

**KATI ATIK BERTARAF TESİSLERİNDE ORGANİK  
ATIKLARDAN AÇIĞA ÇIKAN DEPO GAZI İLE  
ENERJİ ELDE EDİLMESİ**

**2014  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Ahmet IŞIK**

**KATI ATIK BERTARAF TESİSLERİNDE ORGANİK ATIKLARDAN  
AÇIĞA ÇIKAN DEPO GAZI İLE ENERJİ ELDE EDİLMESİ**

**Ahmet IŞIK**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Şubat-2014**

Ahmet IŞIK tarafından hazırlanan “ KATI ATIK BERTARAF TESİSLERİNDE ORGANİK ATIKLARDAN AÇIĞA ÇIKAN DEPO GAZI İLE ENERJİ ELDE EDİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Durmuş KAYA  
Tez Danışmanı, Karabük Üniversitesi



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21/01/2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Doç.Dr.Hüseyin KURT(KBÜ)



Üye : Prof.Dr.Durmuş KAYA(KBÜ)



Üye : Yrd.Doç.Dr.Engin GEDİK(KBÜ)



21 / 01 / 2014

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa Boz  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Ahmet IŞIK

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **KATI ATIK BERTARAF TESİSLERİNDE ORGANİK ATIKLARDAN AÇIĞA ÇIKAN DEPO GAZI İLE ENERJİ ELDE EDİLMESİ**

**Ahmet IŞIK**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Durmuş KAYA**

**Şubat 2014, 58 Sayfa**

Günümüzde kentlerin en büyük sorunlarından biri hızla artmakta olan katı atıklardır. Bu sorun atıkların bertarafında kullanılan teknolojilerin ekonomik ve çevre dostu olması ile ilgili endişeleri arttırmaktadır ve konuyla ilgili araştırmalar giderek artmaktadır. Bu çalışmada kentsel katı atıklardan enerji üretim teknolojileri değerlendirilmiştir.

Atıkları enerjiye dönüştürmek için çeşitli teknolojiler mevcuttur. Temel olarak bu teknolojilerin başlıcaları düzenli depolama, yakma, gazlaştırma ve anaerobik çürütmedir. Düzenli depolama atıkların mühendislik esaslarına göre depolanmasıdır. Depo gazı enerji üretiminde kullanılabilir. Yakma teknolojisinde atıklar kontrollü olarak ısı geri kazanımı sağlanarak yakılırlar ve buhar türbinleri kullanılarak elektrik üretimi gerçekleştirilir. Gazlaştırma teknolojisi ilk asamada piroliz içerir daha sonra

bunu yüksek sıcaklıklı reaksiyonlar takip eder ve düşük moleköl ağırlıklı gazlar üretilir. Üretilen gaz içten yanmalı motorlar veya boylerler kullanılarak enerji üretimi için değerlendirilir. Anaerobik çürütme prosesinde atıkların organik kısmı oksijensiz ortamda özel tasarlanmış reaktörlerde çürütölür. Bu bakteriyel aktivite altında çürümös atıklar metan ve karbondioksit üretir. Tüm teknolojilerin avantaj ve dezavantajları vardır. Teknoloji seçimi atığın bileşimine, miktarına ve lokal şartlara bağlıdır.

Bu çalışmada atık bertaraf teknolojileri ve atıklardan enerji kazanımı detaylı olarak incelenmiştir. Tezin birinci bölümünde, çalışmanın önemi, amacı ve kapsamı açıklanmıştır. İkinci bölümde katı atık konusu ile ilgili tanımlar ve değerlendirmeler verilmiştir. Daha sonraki bölümlerde kentsel katı atık bertaraf metodları geri kazanım, düzenli depolama, termal dönüşüm teknolojileri ve biyolojik dönüşüm teknolojileri sırasıyla anlatılmıştır. Bunlardan enerji geri kazanımı sağlayan teknolojiler daha detaylı olarak incelenmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Elektrik, metan, çöp gazı, evsel organik atık

**Bilim Kodu** : 914.1.033

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **ORGANIC WASTE SOLID WASTE DISPOSAL FACILITY RELEASED FROM THE GAS TANK WITH OBTAINING ENERGY**

**Ahmet IŞIK**

**Karabuk University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Energy Systems Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Durmuş KAYA**

**February 2014, 58 Pages**

The large and increasing amounts of municipal solid wastes generated each year in several industrialised countries have raised concerns about the economic viability and environmental acceptability of the current waste disposal methodologies. This study evaluates the technologies which allow energy production from municipal solid wastes.

There are various options available to convert solid waste to energy. Mainly, the following types of technologies are available: sanitary landfill, incineration, gasification and anaerobic digester. Sanitary landfill is the scientific dumping of municipal solid waste. The landfill gas could be used for generating power. Incineration technology is the controlled combustion of waste with the recovery of

heat, to produce steam that in turn produces power through steam turbines. Gasification technology involves pyrolysis in the first stage, followed by higher temperature reactions of the pyrolysis products to generate low molecular weight gases. These gases could be used in internal combustion engines or in boilers to produce power.. In anaerobic digestion, the organic fraction of the municipal solid waste is digested in absence of air, in specially designed digesters. Under this active bacterial activity, the digested pulp produces methane and carbon dioxide. All these technologies have merits and demerits. The choice of technology has to be made based on the waste quality, quantity and local conditions.

In this study municipal solid waste disposal technologies and waste to energy technologies were examined in detail. In the first section of the thesis, the importance, aim and extent of the study was explained. In the second section definitions and evaluations about solid wastes were given. In the other sections municipal solid waste disposal methods which are recycling, sanitary landfill, thermal conversion technologies and biological conversion technologies were explained respectively. Waste to energy technologies were examined more in detail than other disposal technologies.

**Key Words** : Electricity, methane, landfill, gas, household organic waste  
**Science Code** : 914.1.033



## TEŐEKKÖR

Tez alıŐmama verdikleri desteklerden dolayı başta danıŐmanım Prof. Dr. Durmuş KAYA'ya, Doç.Dr.Mehmet ÖZKAYMAK ve ArŐ.Gör.Mehmet Volkan AKSAY'a, Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki ve Orman ve Su İŞleri Karabük Őube Müdürlüğündeki arkadaşlarıma, ayrıca her zaman manevi desteklerini hissettiğim sevgili EŐim'e ve sevgili çocuklarıma teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
BEYAN.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. ....	3
ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ.....	3
BÖLÜM 3. ....	7
ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI.....	7
BÖLÜM 4. ....	9
BİOGAZIN TARİHÇESİ.....	9
4.1- BİYOGAZIN GEÇMİŞİ.....	9
4.2-DÜNYADA VE TÜRKİYEDE BİYOGAZ.....	10
BÖLÜM 5. ....	11
KATI ATIK YÖNETİMİ.....	11
BÖLÜM 6. ....	13
GERİ KAZANIM .....	13

BÖLÜM 7. ....	16
DÜZENLİ DEPOLAMA .....	16
BÖLÜM 8. ....	18
DEPO GAZI OLUŞUMU VE ÖZELİKLERİ .....	18
8.1. BİYOGAZ VE ÇEVRE.....	23
8.2. BİYOGAZIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJI .....	26
8.3. BİYOGAZIN DEPOLANMASI .....	26
8.4. BİYOGAZIN KULLANIMI .....	27
8.5. DEPOGAZI HESAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	27
8.5.1. Yöntem 1 .....	28
8.5.2. Yöntem 2 .....	28
8.5.3. Yöntem 3 .....	29
8.5.4. Yöntem 4 .....	29
8.5.5. Tabasaran/Rettenberger Modeli.....	29
8.5.6. Landgem Modeli.....	30
8.5.7. Multi-Phase Modeli .....	31
BÖLÜM 9. ....	32
ATIK STABİLİZASYONU ve METAN OLUŞUMU .....	32
9.1. ETKİLİ FAKTÖRLER.....	32
9.1.1. Oksijen.....	32
9.1.2. Hidrojen .....	32
9.1.3. Ph ve Alkalinite .....	32
9.1.4. Sülfat.....	33
9.1.5. Besi Maddeleri.....	33
9.1.6. Organik Maddeler .....	33
9.1.7. İnhibitörler.....	33
9.1.8. Sıcaklık .....	34
9.1.9. Nem ve Su Muhtevası.....	34
9.1.10. Dane Boyutu .....	35
9.2. DEPO GAZLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	36

BÖLÜM 10 .....	37
DEPO GAZININ ENERJİ AMAÇLI KULANIMI .....	37
10.1. ÇÖP GAZININ TOPLANMASI.....	37
10.2. TOPLANAN ÇÖP GAZININ BELİRLİ İŞLEMLERDEN GEÇİRİLEREK İYİLEŞTİRİLMESİ.....	42
10.3. ÇÖP GAZININ MOTOR- JENERATÖR GRUPLARINDA YAKILARAK ELEKTRİK ELDESİ.....	43
10.4. EMNİYETLİ İŞLETME İÇİN YAKMA BACASI UYGULAMASI .....	43
10.5. MEMBRAN-GAZ DEPOLAMA BALONLARI .....	44
10.6. ELDE EDİLEN ELEKTRİĞİN ENH İLE TÜKETİCİLERE İLETİLMESİ .....	45
BÖLÜM 11 .....	47
BİR BELEDİYE'YE AİT KATI ATIK POTANSİYELİ VE GERİ DÖNÜŞÜM SONUCUNDA ELDE EDİLECEK EKONOMİK KAZANÇ .....	47
BÖLÜM 12. ....	49
SONUÇ .....	49
KAYNAKLAR .....	51
ÖZGEÇMİŞ .....	53

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 1.1. Düzenli Depolama Sahası Kesiti.....	2
Şekil 2.1. Dünyada Enerji Üretimi.....	4
Şekil 2.2. Dünyada Enerji Tüketimi.....	4
Şekil 2.3. Dünya Enerji Üretim ve Tüketim Değerleri.....	5
Şekil 5.1. Entegre Katı Atık Yönetimi Akım Diyagramı.....	13
Şekil 6.1. Depo Gazından Enerji Üretim Sistemi.....	16
Şekil 6.2. Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretim Teknolojileri.....	17
Şekil 7.1. Bir Düzenli Depolama Sahasının Kesit Görünüşü.....	19
Şekil 7.2. Depolama Sahası Kesit Görünüşü .....	19
Şekil 8.1. Biyogazı Oluşturan Metan Molokülü.....	20
Şekil 8.2. Kompleks Organik Maddenin Basit Maddeye Dönüşümü.....	20
Şekil 8.3. Metan Fermantasyonunun Prensipleri.....	21
Şekil 8.4. Farklı Ürünlerin Metan Üretim Oranları.....	21
Şekil 8.5. Depo Gazı Oluşum Eğrileri.....	24
Şekil 8.6. Biogaz ve Çevre .....	25
Şekil 8.7. Fotosentez Biogaz Döngüsü.....	26
Şekil 9.1. Depo Gazı Üretim Hızı İle Nem Arasındaki İlişki.....	38
Şekil 10.1. Tipik Bir Çöp Gazından Enerji Tesisi Şeması .....	41
Şekil 10.2. Elektrik ve Isıl Güç Elde Edilecek Kojenarasyon Sistemi.....	41
Şekil 10.3. Tesisin Temel tasarımı.....	42
Şekil 10.4. Kuyu Yerleşimleri .....	42
Şekil 10.5. Kuyuların Tipik Yapısı .....	43
Şekil 10.6. Kuyu Yapısı.....	43
Şekil 10.7. Pasif Gaz Toplama Sisteminin Genel Görüntüsü .....	44
Şekil 10.8. Aktif Gaz Toplama Sisteminin Detay Kesiti.....	44
Şekil 10.9. Monifold Sistemi.....	45
Şekil 10.10. İletim Boruları ve Üst Kaplama .....	45
Şekil 10.11. Çöp Depolama Gazının Aktif ve Pasif Olarak İşlenmesi.....	46
Şekil 10.12. Gaz İyileştirme Ünitesi .....	46
Şekil 10.13. Elektrik Eldesi .....	47
Şekil 10.14. Gaz Şartlandırma Sistemi .....	48

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 10.15. Motor, Jeneratör Grubu ve Otomasyon .....	48
Şekil 10.16. Membran Gaz Depolama Balonları .....	49
Şekil 10.17. Sistemin Genel Çalışma Prensibi.....	50
Şekil 10.18. Elektrik Üretim ve Dağıtım Sistemi .....	51
Şekil 11.1. Katı Atık Ayrıştırma.....	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 8.1. Depo gazında bulunan bileşenler ve özellikleri.....	26
Çizelge 8.2. Depo gazı bileşenlerinin fiziksel özellikleri.....	27
Çizelge 8.3. EPA modeli parametreleri .....	33
Çizelge 10.1. Evsel katı atık depolama eldesinden gaz verimi.....	50
Çizelge 11.1. Hesaplar için esas alınan atık kompozisyonu ve geri kazanılabilir atık miktarı.....	52

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

C	: karbon
CH <sub>4</sub>	: metan
CO	: karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	: karbondioksit
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	: asetilen
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	: etilen
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	: etan
E	: enerji
t	: saat
H <sub>2</sub>	: hidrojen
H <sub>2</sub> O	: su buharı
kJ	: kilo joule
kg	: kilogram
kW	: kilowatt
m <sup>2</sup>	: metrekare
H <sub>2</sub> S	: hidrojen sülfür
NH <sub>3</sub>	: amonyak
Kwh	: kilowat saat
m <sup>3</sup>	: metreküp
N <sub>2</sub>	: azot
O <sub>2</sub>	: oksijen
Q	: ısı miktarı
SO <sub>2</sub>	: kükürt dioksit
T	: sıcaklık
°C	: derece santigrat
y	: yıl



## **KISALTMALAR**

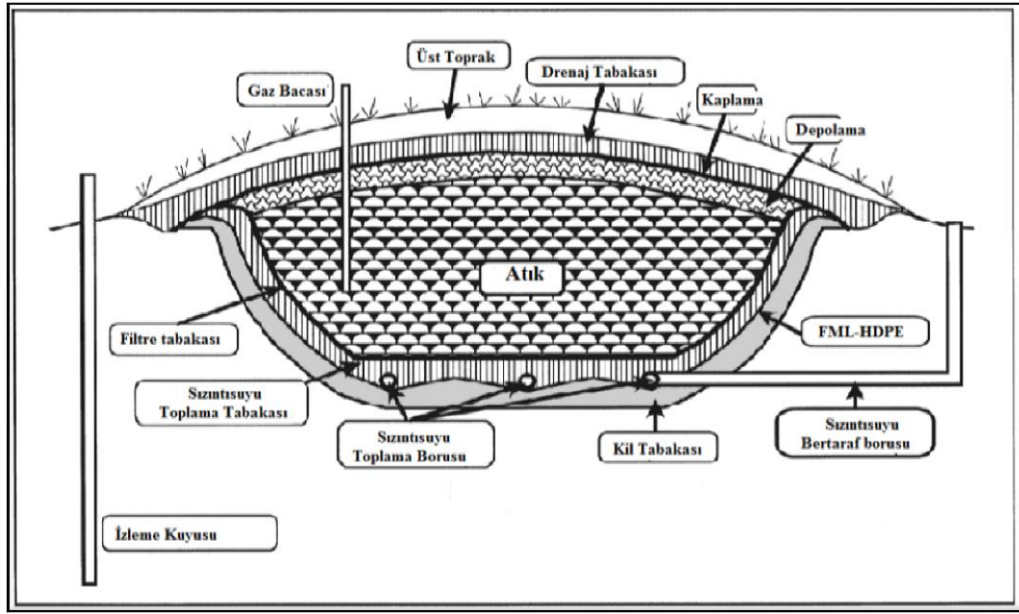
EKA	: Evsel Katı Atık
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TK	: Toplam Katı
ÖÇÇ	: Ön Çökeltme Çamuru
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüzde kentlerin en büyük sorunlarından biri hızla artmakta olan katı atıklardır. Artan nüfus, kentleşme ve sanayileşmeye paralel olarak oluşan katı atık miktarı da hızla artmakta ve kentler için giderek daha büyük bir sorun haline gelmektedir. Geçmişte uygulanan , insan ve çevre sağlığı açısından büyük riskler taşıyan katı atıkların vahşi döküm sahalarına dökülmesi uygarlaşan dünyada giderek geçerliliğini kaybetmektedir. Ülkemizde binlerce çöp depolama alanı bulunmaktadır. Bunların çoğunda vahşi depolama yapılmaktadır. Vahsi çöp depolama alanları gerekli önlemler alınmadan çöplerin depolandığı alanlardır. Bu tür depolama alanlarından sızan, çok kirli sızıntı suları yüzeysel ve yer altı su kaynakları ve toprakları kirletmektedir.

Ülkemizde yılda yaklaşık olarak 29 milyon ton çöp oluşmaktadır. Bu çöpün ancak %60'ı düzenli depolama alanlarında depolanmaktadır. 13 milyon ton çöp vahsi olarak depolanmaktadır. Marmara ve Ege Bölgesinde kişi başına oluşan çöp miktarı 1,15-1,28 kg /gün olarak değişirken bu değer Akdeniz, Karadeniz ve İç Anadolu bölgesinde 0,8-1,28 kg/gün olarak değişmektedir. Güneydoğu Anadolu ile Doğu Anadolu bölgesinde ise bu değer 0,75-0,9 kg/gün'dür. Günlük çöp oluşum miktarı bölgesel milli geliri bağlı olarak da değişmektedir. Gelir seviyesi arttıkça kişi başına oluşan çöp miktarı da artmaktadır.



Şekil 1.1. Düzenli depolama sahası kesiti.

Ülkemizde oluşan çöplerin özellikleri genel olarak; %65-70 oranında biyolojik olarak bozunabilir organik atıklardan, %20-24 oranında geri kazanılabilir atıklardan ve %13-16 oranında ambalaj atıklarından oluşmaktadır. Bugün, Türkiye'nin 3225 yerel yönetimin de 69 adet bertaraf tesisi 903 belediyede 44,5 milyon nüfusa hizmet vermektedir. 2017 yılı sonuna kadar tesis sayısı 130'a hizmet verdiği nüfus oranında %77'e çıkarılması planlanmaktadır. (Düzenli Depolama Sahası Kesiti Şekil 1.1'de verilmiştir.)

Ülkemizde oluşan çöp içindeki organik maddenin miktarının çok yüksek olduğu görülmektedir. Türkiye katı atığın neredeyse yarısını teşkil eden organik maddelerin, kaynağında ayrı toplanması konusunda yöntemin iyileştirilmesi, disipline edilmiş sistemin geliştirilmesi ile doğal yolla çöp gazı üretimi, kısa zamanda biyogaz tesisleri inşa ederek, sisteme giren organik maddenin anaerobik/havasız ortamda fermentasyonu/çürütülmesi ile yenilenebilir enerji kaynağı metan ve sulu %100 organik gübre elde edilecektir. Bugün dünyanın %70'i (3/4'ü) suyla çevrili olmasına karşılık, ciddi su ve enerji sorunu ile karşı karşıya kaldığı göz önünde bulundurulduğunda da biyogaz tesisinde doğal organik gübre, su ve enerji eldesi ile bire karşılık üç ürün alınabilir dense yeri vardır.

## BÖLÜM 2

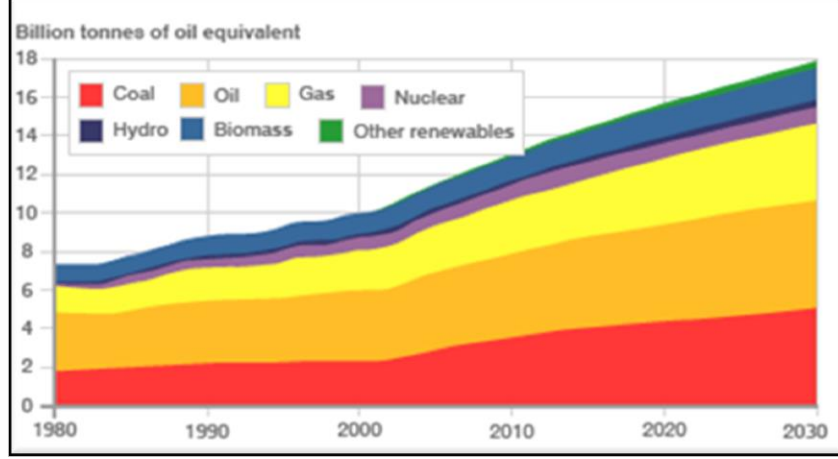
### ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ:

Organik atıklar depolama alanlarında bozunduğu zaman deponi gazına dönüşmektedir. Yani, Türkiye'deki depolama alanlarında daha fazla miktarda küresel ısınmaya neden olan sera gazı metan oluşmaktadır. Karbondioksit göre 21 kat daha etkili olan sera gazı metan küresel ısınmaya neden olmaktadır. Ülkemizde de sera gazı kaynaklarından biride çöp depolama alanlarıdır. Diğer taraftan metan gazı önemli bir enerji kaynağıdır. Düzenli depolama alanlarında oluşan deponi gazının da çoğu geri kazanılmamaktadır. Yani çöp depolama alanlarından önemli miktarda deponi gazı kontrolsüz olarak atmosfere salınmaktadır. Bu gazlarda hem küresel ısınmaya neden olmakta hem de önemli miktarda enerji kaynağı bertaraf edilmektedir. Deponi gazının kontrol edilmediği depolama alanları önemli bir sera gazı metan kaynağıdır. Bunun kontrol edilmesi gereklidir. Depolama alanlarında verilen organik maddelerin kademeli olarak azaltılmalı veya depolama alanları biyoreaktörlere dönüştürülmelidir. Organik maddesi yüksek olan çöplerin depolandığı alanlarda oluşan sızıntı suları evsel atık sulara göre 60 kat daha fazla kirlilik yüküne sahiptir. Sızıntı sularının mutlaka arıtılması gereklidir.

Ülkemizde 1980'li yıllarda alternatif enerji arayışları içinde gündeme gelen biyogaz, yaygın olmamak üzere 2000 yılından itibaren bazı bölgelerimizde tezekten elde edilerek evsel kullanıma yönelik uygulamalarla gündeme girmiştir. İnsanlık tarihinin hiçbir döneminde enerji göz ardı edilerek gelişme olmamıştır. Her ne şekilde olursa olsun ilerlemenin temel gücü kesinlikle enerji olmuştur. Günümüzde enerji kalkınmışlığın bir göstergesi kabul edilmekte, ülkelerin gelişmişliği kişi başına düşen enerji miktarı ile ölçülmektedir (Dünyada Enerji Üretimi Şekil 2.1'de verilmiştir.).

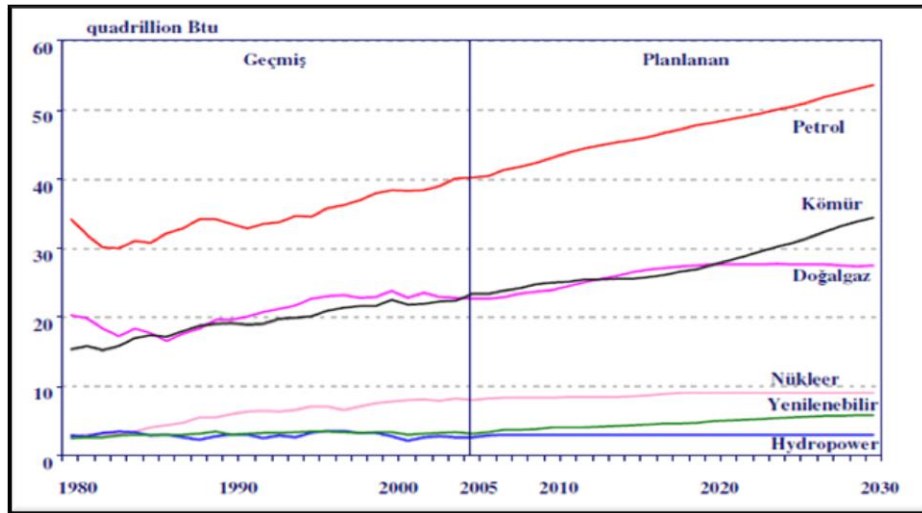
Enerji temel iki kaynaktan sağlanmaktadır. Bunlar; yenilenemeyen ve yenilenebilen enerji kaynaklarıdır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının sanayi devriminin

başlamasından günümüze kadar bilinçsizce tüketilmesi tehlike çanlarının çalmasına sebep olmuştur. En iyimser hesaplar bile yenilenemeyen enerji kaynaklarının (Petrol, kömür, doğalgaz v.b. ) yakın bir gelecekte tükeneceğini göstermektedir. Oysa gelişmeye paralel olarak enerji tüketimi de artmaktadır ( Dünyada Enerji Tüketimi Şkil 2.2’de verilmiştir).



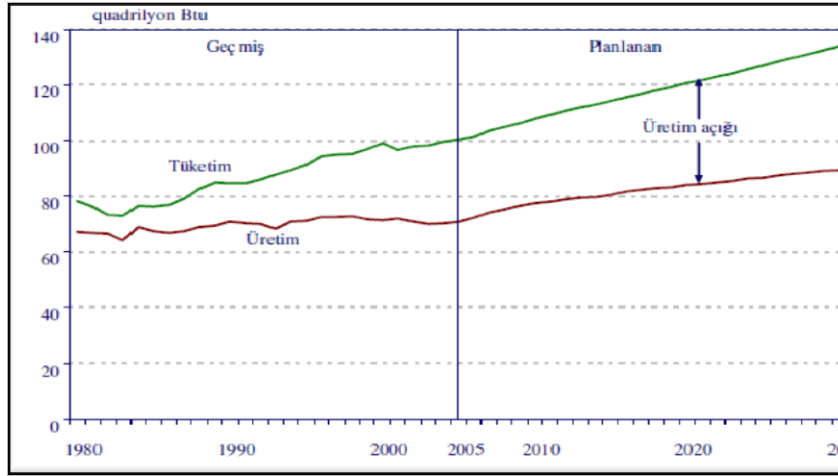
Şkil 2.1. Dünyada enerji üretimi.

Dünyanın enerji tüketimi son yirmi yıl içerisinde beklenenden % 57 daha fazla artmıştır. Burada geçmiş otuz yılın tüketim bilgileri ve gelecek yirmi yılın tahmin edilen tüketim değerleri verilmiştir. Burada açıkça görülmektedir ki dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmı (yaklaşık % 86) fosil yakıtlardan elde edilmektedir.



Şkil 2.2. Dünyada enerji tüketimi.

Gelecekte ülkelerin ve küresel ekonomilerin hızla büyüebilmesi için ülkelerin enerji ihtiyaçlarının ve tüketimlerinin de aynı hızda büyümesi gerektiği bilinen bir gerçektir. Fosil yakıtlar dünyanın her bölgesinde bulunmamakla birlikte yakıtların çıkarıldıkları bölgelerdeki siyasi ve ekonomik sıkıntılar bütün dünyayı etkilemektedir. Ayrıca geleneksel enerji kaynaklarından günümüz teknolojileri ile elektrik üretimi sırasında ciddi çevre kirliliği sorunları meydana gelmektedir. Bu sebeple bütün dünyada yeni ve temiz enerji türlerine olan ilgi ve araştırmalar hızla artmaktadır. EIA (Energy Information and Administration) kurumu tarafından oluşturulan istatistiksel bilgiler doğrultusunda Dünyanın toplam enerji üretim ve tüketimine dair veriler Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Dünya enerji üretim ve tüketim değerleri.

Eğriden de görüldüğü gibi gelecek 20-30 yıl süresinde dünyanın ürettiği enerji talep edilen ve tüketilen enerji miktarını karşılamayacaktır. Ortaya çıkan enerji açığını azaltmak için ya enerji kullanımında kısıtlamalara gidilmeli veya alternatif enerji kaynakları üzerindeki çalımsalar daha da arttırılarak ilerletilmelidir. Günümüzde fosil kökenli enerji kaynakları hazır olarak tüketilmekte ve enerji kullanımında önemli bir artış görülmektedir. Enerjinin kullanımı ile enerji kaynakları arasındaki ilişki, enerji maliyetlerinde dramatik bir artışa neden olmasına rağmen kaynakların uygun miktarda kullanımını gerektirmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek, dolayısı ile yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenme sürecini yavaşlatmak bir zorunluluk olmuştur. Dünyada tüm ülkeler bu konuda yoğun çabalar içindedirler. Günümüzde enerjinin temini ve kullanımını çok güçlü sosyal ve çevresel etkilere sahiptir. Nüfus artışı, lüks yaşantı arzusu, maddi kazanç, hareketlilik ve iletişim ile giderek artan sayıdaki insanın bu arzulara kavuşmak için malzemeye, teknolojiye ulaşması beraberinde artan enerji talebini ve bu talebi karşılamak için de yoğun çabaları getirmiştir. Enerji tüketiminin hızla arttığı ve bu alanda tüketimin yüksek boyutlara ulaştığı günümüzde, insanın alışa geldiği enerji kaynaklarının yakında bir gelecekte tükeneceği gerçeğini, bilimsel bulgular ortaya koymaktadır.

Özellikle 1973 enerji krizinden sonra, ulusal ve uluslar arası enerji problemleri günlük yaşamın bir parçası haline gelmiş, alternatif (yenilenebilir) enerji kaynakları üzerine çok yoğun bir şekilde araştırmalara başlanmıştır. Bu yeni enerji kaynaklarının bulunması, enerji teknolojisinin geliştirilmesi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde çalışmaların yoğunlaştığı alanlar olmuştur. Bu alanlar temiz enerji kaynakları olarak adlandırılan jeotermal, güneş, rüzgar, hidrojen, biyodizel ve biyogaz enerjileri son yıllarda üzerinde en çok durulan ve araştırılan konuları oluşturmaktadır.

Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları enerji potansiyellerinin yanında çevre ile uyumlu oluşları nedeniyle önemli bir ilgi odağı olmaktadır. Çevresel sorunlar yaratan atıkların işlenerek zararsız hale getirilmesi ve enerji eldesinde kullanılabilmesini sağlayan biyogaz teknolojisi, yenilenebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynamaya adaydır.

## BÖLÜM 3

### ÇALISMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Günümüze dünyada biyogaz üzerinde birçok araştırmalar yapılmış ve bunların bir çok kısmı da oldukça başarılı olmuştur. Biyogazın günlük hayatımıza daha çok girmesi için dünya genelinde çalışmalar devam etmektedir. Türkiye’de deponi gazından enerjiye dönüşüm sanayisinin mutlaka geliştirilmesi gereklidir. Bugün ülkemizde çoğu depolama alanlarında oluşan fevkalade yüksek enerjiye sahip önemli miktarda deponi gazı atmosfere gelisi güzel verilmektedir. Globalleşen dünyanın getirdiği teknolojik gelişmeler, enerjinin önemini bir kat daha ön plana çıkarmıştır. Bireysel kullanılan enerji miktarı artmakta, bu da enerji üretimindeki sorunları ön plana çıkarmaktadır. Bu proje, bölgenin enerji getirilerini artıracak, atıkların bertaraf edilmesini sağlayacak, hatta organik tarıma kazandıracak, başarılı olması durumunda ise diğer enerji girişimcilerini harekete geçirecek ve bölgesel enerji sorununun çözümünde dışa bağımlı oluşumu bitirecektir.

Günümüzde katı atıkların bertaraf edilmesi için farklı teknolojiler geliştirilmekte, mevcut teknolojiler iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde 1970’li yıllardan itibaren düzenli depolama ve yakma teknolojileri katı atıkların bertaraf edilmesinde kullanılmaya başlanmıştır. 1990 ve 2000’ li yıllarda ise gazlaştırma ve anaerobik çürütme teknolojileri atık yönetim sistemlerindeki yerlerini almaya başlamışlardır. Katı atıkların vahsi depolama ile değil, diğer teknolojilerle bertarafı hiç şüphesiz büyük maliyetler oluşturmaktadır. Bu noktada atıklardan ekonomik olarak değerlendirilebilir ürünler elde edilip edilemeyeceği sorusu gündeme gelmiştir.



Atıklardan elde edilebilecek ürünler geri kazanılabilir maddeler, kompost ve enerjidir. Enerji geri kazanımı üzerinde en çok çalışılan konulardan biridir. Ayrıca katı atıkların enerji potansiyeli oldukça yüksektir. Tabii ki katı atıkların tek başına artan enerji ihtiyacını karşılaması beklenemez. Ancak atıklar bertaraf edilirken aynı zamanda enerji potansiyellerinin değerlendirilmesi en uygun seçenek olacaktır. Henüz istenilen seviyeye ulaşamamış olsa da dünyada atıklardan enerji üreten ve özellikle lokal enerji ihtiyacının büyük kısmını karşılayan birçok tesis bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, kentsel katı atıklardan enerji üretim teknolojilerini inceleyerek bu teknolojilerin teknik ve ekonomik analizlerinin yapılmasıdır. Bu amaçla çalışmada incelenen teknolojiler düzenli depolama, yakma, gazlaştırma ve anaerobik çürütmedir. Düzenli depolama teknolojisinde kentsel katı atıklar mühendislik çalışmaları yapılmış sahalarda biriktirilir. Sahada atıkların biyolojik bozunmaları sonucu enerji değeri olan başlıca metan ve karbondioksitten oluşan depo gazı elde edilir. Depo gazının enerji potansiyeli yaygın olarak direkt ısıtma sistemlerinde, içten yanmalı motor veya gaz türbinli kojenerasyon tesislerinde değerlendirilmektedir. Yakma teknolojisinde ise atıklar herhangi bir ön proses uygulanmadan fırınlarda yakılarak veya katı atıklar işlenerek elde edilen, kalorifik değeri daha yüksek yakıtın ,akışkan yataklı sistemlerde yakılması sonucu bertaraf edilirler ve üretilen enerji elektrik ve ısı üretiminde kullanılır. Bir başka termal dönüşüm teknolojisi olan gazlaştırmada ise atıklardan sentez gazı denilen bir yakıt elde edilir ve enerji üretiminde kullanılır.

Anaerobik çürütme ise bir biyolojik dönüşüm teknolojisidir. Anaerobik çürütmede kentsel katı atıkların organik kısmı reaktörlerde bozunmaya uğrar ve biyogaz elde edilir. Elde edilen biyogazın metan içeriği depo gazına oranla daha fazladır. Biyogaz depo gazında olduğu gibi direkt ısıtma sistemlerinde ve içten yanmalı motorların kullanıldığı elektrik üretim veya kojenerasyon tesislerinde değerlendirilebilir.

## BÖLÜM 4

### BİYOGAZIN TARİHÇESİ

#### 4.1. BİOGAZIN GEÇMİŞİ

İnsanoğlu 200 yıldan daha fazla bir süredir biyogazı kullanmaktadır. Elektrik kullanımından önce Londra da fosseptik çukurlardan alınan gaz ile sokak aydınlatmasında kullanmışlar ve gaz lambası ismini vermişlerdir. Daha sonra dünyanın pek çok yerinde ısıtma, aydınlatma ve pişirme amaçlı kullanmışlardır.

Biyogaz dediğimizde çoğu metandan oluşan gaz karışımı 17.yüzyılda bataklıklarda fark edilmiş ve bataklık gazı olarak adlandırılmıştır. Daha sonraları 19. yüzyılda biyogazın, organik atıkların havasız şartlarda bozunmaları ile oluştuğu belirlenmiştir. Biyogaz konusundaki ilkyazılar 1682 yılında Robert Boyle ve Denis Papin ile 1727 yılında Stephen Hales tarafından yazılmıştır. 1895 yılarında İngilizler biyogaz teknolojisini geliştirerek çok amaçlı kullanmıştır.

1821 yılında Avogadro  $CH_4$  ' ü metanın simgesi olarak açıklamıştır. 1887 yılında Popoff, Tappeiner ve Hoppe-Seyle'in selülozun parçalanması ve metan fermentasyonu üzerine birer çalışmaları bulunmaktadır. 1884'de tanınmış bilim adamı bakteriyolog Pastör at gübresinden biyogaz elde etmiş ve bu gazı Paris caddelerinin aydınlatmasında kullanmıştır.

1955–1972 petrol fiyatlarının düşmesi biyogaza olan ilgiyi azaltmıştır. 1973–1975 yılında başlayan petrol sıkıntısı ve dünyada enerji fiyatlarının yükselmesi biyogaz konusunu tekrar gündeme getirmiştir. Gelişmiş ülkelerde ve onların önderliğindeki güney ülkeleri ve Doğu Asya ülkelerinde araştırma, demonstrasyon ve üretim amaçlı ülkelerin kendi koşullarına uygun biyogaz üreteçleri kurulmaya başlanmıştır. Almanya' da 3 yıl içerisinde 58 adet tesis kurulmuştur. Aynı yıl Avrupa Topluluğu

ülkelerindeki tesis sayısı da 300'ü bulmuştur. 1985–1990 yılları arasında biyogaz tesisi yapımı yavaşlamıştır. 1990 yılından itibaren özellikle Almanya'da enerji yasasındaki değişiklikler, konfermentasyon teknolojisindeki gelişmeler, gaz motoru ve jeneratör ikilisinin kolay kullanımı, H<sub>2</sub>S'nin gaz içerisinde temizlenebilmesi biyogaz teknolojisinin tekrar kullanılmaya başlanmasına yardımcı olmuştur. Günümüzde biyogaz teknolojisi enerji üretiminin yanı sıra çevre koruma açısından da büyük öneme sahip olduğu için başta gelişmiş ülkeler olmak üzere biyogaz konusunda büyük gelişmeler göstermektedir.

#### **4.2. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE BİYOGAZ**

Hayvansal atıklardan yararlanılarak, ilk kez biyogaz üretimi İngiltere'de gerçekleştirilmiş ve elde edilen biyogazla 1885'de Ekseter kenti caddeleri aydınlatılmıştır. Bunu 1900'de Hindistan Bombay 'da kurulan biyogaz üretici izlemiştir. 1900'lü yılların ilk çeyreğinde biyogaz dünyada yaygınlaşmaya başlamıştır. Bazı dünya ülkelerinde biyogaz hakkındaki yaptığı çalışmalar şunlardır. Dünya'da kurulu havan gübresinden biyogaz tesislerinin %80'i Çin'de, %10'u Hindistan, Nepal ve Tayvan'da ve geri kalanı diğer ülkelerde kuruludur.

<b>Ülkeler</b>	<b>Tesis Sayısı</b>
Çin	7.000.000
Hindistan	2.900.000
Kore	29.000
Brezilya	2.300
Bangladeş	566
Nepal	49.500

Biyogaz tesislerinin yanı sıra, şebeke ile bağlantılı çalışan “çöp termik santralleri” ile elektrik üretimi sağlanabilir. Avrupa da yemek ve gübre artıklarından enerji araştırmaları gün geçtikçe artmaktadır. Danimarka'da 19, Almanya'da 11 ve İsveç'te 10 tane biyogaz üretim tesisi yapımı devam etmektedir. Türkiye bir tarım ve hayvancılık ülkesidir. Türkiye'de biyogaz ile ilgili çalışmalar 1957 yılında Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü'nde başlanmıştır. Daha sonra 1963–1969 arasında

Eskişehir Bölge Toprak su Araştırma Enstitüsü'nde olay ilerlemiştir. 1982'de Türkiye'de ciddi bir biyogaz projesi başlatılmış ve pilot uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu sırada Türkiye'nin biyogaz potansiyeli 2,8-3.9 milyar m3 olarak belirtilmiştir. Günümüzde Türkiye'de Üniversitelerin Teknik Eğitim, Fen Edebiyat, Mühendislik Fakülteleri'nde ve Fen Bilimleri Enstitü'lerinde birçok çalışma yapılmaktadır.

## BÖLÜM 5

### KATI ATIK YÖNETİMİ

Yerlesim biriminin nüfusu arttıkça katı atıktaki çeşitlilik ve birim atık miktarı çoğalmaktadır. Katı atıkların miktar ve özellikleri ülkeden ülkeye degistigi gibi aynı ülkede bölgeden bölgeye hatta aynı şehirde semtten semte degisebilmektedir. Bu değişim gelir seviyesi ile tüketim ve kullanım alışkanlıklarına bağlıdır. İyi bir katı atık yönetimi ile bütün atıklar kontrol altına alınır. En ideal şartlarda planlanan ve işletilen entegre bir katı atık yönetim sisteminde hiçbir surette kontrolsüz katı atık oluşmaz.

Etkili bir katı atık yönetimi;

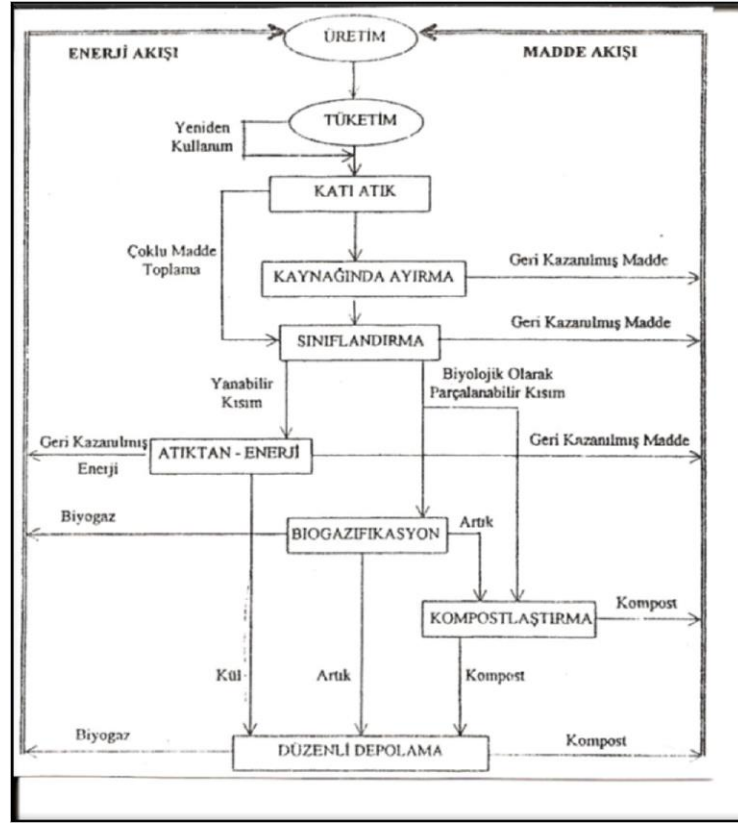
- Atık oluşumu,
- Kaynakta sınıflandırma, biriktirme, ayıklama ve işleme
- Toplama,
- Transfer,
- Ayırma, işleme ve dönüştürme,
- Nihai bertaraf olmak üzere başlıca altı unsuru ihtiva eder. Bu unsurların her biri bağımsız olarak ele alınmalıdır. (Entegre katı atık yönetimi akım diyagramı Şekil 5.1’de gösterilmiştir.)

Katı atık yönetim sisteminde uygulanan değerlendirme ve bertaraf teknolojileri su şekilde sıralanabilir:

- Geri kazanma
- Düzenli depolama
- Termal dönüşüm teknolojileri
- Yakma
- Gazlastırma

- Piroliz
- Biyolojik dönüşüm teknolojileri
- Aerobik kompostlaştırma
- Anaerobik kompostlaştırma

Atıkların enerji değerinin fark edilmesiyle, atıkların bertaraf edilirken aynı zamanda enerjisinden faydalanma fikri giderek yaygınlaşmaktadır.



Şekil 5.1. Entegre katı atık yönetimi akım diyagramı.

Kentsel katı atıklardan enerji elde etmek için kullanılan teknolojiler ise:

- Düzenli depolama
- Yakma
- Gazlaştırma
- Naerobik çürütme prosesleridir.

## BÖLÜM 6

### GERİ KAZANIM

Gerek katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliği sorununun çözülmesinde, gerekse kaynakların ve doğanın kullanımında rasyonelliğin sağlanmasında, katı atıkların ekonomiye geri döndürülmeleri “Geri Kazanım” kavramını ortaya çıkarmıştır. Geri kazanım, geri kazanılacak atıkların bir hammadde gibi kullanılıp, sahip olduğu özellikler dikkate alınarak, değişik ürünlere ve enerjiye çevrilerek birden fazla kullanılmasıdır. Plastik, cam, metal, kâğıt, seramik, tekstil, kemik ve ahşap gibi malzemeler, depolama alanlarına gömülmek yerine ikincil hammadde olarak değerlendirilebilir. Bu şekilde hem endüstrinin hammadde ihtiyacı azaltılır, endüstriye ekonomik şekilde hammadde temin edilir, hem de hammadde üretimi için harcanan enerji, su vb. tüketimi azaltılır. Ayrıca bu atıkların yoğunluğu genellikle çok düşük olduğu için, büyük bir çöp hacmini oluşturlar. Değerlendirilebilir atıkların ekonomiye geri kazanılmasıyla, depolama sahalarına giden atık hacmi önemli mertebede azalır ve depolama sahalarının ömrü böylece uzatılır.

Evsel atıklarda bulunan değerlendirilebilir kuru atıklar genellikle aşağıdaki sınıflardan ibarettir:

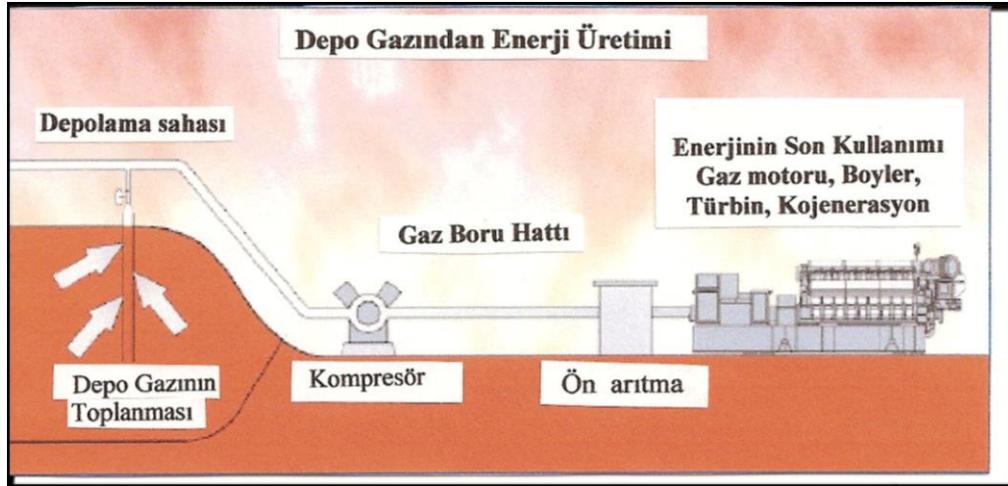
- Cam ve seramik
- Kâğıt/karton
- Plastik (PET, PVC, PP/PE, LDPE), kauçuk
- Metal (Alüminyum, demir, pirinç alarımları, bakır)
- Tekstil, deri
- Ahşap
- Kemik

Depo gazından enerji geri kazanımı için dört ana yol mevcuttur. Bunlar; direkt ısıtma, elektrik üretimi, kimyasal besleme stoku ve boru hattı kalitesinde gaza

saflaştırmadır. Her bir metot çeşitli depo gazı uygulamalarına sahiptir.(Depo gazından enerji üretim sistemi Şekil 6.1’ da verilmiştir) Metotlar ve uygulama teknolojileri su sekildedir:

- Direkt ısıtma uygulamaları
  - ✓ Endüstriyel kazanlar için kullanımı
  - ✓ Ortam ısıtma ve soğutma
  - ✓ Endüstriyel ısıtma/ortak yakma
  
- Elektrik üretimi uygulamaları içten yanmalı motorlarda kullanımı
  - ✓ Gaz türbinlerinde kullanımı
  - ✓ Buhar türbinlerinde kullanımı
  - ✓ Kojenerasyon uygulamaları
  - ✓ Mikro türbinlerde kullanımı
  - ✓ Yakıt pillerinde kullanımı
  
- Boru hattı kalitesinde gaza saflastırma
  - ✓ Tasıt yakıtı olarak kullanımı
  - ✓ Yerel dogalgaz sebekesine enjeksiyon
  
- Kimyasal üretim proseslerinde besleme stoku olarak
  - ✓ Metanole dönüşüm
  - ✓ Dizel yakıtı dönüşüm





Şekil 6.1. Depo gazından enerji üretimi sistemi.

Yaklaşık olarak 1 Ton Çöp 100-200 m<sup>3</sup> Çöp Gazı'na eşdeğerdir.

1 m<sup>3</sup> biyogazdan 1,7 kwh elektrik ve 2 kwh ısı elde edilebilir.

**1 m<sup>3</sup> biyogazın etkili ısısı;**

0.62 l gazyağının

1.46 kg odun kömürünün

3.47 kg odunun

0.43 kg bütan gazının

12.30 kg tezeğin

Sağladıkları ısıya eş değerdir.

**1 m<sup>3</sup> biyogaz;**

0.66 l motorin

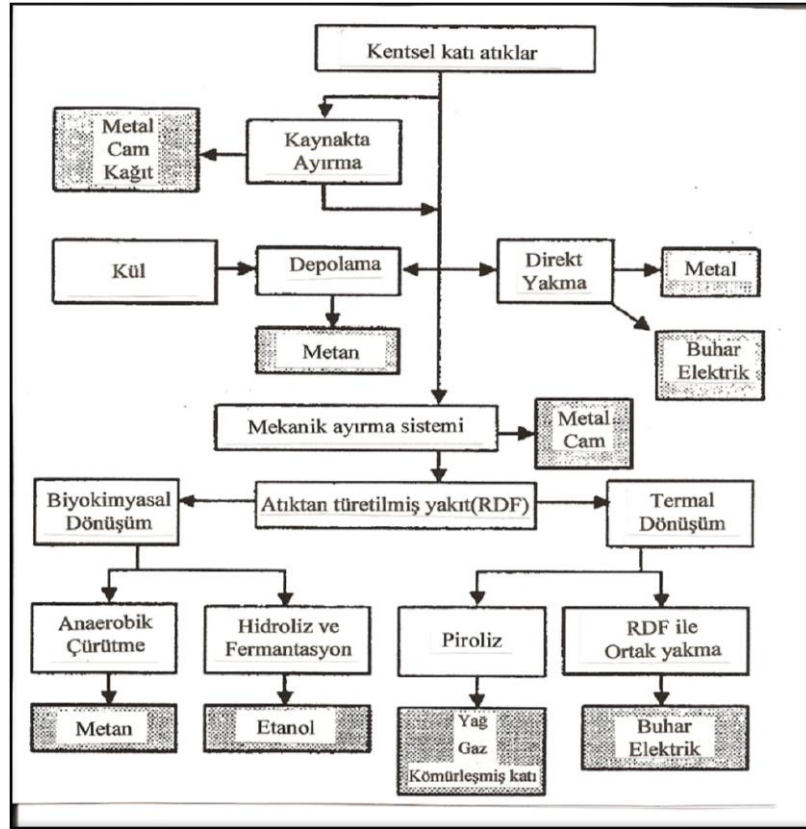
0.75 l benzin

0.25 m<sup>3</sup> propan

0.2 m<sup>3</sup> bütan

0.85 kg kömür

4.70 Kwh elektriğin 1.18 m<sup>3</sup> havagazı'nın sağladığı etkili ısıya eşdeğerdir. (Kentsel katı atıklardan enerji üretim teknolojileri 6.2'de verilmiştir.)



Şekil 6.2. Kentsel katı atıklardan enerji üretim teknolojileri.

## BÖLÜM 7

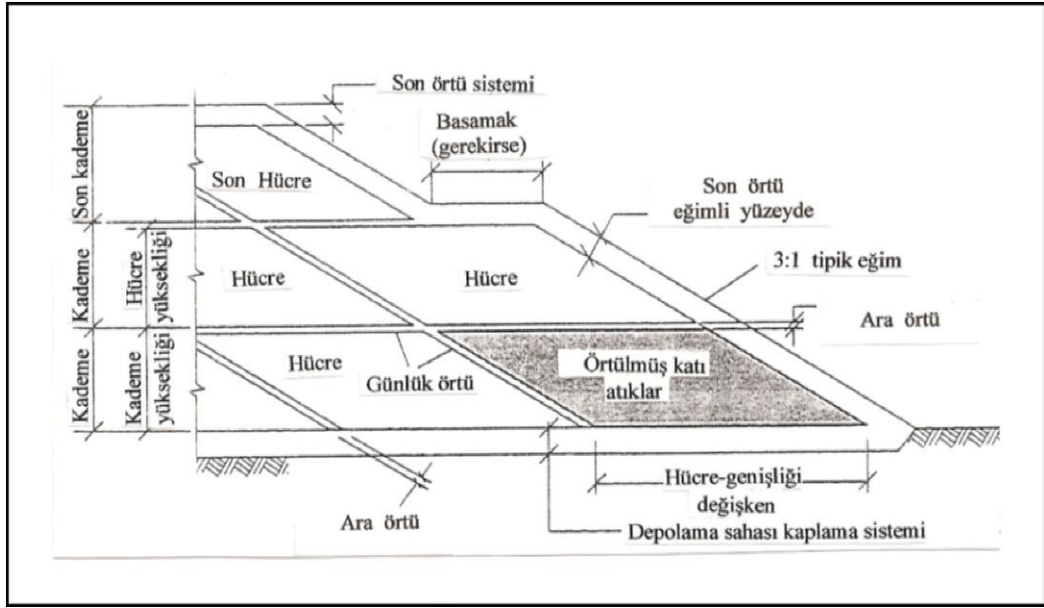
### DÜZENLİ DEPOLAMA

Atıkların arazide depolanması atık bertaraf yöntemlerinin en eskisi ve en çok kullanılanıdır. Katı atıkların araziye gelisigüzel atılması, sızıntı suyu ve olusan gazın kontrolünün yapılmaması vahsi depolama olarak tanımlanmaktadır. Malesef katı atıkların arazide gelisigüzel depolanması, yani vahsi depolama bütün dünyada yaygın durumdadır.

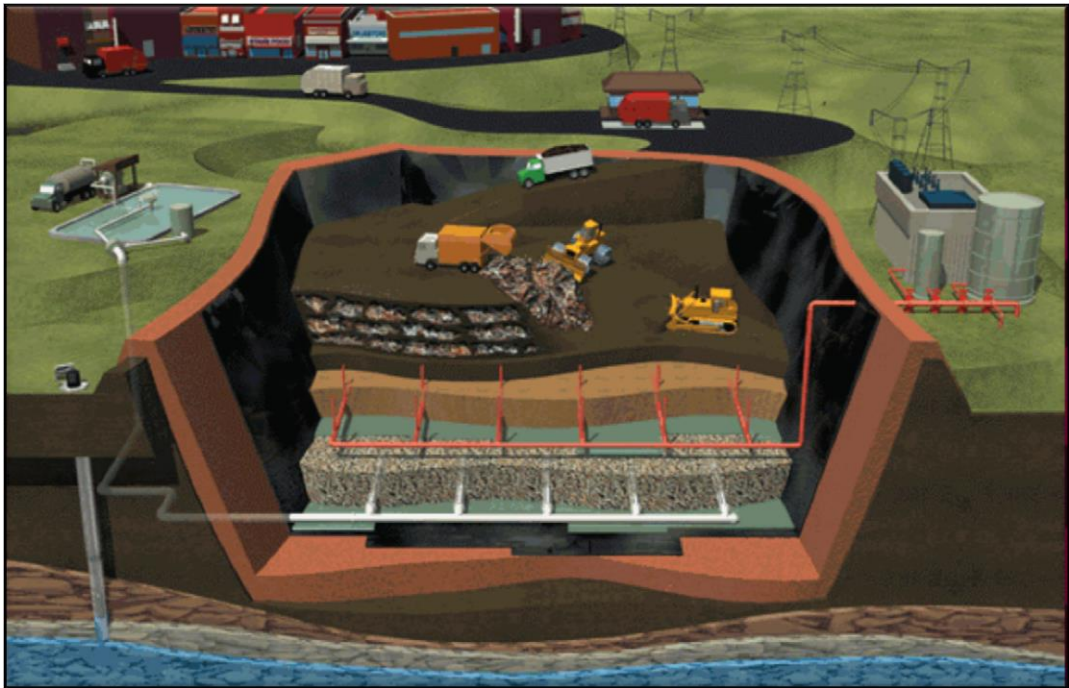
Çevre ve insan sağlığı açısından çok sayıda olumsuzluklar taşıyan bu bertaraf seklinin sakıncalarından bazıları;çöplerden çıkan kötü kokuların çevredekileri rahatsız etmesi, çöplerin rüzgarla etrafa dagılarak görüntü kirliliğine sebep olması, sinek, fare gibi zararlıların barınma ve üreme yeri olması, çöplerden çıkan sızıntı sularının yeraltı ve yerüstü sularını kirletmesi, çöplükte açığa çıkan metan gazından dolayı sık sık yangın çıkması ve metan gazının patlama riskini taşıması olarak sayılabilir. Düzenli depolama ise basit olarak katı atıkların, sızdırmazlığı sağlanmış büyük alanlara dökülmesi, sıkıştırılması ve üzerinin örtülerek tabii biyolojik reaktör haline getirilmesi olarak tanımlanabilir. Düzenli depolamada sızıntı suyu, depolama alanı gaz emisyonları, çöplerin dağılımı ve koku kontrolünün kolaylaştırılması için sahanın mühendisliğinin yapılmış olması gerekmektedir.

Genel olarak, aşağıdaki depolama sahaları yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Toprak, hafriyat ve yıkım artıkları için kullanılan depolama sahaları,
- Evsel atık depolama sahaları (evsel atıklar, evsel nitelikli ticari ve endüstriyel atıklar),
- Tıbbi ve tehlikeli atıklar için kullanılan depolama sahaları (Bir düzenli depolama sahasının kesit görüntüsü Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de verilmiştir).



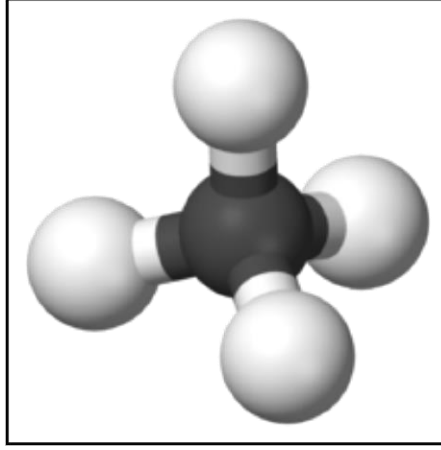
Şekil 7.1. Bir düzenli depolama sahasının kesit görünüşü.



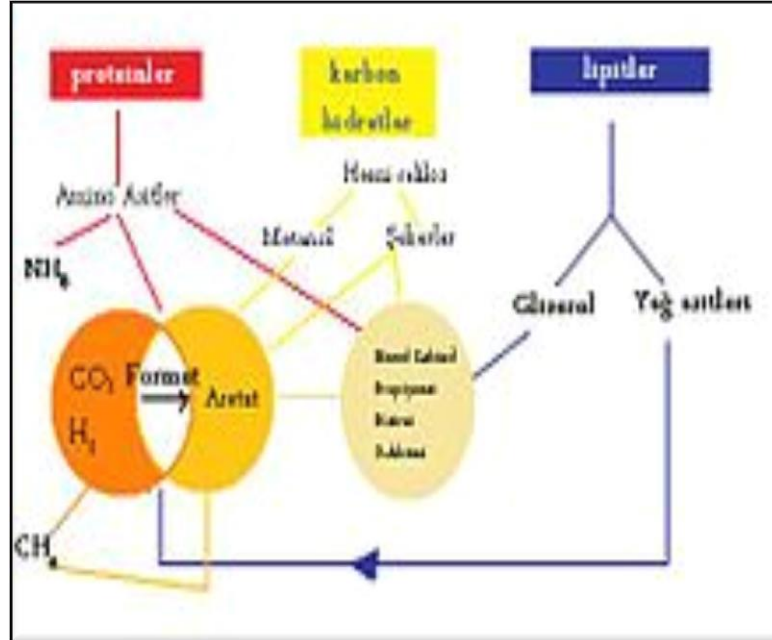
Şekil 7.2. Depolama sahasının kesit görüntüsü.

## BÖLÜM 8

### DEPO GAZI OLUSUMU VE ÖZELLİKLERİ



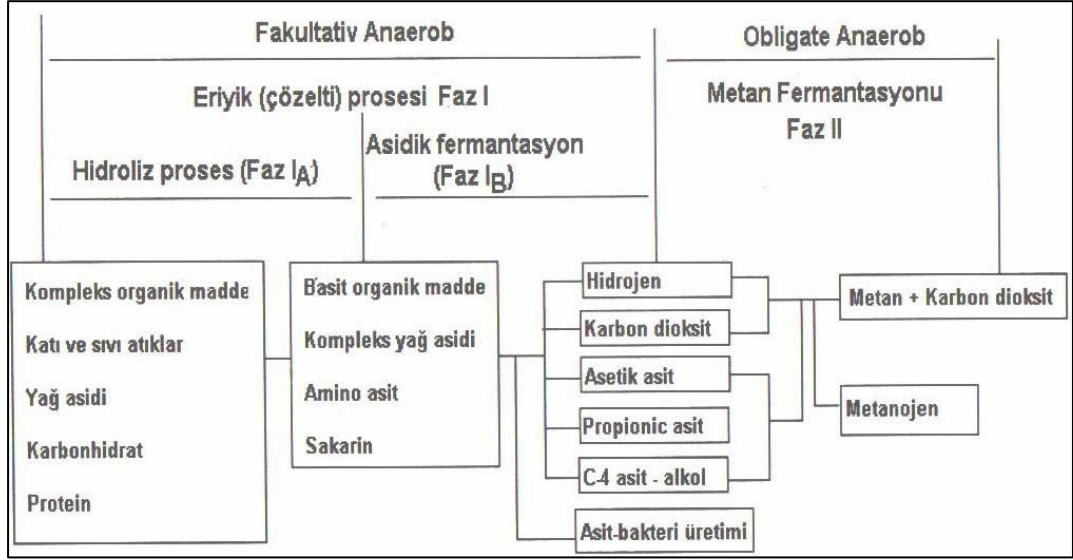
Şekik 8.1. Biyogazı oluşturan metan molekülü.



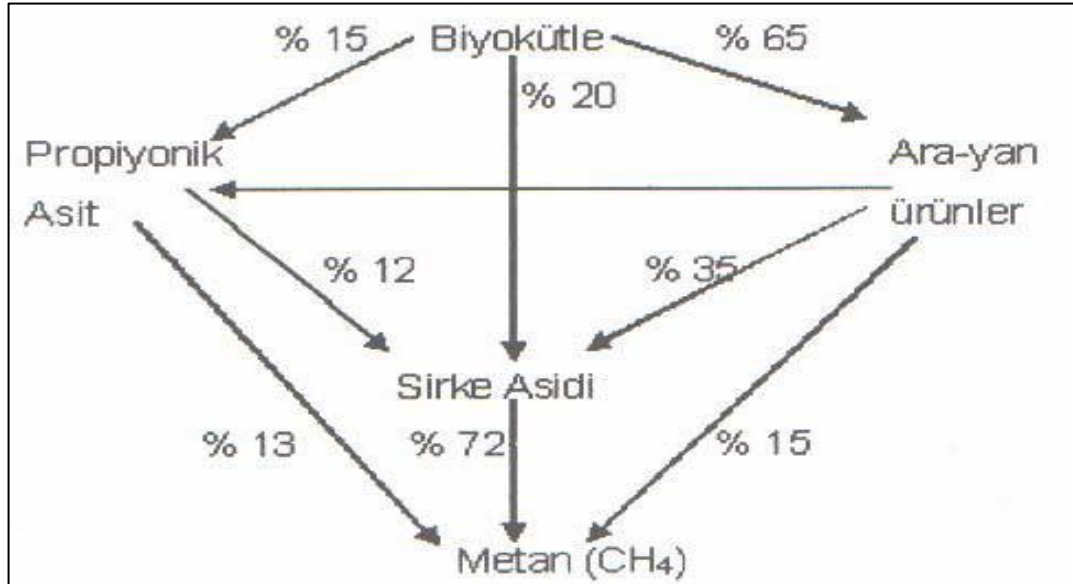
Şekil 8.2. Kompleks organik maddenin basit maddeye dönüşümü.

Biyogaz üç evrede oluşur Bunlar,

- Hidroliz
- Asit oluşturma
- Metan oluşumu dur.



Şekil 8.3. Metan fermantasyonunun prensibi.



Şekil 8.4. Farklı ürünlerden metan üretim oranları.

Birinci aşama atığın mikroorganizmaların salgıladıkları enzimler ile çözünür hale dönüştürülmesidir. Bu aşamada polisakaritler monosakkaritlere, proteinler

peptidlere ve aminoasitlere dönüşür. Bundan sonraki aşamada asit oluşturucu bakteriler devreye girerek bu maddeleri asetik asit gibi küçük yapıli maddelere dönüştürürler.(Biyogazı oluşturan metan molekülü 8.1'de ve ompleks organik maddenin basit maddeye dönüşümü Şekil 8.2'de verilmiştir.)

Asit oluşumu üretim esnasında pH'nın düşmesine neden olabilir bu durum metan oluşumunu sağlayacak bakteriler üzerinde olumsuz etki yaratabilir. Son aşamada ise bu maddeleri metan oluşturucu bakteriler biyogaza dönüştürürler. Görüldüğü gibi biyogaz oluşumu mikrobiyolojik etmenler ile gerçekleşmekte ve doğal olarak bu mikrobiyolojik organizmaların etkileneceği her türlü koşul biyogaz üretimini de etkilemektedir.

**Hidroliz aşaması:** İlk aşamada mikroorganizmaların salgıladıkları selular enzimler ile çözünür halde bulunmayan maddeler çamur içerisinde çözünür hale dönüşürler. Uzun zincirli kompleks karbonhidratları, proteinleri yağları ve lipidleri kısa zincirli yapılarla dönüştürürler. Bu basit organiklere dönüşüm sonucunda birinci aşama olan hidroliz tamamlanmış olur.

**Asit oluşturma aşaması:** Çözünür hale dönüşmüş organik maddeleri asetik asit, uçucu yağ asitleri, hidrojen ve karbondioksit gibi küçük yapıli maddelere dönüşür. Bu aşama anaerobik bakteriler ile gerçekleştirilir. Bu bakteriler metan oluşturucu bakterilere uygun ortam oluştururlar.( Metan Fermantasyonunun Prensipleri Şekil 8.3'de gösterilmiştir.)

Deponi gazı üretiminin 4 temel kademesi:

**Aerobik Kademe:** Katı atıkların alana yerleştirilmesi esnasında atıklar arasında sıkı sıkıya oksijen bu kademede kullanılarak tüketilir. Atıklar yerlerine yerleştirildikten sonra ilave bir oksijen verilmesi söz konusu olmadığından aerobik olarak gerçekleşen bu biyolojik indirgenme kademesi sadece birkaç gün sürmektedir. Katı atıkların kuru olması halinde bu süre biraz daha uzun sürebilir. Aerobik bozunma sonucunda tipik değerleri 10-20 0C olan bir ısı artımı oluşur. Nem içeriğine bağlı olarak ısı artımı bundan biraz fazla olabilmektedir.

**Anoksik-Nonmetanojenik Kademe:** Meydana gelen asit fermentasyonu sebebiyle ortamda bir CO<sub>2</sub> artışı meydana gelir. Bununla birlikte bir miktar H<sub>2</sub> gazı da oluşabilir. Yapılan bazı çalışmalar 11 günlük bir zaman dilimi içerisinde hacimce % 70 oranında CO<sub>2</sub> oluşumu gerçekleştirebildiğini göstermektedir.

**Anaerobik-Metanojenik-Kararsız Kademe:** Metan oluşumu bu kademedeki baslar. Bu kademedeki hacimce % 50 oranında metan oluşumu için ortamda yeterli oranda nemli atıkların olması halinde yaklaşık 3 aylık bir zaman dilimi gereklidir. Atıkların yeterince nemli olmaması durumunda ise hiç oluşmayabilir.

**Anaerobik-Metanojenik-Kararlı Kademe:** Bu kademedeki CH<sub>4</sub> oluşumu hacimce % 40-70 oranlarında sabit kalmaktadır. Katı atıklar içindeki organik maddelerin tükenmesine bağlı olarak metan oluşumu azalmaktadır. Fakat odun ve kâğıt gibi selülozik ve yavaş ayrışabilir organik maddelerin varlığı metan oluşumunun uzun bir süre devam etmesini sağlamaktadır. (Farklı Ürünlerden Metan üretim Oranları Şekil 8.4'de verilmiştir.)

Biyogaz üretimi için kullanılan materyaller, hayvansal gübreler, organik atıklar ve endüstriyel atıklar olarak üç başlık altında incelenebilir. Bu bağlamda kullanılan materyaller,

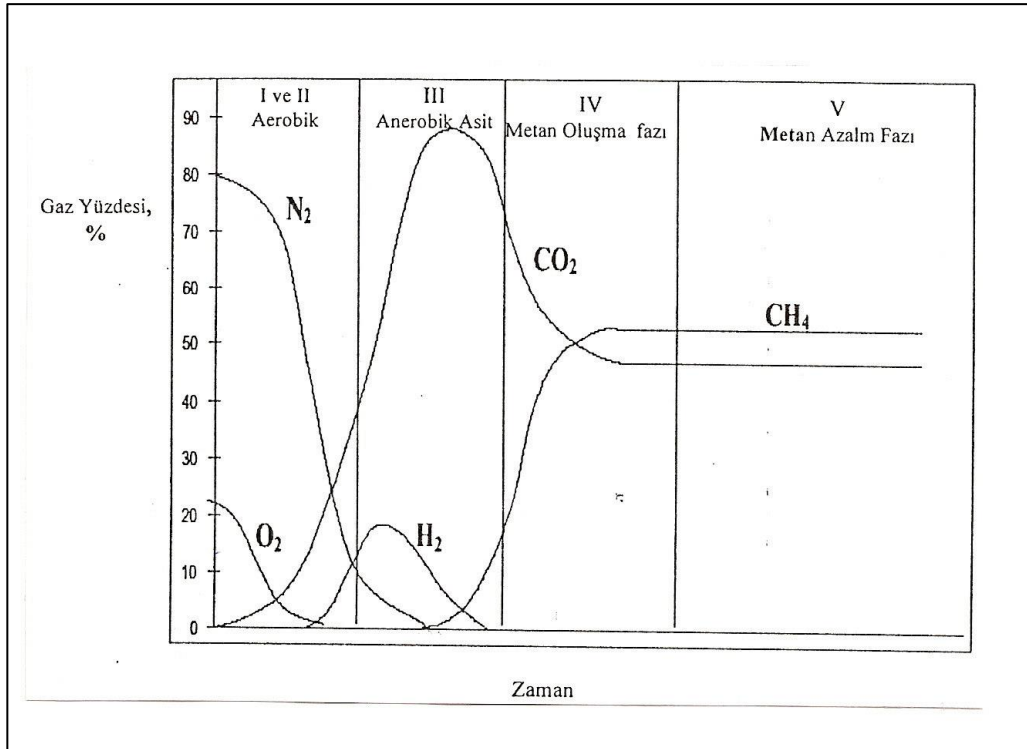
- Hayvansal atıklar
  - ✓ Hayvancılık ile elde edilen atıklar,
  - ✓ Hayvan gübreleri,
- Bitkisel atıklar
  - ✓ Bahçe atıkları,
  - ✓ Yemek atıkları,
- Endüstriyel atıklar
  - ✓ Ziraî atıklar,
  - ✓ Orman endüstrisinden elde edilen atıklar,
  - ✓ Deri ve tekstil endüstrisinden elde edilen atıklar,
  - ✓ Kâğıt endüstrisinden elde edilen atıklar,
  - ✓ Gıda endüstrisi atıkları,
  - ✓ Sebze, tahıl, meyve ve yağ endüstrisinden elde edilen atıklar,



- ✓ Şeker endüstrisi atıkları,
- ✓ Evsel katı atıklar,
- ✓ Atıksu arıtma tesisi atıkları.

Düzenli depolama sahalarında meydana gelen ayrışma ve gaz oluşum safhaları Şekil 8.5’de verilmistir. Ancak, atıkların biyolojik ayrışması her zaman burada gösterildiği gibi sırayla gerçekleşmeyebilir. Bazı safhalar gerçekleşmezken bazıları da aynı anda meydana gelebilir.

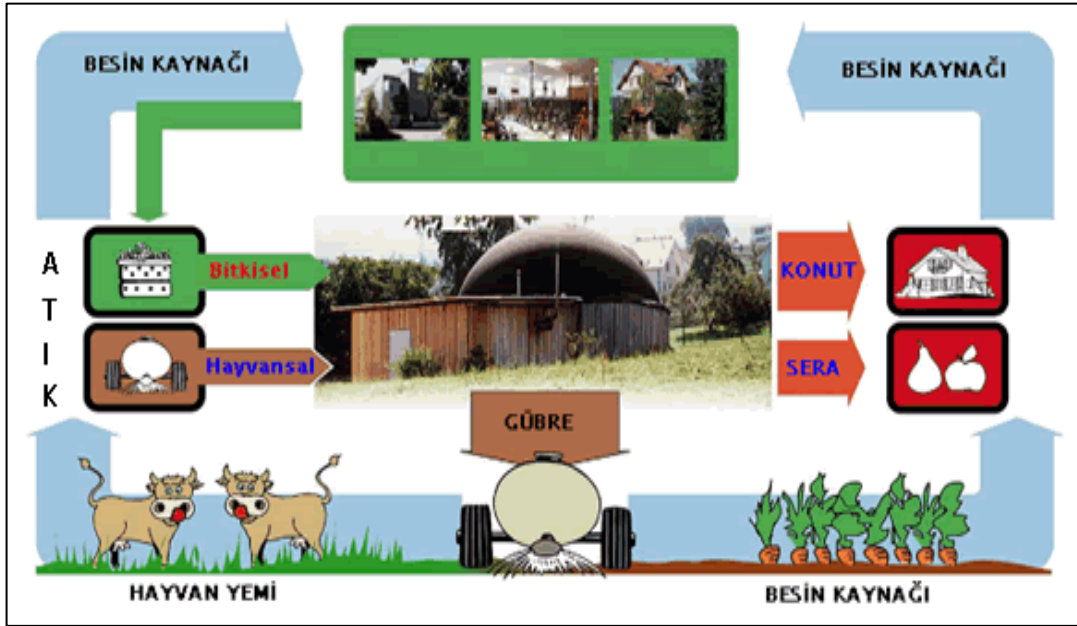
Depolanan atığın bileşenlerine ve dane boyutlarına, ayrışabilir organik maddelerin özelliğine, ortamın pH’sına ve ortamdaki nem muhtevasına bağlı olarak değişir. Ayrıca, çevresel şartlara bağlı olarak bir veya iki safha baskın hale gelebilir. Bunun yanında, atıkların heterojen yapısına bağlı olarak, aynı anda depo sahasının farklı bölgelerinde farklı prosesler de meydana gelebilir.



Şekil 8.5. Depo gazı oluşum eğrileri.

## 8.1. BİYOGAZ VE ÇEVRE

Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları enerji potansiyellerinin yanında çevre ile uyumlu oluşları nedeniyle önemli bir ilgi odağı olmaktadır. Çevresel sorunlar yaratan atıkların işlenerek zararsız hale getirilmesi ve enerji eldesin de kullanılabilmesini sağlayan biyogaz teknolojisi, yenilenebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynamaya adaydır.



Şekil 8.6. Biyogaz ve çevre.

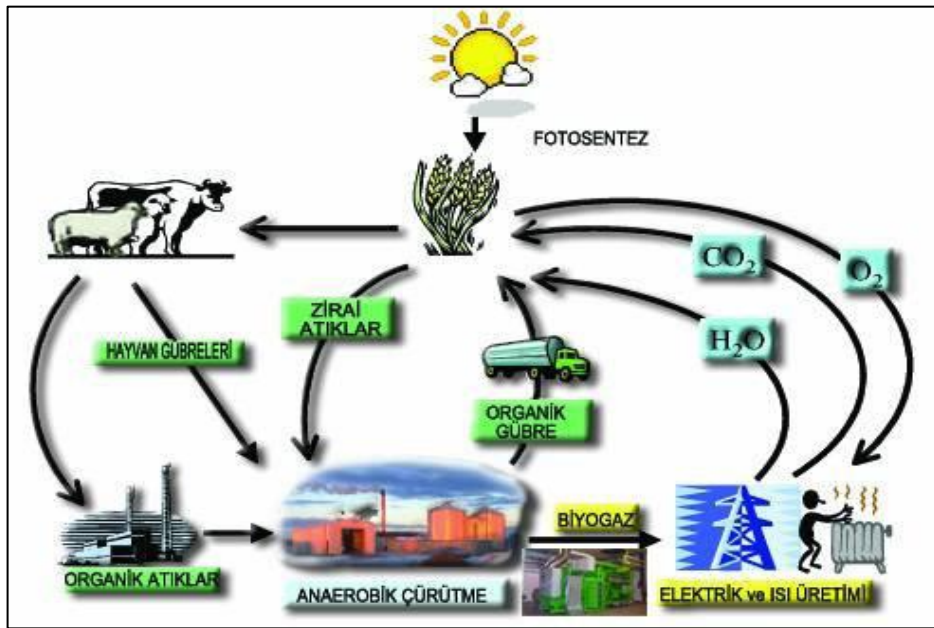
Biyogaz, hayvansal ve bitkisel atıkların oksijensiz ortamda ayrışması sonucu ortaya çıkan bir gaz karışımıdır. Bileşiminde % 60-70 metan (CH<sub>4</sub>), % 30-40 karbondioksit (CO<sub>2</sub>), % 0-2 hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) ile çok az miktarda azot (N<sub>2</sub>) ve hidrojen (H<sub>2</sub>) bulunmaktadır. ( Depo gazında bulunan bileşenler ve depo gazının özellikleri Çizelge 8.1’de gösterilmiştir.)

Çizelge 8.1. Depo gazında bulunan bileşenler ve depo gazının özellikleri

Bileşen	Yüzde(Kuru Hacimde)
Metan	45-60
Karbondioksit	40-60
Azot	2-5
Oksijen	0,1-1,0
Sülfür, Menkaptan vb.	0-1,0
Amonyak	0,1-1,0
Hidrojen	0-0,2
Karbonmonoksit	0-0,2
Eser Bileşenler	0,01-0,6
<b>Özellik</b>	<b>Değer</b>
Sıcaklık(°C)	68-88
Özgül Ağırlık	1,02-1,06
Nem Muhtevası	Doygun
Isı Değeri(kj/m <sup>3</sup> )	14900-20500

1 Gerçek yüzde dağılımı depolama sahası yaşı ile değişmektedir.

Biyogaz organik maddelerin anaerobik (oksijensiz) ortamda, farklı mikroorganizma gruplarının varlığında, biyometanlaştırma süreçleri (havasız bozunma- biyolojik bozunma - mikrobiyal bozunma - anaerobik fermentasyonun kontrollü süreci) ile elde edilen bir gaz karışımıdır. Şekil 8.6 ve 8.7'de fotosentez-biyogaz üretimi, kullanımı döngüsü şematik gösterilmektedir.



Şekil 8.7. Fotosentez biyogaz döngüsü.

Depo gazı depolama sahasında oluşan gazların bir karışımıdır, büyük miktarlarda bulunan ana gazlarla, az miktarda bulunan eser gazlardan oluşur. Depo gazı kentsel katı atıkların organik fraksiyonlarının anaerobik bozunması sonucu oluşur. Bazı eser gazlar, küçük miktarlarda olmalarına rağmen, toksik etki gösterebilmekte ve kamu sağlığını tehdit edebilmektedir.(Depo gazı bileşenlerinin fiziksel özellikleri Çizelge 8.2’de belirtilmiştir.)

Çizelge 8.2. Depo gazı bileşenlerinin fiziksel özellikleri.

Gaz	Formül	Birim Ağırlık	Kritik Sıcaklık	Havadaki Tutuşma Aralığı Alt/üst	Yanma Hızı	Minimum Tutuşma Enerjisi	Tutuşma Sıcaklığı	Su Çözünürlüğü	Özellikler
		(kg/m <sup>3</sup> )	(°C)	(hac.%)	(m/s)	(MJ)	(°C)	(g/l)	
Metan	CH <sub>4</sub>	0,717	-82,5	5/15	0,4	0,6-0,7	600	0,0645	Kokusuz Renksiz,zehirsiz
Karbon Dioksit	CO <sub>2</sub>	1,977	31,1	-	-	-	-	1,688	Kokusuz, Renksiz,düşük Kns.zehirsiz
Oksijen	O <sub>2</sub>	1,429	-118,8	-	-	-	-	0,043	Kokusuz, Renksiz,zehirsiz
Azot	N <sub>2</sub>	1,25	-147,1	-	-	-	-	0,019	Kokusuz, Renksiz,zehirsiz Yanıcı değil
Karbon Monoksit	CO	1,25	-139	12,5/74	0,5	-	600	0,028	Kokusuz Renksiz,zehirli
Hidrojen	H <sub>2</sub>	0,09	-239,9	4/74	2,8	0,05	560	0,001	Kokusuz Renksiz,zehirli değil,yanıcı
Hidrojen Sülfür	H <sub>2</sub> S	1,539	100,4	4,3/45,5	-	-	-	3,846	Renksiz,zehirli
Hava		1,29	-	-	-	-	-	-	Kokusuz Renksiz,zehirli değil,yanıcı değil

Depo gazının en önemli özelliği metan içeriğinden dolayı enerji değeridir. Ortalama alt kalorifik değer metre küp başına 20.000 kJoule civarında gerçekleşmektedir. Depo gazının diğer özellikleri potansiyel patlayıcılığı, boguculugu, zehirliliği ve kötü kokusudur. Depo gazının patlayıcılığı esas olarak metan içeriğinden kaynaklanmaktadır. Metan renksiz, kokusuz, yanıcı bir gazdır ve birim ağırlığı havadan daha azdır (0,717 metan-1,29 hava). Hacimce %5-15 metan konsantrasyonları hava ile patlayıcı karışımlar oluşturmaktadır. Metan konsantrasyonu bu kritik seviyeye ulaştığı zaman depo alanında sınırlı miktarda oksijen bulunduğundan dolayı patlama tehlikesi olur. Patlama seviyesindeki metan karışımı; depo dışına göç eden metan gazı ve havanın karışmasıyla oluşur. Bu üst

limitin üzerinde metan-hava karışımı alev verildiğinde yanmakta, fakat patlayıcılık göstermemektedir.

## **8.2. BİYOGAZIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI**

Hayvansal ve bitkisel organik atık/artık maddeler, çoğunlukla ya doğrudan doğruya yakılmakta veya tarım topraklarına gübre olarak verilmektedir. Bu tür atıkların özellikle yakılarak ısı üretiminde kullanılması daha yaygın görülmektedir. Bu şekilde istenilen özellikte ısı üretilmediği gibi, ısı üretiminden sonra atıkların gübre olarak kullanılması da mümkün olmamaktadır.

Biyogaz teknolojisi ise organik kökenli atık/artık maddelerden hem enerji edesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkân vermektedir.

- Ucuz - çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağıdır.
- Atık geri kazanımı sağlar.
- Biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresinin kokusu hissedilmeyecek ölçüde yok olmaktadır.
- Hayvan gübrelerinden kaynaklanan insan sağlığını ve yeraltı sularını tehdit eden hastalık etmenlerinin büyük oranda etkinliğinin kaybolmasını sağlamaktadır.
- Biyogaz üretiminden sonra atıklar yok olmamakta üstelik çok daha değerli bir organik
- gübre haline dönüşmektedir.
- Biyogaz temiz ve ısı değeri yüksek bir enerji kaynağıdır.
- Biyogaz üretiminden sonra atıklar yok olmamakta üstelik çok daha değerli bir gübre haline dönüşmektedir.
- Biyogaz üretimi sonucu hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini kaybetmektedir.

### **8.3. BİYOGAZIN DEPOLANMASI**

Anaerobik arıtma sonucu oluşan biyogaz farklı tip kaplarda depolanır. Bunlar;

- Su sızdırmaz, yüzebilir gaz tutucu
- Gaz torbaları
- Yüksek basınçta depolamak için ayrı gaz tanklarıdır.

Biyogazın çoğu metandır ve kolay depolanamayan bir yakıttır. Metan -82,5 oC 'de ve 47,5 bar basınçta sıvılaşmaktadır.

### **8.4. BİYOGAZIN KULLANIMI**

Biyogazın üretiminin temel amacı çevreye zarar vermeden ısı ve elektrik enerjisi üretimidir. Ancak bunun kadar önemli bir diğer amacı da organik atıkların kontrollü koşullarda depolanmasının sağlanması, arıtma etkisinin bulunması, organik atıklardan kaynaklanan koku sorununu büyük ölçüde çözmesi ve tarımda organik gübre kullanımını kolaylaştırmasıdır. Biyogazüretiminin amaçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Biyogazın evsel amaçla kullanımında verim % 80'e ulaşmaktadır. Bu amaçla AB ülkelerinde geliştirilmiş birçok sistem bulunmaktadır. Günümüzde biyogaz büyük oranda elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Gaz motorunun soğutma suyu üreticinin ısıtılması için kullanılarak sistemin enerji bilançosu iyeleştirilmektedir. Özellikle F.Almanya, Danimarka, Hollanda, İsveç ve benzeri ülkelerde yaygındır. Biyogazın elektrik üretiminde genelde izlenen iki yöntem bulunmaktadır. Birincisinde işletmenin gereksinim duyduğu miktarda enerji üretilmektedir. Bu sistemde gazın depolanabileceği yeterli büyüklükte deponun bulunması gerekir. İkinci sistemde ise üretilen tüm biyogaz elektrik enerjisi için kullanılır. İşletmenin ihtiyacı dışında kalan elektrik enerjisi satılır.

## **8.5. DEPO GAZI HESAPLAMA YÖNTEMLERİ**

Oluşan depo gazı miktarı sahadan sahaya farklılık gösterir. Çünkü metanojen faaliyet birçok çevresel faktöre göre değişir. Teorik olarak 1 ton çöpün ayrışması neticesinde% 55 metan içeren ve 19750 kJ/m<sup>3</sup> düşük kalorifik değere sahip 400 m<sup>3</sup> depo gazı oluşur.

Bir depolama sahası için depo gazı geri kazanım projesi yapmadan önce mevcut ve gelecekteki potansiyel depo gazının miktarı bilinmelidir. Toplanan gazın miktarı, dökülen atık miktarı, bu atıkların özellikleri, tesis ve toplama sisteminin tasarımı gibi birçok faktöre bağlıdır.

Mevcut ve gelecekte oluşabilecek gaz miktarını belirlemek için dört yol mevcuttur. Mevcut gaz üretimini hesaplamak için en güvenilir metot atık için test kuyuları açmaktır. Diğer metotlar da kabaca tahmin, substratların ayrışma denklemi ile hesap ve model hesaplamalarıdır.

### **8.5.1. Yöntem 1: Test Kuyuları**

Gaz miktarının belirlenmesindeki en güvenilir metot, test kuyuları açmak ve bu kuyularda toplanan gazı ölçmektir. Bu yöntem çok pahalıdır ve ancak depo alanında büyük miktarlarda gaz üretilmesi için yeterince atık bulunması halinde bu yönteme başvurulur. Test kuyuları, güvenilir sonuçlar elde etmek için depo alanındaki atık homojenliğine ve saha büyüklüğüne göre sahayı temsil edici bölgelerde uygun sayıda açılmalıdır.

Gelismekte olan ülkelerde, test kuyuları ile oluşan gazın miktarını belirlerken, test kuyularında toplanan gaz miktarının sadece yarısı dikkate alınır. Bunun sebebi atıkların sahada gevsek bir biçimde sıkışmış olması veya homojen olarak dağılmamış olmasıdır. Ayrıca gaz yayılması çok yaygın bir problemdir ve yanlış tahminlere sebep olmaktadır. Elde edilen değerlerin yarısını dikkate almak gaz geri kazanım sisteminin büyüklüğünü belirlemede daha gerçekçi bir değer elde edilmesini sağlar.

Bu metodun önemli bir faydası da toplanan gazın miktarıyla birlikte kalitesinin de ölçülebilir olmasıdır. Gaz içindeki metan, hidrokarbon, sülfür, partikül ve azot miktarları da analiz edilmelidir. Bu analiz, gaz geri kazanım sisteminin dizaynı için çok önemlidir.

### **8.5.2. Yöntem 2: Yaklaşık Tahmin**

Bir depolama sahasında oluşacak gaz miktarının tahminindeki en basit metot depolama sahasındaki her bir ton atığın yılda 6 m<sup>3</sup> gaz oluşturacağı kabulüdür. Bu tahmini değer işletilmekte olan birçok depo alanından elde edilmistir ve enerji geri kazanım projesini destekleyecek ortalama bir depolama sahasını yansıtmaktadır. Ancak bu yaklaşım atık, iklim ve depolama sahasına özgü diğer özellikleri hesaba katmamaktadır.

Bu kaba yaklaşım depolama sahasında ne kadar atığın bulunduğunun bilinmesini gerekli kılmaktadır. Atıklar ideal olarak 10 yıldan genç olmalıdırlar. Sahaya bağlı olarak gaz oluşumu 5-15 yıl sürebilir. Bu yöntemden elde edilen sonuçlar  $\pm$  %50 oranında değişir.

### **8.5.3. Yöntem 3: Sübstratların Ayrısma Denklemi ile Hesaplama**

Bu yöntemde atıkta bulunan (plastikler hariç) her organik madde  $C_aH_bO_cN_d$  formunda genel bir formülle gösterilerek, aşağıdaki eşitlik yardımıyla toplam gaz hacmi tahmin edilir. Bu denklemde ayrısabilir organik atığın tümünün CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve NH<sub>3</sub>' e dönüştüğü kabul edilir.

$C_aH_bO_cN_d + [(4a-b-2c+3d)/4] H_2O \rightarrow [(4a+b-2c-3d)/8] CH_4 + [(4a-b+2c+3d)/8] CO_2 + d NH_3$

Atığın  $C_aH_bO_cN_d$  şeklinde genel bir formülle ifade edilebilmesi için depolama sahasındaki atık bileşimi ve her bileşenin elemental analizi (C,H,O,N,S,kül içerikleri) bilinmelidir. Bu yaklaşımla elde edilen sonuç optimum şartlar altında atıkların organik fraksiyonlarının ayrısabilir kısımlarının bozunmasıyla oluşacak maksimum gaz miktarıdır. Organik atıkların tümü ayrısamadığı için gerçek değer elde edilendegerden daha düşüktür.



#### **8.5.4. Yöntem 4: Matematiksel Modeller Yardımıyla Hesap**

Test kuyuları belirli zamanlarda sahadaki gaz üretim hızlarına dair gerçek veriler sağlamasına karşılık, matematiksel model hesapları sahadaki depolama esnasında ve kapatılmasından sonra gaz üretimine ilişkin veriler ortaya koymaktadır. Bu modeller tipik olarak depolama zamanı, depolanan atığın miktarı ve atıkların özellikleri gibi verilere ihtiyaç göstermektedir. Katı atık depo sahalarında oluşan gazın belirlenmesiyle ilgili birçok model geliştirilmiştir. Bu modellerden üçü aşağıda açıklanmıştır.

#### **8.5.5. Tabasaran/Rettenberger Modeli:**

Gaz üretiminin hesabı için Tabasaran/Rettenberger tarafından geliştirilen matematik model kullanılmaktadır. Model denklemi aşağıda gösterilmiştir. Bu bağıntı kümülatif bir artış göstermektedir.

$$G_t = 1,868 \cdot C_{org} \cdot (0,014T + 0,28) (1 - 10^{-kt})$$

$G_t$  : t zamanına kadar üretilen gaz miktarı (m<sup>3</sup>/ton)

$G_{org}$  : Organik karbon içeriği (kg/ton atık)

$T$  : Sıcaklık ( C)

$T$  : Zaman (yıl)

$K$  : Ayrılma sabiti (yıl<sup>-1</sup>)

Modelin uygulanmasında en önemli husus parametrelerin seçimidir.  $G_{org}$  değeri evsel katı atıklar için 170-200 kg/t arasında değişmektedir. Sıcaklık depo gövdesinde çoğunlukla 25-35 C arasındadır.

#### **8.5.6. LandGEM (Landfill Gas Emission Model) Modeli:**

Depo gazı emisyonları modeli depolama sahalarından kaynaklanan metan, karbondioksit ve düşük konsantrasyonlarda bulunan diğer hava kirleticilerin emisyonlarının miktarını belirlemek için tasarlanmıştır.

Modelde depo gazı oluşma hızı birinci derece bozunma denklemine dayanmaktadır.

Depolama sahalarındaki atığın miktarı, yası ve bilesimine ait mevcut verilerin yetersizliğinden dolayı daha karmaşık bir yöntem kullanılmamıştır. Modelde kullanılan denklem aşağıdaki gibidir.

$$Q_{CH_4} : L_0 \cdot R \cdot (e^{-kc} - e^{-kt})$$

$Q_{CH_4}$  : t anındaki metan üretim hızı (m<sup>3</sup>/yıl)

$L_0$  : Potansiyel metan üretim kapasitesi (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ ton atık)

$R$  : Depolanan yıllık atık miktarı (ton/yıl)

$k$  : Metan üretim hızı sabiti (yıl<sup>-1</sup>)

$c$  : Saha kapatıldıktan sonraki yıl sayısı (yıl)

$t$  : İlk atık depolanmaya başlamasından sonra geçen süre (yıl)

Model, CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> emisyonlarının aynı oranda olduğunu kabul etmektedir, yani depo gazı miktarının metan emisyonunun iki katı olduğu varsayılmaktadır. (EPA modeli parametreleri Çizelge 8.3’de belirtilmiştir.)

Çizelge 8.3. EPA modeli parametreleri.

Parametre	CAA		AP-42	
	P>640mm	P<640mm	P>640mm	P<640mm
k(1/yıl)	0,05	0,02	0,04	0,02
$L_0$ (m <sup>3</sup> /ton)	170	170	100	100

### 8.5.7. Multi-Phase Modeli

Depo gazı oluşumunun tahmin edilmesi için kullanılan modellerden biri de multi-phase modelidir. Model katı atıkların büyük bir kısmının düzenli depolama metodu ile bertaraf edilen Hollanda’da geliştirilmiştir. Model, atık içindeki biyolojik ayrışabilen organik karbon oranı ve kümülatif atık miktarını esas almaktadır.

Diğer taraftan, atık stabilizasyonu ve CH<sub>4</sub> oluşumu; oksijen, hidrojen, pH, alkalinite, besi maddeleri (nutrientler), inhibitörler, sıcaklık ve su muhtevası gibi abiyotik

faktörler ile atık bertarafında kullanılan farklı tekniklerden oldukça fazla etkilenmektedir.

## BÖLÜM 9

### ATIK STABİLİZASYONU VE METAN OLUŞUMUNU

#### 9.1. ETKİLİ FAKTÖRLER

##### 9.1.1. Oksijen

Anaerobik bakterilerin ayrışma proseslerini gerçekleştirmesi için ortamda serbest oksijenin bulunmaması gerekmektedir. Metanojenik bakteriler, oksijene karşı çok duyarlı bakterilerdir. Oksijen depo sahasındaki atık içerisine her zaman nüfuz edebilir. Ancak depo sahası yüzeyindeki aerobik bakteriler oksijeni tüketirler. Eger depolama sahasında katı atıklar yeterli oranda sıkıştırılmamış ve üzeri günlük olarak 15 cm. kalınlıkta toprakla örtülmemişse oksijen daha derinlere kadar nüfus edebilir.

##### 9.1.2. Hidrojen (H<sub>2</sub>)

H<sub>2</sub> fermantatif ve asetojenik bakteriler tarafından üretilir ve üretilen H<sub>2</sub>'in basıncı biyokimyasal reaksiyonları etkiler. Fermantasyon bakterileri, H<sub>2</sub> basıncı düşük olduğunda H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve asetik asit üretirken, yüksek H<sub>2</sub> basınçlarında ise H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> üretirler. Etanol, butirik asit ve propiyonik asit gibi organik bileşikler H<sub>2</sub> basıncı çok yüksek değilse asetojenik bakteriler tarafından da oluşturulabilir.

##### 9.1.3. pH ve Alkalinite

CH<sub>4</sub> bakterileri pH 6-8 aralığında faaliyet gösterirler. Optimum CH<sub>4</sub> oluşumu pH 6.5-8.0 aralığında görülmektedir. pH değerinin 6'nın altına düşmesi, CH<sub>4</sub> bakterileri üzerinde toksik etki gösterebilir. Yapılan çalışmalarda pH değerlerinin nötr olması durumunda atık ayrışma proseslerinin daha hızlı gerçekleştiği gözlenmiştir.

Alkalinite, sistemin anaerobik ayrışma için gerekli olan pH degerinin istenen seviyenin altına düşmesine yol açan uçucu ve diğer asitleri tamponlama kapasitesini gösterir. Düşük alkalinite degerlerinde ortamdaki asitler pH degerinin düşmesine sebep olarak biyolojik aktiviteyi durdurabilirken, yüksek alkalinite degerleri sistemi düzensiz pH degisimlerine karşı korur.

#### **9.1.4. Sülfat**

Hem sülfat bakterileri hem de CH<sub>4</sub> bakterileri asetik asit ve H<sub>2</sub>'in ayrışmasını sağlarlar. Yapılan deneysel ve pilot ölçekli çalışmalar, ortamda SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> mevcut iken CH<sub>4</sub> üretiminin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Sülfat içeren atıkların düzenli depolama alanlarında depolanmasına dikkat edilmelidir.

#### **9.1.5. Besi Maddeleri (Nütrientler)**

Anaerobik mikroorganizmalar için gerekli olan mikro nütrientlerin tamamı (sülfür, kalsiyum, magnezyum, potasyum, demir, çinko, bakır, molibden ve selenyum gibi) hemen hemen tüm depo sahalarında mevcuttur. Anaerobik ekosistemlerde substratın sadece küçük bir kısmı yeni hücreler tarafından özümser, bu nedenle aerobik sistemlerden çok daha az miktarlarda azot ve fosfor gereklidir.

#### **9.1.6. Organik maddeler (KOİ), azot ve fosfor arasındaki optimum oranlar**

100:0,44:0,08 olarak belirlenmiştir. Genel olarak, evsel ve endüstriyel atıkların birlikte depolandığı bir depo sahasında azot ve fosfor sınırlayıcı değildir, fakat evsel veya endüstriyel atıkların ayrı ayrı depolandığı sahalarda nutrient miktarının sınırlandırılmasına yol açabilir.

Fosfor, anaerobik ayrışma prosesini sınırlandıran en önemli nütrienttir. Suyu alınmış (%65 katı madde içeren) evsel arıtma çamurlarının günlük örtü olarak kullanılması bu problemi çözer.

### **9.1.7. İnhibitörler**

O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>'in CH<sub>4</sub> oluşumu üzerinde bir inhibisyon etkisi olduğu bilinmektedir. Uçucu yağ asitlerinin (VFA) CH<sub>4</sub> oluşumu üzerine etkisi pek çok araştırmaya konu olmuştur. Asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asitin toplam konsantrasyonlarının 6000 mg/L 'nin üzerinde olmaması gerekmektedir. Ayrısma proseslerinin çoğunda CO<sub>2</sub> üretilir. CO<sub>2</sub>'in CH<sub>4</sub> oluşumu üzerindeki inhibisyon etkisi çamur yataklı kesikli reaktörlerde belirlenmiştir.

### **9.1.8. Sıcaklık**

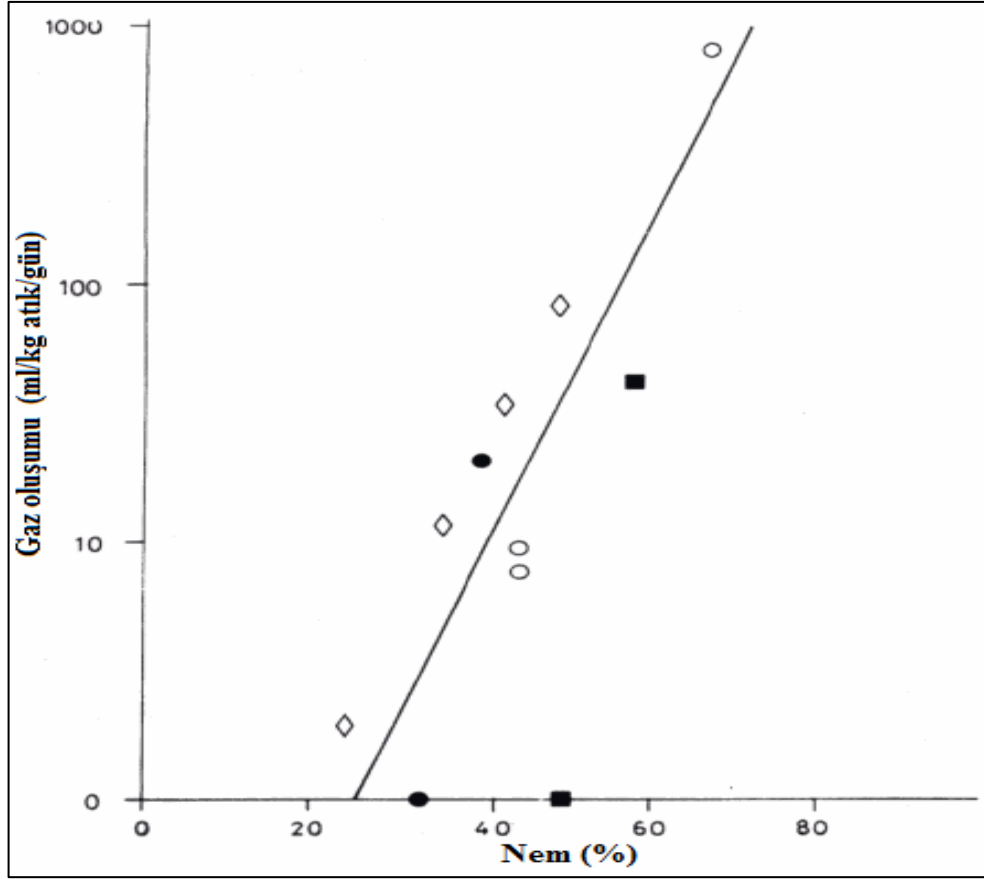
Diğer bütün mikrobiyolojik proseslerde olduğu gibi anaerobik ayrışmayı sağlayan bakteriler sıcaklıktan çok fazla etkilenmektedir. CH<sub>4</sub> bakterileri 40 oC civarında yaşayan bir mezofilik grup ve maksimum 70 oC civarında yaşayan termofilik bir gruptan oluşurlar.

Atıkların aerobik ve anaerobik ayrışmaları ısı veren reaksiyonlardır, ancak anaerobik ısı oluşumu genellikle ihmal edilebilir seviyededir. Buna örnek olarak glikozun aerobik ve anaerobik ayrışması verilebilir. Reaksiyonlar neticesinde anaerobik ayrışma ile aerobik ayrışmadan oluşan ısının sadece %7'sinin açığa çıktığı belirlenmiştir.

### **9.1.9. Nem/Su Muhtevası**

Düzenli depolama alanı içindeki nem muhtevası, besi maddesi miktarıyla birlikte depo gazı oluşumunu kontrol eden en önemli faktörlerden biridir. (Şekil 9.1'da depo gazı oluşum hızıyla atığın nem muhtevası arasındaki ilişki gösterilmiştir.)

Katı atıklar depo sahalarına ilk depolandıklarında % 30-40 arasında nem muhtevasına sahiptirler. Suya doymun olmayan atıklardan daha çok H<sub>2</sub> üretilirken, suya doymun atıklar daha çok CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> oluşturlar. Birim katı atık başına oluşan depo gazı üretimi ile nem oranı arasında logaritmik bir ilişki vardır. Depo sahasında CH<sub>4</sub> üretiminin optimize edilebilmesi için atıkların suya doymun olması gerekir.



Sekil 9.1. Depo gazı üretim hızı ile nem muhtevası arasındaki ilişki.

Depolama alanı içinde biyokimyasal reaksiyonu devam ettirmek için nem muhtevası kontrol altında tutulmalıdır. Nem muhtevası sınır değerlerinin altına düştüğü zaman sızıntı suyu depolama alanı içine enjekte edilmelidir.

Depolama alanında biyokimyasal reaksiyon arttıkça depolanacak katı atık miktarının da artacağı unutulmamalıdır. Depolama sahasında nem yetersizliğinden biyokimyasal reaksiyon durma noktasına gelir.

#### 9.1.10. Dane Boyutu

Katı atık dane boyutlarının azalması biyokimyasal reaksiyonu ve gaz üretimini arttırmaktadır. Dane çapının küçültülmesi ile mikroorganizmaların organik maddeleri tüketmek için kullandığı yüzey alanı artmaktadır. Yapılan çalışmada partikül çapının

250 mm. den 10 mm.ye dsrlmesi ile gaz üretim hızının 4.4 kat arttığı belirtilmiştir.

## **9.2. DEPO GAZLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ**

Katı atık düzenli depolama sahaları, açık havada yakma, açık sahalarda depolama gibi alternatif bertaraf yöntemlerinin evre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırma ihtiyacından dolayı geliştirilmiştir. Depo sahaları eski uygulamaların bazı dezavantajlarını ortadan kaldırmıs olsa da, depo gazı olusumu gibi yeni bir problemle karşilasılmıştır. Depo gazlarının sebep olduğu potansiyel tehlikeler bu gazların patlayıcılık, yanıcılık, toksik ve kanserojenik özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Depo gazlarının sebep olduğu potansiyel tehlikeler yangınlar ve patlamalar, bitki örtüsüne zararlar, istenmeyen kokular, sahada meydana gelen çökmeler, yeraltı suyu kirlenmesi, hava kirlenmesi ve global ısınma olarak sıralanabilir.

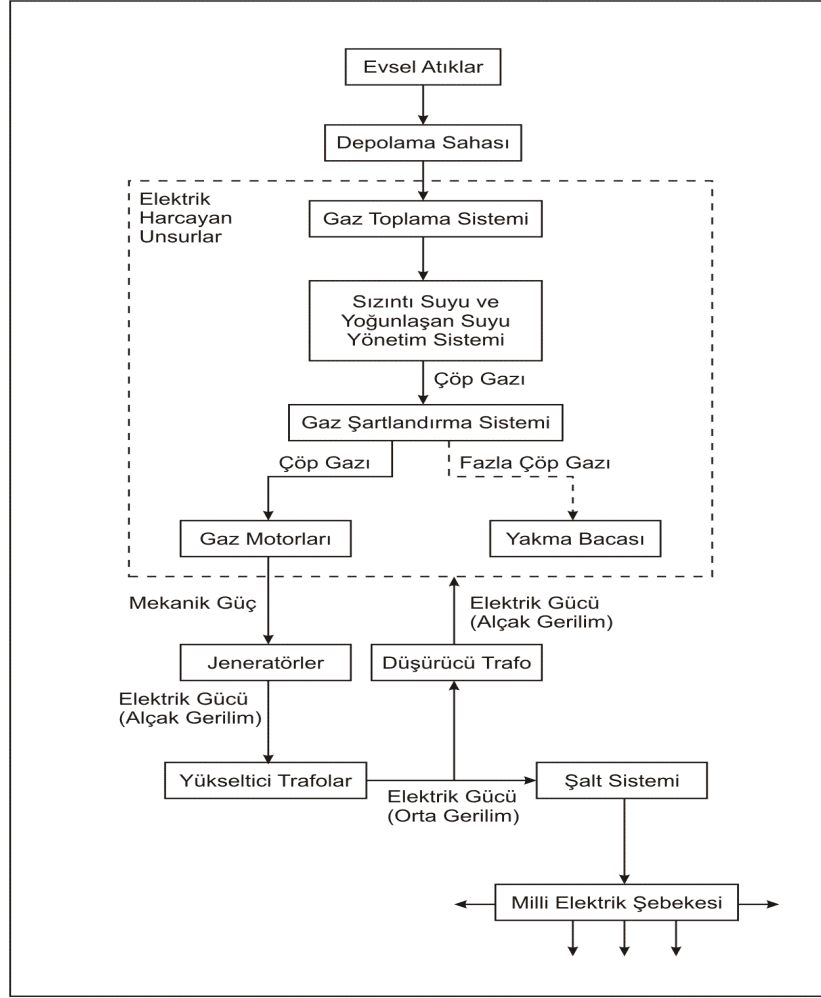


## **BÖLÜM 10**

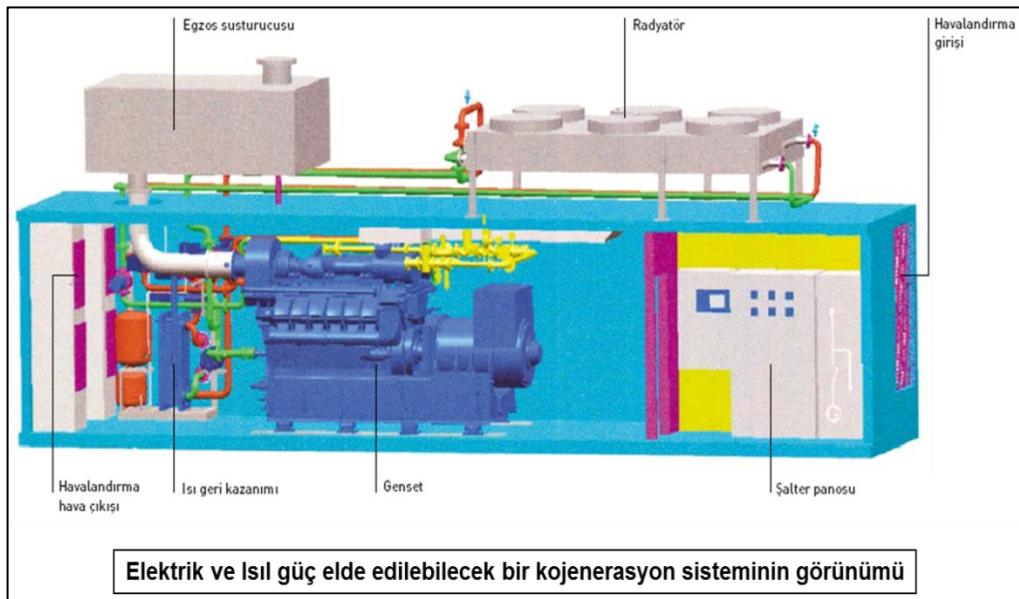
### **DEPO GAZININ ENERJİ AMAÇLI KULLANIMI**

#### **10.1. ÇÖP GAZININ (LFG) TOPLANMASI**

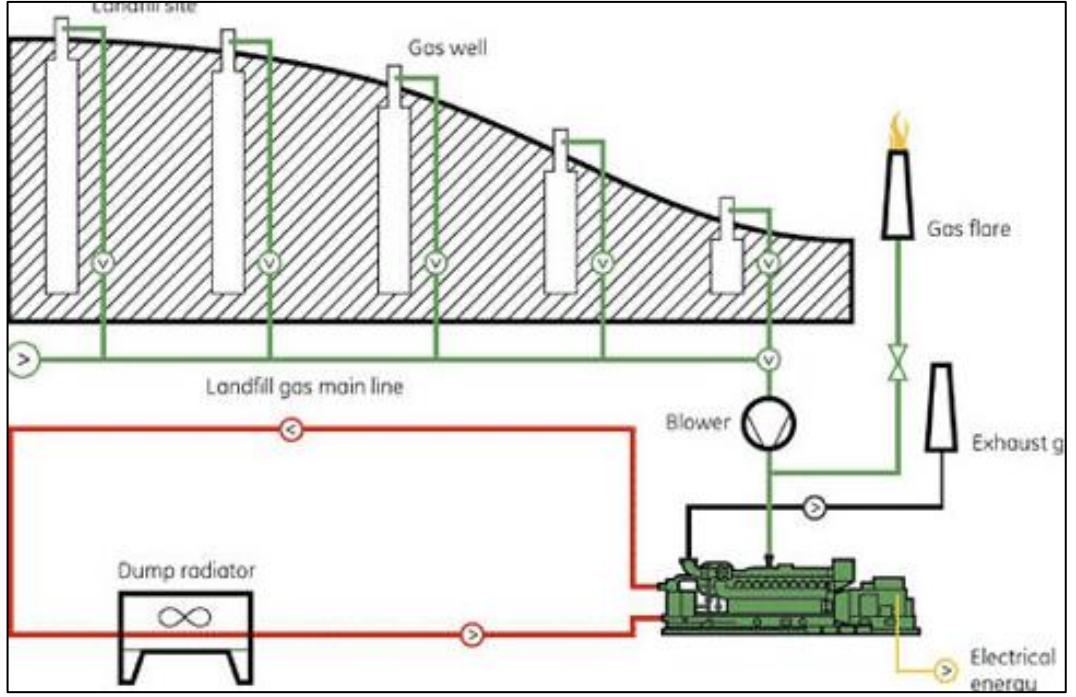
Katı Atık Düzenli Depolama Sahası içerisindeki evsel atıklar önce yüzeyde aerobik olarak bozunmaktadır. Sahanın üzeri kapatılıp havasız bir ortam oluşturularak, ortaya çıkan bozunma sonucu metan gazı oluşumu başlamaktadır. Ortalama 28 m derinliğinde açılan kuyulardan belirli bir vakum ile çekilen çöp gazı (LFG) ayrı ayrı hatlarla gaz kollektörü (Manifold) denilen yapılara iletilmektedir. Her bir manifoldda ortalama 8-12 adet kuyu bulunmaktadır. Çöp depolama sahasındaki sızıntı suları ise kondens tanklarında biriktirilerek ardından Biyolojik Atıksu Arıtma tesisine pompalanmaktadır.



Şekil 10.1. Tipik Bir Çöp Gazından Enerji Tesisi Şeması



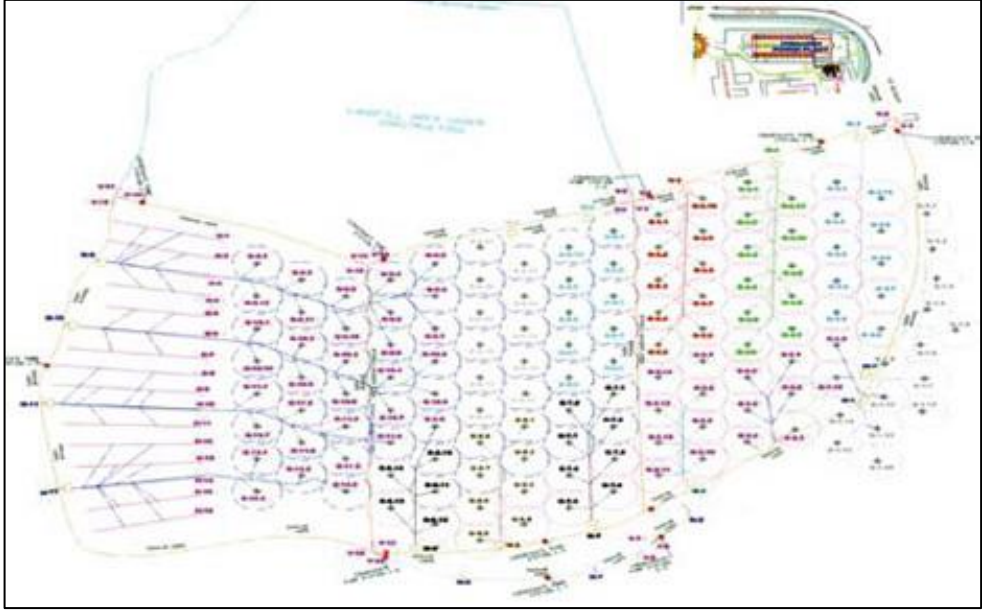
Şekil 10.2.



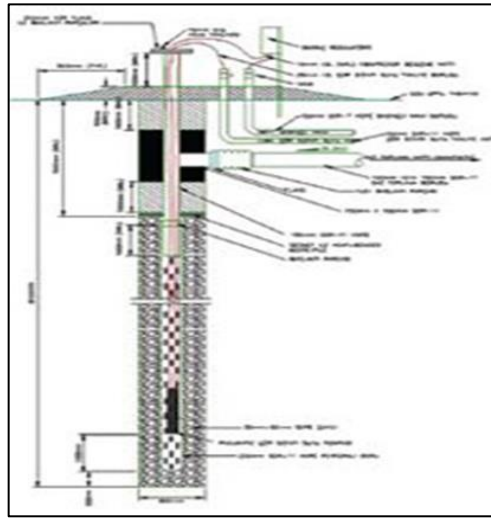
Şekil 10.3. Tesisin temel tasarımı.



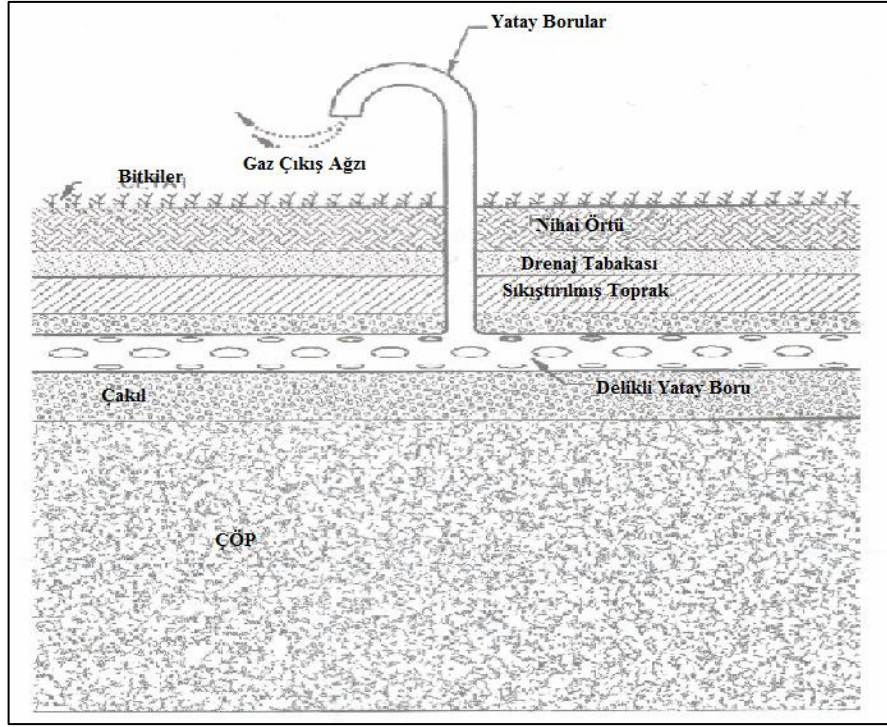
Şekil 10.4. Kuyu yerleşimleri.



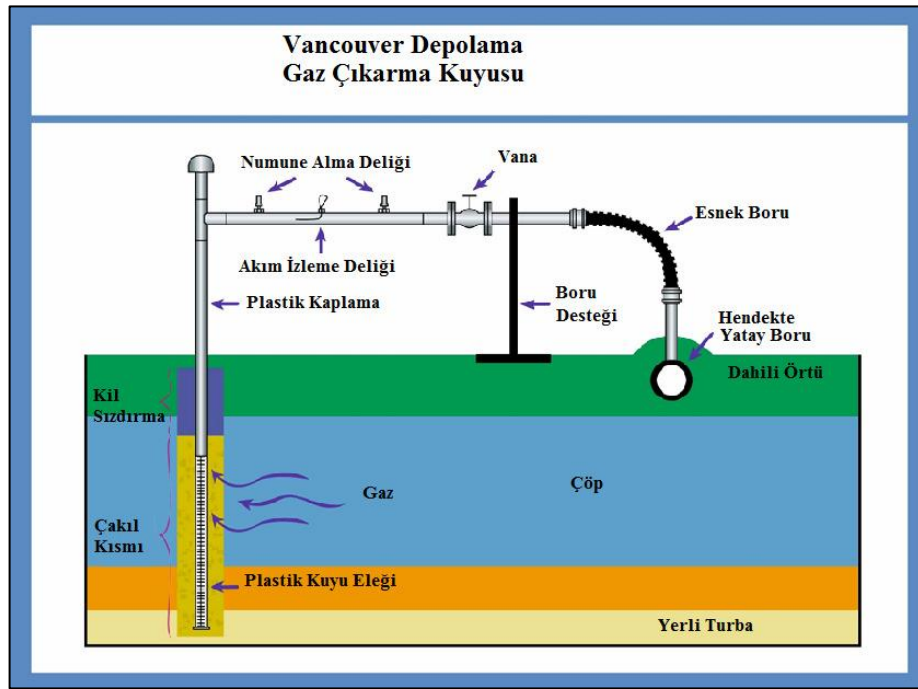
Şekil 10.5. Kuyuların tipik yapısı.



Şekil 10.6. Kuyu yapısı.



Şekil 10.7. Pasif gaz toplama sisteminin genel görünüsü.



Şekil 10.8. Aktif gaz toplama sisteminin detay kesiti.

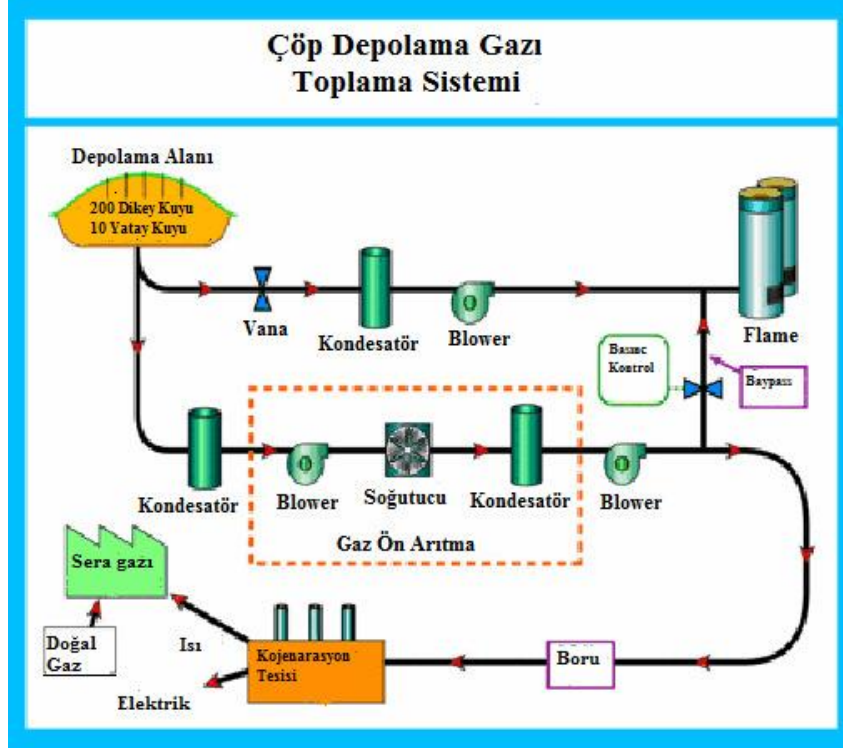




Şekil 10.9. Manifold system.



Şekil 10.10. İletim borulari ve üst kaplama



Şekil 10.11. Çöp Depolama Gazının Aktif ve Pasif olarak İşlenmesi.

## 10.2. TOPLANAN ÇÖP GAZININ (LFG) BELİRLİ İŞLEMLERDEN GEÇİRİLEREK İYİLEŞTİRİLMESİ



Şekil 10.12. Gaz iyileştirme ünitesi.

Soğutucu (Eşanjör) ve Yoğunlaştırıcılar (Demister) Sahadan çekilen çöp gazı (LFG) ilk önce “Isı Eşanjörü” ünitesinden geçirilerek belirli sıcaklığa kadar soğutulmakta

ve nemini salması sağlanmaktadır, hemen ardından gelen “Demister” ünitesinde de oluşan yoğunlaşma suyu toplanarak uzaklaştırılmaktadır.

### **10.3. ÇÖP GAZININ MOTOR-JENERATÖR GRUPLARINDA YAKILARAK ELEKTRİK ELDE EDİLMESİ**

Arıtılmış çöp gazı içten yanmalı motorlarda yakılarak önce mekanik enerjiye, ardından da elektrik enerjisine çevrilmektedir.



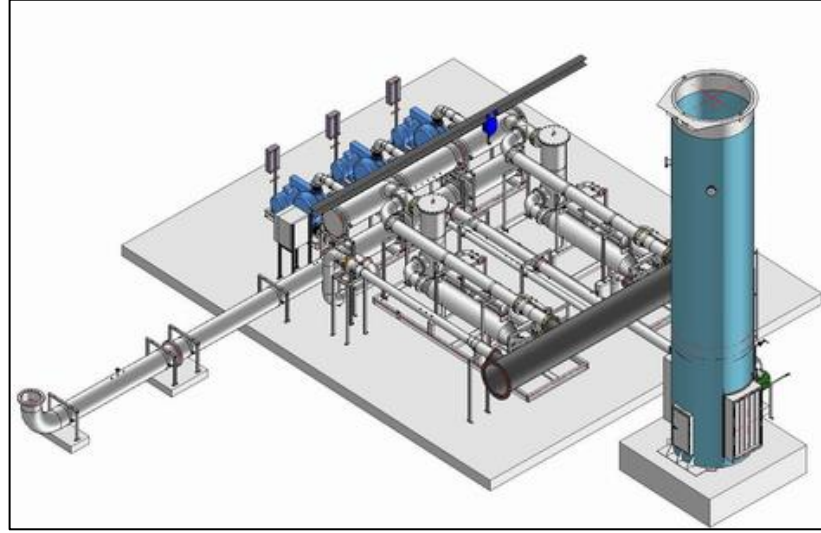
Şekil 10.13. Elektrik eldesi.

### **10.4. EMNİYETLİ İŞLETME İÇİN YAKMA BACASI (FLARE) UYGULAMASI**

Enerji üretimi için gerekli miktarın üzerinde olan veya gaz motorlarının bakımı/ arızası durumunda çekilen gaz, 2.000 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli yakma bacasında flare ile



yakılarak bertaraf edilmektedir. Böylece tesisin elektrik çevrim kısmının çalışmaması durumlarında dahi zararlı metan gazı atmosfere bırakılmamakta ve emisyon azaltımına katkı sağlanmaktadır.



Şekil 10.14. Gaz şartlandırma sistemi.



Şekil 10.15. Motor, jeneratör grubu ve otomasyon.

### **10.5. MEMBRAN GAZ DEPOLAMA BALONLARI**

Sahaya uygulanması gereken vakumun sabitlenmesini sağlayarak kararlı bir işletme ortamı sağlamasının yanında gerektiğinde kısa süreli ara depolama vazifesi de görmektedir.



Şekil 10.16. Membran gaz depolama balonları.

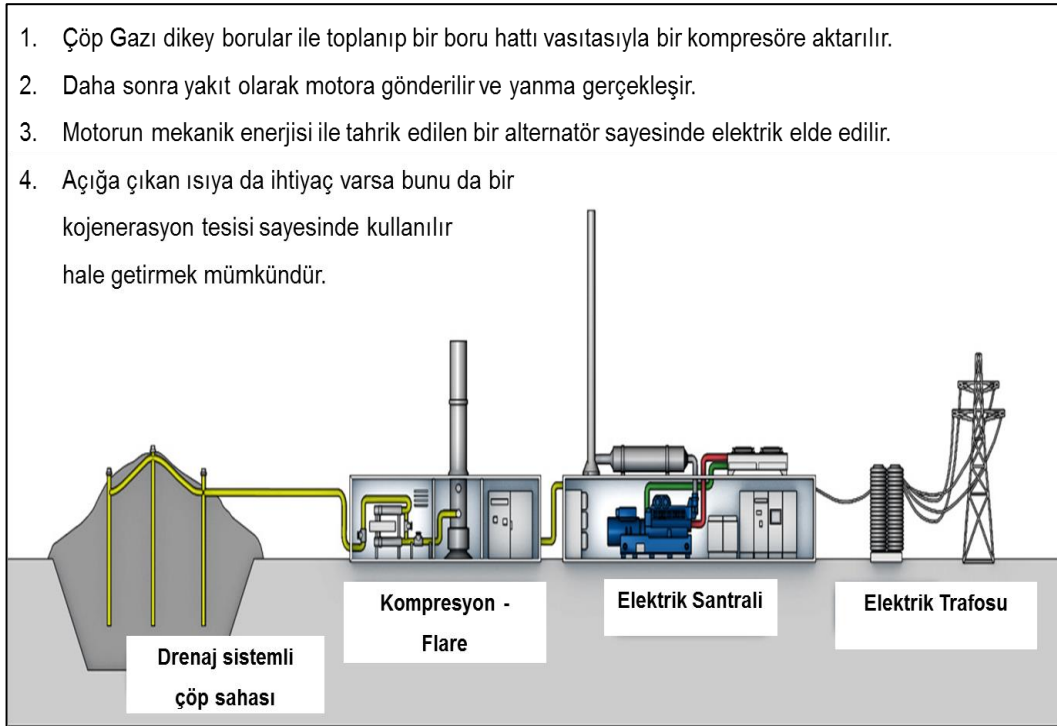
## 10.6. ELDE EDİLEN ELEKTRİĞİN ENERJİ NAKİL HATLARI İLE TÜKETİCİLERE İLETİLMESİ

Tesiste elde edilen enerji, tüketiciye sunulmak üzere ulusal elektrik şebekesine iletilmektedir. 6094 sayılı Kanunla değişik 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (YEK Kanunu) kapsamında hazırlanan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik (YEKDEM Yönetmeliği) gereğince, YEK Destekleme Mekanizmasına tabi üretim lisansı sahiplerine, 10 yıl süre ile çöp gazından üretilen elektriği 13,3 \$ cent/kWh değerinden alım garantisi verilmiştir.

Bir katı atık depolama tesisinden elektrik enerjisi üretiminin mali açıdan ekonomik olabilmesi için etkinlik limitinin 5 MW olması gerektiği ileri sürülmektedir (Ontario Hydro, Canada). Bu sınırı aşmayan projeler birçok avantaja sahip olabilmektedirler. (Çizelge 10.1’de gösterilmiştir.)

Çizelge 10.1. Çeşitli Literatürlere Göre Evsel Katı Atık Depolamasından Elde Edilebilecek Teorik Gaz Üretim Verimleri.

Ana Madde	Toplam Gaz Verim Tahmini M <sup>3</sup> /kg kuru atık	Metan Üreti Tahmini M <sup>3</sup> /kg kuru atık
Evsel Katı Atıklar	0,41	0,24
Evsel Katı Atıklar	0,42	0,21
Evsel Katı Atıklar	0,46	0,25
Biyolojik Ayrışabilir Katılar	0,35	0,17
Biyolojik Ayrışabilir Katılar	0,19	0,09
Biyolojik Ayrışabilir Katılar	0,25	0,12



Şekil 10.17. Sistemin genel çalışma prensibi.



Şekil 10.18. Elektrik üretim ve dağıtım sistemi.

## BÖLÜM 11

### BİR BELEDİYE'YE AİT KATI ATIK POTANSİYELİ VE GERİ DÖNÜŞÜM SONUCU ELDE EDİLEN EKONOMİK KAZANÇ

Belediyenin yıllık katı atık miktarı: 120.000 ton(250.000 nüfus x 1,3 kg. atık/gün)

Çizelge 11.1. Hesaplar için esas alınan atık kompozisyonu ve geri kazanılabilir atık miktarları.

Atık Kompozisyonu	Atık miktarı (%)	Geri Kazanılabilir Atık Miktarı (Ton/Yıl)
Kağıt	2,5	3.000
Plastik	3,75	4.500
Cam	1,9	2.280
Metal	1,6	1.920
Organik Atıklar	48,5	58.200
Diğer	41,75	50.000



Şekil 11.1. Katı atık ayrıştırma.

## KATI ATIK GERİ DÖNÜŞÜM TESİSİ EKONOMİK ANALİZİ

### GELİRLER

- Yıllık Kazanç = 3.000 ton **kağıt** 30 Euro / ton kağıt = 90.000 Euro
- Yıllık Kazanç = 4.500 ton **plastik** 100 Euro / ton plastik = 450.000 Euro
- Yıllık Kazanç = 2.28 ton **cam** 17,5 Euro / ton cam = 39.900 Euro
- Yıllık Kazanç = 1.930 ton **metal** 125 Euro / ton metal = 240.000 Euro
- Yıllık Kazanç = 4.600.000 **kW-h** 0,10 Euro / kW-h = **460.000** Euro (Elektrik enerjisi)
- Yıllık Kazanç = 120.000 ton 7 Euro / ton = 840.000 Euro (Çöp bertaraf geliri)

Toplam Gelir= 2.119.900 Euro / Yıl

Saatte 600 kW-h üretimx22= 13.000 kW-h/gün

13.000 x 30= 390.000 kwh/ay(390 Megawatt)

390.000x12=4.600.000 kW-h/yıl

Bir ailenin yılda 2400 kwh enerji tüketeceğini kabul edersek

4.600.000 kW-h/Yıl/2400 kW-h =1900 aile (6.000 nüfuslu bir şehrin) yıllık enerji ihtiyacı karşılanmış olur.

Not : Tesis, yatırım ve işletme maliyetleri ile birlikte düşünüldüğünde kendini yaklaşık olarak 3 yılda amorti etmektedir.

## BÖLÜM 12

### SONUÇ

Dünya nüfusunun hızla artması, tüketim maddelerinin çeşitliliği ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi ciddi bir atık sorunuyla karşı karşıya kalmamıza sebep olmaktadır. Atık sorununun etkin bir şekilde çözülebilmesi için yeni teknolojilerin kullanımının tüm dünyada yaygınlaşması gerekmektedir. Aynı zamanda önemli bir ekonomik değere sahip olan kentsel katı atıklardan bu yönde de yararlanılmalıdır. İyi bir katı atık yönetim modelinin esası katı atığı bir an önce halkın gözünün önünden uzaklaştırarak boş bir alana atmak değil onu ekonomik bir kaynak olarak görüp, çevreye en uyumlu bertaraf yöntemleri ile uzaklaştırılmasının sağlanmasıdır.

Kentsel katı atıklardan elde edilebilecek en değerli ürün enerjidir. Kentsel katı atıklardan enerji elde etmek sadece bir yenilenebilir enerji uygulaması olmayıp, aynı zamanda karbondioksit emisyonlarını azaltarak çevreye fayda sağlamaktadır. Kentsel katı atıklardan sağlanan enerji özellikle lokal enerji ihtiyacını karşılamada büyük bir öneme sahiptir. Kentsel katı atıklardan enerji üretimi değişen dünya şartlarıyla gelişmiş ülkelerden sonra gelişmekte olan ülkelerin de artık gündemine girmiştir. Bu çalışmada detaylı olarak kentsel katı atıklardan enerji üretiminde dünyada kullanılan depogazından enerji geri kazanımı, ana başlıklar halinde de yakma, gazlaştırma ve anaerobik çürütme teknolojileri incelenmiştir. Depo gazının enerji potansiyelinin değerlendirilmesi ve yakma teknolojileri dünyada en çok kullanılan teknolojilerdir.

Bu tip projeler için topografik şartlardan dolayı büyük depolama sahaları bulunması oldukça zordur. Bu yüzden bu yaklaşım bugün için yeterli olsa bile uzun dönemde farklı stratejiler geliştirilmelidir.

Ancak bu konuda dünyada pek çok kuruluş kredi vermektedir, bu kaynakların iyi bir şekilde gözden geçirilip uzun vadeli planların yapılması gerekmektedir. Farklı teknolojiler ülkemizde uygulanarak bu alanda yetismis is gücü degerlendirilmelidir. Bu çalışmada atıkların mümkün olduğu kadar kaynağında ayrı olarak toplanması, ekonomik değeri olan cam, metal, kağıt ve plastik gibi materyallerin geri kazanımının yapılması elektrik ve ısı üretimini yapılması, düzenli depolamaya ise büyük oranda ihtiyaç kalmaması amaçlanmıştır.

Üretilen elektriğin ve ısının bir kısmının tesisin kendi iç enerjisi için kullanılması, bir kısmının ise satılması düşünülmüştür.

Böylece düzenli depolama alanına gerek duyulmaksızın tüm atıklar çevreye zarar vermeden ülke ekonomisine kazandırılmış olacaktır.



## KAYNAKLAR

1. Kaya, D., Yaşar, M., Eyidoğan, M., “Evsel Katı Atıkların Geri Kazanım ve Bertarafının Teknik ve Ekonomik Analizi”, *17. Uluslararası Enerji – Çevre Fuarı ve Konferansı*, İstanbul (2011).
2. Aydın, A.F., “Organik katı atıkların havasız arıtımı yoluyla biyometan enerjisi geri kazanımı”, *Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları’08 sempozyumu*, İstanbul (2008).
3. Ak, N., Çevreci Bakış, İşletme Dünyası, *İ.B.B.Katı Atık Yönetimi*, İstanbul sayfa:30-32 (2006).
4. Akça, L., AB İle Uyumlu Çevre Yönetimi, *Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, The Marmara Hotel İstanbul (2008).
5. İnternet: İ.B.B.Katı Atık Yönetimi, [www.istac.com.tr](http://www.istac.com.tr), İstanbul (2006).
6. Karaca, M., “İklim Değişimi ve Şehirleşme, Kent Yönetimi”, *İnsan ve Çevre Sorunları’08 sempozyumu*, WMO, İstanbul (2008).
7. İnternet: “Biyogaz Üretiminde Kullanılabilecek Atıklar” [www.biyogas.com](http://www.biyogas.com) (2004).
8. Demir, A., “Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Olusabilecek Metan Miktarının Tesbiti”, *GAP IV. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, Şanlıurfa* (2002).
9. Yolcu, İ.D., Bursa katı atık yönetimi, *Kent Yönetimi insan ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, İstanbul, s. 300-312 (1999).
10. Demir, İ.Altınbas, M. ve Arıkan, O., “ Katı atıklar için entegre yönetim Yaklaşımı”, *Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, İstanbul, c.3, s. 252-262 (1999).
11. Kumar, S., “Technology options for municipal solid waste-to-energy Project”, *TERI Information Monitor on Environmental Science*, volume 5, number 1, 1-11 (2000).
12. “Atık Geri Kazanımı ve Geri Kazanılabilen Atıkların Ayrı Toplanması”, *İzaydas Yerel Yönetimlerin Çalışmasına Yardımcı Olacak Kılavuz Kitapçıklar*, İstanbul (2006).

13. Demir, A. ve Tüylüoğlu, B.S., “Düzenli depolama tesislerinin tasarım ve İşletilmesi”, *Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, c. 3, s. 273-281 (1999).
14. “Düşük ve Yüksek Bütçeli Belediyeler için Katı Atık Depolama Sahalarının Standart Olarak Planlanması ve Tasarımı”, *İzaydas Yerel Yönetimlerin Çalışmasına Yardımcı Olacak Kılavuz Kitapçıklar*, İstanbul (2006).
15. Gilbert, L., Connecting the dots, *Landfill Gas to Energy Conference*, Baton Rouge, LA, (2004).
16. Çelik, A., “İstanbul Büyükşehir Belediyesi evsel katı atıklardan enerji üretim faaliyetleri”, *11. Uluslar arası Kojenerasyon, Kombine Çevrim ve Çevre Konferansı*, s. 76-81 (2005).
17. İnternet: “Investigation into municipal solid Waste gasification” [www.alamedapt.com/newsroom](http://www.alamedapt.com/newsroom) (2004).

## ÖZGEÇMİŞ

Ahmet IŞIK, 1968 yılında Karabük'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Karabük'te tamamladıktan sonra 1987 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Bölümüne girdi. 1992 yılında mezun olduktan sonra Orman Bakanlığının çeşitli kademelerinde görev aldı. 2003 yılında İl Çevre ve Orman Müdürlüğü görevine atandı. Almanya ve Polonya da Çevre alanında çalışmalarda bulundu. 8 yıl İl Müdürlüğü yaptıktan sonra Orman ve Su İşleri Bakanlığın da 2011 yılında Bakanlık Müşaviri olarak göreve başladı. Halen bu görevi yürütmektedir. Aynı zamanda Karabük Valiliğinin Başkanlığı ve Karabük'teki tüm Belediyelerin üye olduğu Karabük Çevre Hizmetleri Birliğinde Müdür Vekilliği görevini sürdürmektedir. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Ahmet IŞIK, evli ve iki çocuk babasıdır.

### ADRES BİLGİLERİ :

Adres :Yeşil Mahalle Taşkent Caddesi  
TOKİ Orman İşletme Müdürlüğü  
Lojmanları D7/A Blok No: 9  
Merkez/KARABÜK

Tel : (533) 8102969

Fax : (370) 4127072

E-Posta : ahmetisik@ormansu.gov.tr

