonyakın uçarak havadaki emisyonu etkileme ihtimali vardır. Depolama alanını örterek korumak bu kaybı azaltabilir. Tarım uygulamalarında biyogübredeki azot kaybı serme yöntemine karşı enjeksiyon yöntemi ile minimize edilebilir.

Üretilen biyogaz her ne kadar kömürden daha temiz bir yakıt olsa da, bazı sülfür dioksit ve diğer emisyonları etkileyebilir (Nelson ve Lamb 2002).

Yapılan bir çalışmada 2-3 milyon eq/yıl CO<sub>2</sub> gazı azaltımı için 10-60 milyon Euro'luk bir yatırım gerekmektedir. Bu çalışmada yaklaşık 750 ton/gün evsel ve endüstriyel atığı

arıtılabilen bir anaerobik çürütücü ile CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, ve SO<sub>x</sub> gazları salınımının engellenmesi düşük ve yüksek seviye olarak 2 şekilde değerlendirilmiştir (Leffertstra 2003).

**Çizelge 6.4.** 750 ton/gün kapasiteli bir anaerobik çürütücüde işlenen atıklar sayesinde çevreye salınması engellenen sera gazı miktarları (Leffertstra 2003).

<b>Emisyon</b>	<b>Düşük Seviye (ton/ton atık)</b>	<b>Yüksek Seviye (ton/ton atık)</b>
CO <sub>2</sub>	0,63	0,68
SO <sub>2</sub>	0,42	1,32
NO <sub>x</sub>	0,15	0,35

Aynı çalışmada anaerobik çürütme prosesi ile doğaya sera gazı salınımının azaltılmasından dolayı çevre ve insan sağlığına yansıyan maddi faydaları düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 4 seviyede incelenmiştir.

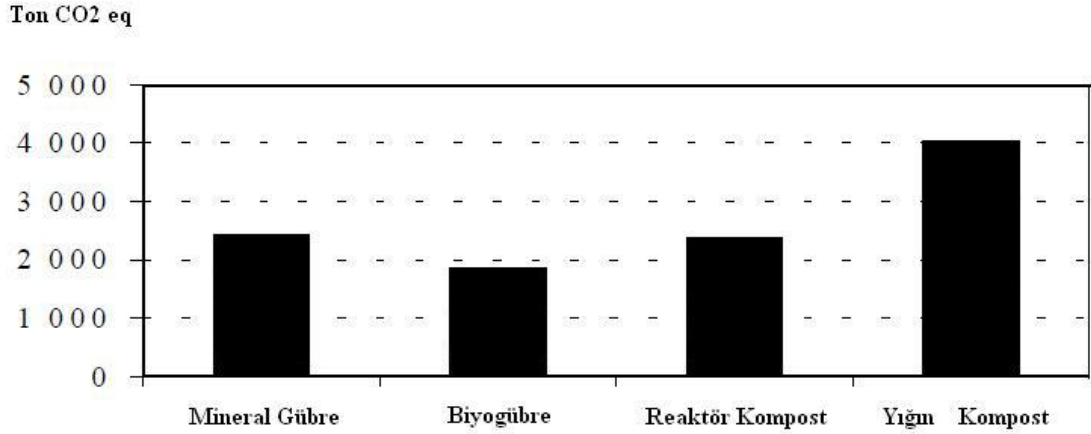
**Çizelge 6.5.** Sera gazlarının azaltılmasından dolayı ton atık başına yansıyan maddi kazanç (Leffertstra 2003).

<b>Emisyon</b>	<b>Düşük (Euro/ton atık)</b>	<b>Orta (Euro/ton atık)</b>	<b>Yüksek (Euro/ton atık)</b>	<b>Çok yüksek (Euro/ton atık)</b>
CO <sub>2</sub>	3,15 €	6,3 €	6,8 €	13,6 €
SO <sub>2</sub>	1,05 €	2,3 €	7,1 €	7,1 €
NO <sub>x</sub>	0,23 €	1	2,3 €	2,3 €
<b>Toplam (Euro/ton atık)</b>	<b>4,33 €</b>	<b>9,6 €</b>	<b>16,2 €</b>	<b>23</b>

### **6.3. Kompostlama ve Anaerobik Çürütme Teknolojilerinin Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması**

Dalemo ve ark. (1998) yaptığı çalışmada 173 ton/gün olan evsel atıklar, belediyeye ait diğer atıklar ve hayvan dışkılarından oluşan karışımın tarımda kullanılması ile çevresel etkileri gözlenmiştir. Bu atıkların yaydıkları CO<sub>2</sub> şekilde görüldüğü gibi 4 farklı metot için belirtilmiştir (Şekil 6.4.). Ayrıca aynı çalışmada mineral gübre, anaerobik çürütücü

atıkları, reaktör kompost ve yığın kompostun küresel ısınmaya, ötrifikasyona ve asidifikasyona etkileri Çizelge 6.6.' de verilmiştir.



**Şekil 6.4** Şehir/Tarım atık yönetiminden kaynaklanan CO<sub>2</sub> miktarları (Dalemo ve ark. 1998).

**Çizelge 6.6.** Dört metodun küresel ısınmaya, ötrifikasyona ve asidifikasyona etkileri (Dalemo ve ark. 1998)

	Şehir/Tarım Atık Yönetimi	Elektrik Üretimi	Isı Üretimi	Fosfor Üretimi	Azot Üretimi	Toprakta kullanımda uzun vadede etkileri	Toplam
<b>Küresel Isınma Potansiyeli (CO<sub>2</sub> eq/t)</b>							
Mineral Gubre	2 435	1 847	0	39	693	1 633	<b>6 647</b>
Biyogubre	1 852	0	0	0	0	351	<b>2 203</b>
Reaktör kompostu	2 373	1 570	0	0	416	355	<b>4 714</b>
Yığın kompost	4 038	1 475	0	0	560	397	<b>6 471</b>
<b>Ötrifikasyon Potansiyeli (O<sub>2</sub> eq/t)</b>							
Mineral Gubre	2 141	11	0	1	11	11 436	<b>13 600</b>
Biyogubre	1 983	0	20	0	0	9 414	<b>11 417</b>
Reaktör Kompostu	2 233	10	35	0	7	9 416	<b>11 700</b>
Yığın Kompost	2 497	9	34	0	9	9 355	<b>11 904</b>
<b>Asidifikasyon Potansiyeli (kmol H<sup>+</sup>)</b>							
Mineral Gubre	1 095	78	0	15	40	3	<b>1 232</b>
Biyogubre	2 982	0	128	0	0	3	<b>3 112</b>
Reaktör Kompostu	1 205	66	216	0	24	3	<b>1 515</b>
Yığın Kompost	2 844	62	213	0	33	3	<b>3 154</b>



Kompostlama yöntemleri, anaerobik çürütme ve mineral gübreleme arasında küresel ısınmaya en az zarar veren; anaerobik çürütme prosesidir. Mineral gübrelemeyi saymazsak, kompostlama ve anaerobik çürütme yöntemlerinin ötrifikasyona etkileri yakın değerlerdedir. Asidifikasyona en az etkide reaktör kompostlama öne çıkmaktadır.

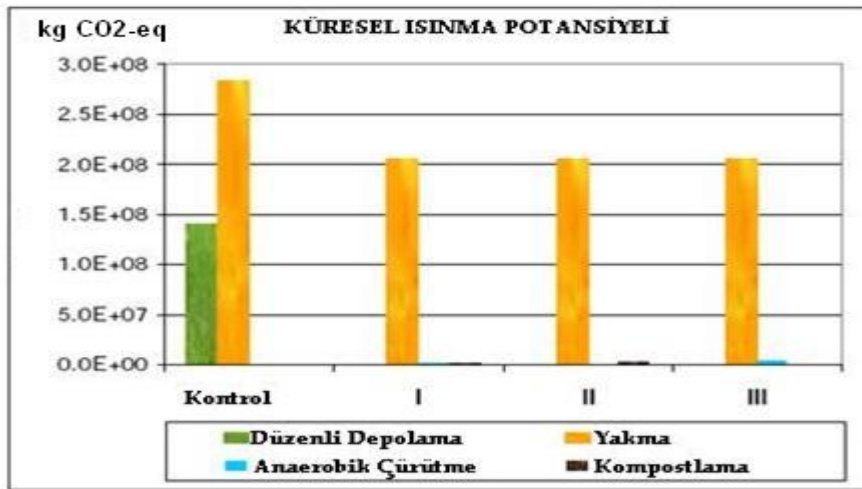
Bir başka çalışmada düzenli depolama, yakma, kompostlama ve anaerobik çürütmenin 3 değişik kombinasyonunun küresel ısınmaya, asidifikasyona ve nütrient artışına potansiyel etkileri karşılaştırılmıştır (Şekil 6.5; Şekil 6.6.; Şekil 6.7.; Şekil 6.8.; Şekil 6.9.).

### Şekillerdeki arıtma yöntemleri

**Kontrol:** %83.7 yakma, %9.3 Düzenli depolama, %7 hayvan altlığı olarak kullanma

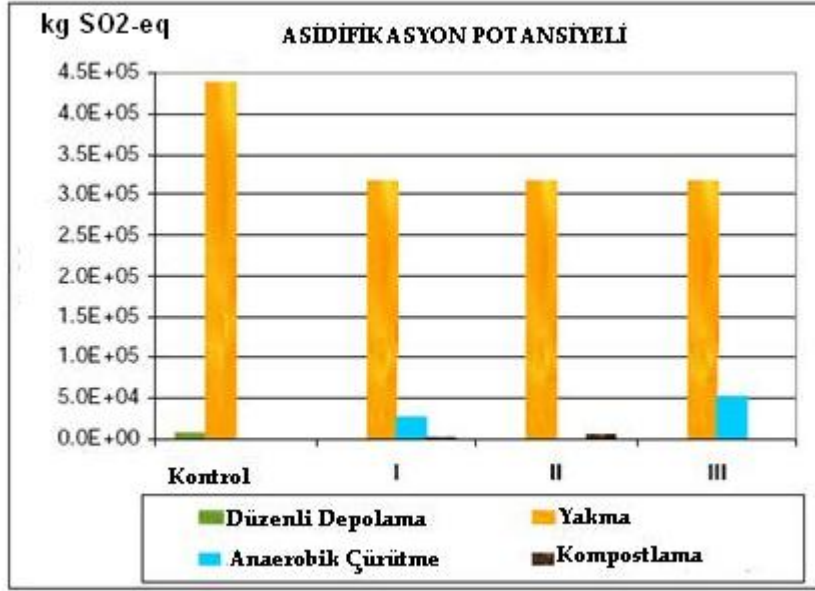
- I. %70 yakma %11.5 Kompostlama %11.5 Anaerobik Çürütme, % Hayvan altlığı olarak kullanma
- II. %70 yakma, %23 Kompostlama, %7 Hayvan altlığı olarak kullanma
- III. %70 yakma, %23 anaerobik çürütme ve %7 hayvan altlığı olarak kullanma

Yöntem I yalnız başına veya Yöntem II ve III birlikte incelendiğinde anaerobik çürütme ve kompostlamanın karşılaştırılmasını göstermektedir. I. yöntemi yalnız veya II. ve III. yöntemleri birlikte yorumlayarak iki prosesin çevreye verdikleri zararları karşılaştırmak mümkündür.



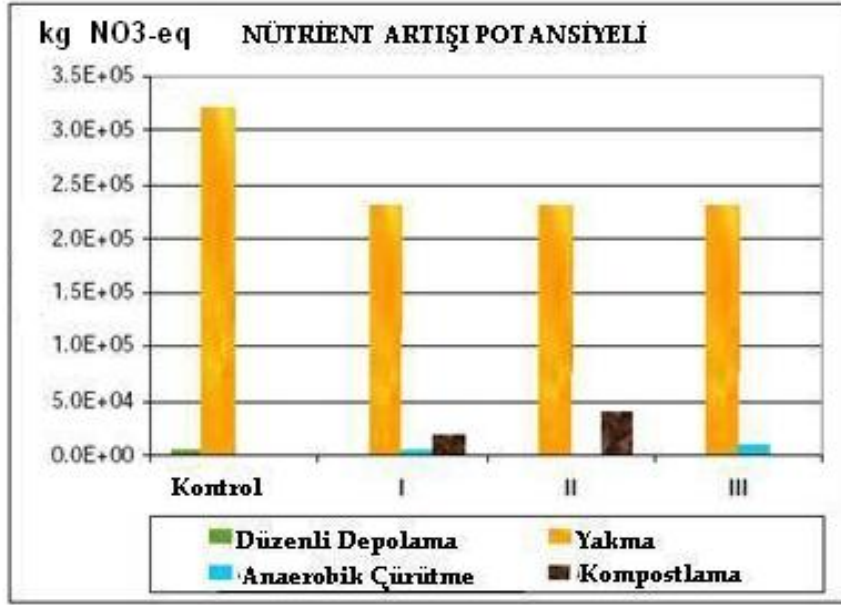
Şekil 6.5 Yöntemlerin küresel ısınmaya etkisi (Khoo ve Tan 2006).

Yöntem I. de eşit miktarda uygulanan anaerobik çürütme ve kompost proseslerinin ve yöntem II. deki kompost ile yöntem III. deki anaerobik çürütmenin küresel ısınmaya etkilerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



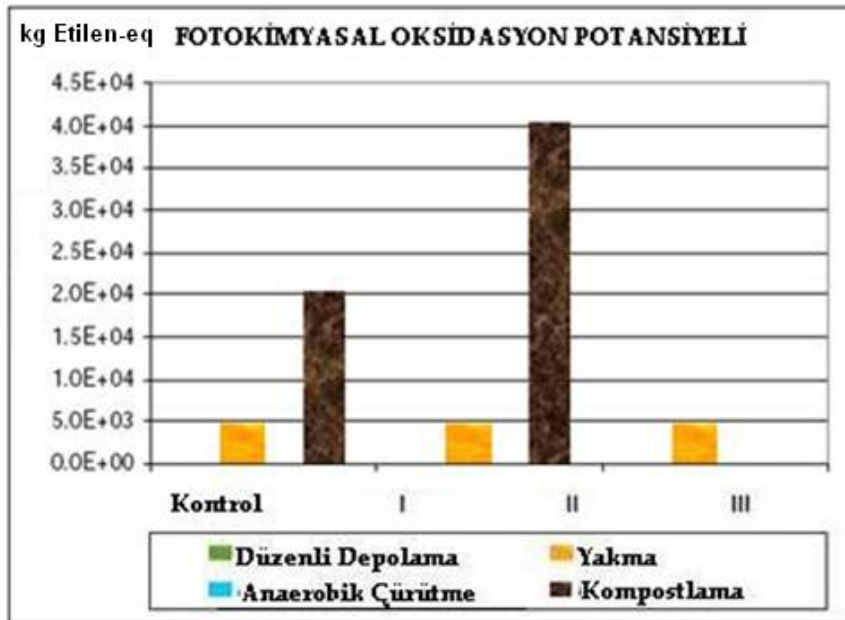
Şekil 6.6 Yöntemlerin asidifikasyona etkisi (Khoo ve Tan 2006).

Şekil 6.6.'da anaerobik çürütme yönteminin kompostlamaya göre asidifikasyonda daha fazla etkili olduğu belirtilmiştir.



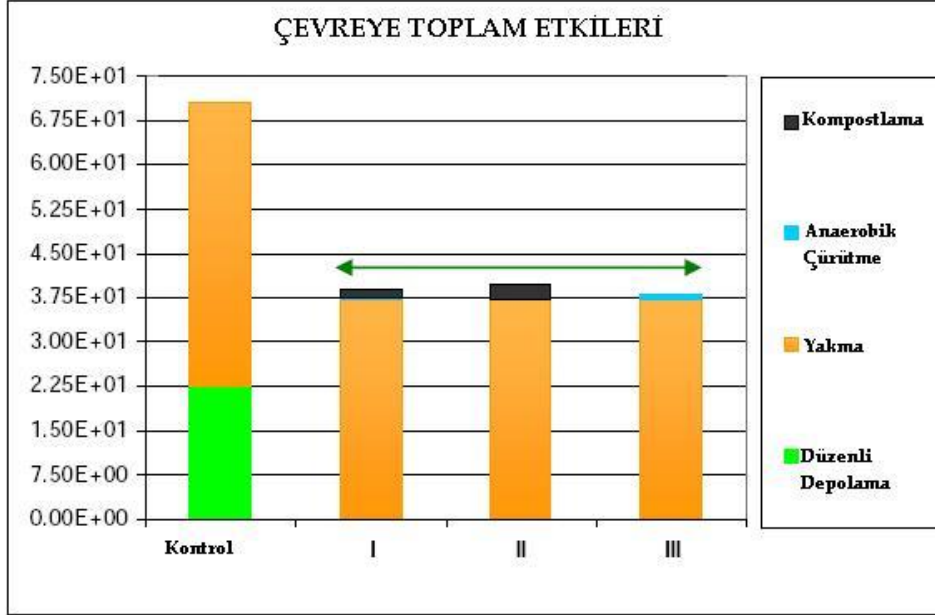
Şekil 6.7 Yöntemlerin nütriyent artışına etkisi (Khoo ve Tan 2006).

Şekil 6.7.'de gösterilen verilere dayanarak, anaerobik çürütmenin nütriyent artışında kompostlamaya oranla çok daha az etkili olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 6.8 Yöntemlerin fotokimyasal oksidasyona etkisi (Khoo ve Tan 2006).

Şekil 6.8.'de görüldüğü gibi anaerobik çürütmenin fotokimyasal oksidasyona hiçbir etkisi yoktur. Aksine, kompostlamanın etkisi çok fazladır.



Şekil 6.9 Düzenli depolama, yakma, kompostlama ve anaerobik çürütmenin çevreye olan toplam etkileri (Khoo ve Tan 2006).

Şekil 6.9.'da II ve III yöntemlerinin çevreye olan zararlarına baktığımızda anaerobik çürütmenin daha az zararlı olduğunu görmek mümkündür.

#### 6.4. Bölüm Değerlendirmesi

Dalemo ve ark. (1998) kompostlamanın küresel ısınmaya, anaerobik çürütücüden çok daha fazla zarar verdiğini belirtirken reaktör kompostlamanın yığın kompostlama metoduna göre CO<sub>2</sub> salınımının daha fazla olduğunu hesaplamıştır. Ayrıca mineral gübreleme yönteminin ile yığın kompost yönteminin CO<sub>2</sub> salınımı açısından yakın değerlerde olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada anaerobik çürütme ve kompost proseslerinin ötrifikasyona etkilerinin birbirine yakın, mineral gübrelemenin ise daha fazla olduğu gösterilmiştir. Khoo ve Tan (2006) bu iki değer birbirine çok yakın olduğunu belirtmiştir. Asidifikasyona etkilerinde ise en avantajlı prosesler sırasıyla mineral gübreleme ve reaktör komposttur. Anaerobik çürütme ve yığın kompostlama proseslerinin asidifikasyona etkileri bu diğer iki prosesten daha fazladır.

Koo ve Tan (2006) yaptıkları çalışmada anaerobik çürütme ve kompost proseslerinin küresel ısınmaya ve asidifikasyona etkileri Dalemo ve ark. (1998) nin hesapladığı sonuçları doğrular niteliktedir. Koo ve Tan (2006) ayrıca anaerobik çürütmenin fotokimyasal oksidasyona hiçbir etkisi olmadığını belirtmiştir. Bu çalışmada toplanan verilere dayanarak atıkların anaerobik çürütülmesinin kompostlamaya oranla çevreye genel anlamda daha az zarar verdiği belirtilmiştir.

Aynı kişilerce anaerobik çürütmenin reaktör kompostlamaya göre asidifikasyona etkisinin daha fazla olduğu belirtilmiştir. Anaerobik çürütmenin fotokimyasal oksidasyona hiçbir etkisi yoktur. Reaktör kompost ve anaerobik çürütmenin ötrifikasyona etkileri çok yakın değerlerdedir.

EPA çevre koruma ajansı kuralları besin atıklarının arıtımında yığın kompostlama metodu gibi ucuz metotları kısıtlamaktadır Bu atıkların araziye serilmesinde sera gazlarını arttırması ve kokuya sebep olması nedeniyle anaerobik çürütme prosesleri tercih edilmektedir (Dearman ve Bentham 2007).

Dünyanın küresel ısınmaya her geçen gün daha fazla yaklaşması, yeraltı sularının kirlenmesi, asit yağmurları gibi çevre sorunları her geçen gün artmaktadır. Bu problemleri azaltmak için hayvansal atıkların ve arıtma çamurlarının bertarafında tercih edeceğimiz prosesler de etkin rol oynamaktadır. Daha çok para kazanmak için ucuz, korumasız prosesler inşa ederek insan ve çevre sağlığına zarar vermiş oluruz. Bu

yüzden proses seçilmeden önce prosesin çevreye etkileri üzerine literatür çalışması yapılmalı ve maliyet gibi önemli tercih faktörleri arasında yer almalıdır.

Verilen tüm şekiller ışığında anaerobik çürütme prosesinin çevreye etkisi kompost proseslerine oranla daha düşüktür ancak iyi yapılandırılmış kompost tesislerinin de (yığın metotlar hariç) çevreye verdikleri zarar kabul edilebilir düzeydedir. Bununla birlikte reaktör kompost gibi pahalı ve etkin sistemlerde çevreye etki anaerobik çürütme prosesinin çevreye olan etkisiyle oldukça benzerdir. Bu yüzden anaerobik çürütme prosesi tercih edileceği gibi iyi yapılandırılacak ve doğru yöntemlerle işletilecek bir kompost tesisinin de çevre açısından mahsuru olmayacaktır.

## 7. TÜRKİYE'DEKİ VE DÜNYADAKİ UYGULAMALAR

### 7.1. Türkiye'de Kompostlama

2008 yılı verilerine göre belediyelerden toplanan atığın %44,9'u düzenli depolama sahalarına %1,1'i ise kompost tesislerine götürülmüştür. Geri kazanılan ve kompost üretilen atıkların dışında kalanlar ise belediye çöplüğünde, açıkta yakılarak veya gömülerek, dereye veya göle dökülerek bertaraf edilmiştir. (Erdem ve ark. 2010). TÜİK verilerine göre, 2008 yılı itibarı ile oluşan atığın 143 000 tonu, toplam 551 000 ton/yıl kapasiteye sahip kompost tesislerinde işlenmektedir (Çizelge 7.1.).

**Çizelge 7.1.** Yıllara göre kompost tesislerinin kapasite ve geri kazanım miktarları (Öztürk İ. 2010)

Yıllar	Sayısı	Kapasite (ton/yıl)	İşlenen Atık Miktar (ton/yıl)
1995	1	183 000	159 000
2000	2	237 000	(.....)**
2005	4	606 00*	165 000
2006	4	605 000*	105 000
2008	4	551 000*	143 000

**Kaynak: TÜİK, 2010**

\* Faal olmayan tesislerin sayısı ve kapasitesi dâhildir.

\*\* Bilgi elde edilememiştir.

Türkiye'nin ulusal iklim değişikliği eylem planı'nın geliştirilmesi projesi kapsamında AB Direktiflerine uygun olarak katı atıkların yönetimi için farklı senaryolar üretilmiş ve her bir senaryo için maliyet hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre katı atıkların yönetiminde en yüksek maliyetli senaryo, büyükşehirlerde yakma/gazlaştırma seçeneğini esas alan senaryodur. En ucuz senaryo ise ayrı toplama ve kompostlaştırmayı esas alan senaryodur.

EHCIP (2005) Projesi kapsamında atık su arıtma tesisi çamurlarının (biyoatıklar) yönetimi ile ilgili olarak, "Arıtma Çamurunun Tarımda Kullanılması Halinde Çevrenin ve Özellikle Toprağın Korunmasına İlişkin Avrupa Konseyi (AK) Direktifi

86/278/EEC” çerçevesinde direktife özgü ayrı bir yatırım planı hazırlanmıştır. Söz konusu yatırım planında, Türkiye’de, stabilize olmuş kentsel atık su arıtma çamurlarının ~ % 40 oranında doğrudan araziye uygulanması, kalan % 60’ının ise diğer yöntemlerle (kompost, yakma, düzenli depolama vb.) bertarafı önerilmektedir. Bu proje kapsamında uzun vadede, düzenli depolama tesislerine giden organik madde miktarı azaltılacak, biyobozunur atıklar enerji veya kompost üretimine yönlendirilecektir. Atık Sektörü Çalışma Grubu’nda iklim değişikliği ile mücadeleye ilişkin belirlenen sorunların öncelik sıralamasında birinci sırayı çevre temizlik vergisinin yetersiz oluşu alırken kompost ve biyogaz tesislerinin yetersizliği 20. sırada yer almıştır (Öztürk İ., 2010).

İstanbul’da bulunan Kemerburgaz Geri Kazanım ve Kompost Tesisinde tesisin hizmete alındığı günden bugüne 155 000 ton kompost üretilerek İstanbul’da kullanıma sunulmuştur. Ancak etkinliği ve ekonomik olması bakımından en uygun yöntemlerden biri olan kompostlama işlemi Türkiye’de Antalya Denizli İzmir ve İstanbul olmak üzere yalnızca 4 ilimizde yapılmaktadır (Korkut ve Bayer 2010).

İDEP Projesi kapsamında atık sektörü ile ilgili mevcut durum değerlendirmesi çalışmaları sonunda fiziki yatırım projeleri konusunda öne çıkan başlıca sorunlardan birisi kompost ve biyogaz üretim tesisleri sayıca yetersiz olmasıdır (Öztürk İ., 2010).

## **7.2. Türkiye’de Anaerobik Çürütme**

Türkiye’de biyogaz konusundaki çalışmalar ilk olarak akademik düzeyde başlamıştır. Projelere bağlı düzenli çalışmalar ise daha sonra başlamıştır. Biyogaz konusunda ülkemizde yapılan ilk çalışma, A.Ü. Fen Fakültesi’nde Kimya Yüksek Mühendisi Cengiz Işıksalan tarafından yürütülen ‘Çeşitli Tarımsal ve Endüstriyel Artıklardan Yüksek Humus Değerli Gübre ve Metan Gazı Üretimi’ konulu doktora tezi belirtilebilir (Arıkan 2008).

Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü’nde biyogaz çalışmaları 1957 yılında başlamıştır. O yıllarda son derece hevesli bir kadro bu iş için çalışmış, daha sonra 1962–1967 yılları arasında Eskişehir Bölge Topraksu Araştırma Enstitüsü’nde yapılan çalışmalarda ilk veriler elde edilmiştir. Konunun öneminin kavranamaması nedeniyle yapılan



çalışmalara rağmen biyogaz tesisleri yaygınlaştırılamamıştır. Petrol krizi sebebiyle 1976 yılından sonra biyogaz tekrar gündeme gelmiştir. 1978 yılında Türkiye şeker Fabrikaları Etimesgut çiftliğinde 54m<sup>3</sup> kapasiteli pilot bir tesis kurulmuştur. Daha sonra 1979 yılında Ankara Merkez Topraksu Araştırma Merkezi tarafından 2 adet biyogaz tesisi kurulmuştur. 1980 yılından sonra biyogaz için asıl önemli gelişmeler olmuştur. 1982 biyogaz için önemli bir yıldır. Bu yıl içerisinde biyogaz başmühendisliği kurulmuş ve biyogaz araştırma laboratuvarı inşa edilmiştir. Bu sırada ülkemizde ciddi bir biyogaz projesi başlatılmış ve pilot uygulamalar geręekleřtirilmiřtir. Daha sonra biyogaz, Merkez Topraksu Araştırma Merkezi -Ankara'da daha sonra değiştirilen adıyla Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü'nde çalışma alanı olmuştur. O tarihte, her ile 3 adet, bölge merkezlerine 5 adet biyogaz tesisi kurulumu planlanmış, işletmeye açılmıştır. Bu sırada da mevcut özel girişimlere kredi ve teknik yardım sağlanmıştır (Arıkan 2008).

2000'li yıllara kadar biyogazla ilgili uygulama çalışmaları durgunluk dönemine girmiştir. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü konuya hala önem vermektedir. 21 Ocak 2004 tarihinde T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) kurumunda biyogaz konusunda bir toplantı yapılmıştır. 2002 yılı itibariyle yerel yönetimler de bu konuya ilgi duymaya başlamıştır. Biyogaz T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı ve T.C. Tarım ve Köy işleri Bakanlığı'nca da bilinen ve desteklenen bir yakittir. Türkiye'de biyogaz tesislerinin kurulması için uluslararası firmaların ilgisi çoktur. 2004 yılında önceliğin tavuk çiftliklerinde olmak üzere diğer büyükbaş ve küçükbaş hayvan çiftlikleri de bu konuya önem vermektedir. 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı kapsamında 2005 yılında birçok yerleşim yerinde biyogaz tesisleri kurulmuştur. (Yamak 2006).

Ülkemizde ise sadece başta gıda endüstrisi olmak üzere sınırlı sayıda anaerobik arıtma uygulaması mevcuttur. Hayvansal ve tarımsal atıkların anaerobik olarak çürütülmesi ile biyogaz üretim uygulamaları ülkemiz açısından yok denecek kadar azdır. Gıda endüstrisi ve diğer uygulamalar göz önüne alındığında bu sektörlerdeki anaerobik uygulama tecrübeleri ve teorik bilgiler hayvansal ve tarımsal atıkların anaerobik arıtımında da kullanılabilir.

Türkiye'nin Uluslararası Enerji Ajansına hazırladığı son raporda ülkedeki mevcut anaerobik çürütücülerin sayısı;

**Tarımsal atık çürütücü : 0 adet**

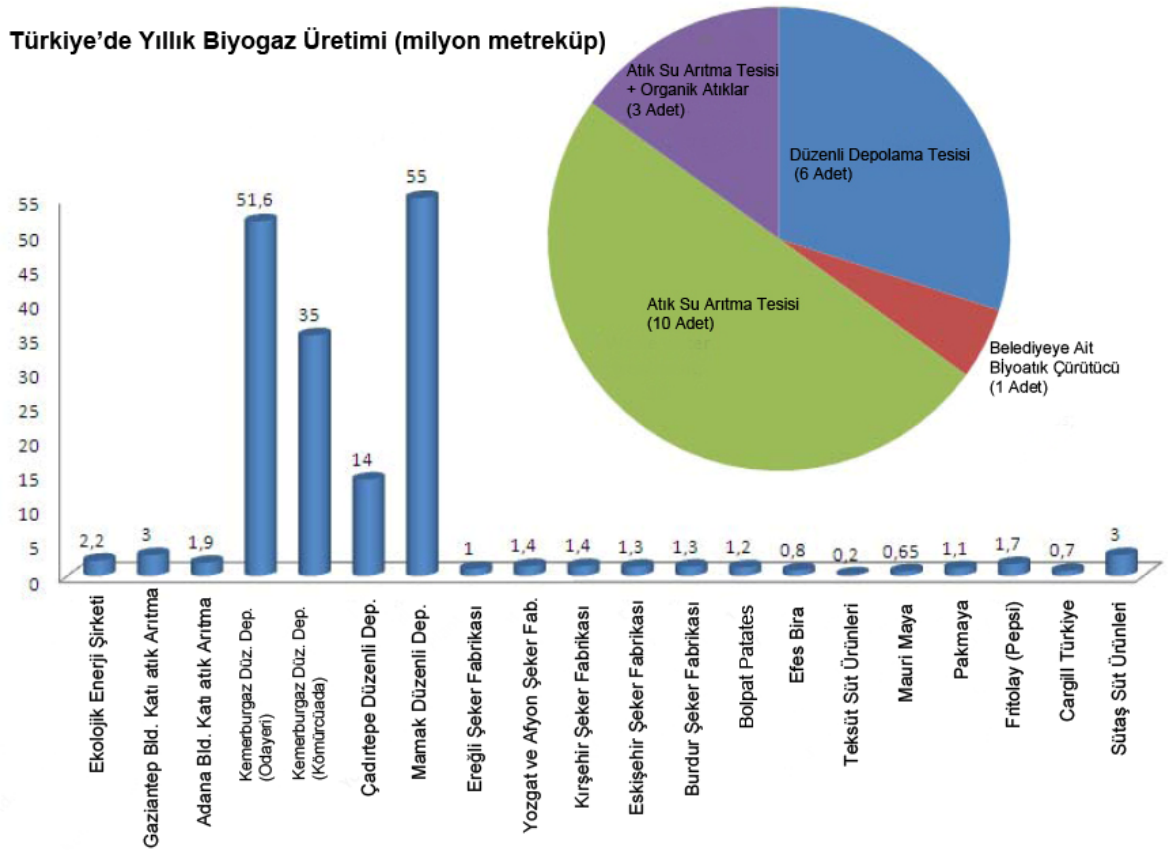
**Endüstriyel atık çürütücü : 13 adet**

**Arıtma çamuru çürütücü : 0 adet**

**Belediyeye ait biyoatık çürütücü : 1 adet olarak bildirilmiştir.**

Şekil 7.1.'de Türkiye'de üretilen biyogazın üretildiği yer ve materyal belirtilmiştir

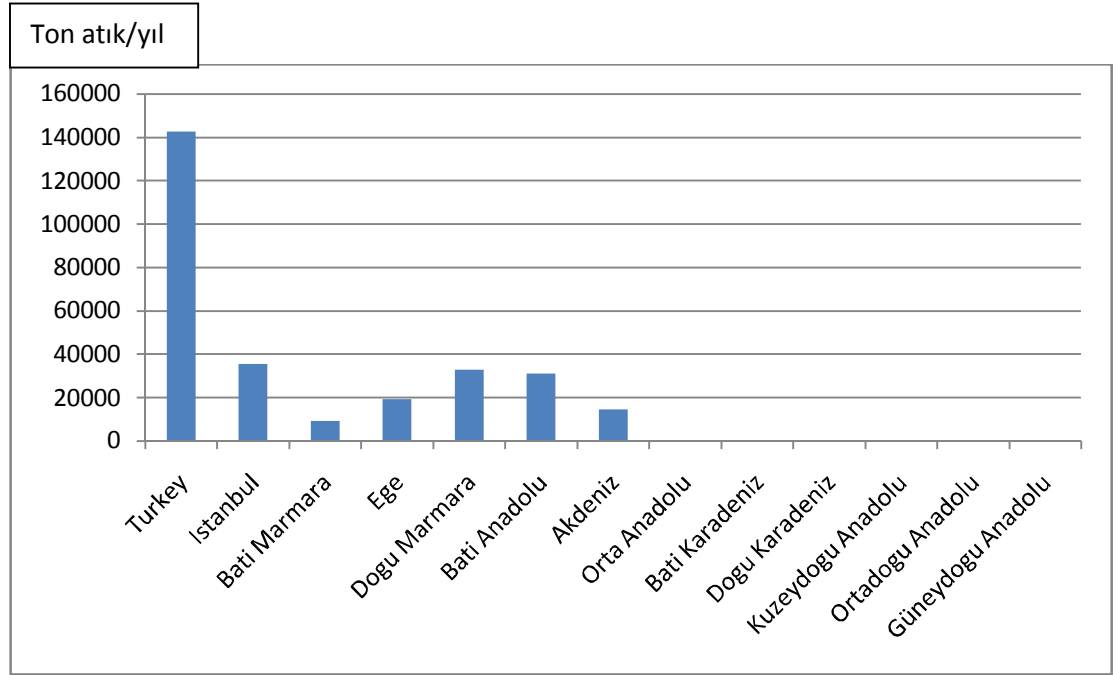
**Türkiye'de Yıllık Biyogaz Üretimi (milyon metreküp)**



**Şekil 7.1** Türkiye'de biyogaz üretimi (Anonim 2010b).

Üretilen biyogazın %90'ından fazlası çöp sahalarından elde edilmektedir. Ayrıca raporda malesef yeni bir anaerobik çürütücü projesinin olmadığı belirtilmiştir. Türkiye'nin yalnız hayvansal atıklardan 2 000 adet anaerobik çürütücü tesis potansiyeli vardır (Anonim 2010b).

Ülkemizde mevcut sadece 13 milyon büyük baş hayvan sayısı göz önüne alındığında çok önemli bir potansiyel yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanımı beklemektedir. Gelişen tarım ve entegre hayvan çiftlikleri sayı ve kapasitelerindeki artışlar nedeniyle kaynaklanan çevre sorunlarına ekonomik ve uygulanabilir çözümler ortaya konulabilir. Gerek büyük baş, gerekse kanatlı hayvan üretimlerinin yoğunlaştığı Afyon, Kayseri, Çorum, Manıyas, Bursa, Erzurum, Kars, Niğde, Ağrı, Edirne, Tekirdağ gibi illerin bulunduğu bölgelerde biyogaz tesisleri gerek enerji üretimi gerekse çevre korunumu açısından örnek bölgeler olarak kullanılabilir (Tolay ve ark. 2008). Kocaeli Büyükşehir Belediyesi- Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) MAM'ın yürüttüğü Bitkisel ve Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi ve Entegre Enerji Üretim Sisteminde Kullanımı Projesi devam etmektedir.



**Şekil 7.2** Türkiye’de 2010 yılı istatistikleri atıklardan enerji eldesi (<https://ec.europa.eu/eurostat>, 2011).

Türkiye’de atıklardan enerji eldesine bakıldığında yatırımların genelde Marmara ve Ege Bölgesi çevrelerinde olduğu görülmektedir.

### 7.3. Avrupa ve Amerika'da Kompostlama

Kompostlama yeni bir teknoloji değildir. Amerika'da 18. ve 19. yy.'dan beri kullanılmaktadır. 20. yy.'da maddelerin ve mekanik teçhizatların seçiminin nasıl yapılması gerektiği ve farklı kompostlama metotları (sıralı yığın, yığınlar, kapalı reaktörde vs.) hakkında bilimsel ilkeler belirlenmiştir. Böylelikle çiftçilik daha bilimsel bir hal almıştır. Sanayileşme, kimyasal gübreler ve özelleştirme çiftçiliği değiştirmiştir. Kompostlama önemini yitirmiş ve atık bertarafı esas sorun olmaktan çıkmıştır. Şimdi ise çevre bilinci arttığı için kompostlama tekrar popüler olmaya başlamıştır.

Arıtma çamurlarının kompostlaştırılması özellikle ABD de yaygın olarak uygulanmaktadır. Ülkemizde ise organik evsel katı atıklar için bazı kompost tesisleri bulunmaktadır (Arıkan ve Öztürk İ. 2005). Organik atık aktivitelerine göre Avrupa dört sınıfta incelenir. Avusturya, Belçika, Almanya, İsviçre, Lüksemburg, İtalya, İspanya (Katalonya), İsveç ve Hollanda ilk sınıfta bulunur. Bu ülkeler politikasını tüm ülke geneline yayılmış ve yerleşmiştir. Bu ülkeler kaynağında ayrı toplanan organik atıklarının %80'ini kompostlamayla geri kazanmaktadır. Çürütme az kullanılır. Danimarka, İngiltere ve Norveç ikinci sınıfta bulunurlar. Bu ülkeler ayrı toplama ve kompostlama için gereken kalite ve örgütlenme politikasını oluşturmuşlardır. Finlandiya ve Fransa üçüncü sınıfta bulunur. Bu ülkeler kompostlama konusunda stratejilerini belirlemiş ve uygulamanın başlangıç noktasında bulunmaktadırlar. Dördüncü sınıfta İtalya, Yunanistan, İrlanda ve Portekiz gibi organik atıkların kaynağında ayrı toplanıp kompostlama yönetimi konusunda hiçbir çalışma yapmayan ülkeler bulunur. Bu ülkelerde atıklar karışık toplanıp kompostlanmaktadır (Öztürk M. 2005).

2009 verilerine göre Avrupa'da yaklaşık 2 500 adet kompost tesisi bulunmaktadır ve bu tesislerin toplam kapasitesi 27 milyon ton/yıldır. Ek olarak çoğunluğu Almanya ve Avusturya'da bulunan 800 adet küçük çapta organik katı atıkların ve arıtma çamurlarının birlikte kompostlandığı tesis mevcuttur. Bahçe atıklarının kompostlanması konusuna Avrupa'da kapasiteleri 200 t/yıl dan 70 000 ton/yıl'a kadar değişen çok değişik büyüklüklerde tesisler mevcuttur. Örneğin Almanya ve Fransa'da 3 milyon ton/yıl, Hollanda'da 1,7 milyon ton/yıl, Belçika ve İsveç'te 0,4 milyon ton/yıl bahçe atığı kompostlanmaktadır (Barth 2011).

Avrupa Birliği'nin 27 ülkesi (EU27) için potansiyel kompostlanabilir toplam biyoatık miktarı 80.1 milyon ton/yıldır ve bunun yalnızca %29,5'u yani 23,6 milyon tonu kompostlanmak için ayrıştırılarak toplanmıştır. Neyin kompostlandığı veya ön arıtıma sokulduğu yani anaerobik çürütmeden geçirildiği verilemez ancak kompostlanan kısmın en az %95'i ile tahmin etmek mümkündür. Çizelgede 7.2.'deki oranlar 10,5 milyon ton atık üzerinden tahmin edilmektedir.

**Çizelge 7.2.** Avrupa Birliği'ne üye ülkelerin ürettikleri kompost miktarları (Barth ve ark. 2008).

	<b>Toplam</b>	<b>Biyoatık</b>	<b>Bahçe</b>	<b>Aritma</b>	<b>Karışık</b>	<b>atık</b>
		<b>Kompost</b>	<b>atıkları</b>	<b>çamurları</b>	<b>kompost</b>	
			<b>kompost</b>	<b>kompost</b>	<b>kompost</b>	
<b>EU27</b>	13,2 Mt	4,8 Mt %36	5,7 Mt % 43	1,4 Mt %10,4	1,4Mt %10,3	

Mt: milyon ton, EU27 : Avrupa Birliği'ne üye 27 ülke.

Sadece biyoatıklardan ve bahçe atıklarından toplam kompost potansiyeli 35-40 milyon ton/yıldır. Ek olarak arıtma çamurlarından 45 Mt kompost elde edilebileceği tahmin edilmektedir (Barth ve ark. 2008).

Avrupa birliği istatistik verilerine göre ülkelerin kompostlama kapasiteleri ve kompostlanan miktarlar Çizelge 7.3.'de verilmiştir.

**Çizelge 7.3.** EU27’de ayrı ayrı toplanan ve kompostlanan biyoatık ve bahçe atıkları miktarları [x1 000 ton] (Barth ve ark. 2008).

Ülke kodları	Belediye katı atıklar (MSW) (1)	Potansiyel miktarlar			Ayrı ayrı toplanan atıklar [Ev kompostlamaları hariç] (3)			Ayrı toplanan biyoatıklar [Toplam potansiyelin %’si (8/5)]
		Bioatıklar	Bahçe atıkları	Toplam (2)	Bioatık	Bahçe atıkları	Toplam	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
AT	3 419	750	950	1 700	546	950	1 496	88%
BE	4 847	-	-	2 573	-	-	885	34%
BG*	3 593	-	-	1 164	0	0	0	0%
CY*	554	-	-	112	0	0	0	0%
CZ	3979	1354	180	1 534	10	123	133	9%
DE	37 266	8	8	16 000	4 084	4 254	8 338	52%
DK	3 988	433	750	1 183	38	737	775	66%
EE	556	195	130	325	0	0	0	0%
ES*	25 694	-	-	6 456	-	-	308	5%
FI*	2 451	-	-	785	350	100	450	57%
FR*	46 000	-	-	9 378	300	2 400	2 700	29%
GR*	4 854	-	-	1 662	0	2	2	0%
HU*	4 446	-	-	1 515	-	-	127	8%
IE*	3 041	-	-	616	52	71	123	20%
IT	31 687	-	-	8 700	2 050	380	2 430	28%
LT*	1 295	-	-	514	0	0	0	0%
LU*	321	-	-	68	-	-	52	76%
LV*	715	-	-	346	0	0	0	0%
MT*	246	-	-	60	0	0	0	0%
NL*	10 900	-	-	2 446	1 656	1 700	3 356	137%
PL*	9 353	-	-	5 726	-	-	70	1%
PT	4 696	-	-	1 579	24	10	34	2%
RO*	8 274	-	-	3 249	0	0	0	0%
SE*	4 343	-	-	1 352	125	250	375	28%
SI*	845	-	-	300	0	0	0	0%
SK*	1 558	-	-	808	5	68	73	9%
UK*	35 075	-	-	9 009	-	-	1 872	21%
<b>EU27</b>	<b>257 947</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>80 101</b>			<b>23 598</b>	<b>29,50%</b>

(1) Kaynak: (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>)

(2) Durumların çoğu ülkelerin ulusal uzmanları tarafından gözden geçirilmiştir. Yıldız (\*) ile işaretlenmiş tüm ülke kodları biyoatık ve bahçe atıkları için 150 kg/İnh\*y formülasyonu varsayımına dayanarak oluşturulan gerçek potansiyelleridir.

(3) Toplanan diğer tüm biyoatık ve bahçe atık verileri ulusal uzmanlar tarafından hazırlanmıştır. (2005 yılı)

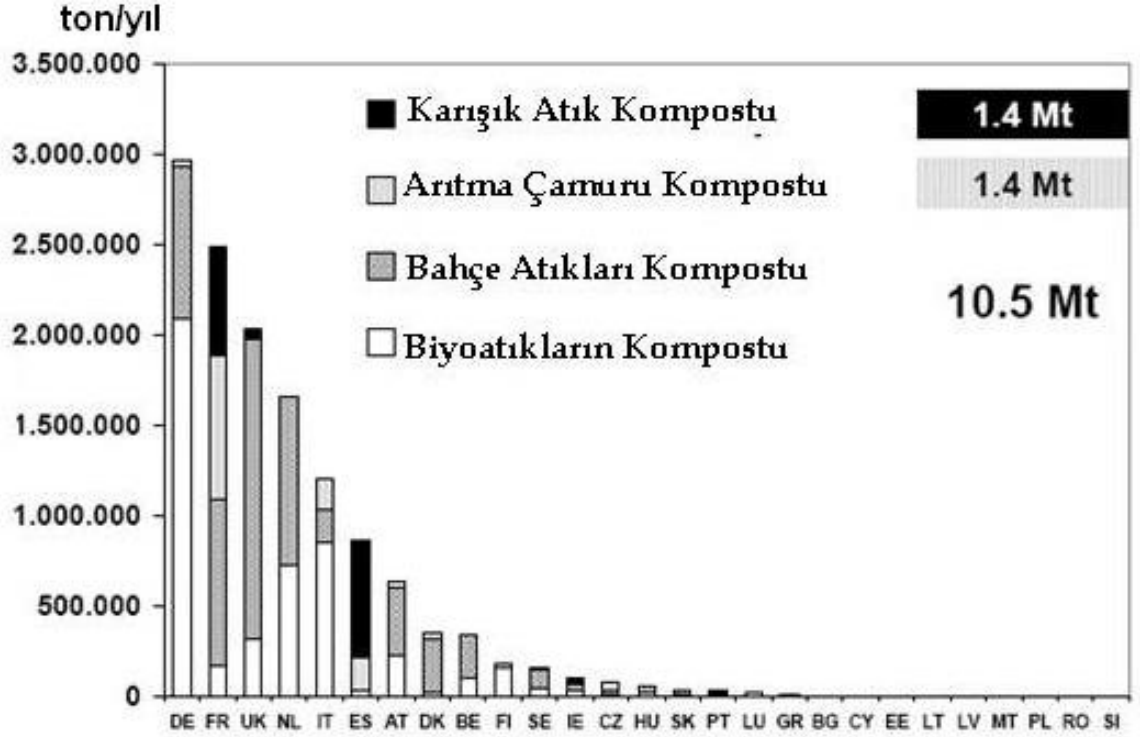
Yukarıdaki çizelge referans alınarak EU27’de biyoatıklar, bahçe atıkları, arıtma çamurları ve karışık atık kompostlanması hakkında çizelge oluşturmuştur (Çizelge 7.4.) ve burada hangi ülkelerin kompostlama prosesinde daha başarılı olduğunu görmek mümkündür.

**Çizelge 7.4.** Avrupa Birliği’ne üye ülkelerin ürettikleri kompost miktarları (Barth ve ark. 2008).

Yıl	Toplam	Biyoatık kompostu	%	Bahçe atıkları kompostu	%	Arıtma çamurları kompostu	%	Karışık atık kompostu	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AT*	2005	416 000	218 400	34%	380 000	60%	32 000	5%	4 000	1%
BE/FI	2005	342 000	103 000	30%	239 000	70%	0	0%	0	0%
BG		0	0		0		0		0	
CY		0	0		0		0		0	
CZ*	2006	77 600	4 000	5%	21 600	28%	52 000	67%	0	0%
DE	2005	2 966 935	2 089 139	70%	848 486	29%	29 310	1%	0	0%
DK*	2005	350 000	15 200	4%	294 800	84%	40 000	11%	0	0%
EE		0	0		0		0		0	
ES	2005	855 000	35 000	4%	0	0%	180 000	21%	640 000	75%
FI	2005	180 000	150 000	83%		0%	30 000	17%		0%
FR	2005	2 490 000	170 000	7%	920 000	37%	800 000	32%	600 000	24%
GR*	2005	8 840	0	0%	840	10%	0	0%	8 000	90%
HU	2005	50 800	20 000	39%	30 800	61%	0	0%	0	0%
IE	2005	100 500	25 000	25%	34 000	34%	17 000	17%	24 500	24%
IT	2005	1 200 000	850 000	71%	180 000	15%	170 000	14%	0	0%
LT		0	0		0		0		0	
LU*	2005	20 677	20 677	100%	0	0%	0	0%	0	0%
LV		0	0		0		0		0	
MT		0	0		0		0		0	
NL	2005	1 654 000	719 000	43%	935 000	57%	0	0%	0	0%
PL		0	0		0		0		0	
PT	2005	29 501	2 086	7%	1 730	6%	2 500	8%	23 185	79%
RO		0	0		0		0		0	
SE*	2005	154 800	38 800	25%	100 000	65%	0	0%	16 000	10%
SI		0	0		0		0		0	
SK*	2005	32 938	1 836	6%	27 102	82%	4 000	12%	0	0%
UK	2005/06	2 036 000	316 000	16%	1 660 000	82%	15 000	1%	45 000	2%
EU27		13 183 991	4 778 139	36%	5 673 358	43%	1 371 810	10%	1 360 685	10%
<b>Biyoatık ve bahçe atıkları kompostu</b>		<b>10 451 496</b>			<b>79%</b>					

Yıldız (\*) ile işaretlenmiş tüm ülke kodlarına ait veriler ülkelerin ulusal uzmanları tarafından gözden geçirilmiştir. Burada üretilen kompostun miktarı toplanan ve arıtılan rakamsal verilerin parçalanma faktörü 0,4 ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Diğer tüm veriler ulusal uzmanlar tarafından sağlanmıştır.

Yukarıdaki çizelge referans alınarak Şekil 7.3. oluşturulmuştur.



Mt: milyon ton

Şekil 7.3 EU27’de atık tiplerine göre üretilen kompost miktarları (Barth ve ark. 2008).

Şekilde görüldüğü gibi arıtma çamurlarını en başarılı şekilde ayrı kompostlayan ülkeler sırasıyla Çek Cumhuriyeti, Fransa, İspanya, Finlandiya ve İtalya’dır.

Hollanda, İsviçre ve Almanya’da kompostu ormancılıkla kullanmak çok iyi sonuç vermiştir. Kompostla karıştırılan üst toprak tabakası çok iyi bir tohum yatağı olmakta ve bitkilerin köklenip gelişmesini teşvik etmektedir. Çok enteresan bir uygulama da Hollanda’da yapılmaktadır. Tavuk kümeslerinde kentsel atık kompostları, kümes içinde yer örtüsü olarak serilmektedir. Tavuk kümesinde 30-40 cm. yüksekliğinde biraz da saman ve diğer materyallerle karıştırılmış bir örtü olarak yayılır. Aynı zamanda ayrışma da devam eder. Cıvcıvlar de bu örtü üzerinde iyi gelişirler. Buradaki mikroplar kompost içinde üreyen antibiyotikler tarafından yok edilmektedir. Kompost ayrıca domuz yavrularının yemlerine ek olarak verilmektedir. Domuz ahırlarında her gün birkaç kürek olarak verilen kompostu hayvanlar çok sevmekte ve 15 dk. içinde yiyip bitirmektedirler.



Bu uygulamanın en iyi tarafı hastalıkları azaltması, zayıfatı düşürmesi ve hayvanların iyice gelişmesini sağlamaktadır (Erdin 2006).

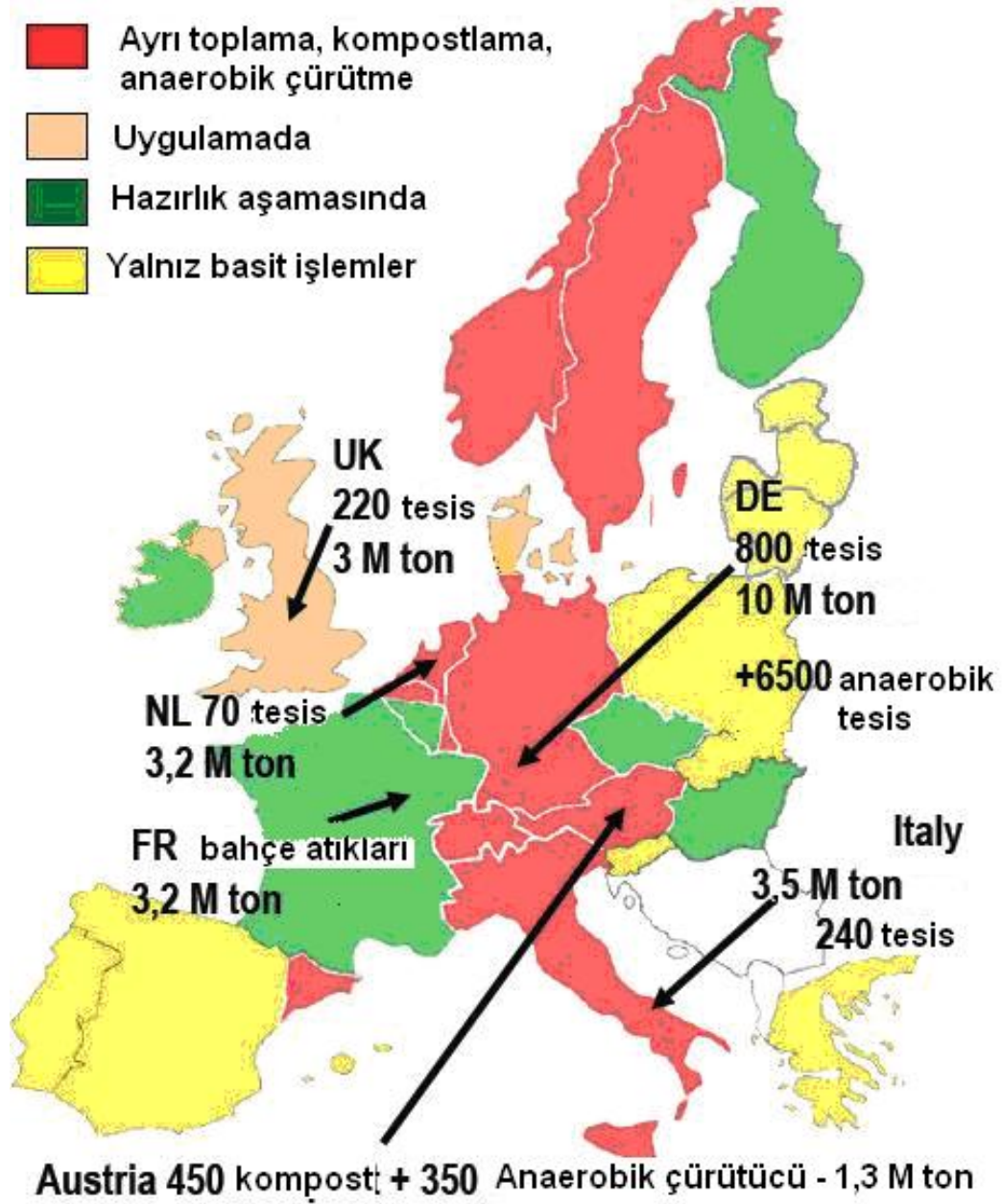
#### **7.4. Avrupa ve Amerika'da Anaerobik Çürütme**

Özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde gelişmiş olan hayvansal atıklarından anaerobik arıtma yöntemleri ile biyogaz üretim teknikleri yerel enerji üretim kaynaklarına çok fazla katkıda bulunmakta olup tüm dünyada örnek tesisler olarak gösterilmektedir. Gelişmiş ülkelerde çiftlik tipi anaerobik çürütücüler daha büyüktür ve üretilen biyogaz, ısı ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Bu tip reaktörler genelde tam karıştırmalı olarak tasarlanır ve uzun bekletme sürelerinde çalışırlar (Öztürk İ. ve ark. 2009).

Worldwatch Enstitüsü tarafından hazırlanan küresel durum raporu 'Renewables 2005'de dünya çapında ev halklarına ait küçük ölçekli 16 milyon adet anaerobik çürütücü olduğu belirtilmiştir (Last 2008).

Avrupa bulunan 27 ülkede 195 adet büyük kapasiteli bahçe atıkları anaerobik çürütme tesisi mevcuttur. Ayrıca tarımsal atıklar, hayvan atıkları ve organik atıklar için 7 500 adet anareobik tesis bulunmaktadır. Bunların toplam kapasitesi organik atıklar için 5,9 milyon ton/yıl olarak hesaplanmıştır ve yılda 2,5 GW elektrik üretilmektedir (Barth, 2011).

2009 verilerine göre Avrupa'nın potansiyel organik atık miktarı 115 milyon ton/yıl iken bunların yalnızca 32 milyon tonu anaerobik çürütme işlemine tabi tutulurken, 15 milyon tonu da kompostlanmıştır. Bu, toplam atığın yalnızca dörtte birini oluşturmaktadır ki henüz katedilecek çok yol vardır. Şekil 7.4.'de kompostlama ve anaerobik çürütmenin Avrupa ülkelerindeki son durumu gözlenmektedir (Barth 2011).

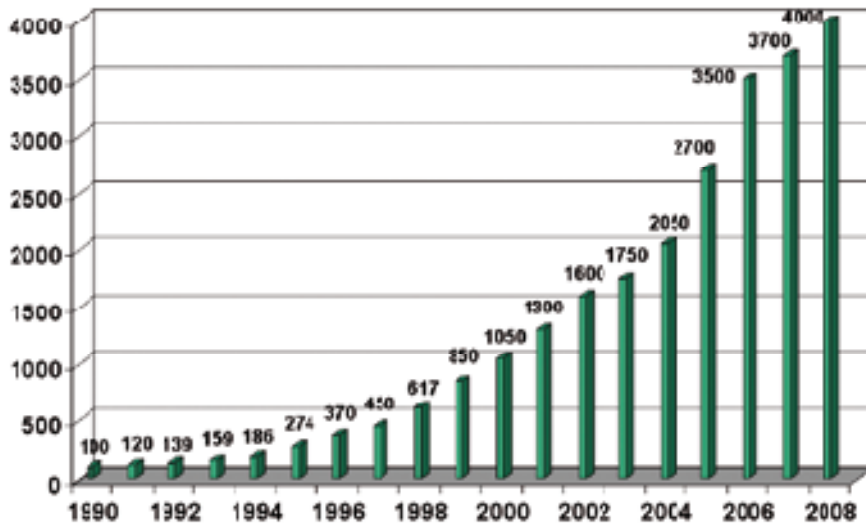


Şekil 7.4 Avrupa ülkelerinde kompost ve anaerobik çürütme prosesleri, işlenen atıklar (Barth 2011).

Almanya, Hollanda ve Danimarka modern anaerobik çürütücü sistemlerinde lider konumdadır. (Angelidaki ve ark. 2004). Günümüzde Avrupa’da Almanya, Fransa, İsviçre, İtalya, Avusturya ve Almanya’da 3 000’den fazla biyogaz tesisi hayvansal ve tarımsal atıkların arıtımı için anaerobik arıtımı kullanarak biyogaz üretmektedir (Tolay ve ark. 2008). Örneğin 2008 yılında yapılan bir araştırmada yalnız Almanya’da 3 900

adet biyogaz elektrik üretim santrali faaliyette olup bunların kurulu gücü 1 400 MW olarak hesaplanmıştır.

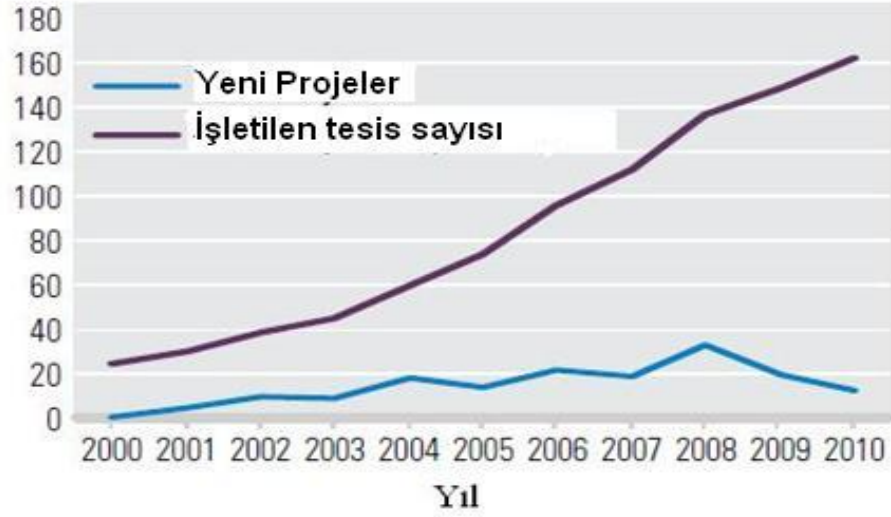
Yine Almanya’da 2000’li yıllarda yapılan çalışmada çiftlik tipi anaerobik çürütücülerin sayısı reaktör hacimleri 100 - 4 000 m<sup>3</sup> arasında olmak üzere yaklaşık 850 adettir. (Weiland 2009). Ayrıca 2000’li yıllarda Almanya’da kapasiteleri yaklaşık 45-350 ton/gün olan 14 adet büyük ölçekli merkezi anaerobik çürütücü mevcut olduğu tespit edilmiştir. (de Baere 2000). Şekil 7.5.’de Almanya’da bulunan anaerobik çürütücü sistemlerinin yıllara göre artışı gösterilmiştir.



Şekil 7.5 Almanya’daki anaerobik çürütücülerin sayıları (1990-2008) (Weiland 2009)

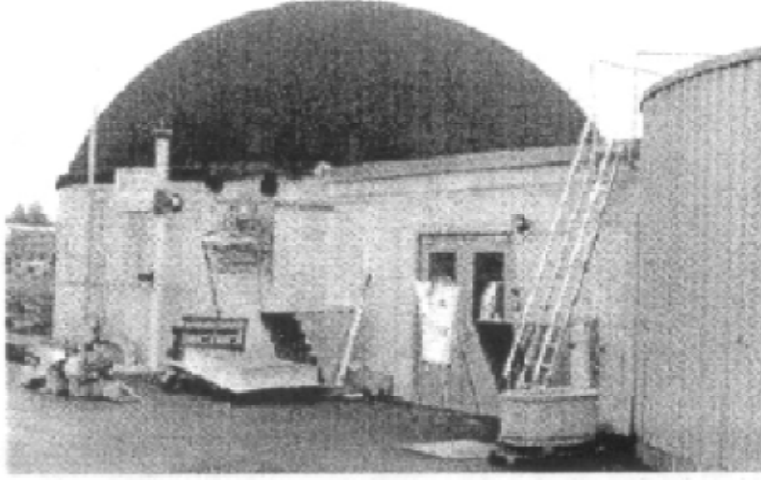
Avusturya’da yaklaşık 120, İsviçre’de 69 çiftlik tipi biyogaz tesisi mevcuttur. Amerika Birleşik Devletleri’nde 100 civarında çiftlik tipi anaerobik çürütücü mevcuttur ve Avrupa’da olduğu kadar yaygın değildir. Bu tesislerin % 57’si piston akışlı çürütücü, % 29’u tam karıştırmalı ve %8’i üzeri kapalı lagün şeklindedir (Öztürk İ. ve ark. 2009). 1998 yılında A.B.D. için yapılan bir araştırmada çiftlik tipi anaerobik çürütücülerin başarısız olma oranı %50’dir. Aynı verilere göre daha karmaşık anaerobik çürütücü sistemlerinin başarısız olma olasılığı örneğin; tam karışım için %63, kapalı lagün sistemleri için %12 olarak hesaplanmıştır. (Lusk 1998).

2010 yılı verilerine göre A.B.D.'de yalnız hayvansal atıklar için 162 adet anaerobik çürütücü işletmedir ve 13 yeni proje mevcuttur. (Şekil 7.6.) İşletmede olan anaerobik çürütücülerden 453 milyon kWh enerji üretilmektedir ve 1,1 metrik ton CO<sub>2</sub> yok edilmektedir. Ayrıca doğa, 246 000 metrik ton CO<sub>2</sub>'ten korunmaktadır.



Şekil 7.6 A.B.D.'de anaerobik çürütücü projelerinin yıllık sayıları (EPA 2010a).

Avrupa'da genellikle iki tip tasarım hakimdir: çatısı kauçuk olanlar (Şekil 7.7.) ile beton veya çelik olanlar. Her iki tip de silindriktir ve yükseklik/çap oranı 1:3 – 1:4 civarındadır ve zaman zaman karıştırılır. Atığın reaktörde hidrolik bekleme süreleri özellikle enerji bitkileri, ikincil substrat veya doğrudan enerji kaynağı olarak kullanıldığı zaman gereklidir.

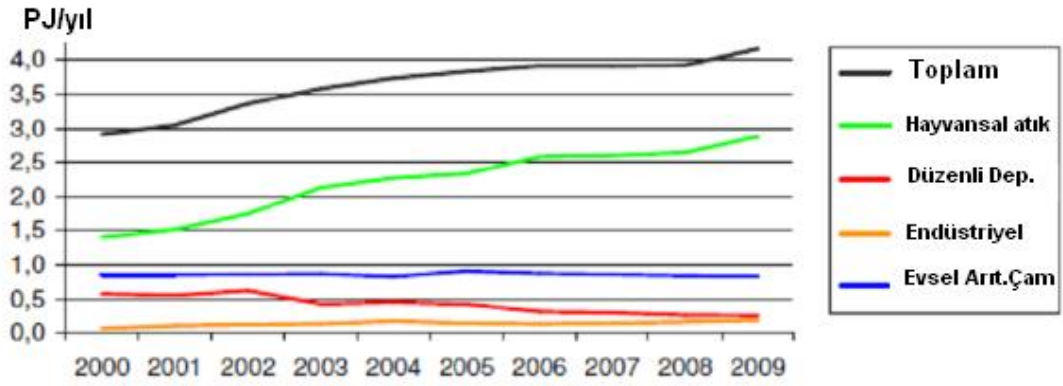


**Şekil 7.7** Avusturya Voralberg’te tepesi kauçuk membranla kaplı çiftlik tipi biyogaz tesisi (Öztürk İ. ve ark. 2009).

Çürütücülerin boyutları gittikçe artmaktadır. Örneğin Almanya’da ortalama kurulu elektrik kapasitesi 1999’da 50 kW iken, 2002’de 330 kW’a çıkmıştır. Çiftlik tipi tesislerden elektrik üretimini boyutlandırırken bir kW için 5 – 8 inek/sığır rakamı kullanılabilir. Hayvan atıkları bir tankta toplanır ve ikincil substratlar ilave edilir. Sistemde parçalayıcı varsa katı substratlar da ilave edilebilir. Ancak yeni tesislerde katı substratlar, vidalı iletici kullanılarak doğrudan reaktöre ilave edilmektedir (Öztürk İ. ve ark. 2009).

Merkezi anaerobik çürütme sistemleri konusunda çok büyük tecrübelerine sahip olan Danimarka’da 18 adet merkezi anaerobik çürütücü sistemi mevcuttur. (Angelidaki ve ark. 2004). Diğer ülkelerdekine aksine Danimarka merkezi biyogaz tesisleri kurmuştur. Çiftliklerden toplanan atıkları merkezi biyogaz tesislerinde gaz üretiminde kullandıktan sonra, gazı merkezi doğal gaz şebekesine vermekte ve çıkan gübreyi tekrar çiftçilere dağıtmaktadır (Tolay ve ark. 2008). Danimarka’da ilk biyogaz üretim tesisi 1980’li yılların başında kurulmuş olup tesis sayısı tüm ülke geneline yayılarak bir program çerçevesinde artış göstermiştir. Bu tesislerde reaktör kapasiteleri 500 – 7 500 m<sup>3</sup> arasında değişim göstermektedir. 1996 yılı başında ülkede tüm tesislerde üretilen biyogaz miktarı net 3,4 milyon m<sup>3</sup> olmuştur. Bu miktar yılda 20 000 ton fuel-oil’e eşdeğer enerji içermektedir (Anonim 2001). Bu ülkede 1 500 - 2 500 büyük baş hayvan

atığını arıtan örnek biyogaz tesisleri ile bu konuda önderdir. Tesisler 1 000 – 15 000 m<sup>3</sup>/gün biyogaz üretecek kapasitededir.



**Şekil 7.8** Danimarka’da biyogaz üretimi 2000-2009 (PJ/yıl) (Anonim 2010a). PJ: Petajoule ( $10^{15}$  Joule)

Şekil 7.8.’de görüldüğü gibi Danimarka, anaerobik çürütücülerini çoğunlukla hayvansal atıkların çürütülmesi için tasarlamaktadır. En çok biyogaz eldesi hayvansal atıklardandır.

Benzer şekilde Çin ve Hindistan’da ve daha pek çok ülkede hayvansal ve tarımsal atıklar biyogaz tesislerinin yaygın olarak kullanıldığı bilinmekte ve bu konularda araştırma ve geliştirme faaliyetlerine hızla devam etmektedir. Güney Amerika’da ise biyogaz tesislerinin en yoğun olarak kullanıldığı ülke Brezilya’dır (Tolay ve ark. 2008). Bangladeş, Bolivya, Burundi, Fildişi Sahilleri, Tanzanya ve Tayland gibi hızla gelişmekte olan ülkelerde insan ve hayvan dışkılarında sabit çatılı (Çin tipi) ve yüzer çatılı (Hindistan tipi) güvenilir olmayan ve düşük verimli anaerobik olarak çürütücüler ile biyogaz elde edilmektedir. (Omer ve Fadalla, 2003). Bu tesisler çoğunlukla devletle ilişkin olmayan organizasyonlarda, okullarda ve küçük çiftliklerde inşa edilmektedir. Bu tesislerin çoğu kısa dönemler için ve kötü teknik koşullarda yönetilmektedir. Doğuda ve güney Afrika’da anaerobik çürütücüler potansiyel olmasına rağmen henüz başlangıç aşamasındadır. (Gijzen 2001).

Gelişmekte olan ülkelerdeki biyogaz tesisi sayısı Çizelge 7.5.’de verilmiştir.

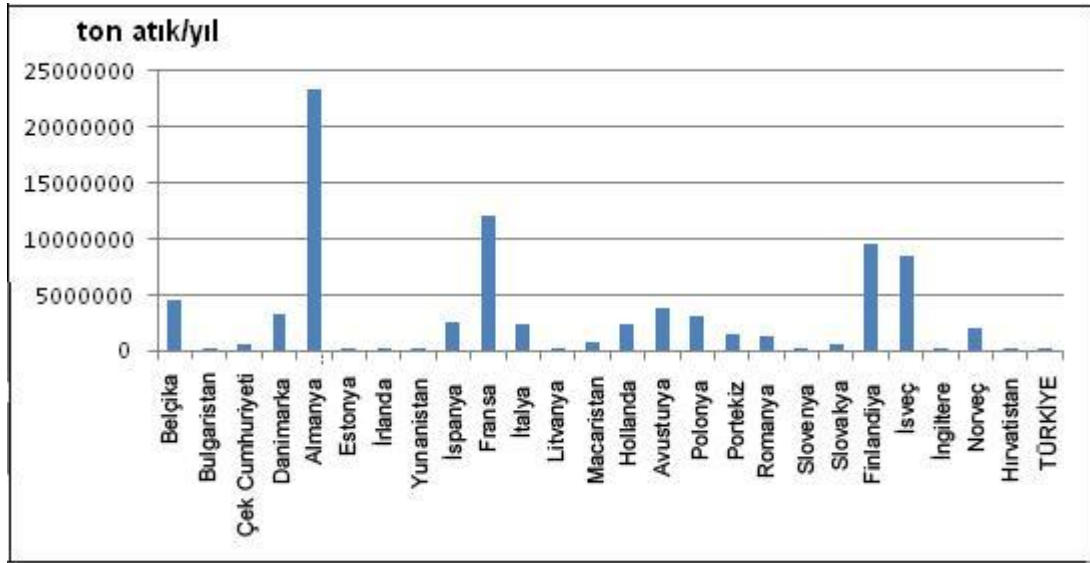
**Çizelge 7.5.** Gelişmekte olan ülkeler veya kıtalarda biyogaz tesisleri (Türker 2003)

Ülke veya Kıta	Adet
Çin	4 700 000
Hindistan	1 200 000 (2 500 000**)
Asya*	11 989
Güney Amerika	9 567
Afrika	1 060

\*Hindistan ve Çin dışındaki diğer Güney Asya ülkeleri \*\*1997 verileri

Ayrıca Güney Amerika’da bulunan toplam 9 567 tesisin 8 300’ünün Brezilya’da olduğu belirtilmiştir.

Avrupa Birliği istatistik verilerinden toplam üretilen atığın enerjiye dönüştürülmesi Şekil 7.9.’da verilmiştir.



**Şekil 7.9** Avrupada atıklardan enerji eldesi (2010) (<https://ec.europa.eu/eurostat>, 2011)

Şekil 7.9.’da dönüştürülen atıkların bir kısmı anaerobik yöntemler ile gerçekleştirilmektedir. Bu şekil ile Türkiye’nin durumu da ortaya çıkmaktadır.

## 7.5. Avrupa Birliği'nde Kompostlama ve Anaerobik Çürütme Teknolojilerinin Kullanımlarının Karşılaştırılması

**Çizelge 7.6.** Avrupa Birliği üye ülkelerinin organik atıkların arıtımında kullandıkları opsiyonlar (Barth ve ark. 2008)

Ülke Kodu	Biyoatık ve bahçe atıkları için kompost	Anaerobik çürütme	Belediyeye ait karışık katı atıklar için kompost	Mekanik biyolojik arıtma	Düzenli depolama	Yakma
AT	x	x		x		x
BE	x					x
CY					x	
CZ	x				x	x
DE	x	x		x		x
DK	x (Bahçe Atıkları)					x
EE	x				x	
ES	x	x	x		x	x
FI	x	x		x	x	
FR	x		x		x	x
GR				x	x	
HU	x			x	x	
IR	x	x		x	x	
IT	x			x		x
LT	x	x		x	x	
LU	x	x			x	
LV					x	
MT					x	
NL	x					x
PL	x		x	x	x	
PT	x	x	x	x	x	x
SE	x	x				x
SI	x			x	x	
SK	x				x	
UK	x	x		x	x	
<b>Toplam</b>	<b>21</b>	<b>10</b>	<b>4</b>		<b>18</b>	<b>11</b>

Kıbrıs, Yunanistan, Letonya ve Malta atıklarını anaerobik çürütme veya kompostlama yoluyla bertaraf etmemektedirler. Ayrıca Belçika, Çek Cumhuriyeti, Estonya, Fransa, İtalya, Slovenya ve Slovakya anaerobik çürütme prosesini kullanmamaktadır.



## 7.6. Bölüm Değerlendirmesi

Ülkemizde hem anaerobik çürütme hem kompostlama, Avrupa ülkelerine göre çok geri kalmıştır. Proseslerin ayrı ayrı sayıları Avrupa ülkelerinde “yüzlerle” ifade edilebilirken Türkiye’deki anaerobik çürütme ve kompost tesislerinin toplam sayısı “onlarla” bile güçlkle ifade edilebilmektedir. Ülkemizde katı atıkların düzenli depolanması dahi yetersiz kaldığından hayvansal atıklardan ve arıtma çamurlarından biyogaz eldesi henüz söz konusu bile değildir. Ülkemizde “numunelik” diyebileceğimiz birkaç adet kompost ve biyogaz tesisleri işletme halindedir. Ancak Avrupa Birliği uyum yasaları çerçevesinde bu konuda ‘Avrupa’nın zoruyla’ ilerleme kaydetmemiz bir umut olarak karşımıza çıkmaktadır.

Türkiye’de an itibariyle yalnız İstanbul, İzmir, Denizli ve Antalya illerinde kompost tesisleri mevcuttur. Hayvancılığın daha gelişmiş olduğu Afyon, Kayseri, Çorum, Manyas, Bursa ve doğu bölgelerimize kompost veya anaerobik çürütme yöntemlerinin getirilmesi şu an gündemde değildir.

Türkiye kompost tesislerinde işlenen atık miktarı bakımından 1995 yılından bu yana ilerleme kaydedememiştir. Anaerobik çürütücülerde ise özel sektörün kar amaçlı politikaları ve mevzuat gereksinimleri sayesinde ülke çapında üretilen biyogaz miktarında çok önemli olmayan bir artış yaşanmıştır.

Türkiye’nin Uluslararası Enerji Ajansına 2010 yılında hazırlanan raporda Türkiye’de Hayvansal atıkların ve arıtma çamurlarının anaerobik olarak çürütülmediği belirtilmiştir. Ayrıca bu raporda, gündemde yeni bir projenin de olmadığı yer almaktadır. Diğer Avrupa ülkelerinin Uluslararası Enerji Ajansına hazırladığı raporlar da incelenmiştir ve bu raporların hemen hemen hepsinde yeni tesisler için yeni projeler yer almaktadır.

Avrupa’da da her ülkenin biyoatıkların ve bahçe atıklarının kompostlanmasında başarılı olduğu söylenemez. Bulgaristan, Kıbrıs Rum Kesimi, Estonya, Yunanistan, Litvanya, Letonya, Malta, Romanya ve Slovenya’da biyoatıklar ve bahçe atıkları kompostlanmamaktadır. Ayrıca Finlandiya, Çek Cumhuriyeti, Estonya, Letonya, Litvanya, Polonya, Slovakya, Slovenya, Yunanistan, İspanya, Portekiz, Malta,

Makedonya ve Bulgaristan Avrupa Birliği raporlarında kompost ve anaerobik çürütme proseslerinin uygulanmasında yetersiz görünmektedirler. Her Şeye rağmen Avrupa'da her 5 yılda bir anaerobik çürütücü tesislerinin sayıları ikiye katlanmaktadır.

Bildiğimiz gibi ÷lkemiz enerji bakımından dışa bağımlı bir devlettir. Bu bağımlılığı yenebilmek için hükümetin enerji politikalarında nükleer enerji santrali kurma vardır. Ancak yakın zamanda Japonya'da olan deprem nedeniyle FukuŐima Nükleer Santrali ÷lkeyi ve dünyayı oldukça etkilemiŐtir. Böylelikle nükleer santral karŐıtlarında artış olmuştur. Bu konuyu tartıŐarak zaman kaybetmek yerine hükümetin bir an önce faaliyete geçip Türkiye'nin enerji sorununu çözmeye gerekmektedir. Burada konu, nükleer enerji santrallerinin yapılıp yapılmaması değildir. Biyogaz tesislerine de en az nükleer enerji santralleri kadar önem verilmesi gerektiğidir.

## 8. TÜRKİYE’DE VE AVRUPA BİRLİĞİNDE KOMPOST VE ANAEROBİK ÇÜRÜTME İLE İLGİLİ YASAL DÜZENLEMELER

### 8.1. Türkiye’de Stabilize Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılması

27661 sayılı “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik”de (2010) ham çamurun toprakta kullanılması yasaklanmıştır. Bu yönetmelikle beraber arıtma çamurları yalnız başına anaerobik çürütme veya kompostlama işlemlerinden geçirildiği takdirde üretilen gübre veya toprak şartlandırıcısı Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından denetime tabidir. Stabilize arıtma çamurunun meyve ağaçları hariç olmak üzere toprağa temas eden ve çiğ olarak yenilen meyve ve sebze ürünlerinin yetiştirilmesi amacıyla kullanılan topraklarda, doğal ormanlarda, taban suyu seviyesi yüzeyden 1 metreden daha sığ derinlikte olan yerlerde kullanılması da yasaklanmıştır. Stabilize arıtma çamurlarının sulak alanlar, taşkın alanlarında ve taşkın tehlikesi olan alanlarda, don ve karla kaplı alanlarda, sature toprakta uygulanması yasaktır. Organik madde içeriği %5’den fazla olan topraklarda stabilize arıtma çamuru uygulanmaz. Organik madde içeriği %40’dan az olan stabilize arıtma çamurları toprağa uygulanmaz. Toprağın pH’ının 6’dan düşük olduğu durumlarda stabilize arıtma çamuru kullanılması yasaktır. Eğer kullanılacak toprağın yüzey akış riski varsa tedbirler stabilize arıtma çamuru kullanılmadan önce alınmalıdır. Eğimi % 12 yi geçen alanlarda kullanımı yasaklanmıştır. Toprağa uygulanacak stabilize arıtma çamurunun pH değeri 6,0-8.5 arasında olmalıdır.

Yönetmelikteki kıstaslar göz önünde bulundurularak stabilize arıtma çamurunun toprağa uygulanabilmesi için toprakta ve çamurda bulunabilecek ağır metal sınır değerleri çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 8.1.** Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'ine göre toprakta ve stabilize arıtma çamurunda bulunabilecek ağır metal sınır değerleri (03.08.2010 t. 27661 s. R.G.)

Element	Toprak (mg/kg KM)		Çamur (mg/kg KM)
	6≤pH<7	pH≥7	
Cd	1	1,5	10
Cr	60	100	1 000
Cu	50	100	1 000
Hg	0,5	1	10
Ni	50	70	300
Pb	70	100	750
Zn	150	200	2 500

**Çizelge 8.2.** Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'ine göre toprağa uygulanabilecek stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri (03.08.2010 t. 27661 s. R.G.)

Organik Bileşikler	Sınır Değerler (mg/kg KM)
AOX	500
LAS	2 600
DEHP	100
NPE	50
PAH	6
PCB	0,8
<b>Dioksinler</b>	<b>Sınır Değerler (Ng TE/kg KM)</b>
PCDD/F	100

Ek I-D'de Mikrobiyolojik analiz başlığında Arıtma çamuruna uygulanan stabilizasyon yöntemi sonucunda *E. Coli*'nin en az 2 Log<sub>10</sub> (% 99) indirgenmesi istenmektedir. Bu yönetmelikte *Salmonella* için herhangi bir değer belirtilmemiştir.

**Çizelge 8.3.** Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'ine göre toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri (03.08.2010 t. 27661 s. R.G.)

<b>Ağır Metal (Toplam)</b>	<b>Sınır Yük Değeri (g ha<sup>-1</sup>yıl<sup>-1</sup>, kuru madde)</b>
Cd	30
Cr	3 000
Cu	3 000
Hg	30
Ni	900
Pb	2 250
Zn	7 500

## **8.2.Türkiye’de Hayvansal Atıkların Tarımda Kullanılması**

Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler ile Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik (04.06.2010 t. 27601 s. R.G.) ‘de hayvansal atık içerikli ürünlerin üretilmesi toprağa uygulanması ve piyasaya arzı için bazı kıstaslar getirilmiştir. (Ek-1) (Çizelge 8.4.).

**Çizelge 8.4.** Hayvansal içerikli organik gübrelerin üretim ve pazarlama kriterleri  
(04.06.2010 t. 27601 s. R.G.)

Gübreler	Ürün Tanımı	Ürünün hammadde muhtevası, miktarı ile bünyesinde bulunması gereken bitki besin maddesi içeriği ve diğer kriterler	Etiket üzerinde beyan edilmesi gereken zorunlu içerik
Katı Gübresi	Çiftlik Döşemelerdeki altlıklı veya altlıksız hayvan dışıklarının ihtimarı (olgunlaştırılması/kompostlaştırılması neminin uzaklaştırılması/ azaltılması sonucu elde edilen ürün.	Organik madde en az % 40 Toplam azot en az : % 1 Maksimum nem : % 20	-Organik madde -pH ve EC (dS/m) -Toplam azot -Organik azot -Maksimum nem -Suda çözünür potasyum oksit (K <sub>2</sub> O) ( % 1'i geçerse) - C/N -Toplam fosfor pentaoksit (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) ( % 1'i geçer ise) - Toplam(Hümik+Fülvik) asit ( % 1'i geçerse)
Kanatlı Hayvan ve Yarasa Gübresi	Katı Kümes hayvanlarının altlıklı veya altlıksız dışıklarının aerobik kompostlaştırılması ve neminin uzaklaştırılması/azaltılması sonucu elde edilen ürünler veya diğer kanatlı hayvan dışıklarının doğal ortamlarında ihtimarı (olgunlaşması) veya aerobik kompostlaştırılması ve neminin uzaklaştırılması/azaltılması sonucu elde edilen ürünler.	Organik madde en az : % 40 Azot ve fosfor pentaoksit (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) toplamı en az : % 2 Maksimum nem : %20 C/N=15-25 (yarasa gübresi hariç)	-Organik madde - pH ve EC (dS/m) -Toplam azot -Organik azot -Toplam fosfor pentaoksit (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) -Suda çözünür potasyum oksit (K <sub>2</sub> O) ( % 1'i geçer ise) - Toplam(Hümik+Fülvik) asit ( % 1'i geçer ise) -Maksimum nem -C/N -Ürünün kaynağı tip isminde belirtilecektir.
Fermentasyon Sonucu Edilen Organik Gübre	Evsel atıkların ve/veya Hayvan dışıklarının tekli veya karışımlarının anaerobik fermentasyonu ve aerobik hijyenizasyonu sonucu elde edilen ürün.	Organik madde en az: % 15 Üründe kullanılan hammaddeler proses de belirtilecektir.	- Organik madde -Toplam azot -Organik azot -Toplam (hümik+ fulvik) asit (%2'yi geçer ise) -Serbest aminoasitler (%2'yi geçer ise) - Toplam azot ( % 1'i geçerse) - Suda çözünür potasyum oksit(K <sub>2</sub> O) - Toplam fosfor pentaoksit (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) ( % 1'i geçerse)

Bu yönetmelikte ayrıca evsel kaynaklı ve bitkisel menşeli kompost için ayrı sınırlamalar mevcuttur.

2010 yılında resmi gazetede yayımlanan ‘‘Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler ile Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı ve Piyasaya Arzına Dair yönetmelik’’de (04.06.2010 t. 27601 s. R.G.) Çevre ve insan sağlığını korumak amacıyla elde edilen gübredeki ağır metal oranları Çizelge 8.5.’de verilmiştir.

**Çizelge 8.5.** Elde edilen gübredeki maksimum ağır metal oranları (ppm) (04.06.2010 t. 27601 s. R.G.)

<b>Ağır Metal</b>	<b>Simge</b>	<b>İzin verilen Maksimum Değer (ppm)</b>
Kadmiyum	(Cd)	3
Bakır	(Cu)	450
Nikel	(Ni)	120
Kurşun	(Pb)	150
Çinko	(Zn)	1 100
Civa	(Hg)	5
Krom	(Cr)	350
Kalay	(Sn)	10

\*Sadece hayvansal orijinli organik gübrelerin üretiminde kullanılan hammaddelerde ve mamul ürünlerde aranır.

\*Yukarıda belirtilmeyen ve zararlı olabileceği bilimsel verilerle sonradan ortaya konan ağır metaller için Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ortak Kodeks Alimentarius\*\* kriterlerine uyulur.

Hayvanların altlıklı veya altlıksız dışkıları kullanılarak elde edilen organik gübrelerdeki zararlı mikroorganizma seviyeleri çizelgedeki değerleri geçemez.

---

\*\***Kodeks alimentarius komisyonu:** Uluslararası alandaki tüm gıda standart çalışmalarında eşgüdümü sağlamak, gıda standart taslaklarının hazırlanmasında öncelikleri belirlemek, belirlenen standartları bölgesel düzeyde veya dünya genelinde yaygınlaştırmak ve bir gıda kodunda toplamak amacıyla 1963 yılında Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından kurulan komisyondur.

**Çizelge 8.6.** Hayvanların altlıklı veya altlıksız dışkıları kullanılarak elde edilen organik gübrelerdeki zararlı mikroorganizma seviyeleri (04.06.2010 t. 27601 s. R.G.)

<b>Mikroorganizma</b>	<b>İzin Verilen Maksimum Değer</b>
Fekal koliform	$<1,0 \times 10^3$ kob/g veya kob/ ml
Toplam koliform	$<1,0 \times 10^5$ kob/g veya kob/ ml
Salmonella spp.	$<3$ MPN/4 g veya ml
H5N1 (Sadece kanatlı hayvan gübresi için)	Yok
Kuduz virüsü analizi(Yarasa gübresi için)	Yok

\*Yukarıda belirtilmeyen ve zararlı olabileceği bilimsel verilerle sonradan ortaya konan mikroorganizmalar için Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ortak kodeks alimentarius kriterlerine uyulur.

### 8.3. Ülkemizde Kompost ile İlgili Diğer Yasal Düzenlemeler

Toprak ve Su Kirliliği Yönetmeliğinde ise Kompostun toprakta kullanılabilmesi için gerekli koşullar şu şekildedir;

- a) C/N oranının 35 den daha büyük olması halinde kompost reaksiyonunun optimum şartlarda cereyan edebilmesi için reaktörde komposta 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 gerekmektedir.

Kompost'un kullanılabilmesi için Toprak'ta öngörülen limit değerler Ek I-A'da Toprak Kirlilik Parametreleri Sınır Değerleri bölümünde verilmektedir.



**Çizelge 8.7.** Kompostun kullanılabilmesi için toprakta öngörülen limit değerler (31.05.2005 t. 25831 s. R.G.)

<b>Ağır Metal (Toplam)</b>	<b>pH 5- 6 (mg/kg)</b>	<b>pH&gt;6 (mg/kg)</b>
	<b>Fırın Kuru Toprak</b>	<b>Fırın Kuru Toprak</b>
Kurşun	50	300
Kadmiyum	1	3
Krom	100	100
Bakır	50	140
Nikel	30	75
Çinko	150	300
Civa	1	1,50

EK 1-C kısmında yer alan Kompost'un ağır metal yükü sınır değerleri ise Çizelge 8.8.'de verilmiştir.

**Çizelge 8.8.** Kompostun ağır metal yükü sınır değerleri (31.05.2005 t. 25831 s. R.G.)

<b>Ağır Metal (Toplam)</b>	<b>Sınır Yük Değeri (gr/da/yıl, kuru maddede)</b>
Kurşun	1 500
Kadmiyum	15
Krom	1 500
Bakır	1 200
Nikel	300
Çinko	3 000
Civa	10

Ayrıca SKKY'de ‘‘Yeraltı Suları ile İlgili Kirletme Yasakları ve Düzenlemeler’’ başlığı altında L Maddesinde; Gübrelemede, Tarım ve Köyişleri Bakanlığının ilgili birimlerince gerekli miktar hesapları detaylı olarak belirlenir ve fazla gübre kullanılmamasına ilişkin denetlemeler yapılır.

#### 8.4. Ülkemizde Anaerobik Çürütme ile İlgili Diğer Yasal Düzenlemeler

Türkiye’de, atıklardan geri kazanılan biyogazın ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerjinin üretimi ve satışı ile ilgili uygulamalar başlıca aşağıdaki mevzuat çerçevesinde yürütülmektedir.

- Kanun No: 5346 – Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına Dair Kanun (10.05.2005)
- Kanun No: 5627 – Enerji Verimliliği Kanunu (18.04.2007)
- Kanun No: 5784 – Elektrik Piyasası Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun (9.07.2008)
- Resmi Gazete No: 25956 – Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi Verilmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik (4.10.2005)

Mevcut mevzuat çerçevesindeki uygulama esasları aşağıda özetlenmiştir:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin satışı ile ilgili olarak üretim lisansı sahibi tüzel kişiye EPDK tarafından 25956 no.’lu resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren yönetmeliğe göre Yenilenebilir Enerji Kaynak (YEK) Belgesi verilir. (Yalnızca kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kurulu gücü 200 kW’den az olan üretim tesisi ile mikrokojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişiler, lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaftır.)
- 31.12.2011’den önce işletmeye giren tesislerin üreteceği elektrik enerjisi 10 yıl süreyle her yıl için EPDK’nın bir önceki yıla ait Türkiye ortalama enerji toptan satış fiyatı üzerinden satın alınır. **Ancak satın alınan elektrik enerjisi birim fiyatı 0,05 Avro/kWh’den az, 0,055 Avro/kWh’den fazla olamaz.**
- Mevcut mevzuatta, atıklardan yenilenebilir enerji üretmek amacıyla kurulacak merkezi biyogaz tesislerine uygulanan özel bir yatırım veya MWh enerji üretimine bağlı enerji üretim teşvikine dair bir hüküm bulunmamaktadır. Aynı şekilde bu tesislerde arıtılan atıklar için merkezi tesis sahiplerince atık bertaraf ücreti alımı izni ile üretilen enerjinin enerji tüketim vergisinden muaf tutulmasına dair hükümler de henüz düşünülmemiştir. Dolayısıyla Türkiye’de halen yürürlükte olan yenilenebilir enerji üretimi ve satışına dair mevzuat,

merkezi biyogaz tesislerinin yaygınlaştırılarak organik atıkların arıtımı, sera gazı azaltımı ve yenilenebilir enerji ile gübre değeri yüksek madde geri kazanımı uygulamalarının artırılmasını teşvik edici nitelikte olmaktan oldukça uzaktır.

Hayvansal atıkların ve arıtma çamurlarının da içinde yer aldığı biyolojik olarak ayrışabilir atıkların yönetimine ilişkin başlıca AB direktifleri aşağıda ana hatlarıyla kısaca özetlenmiştir. AB Düzenli Depolama Direktif’inde (LD, 1999) biyolojik olarak ayrışabilir atıkların düzenli depolama alanlarına kalanlar ile ilgili belli kısıtlar ön görülmektedir. Buna göre ilk olarak 1995 yılı itibariyle toplam biyolojik olarak ayrışabilir katı atık üretimleri esas alınarak, en geç 2010, 2013, ve 2020 yılları için düzenli depolama alanlarına kabul edebilecekleri biyolojik olarak ayrışabilir katı atık (kentsel katı atık, arıtma çamurları, hayvansal atıklar, v.b) miktarlarının sırası ile 1995 yılındaki değerin %75, %50, ve %35 olması gerekmektedir. Dolayısıyla organik kentsel atıkların dahi 2020 yılına kadar %90’ından fazlasının düzenli depolama alanı dışına yönlendirilmesi gerektiğinden, diğer organik atıkların düzenli depolama alanlarında bertarafı pratik olarak mümkün görülmemektedir. AB uyumu çerçevesinde, bu direktifin **Türkiye’de de en geç 2023 yılına kadar uygulanması öngörülmektedir.**

Türkiye’de suyla kürenerek sonrasında fizikokimyasal ve/veya biyolojik proseslerle arıtılıp alıcı ortamlara deşarj edilen çiftlik atıkları ile ilgili alıcı ortama deşarj limitleri Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’nde verilmektedir. İlgili deşarj limitlerine göre, 24 saatlik ortalama olarak  $KOİ \leq 400$  mg/lt,  $AKM \leq 150$  mg/lt,  $NH_4-N \leq 15$  mg/lt,  $PO_4-P \leq 2$  mg/lt ve  $pH=6-9$  olması gerekmektedir. Bu limitlere ulaşılabilmesi için, Biyolojik Azot ve Fosfor giderimli Membran Biyoreaktör’de arıtma sonrası Nanofiltrasyon gibi pahalı ileri arıtma teknolojilerinin kullanımı gerekmektedir. Dolayısıyla hayvansal atıkların yönetiminde aerobik veya anaerobik kompostlaştırma yoluyla biyogübre ve yenilenebilir enerji geri kazanımı daha sürdürülebilir bir seçenek olarak düşünülmelidir.

## 8.5. Avrupa Birliğinde Stabilize Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılması

Avrupa Birliği Arıtma Çamurları ile ilgili düzenlemeler aşağıdaki yönetmeliklerdir.

- Kentsel atıksu arıtma direktifi (*Urban Wastewater Treatment Directive - 91/271/EEC*)
- Arıtma çamurlarının tarımda kullanılmasına dair direktif (*Sewage Sludge Reused in Agriculture Directive -86/278/EEC*)
- Atık çerçeve direktifi(*Waste framework Directive 2006/12/EC*)
- Depolama direktifi(*Landfill Directive 1999/31/EC*)
- Çalışma belgesi(*3rd draft of a Working Document on Sludge, April 2000*)

Direktif 86/278/EEC arıtma çamurlarının tarımda kullanılmasına yönelik genel kuralları içermektedir. Çamurun emniyetli olarak tekrar kullanımının yaygınlaştırılması; bitki, toprak ve insan üzerindeki zararlı olabilecek etkilerin önlenmesi gerekmektedir. Bu direktife göre arıtma çamurları tarımda kullanılmadan önce mutlaka işleme tabi tutulmalıdır. Arıtma çamurlarının toprağa uygulanabilmesi için toprakta ve çamurda bulunabilecek ağır metal limitleri Çizelge 8.9’da verilmiştir.

**Çizelge 8.9.** Avrupa Birliği’nin arıtma çamurlarının tarımda kullanılmasına dair direktifine göre toprakta ve stabilize arıtma çamurunda bulunabilecek ağır metal sınır değerleri (86/278/EEC, 2006)

Element	Toprak (mg/kg KM) (pH 6-7)	Çamur (mg/kg KM)
Cd	1-3	20-40
Cu	50-140	1 000-1 750
Hg	1-1,5	16-25
Ni	30-75	300-400
Pb	50-300	750-1 200
Zn	150-300	2 500-4 000

Çamur analizleri her 6 ayda bir , eğer bir değişiklik yoksa her yıl bir kez yapılmalıdır.

Arıtma çamurunun tarımda uygulanabilirliği için Avrupa Birliğinin çıkardığı direktif haricinde her ülkenin kendine ait sınırlamaları da mevcuttur. (Çizelge 7.10.)

**Çizelge 8.10.** Avrupa’da arıtma çamurunun tarımda kullanılabilmesi için bazı ülkelerin ağır metal sınır değerleri (Al Seadi 2001)

Element	AT	BE	DK	DE	FR	IT	NL	SE	UK
Cd	4	6	0,8	10	20	20	1,25	2	-
Cu	400	375	1 000	800	1000	1000	75	600	-
Hg	4	5	0,8	8	10	10	0,75	2,5	-
Ni	100	50	30	200	200	300	30	50	-
Pb	500	300	120	900	800	750	100	100	1 200
Zn	1 000	900	4 000	2 500	3 000	2 500	300	800	-

Avrupa Birliği Komisyonu tarafından toprağa uygulanabilecek stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri de belirtilmiştir.(Çizelge 8.11.)

**Çizelge 8.11.** Avrupa Birliği’nin arıtma çamurlarının tarımda kullanılmasına dair direktifine göre toprağa uygulanabilecek stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri (86/278/EEC)

Organik Bileşikler	Sınır Değerler (mg/kg KM)
AOX	500
LAS	2 600
DEHP	100
NPE	50
PAH	6
PCB	0,8
Dioksinler	Sınır Değerler (Ng TE/kg KM)
PCDD/F	100

**Çizelge 8.12.** Avrupa Birliği'nin arıtma çamurlarının tarımda kullanılmasına dair direktifine göre toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri (86/278/EEC)

Ağır Metal (Toplam)	Sınır Yük Değeri (g ha <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> , kuru madde)
Cd	150
Cr	-
Cu	12000
Hg	100
Ni	3000
Pb	15000
Zn	30000

### 8.6. Avrupa Birliğinde Hayvansal Atıkların Tarımda Kullanılması

1 Mayıs 2003 yılında Avrupa Birliği insan tüketimine yönelik olanlar hariç hayvansal atıklardan üretilen ürünler direktifine göre hayvansal atıklardan üretilen biyogübre tarımda kullanılabilir.

**Çizelge 8.13.** Avrupa Birliği Organik Tarım Direktifi ile çürütülmüş gübrede bulunabilecek ağır metal sınır değerleri (Pfundtner 2009)

Element	Sınır Değeri (mg/kg KM)
Cd	0,7
Cr	70
Cu	-
Hg	0,4
Ni	25
Pb	45
Zn	-

Avrupa Birliği'nin çıkarmış olduğu 2002/91 nolu yasaya göre gübrelerin tanımlamaları, içerik gereksinimleri ve kullanım şartları Çizelge 8.14.'de verilmiştir.

**Çizelge 8.14.** Avrupa Birliğinde gübrelerin tanımlamaları, içerik gereksinimleri ve kullanım şartları (EU Regulation No 2092/91)

<b>Gübre Tipi</b>	<b>Tanım, İçerik gereksinimi, kullanım şartları</b>
Sıvı hayvan atıkları (üre, dışkı vs.)	- kontrollü fermantasyondan ve/veya uygun seyreltmeden sonra kullanılmalıdır. - Denetimi yapılmalı ve gerekli izinler alınmalıdır. - Hayvanın cinsi belirtilmelidir. - Tarımsal kökenli fabrikalarda kullanımı yasaktır.
Kompostlanmış hayvan atıkları	- Denetimi yapılmalı ve gerekli izinler alınmalıdır. - Hayvanın cinsi belirtilmelidir. - Tarımsal kökenli fabrikalarda kullanımı yasaktır.

### **8.7. Dünyada Kompost ile İlgili Diğer Yasal Düzenlemeler**

Kompostlamada nihai ürünün kalite güvencesi önemlidir. Kompostlamayı planlarken nihai ürün kalitesi, kompost işlemi ve kompost teknikleride etraflıca düşünülmelidir. Avusturya, Almanya, Danimarka, Hollanda ve Belçika gibi yerleşik kompost sistemi olan ülkelerde kalite güvencesinin rolü büyüktür. Kalite güvence organizasyonları sırasıyla Almanya’da Kompost Kalite Güvence Organizasyonu (CQAO), Avusturya’da KGVÖ, Belçika’da VLACO ve Hollanda’da VVAV’dır. Avrupa’da kalite güvence sistemi ham madde, girdi kontrolü, zararlı madde miktarı, komposttaki değerli maddelerin kalite kriteri, kompostlama üretimi, dıştan kontrol (ürün ve/veya üretimin), ürün kalite etiketi, tesisi veya ürün sertifikası, kompost özelliklerinin deklarasyonu, operatör eğitimi ve yeteneği, tesislerin işletme ve bakımı ile sertifikalardan oluşmaktadır. Almanya’da nihai kompostun kalitesi RAL işareti ile belirlenir. Hollanda ve Belçika’da iki farklı tutum geçerlidir. Burada nihai ürün kontrolü üretim kontrolü ile kombine edilmiştir. Belçika’da yeni bir kompost tesisinin kalite işareti için müracaat süresi iki yıldır. İlk yıl üretim sürekli izlenir. Başvurunun ikinci yılı yalnızca üretilen kompost kontrol edilir (Öztürk M., 2005).

Kalite Protokolü, WRAP (Atık ve Kaynak Aksiyon Programı) ile Çevre Ajansı tarafından endüstri ve diğer düzenleyici ilgili taraflar ile istişare edilerek kurulmuştur.

İngiltere ve Galler’de geçerlidir. Kalite Protokolü, biyoatıkların anaerobik çürütülmesi ile elde edilen biyogübrenin kriterlerini düzeyen bir sistemdir (Anonim 2008).

Avrupa’da kompostlamayla ilgili düzenlemelerde özellikle kompostun ağır metal muhtevası üzerinde durulduğu görülmektedir. Özellikle Avusturya’da kompost kalite sınıfları ağır metal muhteviyatına göre belirlenmiştir. Almanya’da kompost sınıfları, kompostun özellikleri veya kullanımına göre belirlenmektedir. Belçika (Flandra)’da ise; kompost kalitesi, kullanılan ham maddeye göre belirlenmektedir. Esasen nihai kompostun kalitesi; kullanılan ham maddeye, ağır metal muhtevasına ve kullanım amacına bağlıdır.

Amerika’da arıtma çamuru kompostu için özel limitler geçerlidir. Bu limitler oldukça esneklerdir. Amerika’daki **EPA Part 503**’de arıtma çamuru kompostuna ilişkin ağır metal sınırlandırmaları Tablo 8.7’de gösterilmektedir. Bu yönetmelik **TKKY**’deki Ek-II ile karşılaştırıldığında nikel dışındaki değerlerin **EPA 503**’de daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca Avrupa ülkelerinde ağır metal limitleri Çizelge 8.15.’de gösterilmektedir.

**Çizelge 8.15.** Amerika EPA standardının arıtma çamuru kaynaklı komposttaki ağır metal limitleri (Öztürk M. 2005)

<b>Ağır metal</b>	<b>ABD EPA 503, mg/kg</b>
Kurşun	300
Kadmiyum	39
Krom	-
Bakır	1 500
Nikel	420
Çinko	2 800
Civa	17



**Çizelge 8.16.** Avrupa ülkelerinde topraktaki ağır metal limitleri, mg/kg (Öztürk M., 2005)

Ülke	Kalite standardı	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Avusturya	Biyotik Yönetmeliği A Sınıfı	1	70	150	0,7	60	120	500
Belçika (FL)	Tarım Bakanlığı	2	70	90	1	20	120	300
Danimarka	Tarım Bakanlığı	0	-	1 000	0,8	30	120	4 000
Almanya	Biyotik Yönetmeliği Tip II	2	100	100	1	50	150	400
İrlanda	Taslak	2	100	100	1	50	150	350
Lüksembourg	Çevre Bakanlığı	2	100	100	1	50	150	400
Hollanda	İkinci Sınıf Kompost	1	50	60	0,3	20	100	200
İspanya	A Sınıfı	2	100	100	1	60	150	400
İsveç	Kalite Güvence Organizasyonu	1	100	100	1	50	100	300
İngiltere	TCA Kalite Etiketli	2	100	200	1	50	150	400

**Avrupa ülkelerinde kompost limitleri arıtma çamuru için de geçerlidir.** Kompostun ağır metal limitleri her ülkede farklıdır. Amerika’da limitler oldukça yüksektir buna karşılık Avrupa’da ise limitler oldukça düşük olduğundan bunların sağlanması oldukça güçtür. Amerika standartlarındaki limitler sağlık riskine göre belirlenirken, Avrupa standartlarındaki limitler bu ağır metallerin topraktaki doğal sınırlarına yakın belirlenmektedir ve esnek değildir. Böylece kompost hem toprak kirliliğini önlemekte hem de halk sağlığı açısından daha güvenli olmaktadır. Avrupa’da kompost üretimi sırasında biyolojik süreçlerindeki gerekli sıcaklıklar ve bu sıcaklıkta hijyen koşulları sağlanması için öngörülen bekletme süreleri Çizelge 8.17.’de gösterilmektedir. Ayrıca kompostun kullanım alanları farklı olduğundan, kompostun sağlanması gereken limitlerde farklı olmaktadır.

Avrupa Birliğinde 31 Aralık 1994’te kompostun etiketlenmesi ile ilgili standart hazırlanmıştır. Bu bağlamda toprak iyileştiriciler için standart geliştirmiştir. Bu standara göre üretilen kompostun etiketinin üzerinde üretici firma, kişi, kompostun özellikleri, saklama koşulları, üretim kodu, tarihi, kullanma amaçları, kullanma talimatları ve halk sağlığı konusundaki ayrıntıları belirtilmek zorundadır. Ayrıca kompost uygulandıktan sonra hiçbir kokuya neden olmamalı, insan sağlığı açısından kompost; cam, tel, metal ve sert plastik içermemelidir. Standarttaki limitler Çizelge 7.18.’de gösterilmektedir.

**Çizelge 8.17.** Bazı Avrupa ülkelerinde ve Amerika’da kullanılacak kompostun biyolojik işlem sırasında hijyenleşmesi için gerekli sıcaklıkta bekletme süreleri (Öztürk M. 2005)

Ülkeler	Hijyenleşme sıcaklığı, °C	Bu sıcaklıkta bekletme süresi, gün
Belçika	60	4
Danimarka	55	14
İtalya	55	3
Hollanda	55	4
Avusturya	65	6
Küba	55	3
Kore	55	3
İngiltere	55	3
İspanya	55	3
Amerika	55	3

**Çizelge 8.18.** AB standardı kompost bileşenlerinin sınır değerleri (Öztürk M. 2005)

Parametre	AB standardı limitleri
KM	>%25
Azot	8 g/m <sup>2</sup>
K <sub>2</sub> O	12 g/m <sup>2</sup>
Salmonella	<25 g
E.coli	<1000 MPN(olası ortalama değer)
<b>Ağır metal, mg/kg</b>	
Çinko	300
Bakır	75
Nikel	50
Kadmiyum	1,5
Kurşun	140
Civa	1
Krom	140
Molibden	2
<b>Parametre mg/kg</b>	<b>AB standardı limitleri</b>
Selenyum	1,5
Arsenik	7
Flor	200

### 8.8. Dünyada Anaerobik Çürütme ile İlgili Diğer Yasal Düzenlemeler

Avrupa'da merkezi biyogaz tesislerinden yenilenebilir enerji üretiminin teşviki konusunda özellikle öne çıkan iki ülke Danimarka ve Almanya'dır.

Merkezi biyogaz tesislerinden enerji (biyometan+ısı) geri kazanımı ile ilgili olarak özellikle AB ülkelerinde aşağıdaki teşvikler uygulanmaktadır:

- Yatırım hibesi ve uzun süreli (düşük faizli) yatırım kredisi
- Biyometan tesisleri proje ilk yatırım bedelinin %20-40'ı hibe olarak proje sahibine ödenmektedir. Bu teşvik başlangıç dönemlerinde yüksek (%40) sonraki dönemlerde ise azaltılarak (%20) uygulanmaktadır. Yenilenebilir enerji yatırımlarına (merkezi biyometan tesisleri) 20 yıla varan geri ödeme süreli ve düşük faizli yatırım kredileri sağlanmaktadır.
- Merkezi biyogaz tesislerinden üretilen elektrik ve ısı enerjisinin enerji vergisinden muaf tutulması
- Üretilen enerjinin belli bir fiyatla satın alınacağına ve/veya ek prim verileceğine dair devlet garantisi
- Üretilen megavat-saat elektrik enerjisi başına merkezi biyogaz tesisleri için ayrıca yenilenebilir enerji teşviki uygulaması
- Kendi atığı ile birlikte başka tür atıkların da arıtıldığı tesislere ısı ve elektrik enerjisi üretimi üzerinden ilave atık bertaraf ve yenilenebilir enerji teşviki uygulanması
- Kendi atığı ile birlikte başka atıkların (arıtma çamuru, organik endüstriyel atıklar, enerji bitkileri vb.) arıtıldığı merkezi biyogaz tesislerine ortalama piyasa fiyatı ile atık bertaraf bedeli alma izni de verilmektedir. (Öztürk İ. ve ark. 2009).

## 8.9. Bölüm Değerlendirmesi

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinin 34. Maddesinde kompost tesislerinin yer altı ve yüzeysel su kaynaklarının koruma alanı içerisine inşa edilmemesinden bahsedilmiştir ancak mesafe için herhangi bir sınırlama getirilmemiştir. Bu yönetmeliğin 34. Maddesinin güncellenerek mesafe limitleri getirilmesi gerekmektedir.

Türkiye’de yürürlükte olan yenilenebilir enerji üretimi ve satışına dair mevzuat, merkezi biyogaz tesislerinin yaygınlaştırılarak organik atıkların arıtımı, sera gazı azaltımı ve yenilenebilir enerji ile gübre değeri yüksek madde geri kazanımı uygulamalarının arttırılmasını teşvik edici nitelikte olmaktan oldukça uzaktır. Yalnızca hayvansal atıklar ve arıtma çamurlarından değil, evsel ve bitkisel atıklardan da yenilenebilir enerji üretiminin teşvik edilebilmesi için mevcut mevzuatın, bu alanda öncülük eden Danimarka, Almanya ve İspanya gibi ülkelerdeki gibi revize edilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde 2010 yılında resmi gazetede yayımlanan Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelikte bulunan toprak ve çamur için getirilmiş ağır metal limitleri Avrupa Birliği’nin arıtma çamurlarının tarımda kullanılmasına dair direktifine (86/278/EEC) ile kıyaslandığında benzerlik göstermektedir. Türkiye’deki ağır metal limitleri Avrupa Birliği direktifinden biraz daha düşüktür. Stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri ise bu yönetmelikten birebir alınmıştır. Ayrıca her Avrupa ülkesinin kendine ait sınır değerleri de mevcuttur. Ülkemizdeki ağır metal sınır değerleri, kompost sektörünün en üst seviyesinde olan Danimarka ve Hollandadan sonra en düşük değerlere sahiptir ve Almanya stabilize arıtma çamuru ağır metal limitleri ise Türkiye’nin limitlerinden daha yüksektir. Bunların aksine İngiltere, kurşun dışında hiçbir ağır metal limiti koymamıştır.

Kompost ve biyogübre ürünlerinin pazarlanması da üretilmesi kadar önemlidir. Üretilen bir ürün, iyi pazarlanamadıktan sonra üreticiye kazandırmaz. Kompost ve anaerobik çürütme açısından ülkemizdeki en büyük sorunlardan biri de yasal düzenlemelerdeki eksiklikler ve boşluklardır. Avrupa’nın birçok ülkesinde çeşitli amaçlara uygun kompost kalite sınıfları belirlenmiştir ve kalite örgütleri oluşturulmuştur. Böylelikle pazarlanan kompost kalite sınıfına göre fiyatlandırılıp ve alıcıya sunulmaktadır.

Ülkemizde kompost ve biyogübre kalite sınıflandırmasıyla ilgili mevcut bir yasa bulunmadığından, çiftçi hangi gübreye ne kadar ödeyeceğini, hangi gübreyi nerede kullanacağını tam olarak bilmemektedir. Avrupa'nın birçok ülkesinde olduğu gibi, gübrenin patojen içeriğine, C/N oranlarına bağlı olarak A, B ve C sınıfı gibi kalite sınıflandırmaları yapılmalı, böylelikle üreticilerin de markalaşmaya yönelmeleri sağlanmalıdır.

## 9. SONUÇLAR

Her geçen gün gelişmekte olan teknolojiye Kompost ve Anaerobik çürütme prosesleri de hızla güçlenmektedir. Prosesler üzerine yapılan bilimsel araştırmalar arttıkça yeni buluşlar ortaya çıkmakta ve bununla doğru orantılı olarak; ilk yatırım ve işletme maliyetleri azalırken işletme gelirleri artmakta, patojen giderim seviyeleri daha iyi duruma gelmekte ve çevreye olan zararları iyice azaltılmaktadır. Kısacası gün geçtikçe kompost ve anaerobik çürütme proseslerinin değeri ve uygulanabilirliği artmaktadır.

Bu literatür araştırmasında kompost yöntemlerinin ulaştığı sıcaklık değerleri mezofilik anaerobik çürütme yöntemine göre 15-35 °C daha fazla olduğundan mikrobiyal giderim oranlarının da daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak yapılan laboratuvar çalışmaları sonrasında bir mezofilik anaerobik çürütücüye uygun ek bir hijyenizasyon yöntemi kullanılarak patojen seviyeleri istenen seviyeye indirmek mümkündür. Ayrıca literatür araştırmaları sonrası birçok termofilik anaerobik çürütücüden elde edilen biyogübrenin içerisindeki patojen içeriğinin istenen seviyelerin altında seyretmekte olduğu tespit edilmiştir. Burada önemli olan mevcut atığın cinsine ve yapılan laboratuvar çalışmaları sonrası elde edilen verilere göre kompost teknolojileri, termofilik anaerobik çürütme ve hijyenizasyonlu mezofilik anaerobik çürütme metotları arasından hangisini seçmenin daha doğru olduğuna karar vermek olacaktır. Bu durumda tercih için devreye elde edilecek gübrenin kalitesi ve kullanım yerleri, proseslerin ilk yatırım, işletme giderleri ve gübre satışı gelirleri, prosesi inşa edebilecek ve işletebilecek donanımda olma ve yasal zorunluluklar gibi diğer faktörler devreye girmektedir.

Literatürde kompost ve biyogübrenin karşılaştırılmalı olarak tarımdaki verimleri üzerine araştırmalar oldukça azdır. Bununla beraber kompost ve biyogübre hammaddeleri, kompost ve biyogübrenin kaliteleri, toprağın cinsi, üretilecek bitkinin türü, iklim gibi daha birçok faktör devreye girmektedir. Bu kadar kapsamlı bir konuda çok az literatür çalışmasının olması proseslerden birini tercih etmesi gereken çiftçilerin, belediyelerin veya özel sektör kuruluşlarının elini ayağını bağlamaktadır. Yapılan az sayıda araştırma sonucunda biyogübrenin oluşumunda nitrat türü azotların denitrifikasyon sonucu amonyum azotuna dönüşerek azot miktarını yüksek tutması ve gübre içerisindeki

karbonun da metan gazına dönüşmesinden dolayı biyogübrenin C/N oranının kompostta göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu biyogübrenin lehine bir durumdur. Ayrıca biyogübre ve kompost içerisindeki fosfor, potasyum ve diğer iz elementlerin yüzdelerinin benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak gübre değeri açısından her iki ürün de mineral gübrelerin verdiği verimi sağlayabilmektedir ve iki ürünün de tarımda kullanılması tavsiye edilir. Biyogübre ve kompostun tarımdaki verimlilikleri üzerine daha çok bilimsel araştırma yapılması gerekmektedir.

Maliyet, kompost ve anaerobik çürütme proseslerinin tercihi sırasında en önemli faktörlerden biri olmaktadır. İlk yatırım maliyetlerini etkileyen en büyük unsurlardan biri tesislerin inşa edileceği alanlardır. Bu alanların tesisi kuracak işletmeye ait olmaması halinde kompost ve anaerobik çürütme proseslerinin alan ihtiyacı önemli hale gelir. Reaktör kompost teknolojisi hariç diğer kompost metotlarında gübrenin yığın veya kümeler halinde serilmesi gerektiğinden kapasite büyüdükçe alan ihtiyacı da artar. Anaerobik çürütme prosesleri de reaktör kompostta olduğu gibi bir reaktör içerisinde daha az yer kaplayarak işletilirler. İnşa edilecek alanın işletmeci kuruluşa ait olmaması halinde reaktör kompost ve anaerobik çürütme yöntemleri öne çıkmaktadır.

İlk yatırım ve işletme maliyetlerinin düşük tutulabilmesi için bir üreticinin 'seri üretime geçmesi' ile aynı mantığa dayanan; çiftçilerin birleşerek Danimarka'daki gibi merkezi anaerobik çürütme veya kompost tesisleri inşa etmeleri tavsiye edilmektedir. Benzer şekilde şehir, OSB kompost ve/veya anaerobik çürütme tesisleri inşa edilmesi ilk yatırım ve işletme maliyetlerini düşürmektedir.

Çöp maliyeti, gübre satışı, biyogaz gibi işletme gelirleri tesislerin toplam maliyet ve amorti sürelerini etkiler. Bir kompost tesisinden elde edilebilecek gübre miktarı yapı malzemesi ilavesinden dolayı yaklaşık % 40 daha fazla olur. Ancak yapı malzemesi demek ayrı bir maliyet demektir. Ayrıca üretilecek gübrenin tamamının satılarak elden çıkarılması görüldüğü kadar kolay olmayabilir. Türkiye çiftçisi 2012 yılına gelindiğinde her ne kadar kompostu tanımış olsa da, yılın sonunu düşündüğünden toprağı için tehlikeli ama daha ucuz olan yöntemlere yönelebilir. Onları ikna ederek satışı sağlamak, üretilen gübrenin tamamını bu şekilde elden çıkarabilmek çok önemlidir. Üretilmiş mevcut kaliteli bir kompostun satılamaması halinde tesis zarar eder. Anaerobik çürütme prosesinde ise bu sorun daha az önemlidir. Çünkü çürütme ile

üretilen biyogazın doğrudan veya elektrik enerjisine dönüştürülerek satışı çok daha kolaydır. Devletin bu konuda teşvik yasası dahi mevcuttur. Anaerobik çürütmede biyogaza ek olarak biyogübre eldesi de söz konusudur. Biyogübrenin en az kompost kadar belki kompostan daha da kaliteli olduğu yapılan çalışmalar sonucunda tespit edilmiş olsa da, çiftçi biyogübreyi kompost kadar tanımamaktadır. Bu durumda tesisi kuracak işletmeci kuruluşlar, potansiyel gübre kullanımı olacak arazileri önceden tespit ederek ve çiftçilerle anlaşma yaparak tesisin kurulduktan sonraki geleceğini garanti altına alabilirler.

Anaerobik çürütme ve kompost proseslerinden birinin tercih sebebinin oluşturacak faktörlerden bir diğeri de proseslerin çevreye etkileri olacaktır. Yapılan literatür araştırmaları sonucu reaktör kompost dışındaki diğer kompost metotlarının anaerobik çürütmeye oranla çevreye daha fazla zarar verdikleri görülmüştür. Elbette ki proseslerde parçalanacak hammaddelerin çeşitleri ve diğer faktörler çevreye verilecek zararın boyutunu farklılaştırmaktadır. Reaktör kompost da anaerobik çürütmeye göre çevreye daha zararlı olmuş olsa da, diğer kompost yöntemleri kadar zararlı değildir ve tercih edilebilir. Sonuç olarak her iki yöntem de mineral gübreleme yönteminin çevreye verdiği zarardan daha az zarar vermektedir ve tercih edilebilmeleri için bir mahsur görülmemektedir.

Türkiye ve dünyada yapılan literatür araştırmaları neticesinde ülkemizdeki kompost ve anaerobik çürütme tesislerinin sayısı yetersiz bulunmuştur. Belediyelerin ve öncü kuruluşların bu proseslere yönelmeleri neticesinde çiftçiler de kendi proseslerini oluşturmaya başlayarak Türkiye'deki hayvansal atık ve arıtma çamuru potansiyellerinin kullanım oranlarını yükselteceklerdir. Tesislerin öncelikle kurulması gereken şehirler hayvancılığın daha gelişmiş olmasına bağlı olarak; Afyon, Denizli, Çorum, Manyas, Bursa ve Doğu Anadolu'nun gelişmiş şehirleri olarak tespit edilmiştir.

Ülkemizde çiftçinin kompost ve biyogübreye güvenememesinin en büyük nedeni kompost ve biyogübre için kalite sınıflarının oluşturulmamış olmasıdır. Avrupa'da hemen her ülkenin oluşturduğu bu kriterler ile paketlenen ürünler ile çiftçi üzerindeki etiketi görerek ne kalitede bir ürün satın aldığını bilmektedir.



Ülkemizde yürürlükte olan yenilenebilir enerji üretimi ve satışına dair mevzuat Danimarka, Almanya ve İspanya'dakine benzer şekilde revize edilerek merkezi biyogaz tesislerinin yaygınlaştırılmasını sağlayacak teşvikler artırılmalı veya yeni teşvikler türetilmelidir.

## 10. KAYNAKLAR

**Adelekan, B.A., Oluwatoyinbo, F. I., ve Bamgboye, A. I. 2010.** Comparative effects of undigested and anaerobically digested poultry manure on the growth and yield of maize (*Zea mays*, L) *African Journal of Environmental Science and Technology Vol. 4* (2), pp. 100-107, February.

**Aksu, T. 2008.** Isparta Belediyesi Atık su Arıtma Tesisinde Oluşan Çamurun Bertaraf Stratejilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı-Isparta.

**Akyarlı, A., Alpaslan, N., Şahin, H. 2006.** Sludgergy®: Atık su arıtma çamurlarının sürdürülebilir tarımsal kullanımı için bir yöntem. *Enerji Bitkileri ve Yeşil Atıklar Sempozyumu*, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, 15 Aralık 2006.

**Al Seadi, T. 2001.** Good practice in quality management of AD residues from biogas production. *IEA Brochure, Task 24 "Energy from biological conversion of organic waste"*. International Energy Agency, Holm-Nielsen, J.B (Coordinator), Univ. Southern Denmark, Biomass Institute, DK 6700 Esbjerg, Niels Bohr vej 9, Denmark

**Alçıçek, A., Demiruluş, H. 1994.** Çiftlik gübrelerinin biyogaz teknolojisinde kullanılması. *Ekoloji Dergisi*. 1994; Sayı:13-5.

**Alkan, U. 2003.** Anaerobik Arıtma. *Çevre Mühendisliği Ders Notları*. Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü. Bursa

**Alqaralleh, R.M. 2012.** Effect of Alkaline Pretreatment on Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste. Master Thesis of Applied Sciences in Environmental Engineering. Department of Civil Engineering University of Ottawa. Canada.

**Angelidaki, I., Boe, K. ve Ellegaard, L. 2004.** Effect of operating conditions and reactor configuration on efficiency of full-scale biogas plants. *Proceedings of the 10th World Congress in Anaerobic Digestion*, Montreal Canada, 29th August-2nd September.

**Anonim, 1996.** Economics of Composting. *British Columbia*. Composting Factsheet. Order No. 382.500-14 Agdex: 537 / 727 September.

**Anonim, 2001.** TÜBİTAK-Mam Eşçae, Kümes ve Ahrır Gübrelerinin Geri Kazanılması ve Bertarafı Projesi. Gebze. Kocaeli.

**Anonim, 2002.** IWA, Anaerobic digestion model No: 1 (ADM1) - IWA Task Group for Mathematical Modelling of Anaerobic Digestion Processes, Task Group Iwa Task Group S.1.

**Anonim, 2005.** ASAE, Manure production and characteristics. *ASAE Standards. D384.2*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.

**Anonim, 2007.** Genesis Project Corp., Anaerobic Digestion A Cost-effective and Environmentally Safe Option for the Disposal of Livestock Waste Tissue. England.

**Anonim, 2008.** Environmental Agency, Anaerobic Digestate. The quality protocol for the production and use of quality outputs from anaerobic digestion of source-segregated biodegradable waste. *Waste & Resources Action Programme*. England.

**Anonim, 2010a.** IEA, Denmark Country Report, November. , IEA Bioenergy Task 37

**Anonim, 2010b.** IEA, Turkey Country Report, October. , IEA Bioenergy Task 37 ([http://www.iea-biogas.net/\\_download/publications/countryreports/april2011/Turkey\\_Country\\_Report.pdf](http://www.iea-biogas.net/_download/publications/countryreports/april2011/Turkey_Country_Report.pdf), 2011)

**Anonim, 2011a.** Thermus, <http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Thermus>, (Erişim Tarihi: 16.11.2011).

**Anonim, 2011b.** Composting, <http://urbanindia.nic.in/publicinfo/swm/chap14.pdf> (Erişim Tarihi: 21.10.2011).

**Anonim, 2011c.,** İstanbul Büyükşehir Belediyesi. Kompostlaştırma ve geri kazanım tesis proses tanıtımı. <http://www.ibb.gov.tr/sites/atikyonetimi/Documents/pdf/kompost-tesis.pdf> (Erişim Tarihi: 18.10.2011).

**Anonim, 2011d.,** Environmental Agency. Anaerobic digestion at premises not used for agriculture and burning of resultant biogas. [http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/T25\\_exemption.pdf](http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/T25_exemption.pdf) (Erişim Tarihi: 18.11.2011).

**Anonim, 2011e.,** Ohio Line. <http://ohioline.osu.edu/b604/0002.html> (Erişim Tarihi: 13.11.2011).

**Anonim 2011f.** Aspergillus. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Aspergillus> (Erişim Tarihi: 19.12.2011).

**Anonim, 2011g.** [http://www.horstmann.pl/\\_uk/kompostownie.shtml](http://www.horstmann.pl/_uk/kompostownie.shtml) (Erişim Tarihi: 21.12.2011).

**Anonim, 2011h.** <http://www.ekolojiteknik.com/?s=aktuel&id=21> (Erişim Tarihi: 27.11.2011).

**Anonim, 2011i.,** <https://ec.europa.eu/eurostat> (Erişim Tarihi: 30.11.2011).

**Anonim, 2011j.** Kompost Üretimi, Çevre Yönetim Merkezi Makine Taşıma Teknolojileri İnşaat Tarım End San Tic LTD. şTİ, şubat 2011, Ankara.

**Anonim, 2012a.** <http://www.livestrong.com/article/126814-purpose-compost/> (Erişim Tarihi: 05.05.2012)

**Anonim, 2012b.** Humus, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Humus> (Erişim Tarihi: 17.03.2012)

**Anonim, 2012c.** <http://www.compostjunkie.com/anaerobic-composting.html> (Erişim Tarihi: 24.02.2012)

**Anonim, 2012d.** Pastörizasyon. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Pastörizasyon>. (Erişim Tarihi: 06.04.2012).

**Anonim, 2012e.** International Environmental Agency. <http://www.iea-shc.org/task29/index.html> (Erişim Tarihi: 06.04.2012).

**Anonim, 2012f.** Biogas.org, Biogas digestate factsheet. [http://www.biogas.org.nz/Publications/Resources/Biogas-DigestateFactsheet\\_Renquist-Heubeck.pdf](http://www.biogas.org.nz/Publications/Resources/Biogas-DigestateFactsheet_Renquist-Heubeck.pdf) (Erişim Tarihi: 07.04.2012).

**Ardıç, İ. 2012.** Yazılı Görüşme. Barbaros Mahallesi Tunalı Hilmi Caddesi Buğday Sokak No:5/3 Pk: 06700 Kavaklıdere, Çankaya Ankara, Türkiye, (Görüşme Tarihi: 07.02.2012), Çevre Yönetim Merkezi, Makine Taşıma Teknolojileri İnşaat Tarım End San Tic. Ltd. Şti. e-posta: i.ardic@cevreyonetimmerkezi.com

**Ardıç, İ., Taner F. 2005.** Biyokütleden Biyogaz Üretimi: Anaerobik Arıtımın Temelleri, "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, YEKSEM 2005," Elektrik Mühendisleri Odası Mersin Şubesi, 19-21 Ekim, Mersin, p. 242-245.

**Arıkan, O, Öztürk İ. 2005.** Arıtma Çamuru Kompostlaştırılmasında Organik Eysel Katı Atık İlavesinin Etkisi. *İTÜ Dergisi/d, Vol. 4, No. 1.* 2005. s. 15-24.

**Arıkan, B., 2008,** Organik Eysel Katı Atıklardan Anaerobik Ortamda Biyogaz Üretiminin Verimliliğinin Araştırılması, Y.L. Tezi, Çukurova Ü. Adana.

**Augusto, C. L. C. 2007.** Anaerobic Reactors In Biological Wastewater Treatment Vol 4. *IWA Publishing* S.6 London – UK.

**Ayvaz, Z. 2000.** Atık su Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi. *Çev-Kor Dergisi Cilt: 9 Sayı: 35.* 3-12 Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bornova-İZMİR.

**Balkcom, K.S., Adams, J.F., Hartzog, D.L. ve Wood, C. W. 2001.** Mineralization of Composted Municipal Sludge Under Field Conditions. Agronomy and Soils Department, Auburn University. Auburn. AL36849.

**Barth, J., Amlinger, F., Favoino, E. , 2008.** Compost production and use in the EU Final Report. ORBIT e.V. / *European Compost Network ECN.*

**Barth, J. 2011.** Organic Waste Management as Soil Amendment and Energy Sources: European Policies and Drivers. *European Compost Network - Americana* 2011.

**Bean, C.L., Hansen, J.J., Margolin, A.B., Balkin, H., Batzer G., Widmer, G. 2007.** Class B Alkaline Stabilization to Achieve Pathogen Inactivation. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2007, 4(1), 53-60

**Beddoes, J. C. Kelsi, S. Bracmort, R. T. Burns, William, F. Lazarus, 2007** An Analysis of Energy Production Costs from Anaerobic Digestion Systems on U.S.

Livestock Production Facilities. United States Department of Agriculture Technical Note No. 1 October.

**Bermejo, G., Ellmer, F. 2010.** Use of dry and wet digestates from biogas plants as fertilizer in the agriculture. Humboldt-Universität zu Berlin, Faculty of Agriculture and Horticulture, Department of Agronomy, Albrecht Thaer Weg 5, 1493 Berlin, Deutschland.

**Bertoldi, M. de, 1999.** The control of the process and compost quality. *Organic Recovery & Biological Treatment*, ORBIT 99 (eds. Bidlingmaier, W., de Bertoldi, M., Diaz L.F., & Papadimitriou, E.K.), Rombos Verlag, Berlin, Germany.

**Bitton, G. 2011.** Wastewater Microbiology. 4th. Edition. Wiley Blackwell. Canada.

**Blackshaw, R. E., 2005,** Nitrogen Fertilizer, Manure, and Compost Effects on Weed Growth and Competition with Spring Wheat. *Agronomy Journal*. Agriculture and Agri-Food Canada, Lethbridge Research Centre, P.O. Box 3000, Lethbridge, Alberta, Canada.

**Bowman, D., 2009.** Manure pathogens: manure management, regulations, and water quality protection. *Water Environment Federation (WEF)* - S. 87-442.

**Böhm, R. 2007.** Pathogenic agents. Chapter 8. Golueke C., Bidlingmaier W., de Bertoldi M., Diaz L., ve ark. *Compost Science and Technology*. Elsevier Science Ltd.

**Braun, R. Drosig, B., Bochmann, Weiss, S., Kirchmayr R. 2009.** Recent Developments in Bio-Energy Recovery Through Fermentation. *Microbes at work from wastes and resources* S.48.

**Burton, C. H. ve Turner, C. 2003.** Manure Management: *treatment strategies for sustainable agriculture*. S.171. Editions Quae.

**Bux, M., Baumann, R., Philipp, W., Conrad, T. ve Mühlbauer, W. 2001.** Class-a by solar drying recent experiences in Europe. University of Hohenheim, Institute for Agricultural Engineering in the Tropics and Subtropics (495), Garbenstraße 9, D-70599 Stuttgart (FRG). Proceedings of WEFTEC. Atlanta.

**Canon, E.N. Savala, Musa N. Omare, and Paul, L. Woomer 2003.** Organic Resource Management in Kenya: Perspectives and Guidelines. Forum for Organic Resource Management and Agricultural Technologies (FORMAT), P.O. Box 79, Village Market 00621, Nairobi, Kenya, East Africa

**Carrington, E. G. 2001.** Evaluation of Sludge Treatments For Pathogen Reduction. Final Report.

**Chatfield, M., Hudson, T., Hamilton, S. Fisher, J., Crabtree, D., Hamilton, J., Stafford, D.A., 2000.** Proceedings, 2000 *National Poultry Waste Management Symposium*, Ocean City, MD, USA, 16-18 October 2000: 388-390

**Chen, Y., Inbar, Y. 1993.** Chemical and spectroscopial analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. P 551-600. In: *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and*

*Utilization Aspects*. Eds. H.A.J. Hoitink and H.M. Keener. Columbus, OH: Renaissance Publications.

**Chernicharo, C.A.de L. 2007.** Anaerobic Reactors. Volume 4. In *Biological Wastewater Treatment Series*. IWA Publishing.

**Clisso, M. 2002.** The anaerobic digestion process. Mountain Empire Community College. <http://www.me.vccs.edu>.

**Cooperband, L. 2005.** Biology of Composting. University of Wisconsin Department of Soil Science.

**Coşkun, T., Manav, N., Debik, E.vd., 2011** – Büyükbaş hayvan atıklarının anaerobik çürütülmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Esenler-İSTANBUL

**Cowan, D., Chrostowski, M., Simeon, J. 1994.** Backyard Composting and Yard Waste Reduction. Santa Barbara County Public Works Department. *Resource Recovery & Waste Management Division*. California.

**Das, K.C., Minkara, M.Y., Melear, N.D. and Tollner, E.W., 2002** Effect of poultry litter amendment on hatchery waste composting. *J Appl Poult Res* 11, 282–290.

**Dalemo, M., Sonesson, U., and Björklund, A. 1998.** Environmental impact from NPK-fertiliser versus anaerobic digestion residue or compost - A systems analysis. In *proceedings of the 8th International Conference on Management Strategies for Organic Waste use in Agriculture*, 26-29 May, Rennes, Brittany, France.

**Dearman, B. ve Bentham, R.H. 2007.** Anaerobic digestion of food waste: Comparing leachate exchange rates in sequential batch systems digesting food waste and biosolids. *Waste Management Volume 27 Issue 12 S. 1792-1799*.

**de Baere, L. 2000.** Anaerobic digestion of solid waste: state of the art. *Water Science and Technology*, 41, 283-290.

**Delgado, M. M., Cots, P.M.A., Hornedo, R.M., Rodriguez, E.B., Beringola, L.B., Sanchez, J.M. 2002.** Sewage Sludge Compost Fertilizer Effect on Maize Yield and Soil Heavy Metal Concentration. Departamento de Medio Ambiente, Madrid, Spain.

**Demirer, G.N., Gökçay, C.F., Duran, M.M. 2001.** Anaerobik biyoteknoloji teorik altyapı ve uygulamalar, *IV. Ulusal Çevre Müh. Kongresi*, 7-10 Kasım 2001, İçel.

**Dennis, A. ve Burke, P.E. 2000.** Overcomming the limitations in Anaerobic Digestion of Dairy Waste. Cyclus Envirosystems Olympia, WA 360-923-2000.

**Deportes, 1998.** Microbial disinfection capacity of municipal solid waste (MSW) composting. *Journal of Applied Microbiology Volume 85, Issue 2, pages 238–246, August*.

**Diaz, L.F. ve Bertoldi, M. De. 2007.** History of Composting (*Chapter 2*) ‘‘Compost Science and Technology’’ Elsevier Science.

**Diaz, L.F., Savage, G.M., Eggerth, L.L. ve Chiumenti, A. 2007.** Systems used in composting. *Chapter 5. Compost Science and Technology*. Elsevier Science.

**Diaz, M.J., Eugenio, M.E., Jimenez, L., Madejon, E., and Cabrera, F. 2003.** Modelling Vinasse/Cotton Waste Ratio Incubation For Optimum Composting. *Chemical Engineering Journal*, 93.

**Edwards Sue, B., 2007.** Impact of Compost use on Crop Yields In Tigray, Ethiopia Natural Resources Management and Environment Department Rome, Italy.

**Ekinci, K., Keener, H.M., Michel, F.C., Elwell, D.L. 2004.** Modeling composting rate as a Gaussian function of temperature and initial moisture content. *Compost Science and Utilization*.

**Ekinci, M. S. 2007.** Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretimi için En Uygun Koşulların Belirlenmesi. Yük Lis. Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Müh. Bölümü Ankara.

**EPA, 1994.** Composting yard trimmings Municipal solid waste. United States Environmental Protection agency. EPA530-R-94-003 May.

**EPA, 1997.** Innovative Uses of Compost Disease Control for Plants and Animals <http://www.epa.gov/osw/conserv/rrr/composting/pubs/disease.pdf> EPA530-F-97-044 USA.

**EPA, 2001.** Compost Use On State Highway Applications. <http://www.epa.gov/osw/conserv/rrr/composting/highway/index.htm>

**EPA, 2010a.** U.S. Farm Anaerobic Digestion Systems: *A 2010 Snapshot*. AgStar [http://www.epa.gov/agstar/documents/2010\\_digester\\_update.pdf](http://www.epa.gov/agstar/documents/2010_digester_update.pdf)

**EPA, 2010b** Anaerobic Digestion Capital Costs for Dairy Farms, May, *Chemical Engineering*, Vol. 117, No. 1, <http://www.epa.gov/agstar>.

**EPA, 2011.** <http://www.epa.gov/epawaste/conserv/rrr/composting/basic.htm>

**Erdem, M., Çubukçu, E., Sayın 2010.** U. Entegre Atık Yönetiminde Organik atıkların yeri ve yasal çerçeve. *Organik atıklardan kompost ve yenilenebilir enerji üretimi , kompostun kullanım alanları çalıştayı*. Çevre ve orman bakanlığı çevre yönetimi müdürlüğü Ankara.

**Erdin, E. 1994,** Kırsal Alanlarda Oluşan Organik Atıklar ve Bunlardan Biyogaz Üretimi, "*Tarımsal Mekanizasyon 15. Ulusal Kongresi*" Antalya.

**Erdin, E. 2006.** Çevre Mikrobiyolojisi ve Katı Atıklar Dersleri Notları <http://web.deu.edu.tr/erdin/tr/index.htm>.

**Erdin, E. Alten, A., 2006.** İzmir Kenti Katı Atık ve Arıtma Çamurlarının Birlikte Kompostlaştırılabilirliğinin İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi.

**Gerald, W. ve Fredericks, D. 1995.** Comparison of Class A and Class B Private Biosolids Stabilization Technologies. *Florida Water Resources Journal*. May.

- Gijzen, H.J. 2001.** Anaerobes, aerobes and phototrophs, a winning team for wastewater management. *Water Science and Technology*, 123-132.
- Giesy, R., Wilkie, A.C., de Vries, A., Nordstedt, R.A., 2005.** Economic Feasibility of Anaerobic Digestion To Produce Electricity on Florida Dairy Farms. *Institute of Food and Agricultural Sciences*, University of Florida
- Gomez, G. J., Gonzalez, V. 1978.** The use of anaerobically digested cattle slurry as a fertilizer for vegetables - Departamento de Biotecnologia, Universidad Autonoma Metropolitana, Iztapalapa, Mexico, D. F. Trop Anim Prod S.26.
- Gouin, F.R. 1992.** Using Compost Sawage sludge in the production and maintenance of ornamental plants. *Maryland Cooperative Extension*. University of Maryland. Department of Horticulture.
- Gönüllü, T. 1993.** Çöp Depo Yerlerinde Can Emniyeti ve Halk Sağlığı İle İlgili Tedbirler. *Ekoloji Dergisi*, 9: 9–14.
- Gümüüşü, M., Uyanık, S. 2010.** Güneydoğu Anadolu Bölgesi Hayvansal Atıklarından Biyogaz ve Biyogübre Eldesi S.59.
- Hamilton, D.W. 2009.** Anaerobic Digestion of Animal Manures: Types of Degisters. Oklohama Cooperative Extension Service BAE-1750.
- Hanson, B. 1997.** Easy compost: the secret to great soil and spectacular plants, 153. Sayı Brooklyn Botanic Garden England.
- Haug, R. T. 1993.** The Practical handbook of compost engineering. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Insam, H. ve Bertoldi, M. de. 2007.** Microbiology of Composting Process. Chapter 3. In Golueke C., Bidlingmaier W., de Bertoldi M., Diaz L., ve ark. *Compost Science and Technology*. Elsevier Science Ltd
- Joo, Y.ve Lee, K. 1989.** Livestock Manure Recycling in Korea by Anaerobic Digestion. *First International Conference on Kyusei Nature Farming*. s.101-107. Session 4. Rural Development Administration, Suweon, Korea.
- Karataş, A. 2006.** Tavuk Gübresinin Anaerobik Parçalanması İçin Uygun Koşulları Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. s.14–15, 19–20.
- Keener, H.M., Dick, W.A., Hoitink, H.A.J. 2000.** Composting and beneficial utilization of composted by-product materials. Chapter 10. pp. 315-341. In: J.F. Power vd., (eds.) *Beneficial uses of agricultural, industrial and municipal by-products*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Khoo, H.H. ve Tan, R.B.H. 2006.** Proposed Bio-conversion technologies for food waste recycling in Singapore. *Asian Network Symposium*. Institute of Chemical and Engineering Sciences (ICES) Singapore.



**Korkut, N. E., Bayer, Y. 2010** - İstanbulda Entegre Organik Atık Yönetimi. Organik atıklardan kompost ve yenilenebilir enerji üretimi. *Kompostun kullanım alanları çalıştayı*. İ.B.B. Atık Yönetimi Müdürlüğü.

**Kosobucki, P., Chmarzyński, A. Buszewski, B. 2000.** Sewage Sludge Composting. Department of Environmental Chemistry and Ecoanalytics, Faculty of Chemistry, Nicolaus Copernicus University, 7 Gagarin St., 87-100 Torun, Poland

**Kruger, C., Chen, S., MacConnel, C., Joe Harrison, Richard Shumway, Tianxi Zhang, Kay Oakley, Clark Bishop, Craig Frear, and Debra Davidson 2008.** High Quality fiber and fertilizer as co-products from anaerobic digestion. *Journal of Soil and Water Conservation* 63(1):12A-13A.

**Krzystek, L., Ledakowicz, S., Kahle, H.J., Kaczorek, K. 2001.** Degradation of household biowaste in reactors. *Journal of Biotechnology*. 92:103-112.

**Landahl, G. ve Plombin, C. 2004.** Trendsetter: biogas in European vehicles. in *Resource Recovery and Reuse in Organic Solid Waste Management*, P. Lens and B. Hamelers, Eds., pp. 411–422, IWA, London, UK.

**Last, S. 2008.** Biogas Methane Explained and Other Articles [www.anaerobic-digestion.com](http://www.anaerobic-digestion.com).

**LeaMaster, B., Hollyer, J. R., Sullivan, J. L. 1998.** Composted Animal Manures: Precautions and Processing, Departments of Animal Sciences and Agricultural and Resource Economics. *Animal Waste Management*. July. AWM-1 University of Hawaii at Manoa.

**Leffertstra, H. 2003.** Anaerobic Digestion, Turning Organic Waste into Energy and Fertilizer. A pre-feasibility study of a biogas demonstration plant in the Entre o Douro e Vouga Region in Northern Portugal University of Zaragoza Zaragoza, Spain Technical Summary, October.

**Lettinga, G. 1995.** Anaerobic digestion and wastewater treatment systems. *Antonie van Leeuwenhoek* Volume 67, Number 1, 3-28.

**Losak, T., Zatloukalova, A., Szostkova, M., Hlusek, J., Fryc, J., Vitez, T. 2011.** Comparison of the effectiveness of digestate and mineral fertilisers on yields and quality of kohlrabi. *Acta Universitatis Agruculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. Volume LIX. S 117-122.

**Lund, B., Bendixen, H.J., Have, P. & Ahring, B. 1996.** Reduction of pathogenic bacteria and viruses by anaerobic digestion. In: *"Management of Urban Biodegradable Wastes"*, pp. 281- 285. James & James, London.

**Lusk, P. 1998.** Methane recovery from animal manures. *The current opportunities casebook*. US National Renewable Energy Laboratory.

**Makadi, M., Tomocsik, A., Orosz, V. 2011.** Digestate: A New Nutrient Source-Review. In *Biogas*. S.295-310.

**Martin, S.A., McCann, M.A. and Waltman, I W.D. 1998.** Microbiological survey of Georgia poultry litter. *J Appl Poult Res* 7, 90–98.

**Méndez-Contreras, J. M., Rendón-Sagardi, J.A., Ruiz-Espinoza, J.E., Alvarado-Lassman, A. Ve Martínez-Delgado, S.A. 2009.** Behavior of the Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion in the Stabilization of Municipal Wastewater Sludge (Part1) - Instituto Tecnológico de Orizaba 852, Tecnológico, Zapata 94320.

**Metcalf and Eddy, 2003.** Wastewater and Engineering Treatment and Reuse (4. Edition) s.1553. Metcalf & Eddy Inc.

**Monnet F. 2003.** An Introduction to the Digestion of Organic Wastes. *Remade Scotland Report*, November, Scotland.

**Nelson, C. ve Lamb, J. 2002.** Haubenschild farms anaerobic digester final report. *The Minnesota Project*. August - <http://www.epa.gov/agstar/lib/index.html>

**Neves, L., Ribeiro R., Oliveira, R., Alves, M., 2006.** Enhancement of Methane Production from Barley Waste. *Biomass and Bioenergy*, 30: 599– 603.

**Nichols, C. E. 2004.** Overview of anaerobic digestion technologies in Europe. *Biocycle*. Vol. 45, No. 1, s. 47.

**Olson, M. E. 2001.** Human and animal pathogens in manure. In *Livestock Options for the Future National Conference*, Winnipeg, Manitoba, Canada, June 25–27, 2001. Agriculture and Agri-Food Canada.

**Omer, A.M. ve Fadalla, Y. 2003.** Biogas technology in Sudan. Technical note. *Renewable Energy*, 499-507.

**Öztürk, İ., Dereli, R. K, Özabalı, A., Eriçyel, K., Karakaya, İ., 2009.** Evsel atık sular ve organik katı atıkların birlikte arıtımı yoluyla yenilenebilir enerji (Biyometan) geri kazanım teknolojilerinin araştırılması projesi sonuç raporu eki. *Suluova Besiciler Birliği Besi Organize Sanayi Bölgesi Merkezi Biyometan Tesisi Fizibilite Raporu Cilt II*. İstanbul.

**Öztürk, İ. 2010.** Türkiye'nin İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi. *Atık Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu – 2*. Taslak Eylül

**Öztürk, M., 2005.** Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

**Öztürk, M., 2008.** Hayvan Gübresinden ve Atıklardan Kompost Üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı. Ankara.

**Pace Michael, G., Miller, Bruce E., Farrel Poe Kathryn L. 1995.** The Composting Process. *Utah State University Extension*. AG-WM 01. October.

**Pfundtner, E., 2009.** Limits and merits of digestate application on arable land. Department for Fertilizer Surveillance, Control and Microscopy. *Proceedings of the second Aquagris Workshop*. Vienna, Austria, 12pp.

**Pongrácz, E. 2011.** Biomass and Waste-to-Energy Technologies: Environmental Impact Assessment. *Northern Periphery Programme project*. University of Oulu, Thule Institute Centre of Northern Environmental Technology (NorTech Oulu).

**Richard, T., and M. Chadsey. 1990.** Environmental impact of yard waste composting. *BioCycle*. April, 31(4):42-46.

**Rynk, R. 1992.** On farm composting handbook. NRAES-54, *Cooperative Extension Service*, Northeast Regional Agricultural Engineering Services, Ithaca NY, USA.

**Salihoglu, N.K., Pinarli, V., Salihoglu, G. 2007.** Solar drying in sludge management in Turkey. *Renewable Energy* 32. 1661–1675. Faculty of Engineering & Architecture, Environmental Engineering Department, Uludag University, 16059, Bursa, Turkey.

**Sanin, D., Clarkson, W.W., Vesilind, P. A. 2011.** Sludge Engineering. *The Treatment and Disposal of Wastewater Sludges*. USA

**Schmoll, O., Howard, G., Chilton, J., Chorus, I. 2006.** Protecting groundwater for health: managing the quality of drinking-water sources - World Health Organization. IWA Publishing. S.568.

**Shepherd, M.W Jr., Liang, P., Jiang, X. Doyle, M.P., ve Erickson M.C. 2009.** Microbiological analysis of composts produced on South Carolina poultry farms. *Journal of Applied Microbiology*. S. Carolina, U.S.

**Smith, K., Grylls J., Metcalf, P., Jeffrey, B., Sinclair, A. 2007.** Nutrient Value of Digestate from Farm-Based Biogas Plants in Scotland. *Report for Scottish Executive Environment and Rural Affairs Department - ADA/009/06*. SAC Commercial Ltd Kings Buildings West Mains Road Edinburgh.

**Smith, K. 2011.** How to Build, Maintain, and Use a Compost System: Secrets and Techniques You Need to Know to Grow the Best Vegetables (Back-To-Basics) (Back to Basics Growing).

**Spellman, F. R. 1997.** Wastewater Biosolids to Compost. Technomic Pub. Co.

**Spellman, F.R. 2004.** Biosolids Digestion. *Mathematics Manual for Water and Wastewater Treatment Plant Operators*. S.303. CRC Press.

**Staffort, D.A., Hawkes, D.L. ve Horton, H.R., 1980.** Methane production from wasteorganic matter. revision of a 1974 Agriculture Canada Publication, no: **1528**, Canada.

**Sundstrom, Donald W. ve Klei Herbert, E. 1979.** Wastewater Treatment. Prentice-Hall Englewood Cliffs, N.J.

**Sweeten, J. M. ve Auvermann, B. W. 2008.** Composting Manure and Sludge. Agrilife Extension. Texas A&M University System. E-479 06-08 USA.

**Svoboda, F. I. 2003.** Anaerobic Digestion, Storage, Oligolysis, Lime, Heat and Aerobic Treatment of Livestock Manures, *Final Report- Provision of research and design of pilot schemes to minimise livestock pollution to the water environment in Scotland*.

- Szala, B., Paluszak, Z., 2007.** Validation of Biodegradable Waste Composting Process Based on the Inactivation of Salmonella senftenberg W775. *Polish J. of Environ. Stud.* Vol. 17, No. 1 (2008), 79-85.
- Tauseef, S.M., Abbasi, T., Abbasi, S.A. 2010.** Biogas Energy. In *Renewable Energy Sources: Their Impact on Global Warming and Pollution*. Chapter 5. S. 77-78 – India.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S., 1993.** Integrated Solid Waste Management. McGraw-Hill Publications, New York, USA.
- Trautmann, N. ve Olynciw, E. 2001.** The Science and Engineering of Composting. Cornell Composting. <http://compost.css.cornell.edu/microorg.html>.
- Tolay M., Yamankaradeniz, H., Yardımcı, S., Reiter, R., 2008.** Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi. *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*. UTES'2008. Aralık. İstanbul.
- Topkaya, B. 2011.** Avrupa Birliği ve Türkiye’de Arıtma Çamurlarının yönetimi ile ilgili mevzuat. *Tekirdağ İli arıtma çamurlarının değerlendirilmesi çalıştayı*. Akdeniz Üniversitesi Çevre Müh.
- Türker, M. 2003.** Anaerobik biyoteknoloji : Türkiye ve dünyadaki eğilimler. *2. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu*. ODTÜ, Ankara, 228-236.
- Türker, M. 2008.** Anaerobik Biyoteknoloji: Dünya’da ve Türkiye’de Eğilimler. Çevkor Vakfı Yayınları, İstanbul, 2008.
- Tyler, R. 2003.** Turning Compost Profits. *Wasteage Magazine*. November 1. [http://waste360.com/mag/waste\\_turning\\_compost\\_profits](http://waste360.com/mag/waste_turning_compost_profits).
- Qi Y., 2008.** Effect of centrifugal dewatering on the regrowth of fecal coliforms and Salmonella in anaerobically digested biosolids .University of Delaware. S.17-20.
- Valdmaa, K. 1973.** Composting of Wastes . In *Environmental engineering: A chemical engineering discipline*. Agriculture College of Sweden, Uppsala.
- Voca, N., Kricka, T., Cosic, T., Rupic, V., Jukic, Z., Kalambura, S. 2005.** Digested residue as a fertilizer after the mesophilic process of anaerobic digestion. *Plant Soil Environment*. 51, 2005 (6): 262–266.
- Yamak, T. 2006.** Türkiye’nin alternatif enerji kaynakları potansiyeli ve ekonomik analizleri. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı. S.59
- Yıldız, Ş., Ölmez, E., Kiriş, A. 2009.** Kompost teknolojileri ve İstanbul’daki uygulamaları. *Kompostlaştırma Sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştay*.18-19 Haziran.
- Wang, Z.W. 2009.** Molecular Mechanisms of Neurotransmitter Release. Humana Press. Series: Contemporary Neuroscience. S.75.

**Weiland, P. 2000.** Anaerobic waste digestion in Germany. Status and recent developments. *Biodegradation*. 11, 415-421.

**Weiland, P. 2009.** Biogas technology for bioenergy production. Jyväskylä University, Jyväskylä, Finland, April 28.

**Werner, U., Stöhr, U., Hees, N. 1989.** Biogas Plants in Animal Husbandry. A Publication of the *Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien*. GATE. a Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.

**Wilkie A. 2000.** Fixed Film Anaerobic Digester. University of Florida. FL. [http://www.epa.gov/agstar/documents/Fixed\\_Film\\_Anaerobic\\_Digester.pdf](http://www.epa.gov/agstar/documents/Fixed_Film_Anaerobic_Digester.pdf)

**Williams, J. ve Esteves, S. 2011.** Digestates: Characteristics, Processing and Utilisation. *Inaugural Bio-Methane Regions Event Training the Trainers* 26-27th May 2011. University of Glamorgan, South Wales.

### ***Kullanılan Kanun ve Yönetmelikler***

**European Commision Directive - Urban Wastewater Treatment Directive - 91/271/EEC**

**European Commision Directive Sewage Sludge Reused in Agriculture Directive - 86/278/EEC** 10 April 2006

**European Commision Directive Waste framework Directive 2006/12/EC**

**European Commision Directive Landfill Directive 1999/31/EC**

**Elektrik Piyasası Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun (9.07.2008) Kanun No: 5784**

**Enerji Verimliliği Kanunu (18.04.2007) Kanun No: 5627**

**Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, 2010 Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara**

**Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Çevre ve Orman Bakanlığı - Ankara**

**Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler ile Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik, 04.06.2010, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara**

**Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Çevre ve Orman Bakanlığı - Ankara**

**Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi Verilmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik (4.10.2005) Resmi Gazete No: 25956**

**Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına Dair Kanun (10.05.2005)**

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Fehmi İhsan İNAN

**Doğum Yeri ve Tarihi** : İzmir - 1985

**Yabancı Dili** : İngilizce, Almanca (Çok iyi) Rusça (Başlangıç)

**Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)** :

**Lise** : İzmir Yunus Emre Anadolu Lisesi (Almanca)  
1999-2003

**Lisans** : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü  
2003-2009

**Yüksek Lisans** : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü  
2009-2012

**Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl** :

Six Flags Discovery Kingdom - USA (2005)

Burkasan Plastik Kimya Ambalaj Atık Geri Dönüşüm San. Tic. Ltd. Şti. – Bursa (2008)

BST Su Teknolojisi – Bursa (2007)

DODEM Tarım Hayvancılık Çevre ve Doğal Ürünler San. Tic. Lim. Şti. – Bursa (2009-2010)

**Yayınları** :

**İnan, F.İ. 2009.** Hayvansal atıkların anaerobik olarak arıtılması. Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Çevre Müh. Bölümü. Bursa.