



Biyogaz

25.01.2016
Hasan ÇELİKKAYA

İçindekiler

1	Giriş.....	6
2	Biyogaz.....	7
2.1	Biyogaz Isıl Değeri [2]	8
2.2	Biyogaz Kullanım Alanları [4]	8
2.2.1	Biyogazın Isıtmada Kullanılması.....	8
2.2.2	Biyogazın Enerji Amaçlı Kullanılması.....	8
2.2.3	Biyogazın Motorlarda Kullanımı	9
2.2.4	Yan Ürün Değerlendirme İmkânları.....	9
2.3	Biyogaz Üretim Tesisleri	9
2.4	Biyogaz Üretiminin Tarihçesi [4]	11
3	Anaerobik fermantasyon	13
3.1	Biyogazın Oluşumu.....	13
3.2	Çevre Koşulları.....	14
3.2.1	Oksijen	15
3.2.2	Sıcaklık.....	15
3.2.3	pH Değeri	15
3.2.4	Besin Değeri	16
3.2.5	Zararlı Maddeler	16
3.3	İşletme Parametreleri [13].....	17
4	Biyogaz Tesis Teknolojisi.....	20
4.1	Fermantasyon materyallerinin kuru madde oranı [13]	20
4.2	Besleme Türü [2]	20
4.3	Proses Aşamalarının sayısı	21
4.4	Biyogaz tesislerinin kapasite olarak sınıflandırılması	21
4.5	Uygulama Tekniği	21
5	Biyogaz Üretmede Kullanılan Hammaddeler.....	23
5.1	Hayvansal Atıklar	23
5.2	Bitkisel Atıklar	23
5.3	Endüstriyel Atıklar	24
6	Hayvansal Veriler ve Bu Kaynaklardan Elde Edilebilecek Enerji Miktarları	24
6.1	Bölgemiz TRB1 için Hayvansal Veriler.....	24
6.2	Hayvansal Kaynaklardan Elde Edilebilecek Ortalama Gübre Ve Biyogaz Miktarları	27
6.3	TRB1 Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretim Potansiyeli	28

6.3.1	TRB1’de Hayvansal Atıklardan Üretililecek Biyogaz Miktarı.....	28
6.3.2	TRB1 Bölgesinden Elde Edilebilecek Biyogaz Miktarlarının Eşderğerleri	29
6.4	Değerlendirme	30
7	Avrupa’da ve Ülkemizde Biyogaz Üretimi.....	31
7.1	Avrupa’da Biyogaz Üretimi	31
7.2	Ülkemizde Biyogaz Üretimi.....	32
8	Biyogaz Hakkında Hazırlanan Bir Fizibilite Raporunun Sonuçları [19].....	34
9	Sonuç	36
10	Kaynakça.....	37

Kısaltmalar

CNG: Sıvılaştırılmış Doğalgaz

C/N Oranı: Karbon/Azot Oranı

Düzey 2: Ekonomik, sosyal, kültürel ve coğrafi yönlerden benzer illerin belirli bir nüfus büyüklüğü de dikkate alınarak gruplanması ile oluşturulan bölge birimleri. 26 tane, 2. düzeyde bölge birimi vardır.

HRT (Hydraulic retention time): Hidrolik Bekleme Süresi

OKM: Organik Materyal Konsantrasyonu

TRB1: Malatya, Elazığ, Bingöl ve Tunceli'den oluşan Düzey 2 bölgesidir.

TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu

Şekiller

Şekil 1 Biyogaz Üretilen Ortamlar [1]	7
Şekil 2 Biyogaz proses diyagramı [3].....	10
Şekil 3 Biyogaz Depolama [2]	10
Şekil 4 John Dalton (1766-1844) ve öğrencisini bataklık gazı toplarken tasvir eden resim (Manchester City Art Galleries).....	11
Şekil 5 Biyogaz tipi sokak lambası	12
Şekil 6 Anaerobik bozunmanın şematik tanımı [7]	14
Şekil 7 Biyogaz Üretim Tesisi Şeması [2].....	21
Şekil 8 Biyogaz üretiminde genel uygulama süreci [13].....	22
Şekil 9 İllere Göre Sığır Sayısı [15].....	25
Şekil 10 İllere Göre Koyun Sayısı [15].....	26
Şekil 11 İllere Göre Keçi Sayısı [15].....	26
Şekil 12 Avrupa’da bulunan biyogaz tesis sayıları [17].....	31
Şekil 13 Avrupa’daki Biyogaz Tesislerinin Ülkelere Göre Dağılımı [17].....	32

Tablolar

Tablo 1 Biyogaz Kompozisyonu [6].....	13
Tablo 2 Bazı Organik Maddelerden Oluşan Biyogaz Miktarı [11].....	16
Tablo 3 Organik Maddenin Üç Temel Ögesinden Elde Edilecek Biyogaz ve Metan Miktarlarıyla Hacimsel ve Ağırlık Yüzdesi Olarak Gaz Bileşimleri [12]	16
Tablo 4 Anaerobik bozunma proseslerinde zararlı maddeler ve zararlı konsantrasyonları [13].....	17
Tablo 5 Biyogaz üretim yöntemlerinin farklı kriterlere göre sınıflandırılması [13]	20
Tablo 6 Hayvansal Atıklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri Ve Biyogazdaki Metan Miktarları [14]	23
Tablo 7 Bitkisel Atıklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri Ve Biyogazdaki Metan Miktarları [14] [2].....	23
Tablo 8 Endüstriyel Atıklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri Ve Biyogazdaki Metan Miktarları [14] [2]	24
Tablo 9 Yıllık Büyükbaş Hayvan Sayısı (Sığır (Melez+Kültür+Yerli)+Manda [15]	24
Tablo 10 Yıllık Küçükbaş Hayvan Sayısı (Koyun(Yerli)+Koyun(Merinos)+Keçi(Kıl)+Keçi(Tiftik)) [15]	25
Tablo 11 Yıllık Kümes Hayvanı Sayısı (Yumurta Tavuğu, Ördek, Et Tavuğu, Hindi, Kaz)	27
Tablo 12 Yıllık Hayvan Sayısı [15]	27
Tablo 13 Hayvan cinsine göre üretilebilecek yaş gübre miktarı [16].....	28
Tablo 14 Gübre cinsi ve gübre miktarına göre üretilebilecek biyogaz miktarı [16]	28
Tablo 15 TRB1 Üretilebilecek Biyogaz Miktarı.....	28
Tablo 16 kWh Eşdeğeri	29
Tablo 17 Bütan ve Propan Eşdeğeri (m ³).....	29
Tablo 18 Benzin ve Motorin Eşdeğeri (litre).....	30
Tablo 19 Ülkemizde Bulunan Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Piroolitik yağ Enerji Santralleri [18]	32

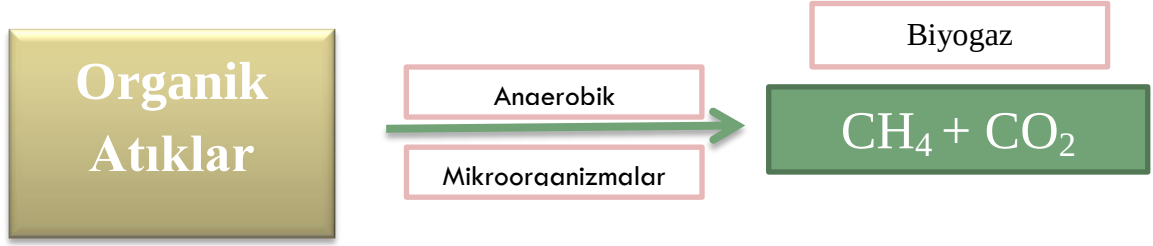
1 Giriş

1970'lerin ilk yarısında meydana gelen petrol krizi nedeniyle artan petrol fiyatlarına karşın alternatif enerji kaynaklarına olan ilgi zamanla artmaya başlamış ve aynı sorunlarla tekrar karşılaşılması durumuna karşı birçok ülke elektrik üretiminde çeşitliliğe gitmiştir. Enerji çeşitliliğine gidilmesinde herhangi bir enerji üretim tipindeki dalgalanmanın toplam dalgalanmaya etkisinin azaltılması amaçlanmıştır. Buna ek olarak fosil enerji kaynaklarının (petrol, kömür vb.) CO₂ ve benzeri salınımlarla çevre kirletici olması, fosil enerji kaynaklarının tükenme ihtimali ve enerji çeşitliliğin sağlanması için de hidroelektrik, güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına olan ilgi ve bunlarla ilgili araştırmalar artmaya başlamıştır. Bu yüzden ki enerji açığını kapatmak, çevre problemlerinin çözümü dolayısıyla küresel ısınmayla mücadele ve sürdürülebilir bir kalkınma açısından yenilenebilir enerji kaynakları büyük öneme sahiptir.

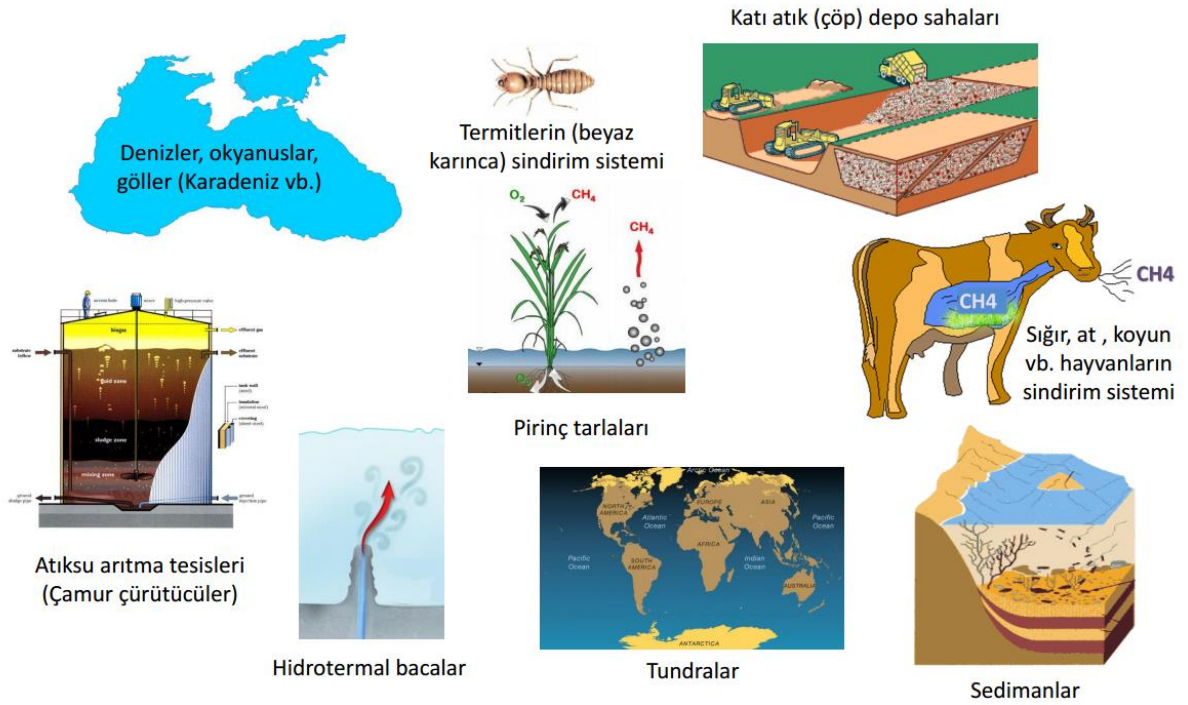
Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının bir parçası olan biyokütle enerjisinin bir parçası olan organik bazlı atık ve artıkların anaerobik (oksijensiz ortam) fermantasyonu sonucu ortaya çıkan bir gaz karışımı olan *biyogaz* üretimi hakkında hazırlanmıştır. Bu çalışmada biyogazın anaerobik fermantasyonla oluşumu, üretimini etkileyen faktörler, biyogazın kullanım alanları ve tesis teknolojisi ve biyogaz üretmede kullanılan hammaddeler incelenmiştir.

2 Biyogaz

Biyogaz, biyokütlenin anaerobik çürüme ile oksijensiz ortamda işlenmesi sonucunda elde edilen yanıcı bir gazdır. Biyogaz, yanıcı diğer gazlardan farklı olarak sadece hayvansal veya bitkisel gibi organik hammaddelerden elde edilmektedir. Biyolojik atıklar, gıda sanayii kaynaklı organik atıklar, mısır veya şeker pancarı gibi enerji bitkileri ile hayvan besiciliğinde oluşan hayvansal dışkılar biyogaz tesislerinde hammadde olarak kullanılabilir. İçerdiği metan gazı, biyogazın ısıl değerini oluşturan ana maddedir. Metan, karbondioksit göre 23 kat daha fazla sera etkisine neden olur. Bu bakımdan hayvansal, bitkisel ve endüstriyel atıklardan biyogaz elde edilmesi, ekonomik getirisinin yanı sıra çevreci bir yaklaşıma da sahiptir.



Biyogaz (CH₄) Üretilen Ortamlar



Şekil 1 Biyogaz Üretilen Ortamlar [1]

2.1 Biyogaz Isıl Değeri [2]

1 m³ biyogazın sağladığı ısı miktarı 4700-5700 kcal'dir. Bu değer;

- 0,62 litre gaz yağı
- 1,46 kg odun kömürü
- 3,47 kg odun
- 0,43 kg bütan gazı
- 12,3 kg tezek
- 4,70 kWh elektrik enerjisi

eşdeğerindedir.

1 m³ biyogaza eşdeğer yakıt miktarları ise

- 0,66 litre motorin
- 0,75 litre benzin
- 0,25 m³ propan

tarafından sağlanan enerjiye eşdeğerdir.

2.2 Biyogaz Kullanım Alanları [4]

Doğalgaz ile kullanım alanları hemen hemen aynı olan biyogaz, çok yönlü bir enerji kaynağı olarak doğrudan ısıtma ve aydınlatma amacıyla kullanıldığı gibi, elektrik enerjisine ve mekanik enerjiye çevrilerek kullanımı da (gaz türbini-jeneratör, kojenerasyon, yakıt pilleri) mümkün olmaktadır. Eğer bu gaz sıkıştırılırsa tıpkı sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) olarak motorlu araçlarda yakıt olarak da kullanılabilir. Ayrıca biyogaz üretimi sonucu ortaya çıkan yan ürünler de çeşitli amaçlarla kullanılabilir.

2.2.1 Biyogazın Isıtmada Kullanılması

Biyogazın yanma özelliği bileşiminde bulunan metan gazından kaynaklanır. Biyogaz hava ile 1/7 oranında karıştığı zaman tam yanma gerçekleşir. Isıtma amacıyla gaz yakıtlarla çalışan fırın ve ocaklardan yararlanılabileceği gibi termosifon ve şöfenlerde biyogazla çalıştırılarak kullanılabilir. Biyogaz, sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan sobaların meme çaplarında basınç ayarlaması yapılarak kolaylıkla kullanılabilir. Biyogaz sobalarda kullanıldığında bünyesinde bulunan hidrojen sülfür gazının yanmadan ortama yayılmasını önlemek üzere bir baca sistemi gerekli olmaktadır. Bu nedenle, daha sağlıklı bir ısınma için kalorifer sistemleri tercih edilmektedir.

2.2.2 Biyogazın Enerji Amaçlı Kullanılması

Biyogaz hem doğrudan yanma hem de elektrik enerjisine çevrilerek aydınlatmada kullanılabilir. Biyogazın doğrudan aydınlatmada kullanımında sıvılaştırılmış petrol gazları ile çalışan lambalardan yararlanılmaktadır. Bu sistemde aydınlatma alevini arttırmak üzere amyant gömlek ve cam fanus kullanılmaktadır. Cam fanus ışığı sabitleştirdiği gibi çıkan ısıyı geri vererek alevin daha fazla olmasını sağlamaktadır.

2.2.3 Biyogazın Motorlarda Kullanımı

Biyogaz, benzinle çalışan motorlarda hiçbir katkı maddesine gerek kalmadan doğrudan kullanılabilirdiği gibi içeriğindeki metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilir. Dizel motorlarda kullanılması durumunda belirli oranlarda (% 18-20) motorin ile karıştırılması gerekmektedir.

2.2.4 Yan Ürün Değerlendirme İmkânları

Biyogaz üretimi sonucu sıvı formda fermente organik gübre elde edilmektedir. Elde edilen gübre tarlaya sıvı olarak uygulanabilir, granül haline getirilebilir ve/veya beton-toprak havuzlarda doğal kurumaya bırakılabilir. Fermantasyon sonucu elde edilen organik gübrenin temel avantajı anaerobik fermantasyon sonucunda patojen mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olmasıdır. Bu özellik kullanılacak olan organik gübrenin yaklaşık %10 daha verimli olmasını sağlar.

2.3 Biyogaz Üretim Tesisleri

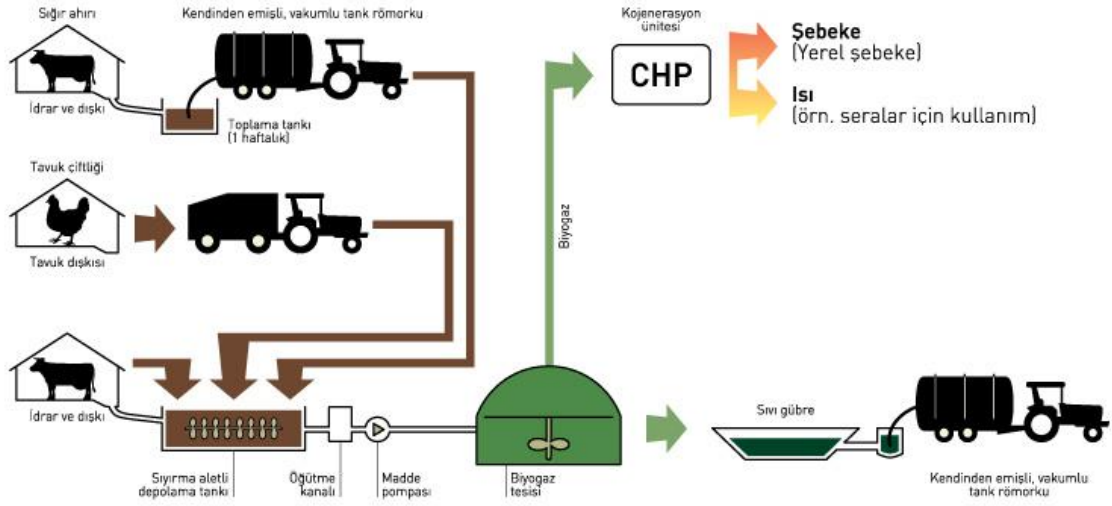
Biyogaz üretim tesisleri üç ana organdan oluşmaktadır. Bunlar fermentör, gaz deposu ve gübre deposudur.

Fermentör kısmı hava almayacak şekilde tasarlanan ve içerisinde bir karıştırıcı içeren bir tanktır. Ayrıca bu tank genelde bir ısıtıcıda içerir. Verimli bir şekilde biyogaz elde edilmesi için fermentör içerisindeki sıcaklık 35°C'nin altında olmamalıdır. Fermentör sıcaklığının düşmesi üretilen gazın miktarının da azalmasına sebep olur.

Gaz deposu, oluşan biyogazı bir yerde toplamak ve gaz basıncının sabit kalmasını sağlamak için kullanılır. Fermentör üzerinden alınan gaz bir boru ile bu depoya taşınır. Burada biriken gaz ihtiyaca göre kullanıma gider.

Biyogazın üretilmesi için fermentöre alınacak organik maddenin kuru madde içeriğinin belli bir oranı (~%8) geçmemesi lazımdır. Bunun anlamı, sığır gübresi kullanılacaksa gübrenin bire bir oranında su ile karıştırılması demektir. Bu madde fermantasyon süresi sonunda fermentörden aynı şekilde çıkacaktır. Akışkan durumuna gelmiş olan bu bulamaç halindeki gübrenin depolanması için betondan yapılmış havuz şeklinde bir gübre deposuna ihtiyaç vardır.

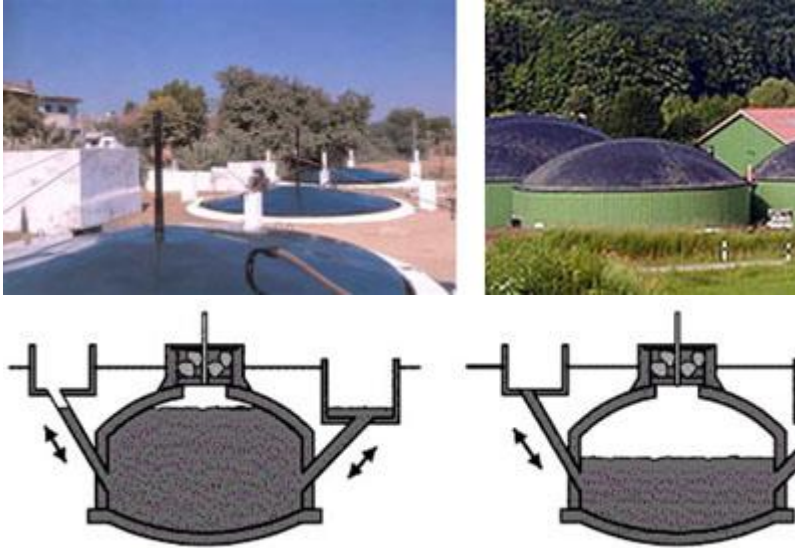
Yukarıda anlatılan 3 ana organın yanı sıra biyogaz üretim tesisinde; hammadde depolama tankı, gaz boruları-valfleri ve bağlantı ekipmanları, ısıtma sistemleri, pompalar, karıştırıcılar, ısı transfer elemanları, ayırma ve filtrasyon elemanları da kullanılmaktadır.



Şekil 2 Biyogaz proses diyagramı [3]

Şekil 2’de biyogaz proses diyagramında gösterilen gibi büyük-modern ileri teknoloji uygulamaların dışında uzun yıllardır kullanılan sistemler de mevcuttur. Kırsal kesimler için önerilen ve kısıtlı yerel imkanlarla yapılıp kullanılmakta olan bu tür sistemler çok değişik tipte olup genel olarak üç kısımda tanımlanmaktadır;

- Hareketli kubbeli biyogaz tesisleri
- Sabit kubbeli biyogaz tesisleri
- Balonlu biyogaz tesisleri

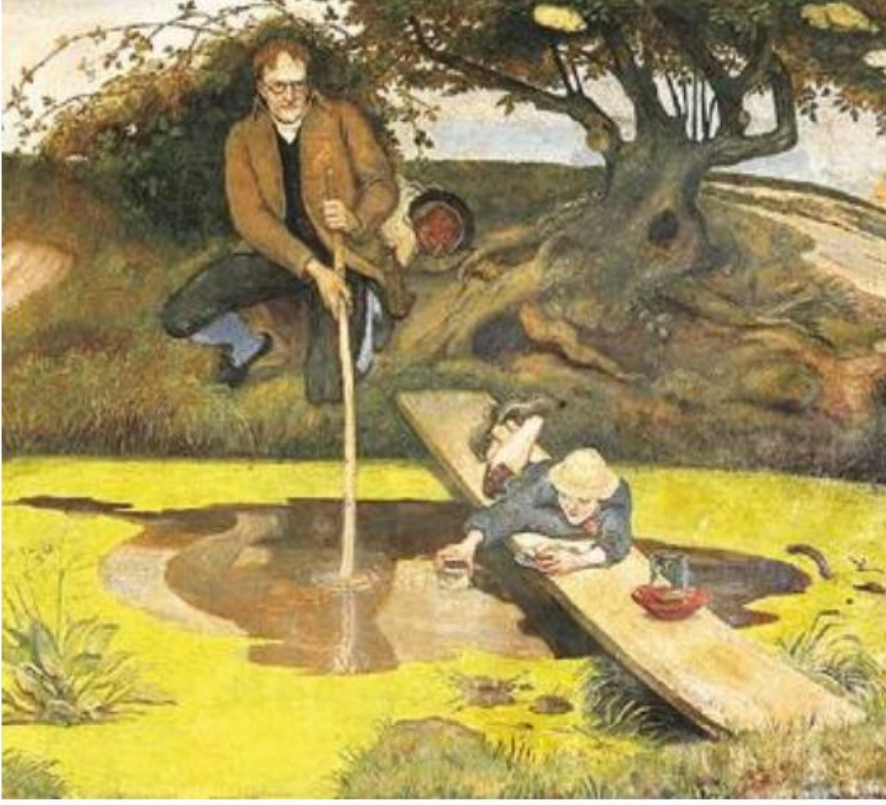


Şekil 3 Biyogaz Depolama [2]

Toprak altına gömülen ve tuğla-beton bir yapıdan oluşan bu tip biyogaz tesisleri fermantörün iyi izolasyonunun sağlanması durumunda kırsal kesimler için ideal bir biyogaz tesisidir.

2.4 Biyogaz Üretiminin Tarihçesi [4]

- 17. yüzyılda, Flaman kimyager Jan Baptista Van Helmont organik maddelerin çürümesiyle yanıcı bir gazın açığa çıktığını keşfetti.
- 1776'da, İtalyan fizikçi Alessandro Volta, çürüyen organik madde miktarı ile oluşan yanıcı gaz miktarı arasında doğrusal bir bağ olduğunu belirledi.



Şekil 4 John Dalton (1766-1844) ve öğrencisini bataklık gazı toplarken tasvir eden resim (Manchester City Art Galleries)

- 1808'de İngiliz kimyager Humphry Davy, inek dışkısının çürümesiyle oluşan gazda metan bulunduğunu tespit etti.
- İlk anaerobik çürütücü, 1859'da Hindistan'da Bombay'da inşa edildi.
- Atıksu arıtan bir septik tankta oluşan biyogazın toplanıp Exeter şehrindeki sokak lambalarında yakılmasıyla, anaerobik çürütme teknolojisi 1895'de İngiltere'de ilk defa kullanılmış oldu.



Şekil 5 Biyogaz tipi sokak lambası

- Mikrobiyolojideki gelişmeler, 1930'dan sonra anaerobik bakterilerin ve metan üretimini etkileyen koşulların tespitine yönelik çalışmaların artmasına sebep oldu.
- 1970'li yıllarda yaşanan petrol ve enerji krizi biyogaz teknolojilerine olan ilgiyi artırdı.
- 1970-80 arası yetersiz ve yanlış tasarlanan birçok biyogaz tesisi sorunlar sebebiyle işletilemedi.

3 Anaerobik fermentasyon

3.1 Biyogazın Oluşumu

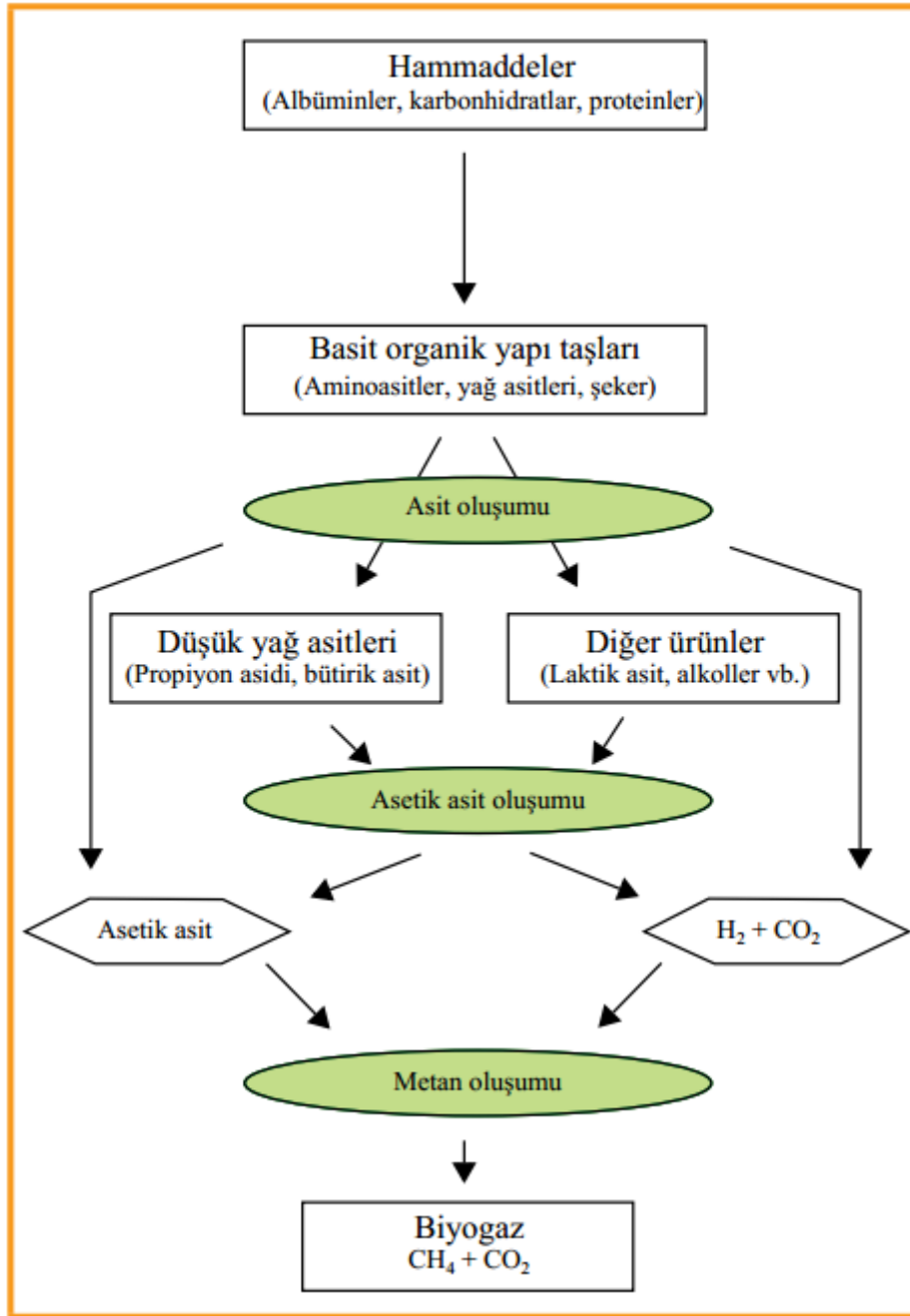
Biyogaz, organik bazlı atık/artıkların anaerobik (oksijensiz ortamda) fermentasyonu sonucu ortaya çıkan renksiz - kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan ve bileşiminde organik maddelerin bileşimine bağlı olarak yaklaşık; % 40-70 metan, % 30-60 karbondioksit, % 0-3 hidrojen sülfür ile çok az miktarda azot ve hidrojen bulunan bir gaz karışımdır. [5] Biyogaz kompozisyonu için aşağıda verilen tabloya bakınız. Bu ayrışma süreci bataklıklar, deniz diplerinde, sıvı gübre çukurlarında ve geniş getiren hayvanların işkembelerinde olmak üzere doğada yaygın olarak gerçekleşir. Biyogaz üretim tesislerinde ise bu işlem için çürütme ünitelerinden faydalanılmaktadır. Çürütme ünitelerinin amacı, doğal indirgeme süreçlerinin teknik bir düzen içinde yapılmasını sağlamaktır. Bu tesislerin ürünü olarak ise açığa çıkan enerjiden yani biyogazdan teknik olarak yararlanılması amaçlanmıştır.

Tablo 1 Biyogaz Kompozisyonu [6]

	Miktar (%)
Metan	60-70
Karbondioksit	30-40
Su Buharı (H₂O)	0-10
Azot (N₂)	0-2
Oksijen (O₂)	0-0,5
Hidrojen (H₂)	0-1
Amonyak (NH₃)	0-0,5
Hidrojen Sülfür (H₂S)	20 – 4000 ppm
Isıl Değer (kWh/Nm³)	6,5

Biyogaz üretim prosesinin tamamında herhangi bir olumsuzluğa meydan vermeyecek şekilde gelişmesi büyük önem arz eder. Bunun için gerçekleşecek bozunma aşamalarının birbirleri ile çok uyumlu olması gerekir. Biyogaz üretimi hidroliz, asetojenez aşaması, metanojenez aşamasından oluşmaktadır. Hidroliz esnasında, organik maddeye katılan hidrolitik bakteriler, bu maddeyi biyokimyasal olarak parçalayan enzimleri serbest bırakarak organik atık içerisindeki protein, karbonhidrat ve yağ kompleks yapılar şeker, yağ asitleri ve aminoasit gibi basit organik yapılara dönüştürülür. Asetojenez aşamasında ise oluşan ara ürünler fermente edici bakteriler tarafından asetik, propiyon ve bütrik asit gibi düşük yağ asitlerine düşük yağ asitleri, karbondioksit ve hidrojene ayrıştırılır. Metanojenez aşamasında ise asetik asitler, hidrojen ve karbondioksit, mutlak anaerobik metanojen¹ arkeler tarafından metana dönüştürülür. Hidrojen kullanan metanojenler hidrojen ve karbondioksitten metan üretirken, asetoklastik metan oluşturucular asetik asidi ayrıştırarak metan oluştururlar. Oksijensiz bozunmanın dört aşaması aslında tek basamaklı bir proseste paralel olarak aynı zamanda gerçekleşir. Ancak her bozunma aşaması ortam sıcaklığı gibi farklı fiziksel şartlara ihtiyaç duyacağından optimal şartların sağlanması gerekir. [7] Anaerobik bozunmanın şematik tanımı için aşağıda verilen şekile bakınız.

¹ Metanojenler, Arkea grubunda bulunan ve oksijensiz ortamlarda üreyen metan oluşturucu bakterilere verilen genel isimdir. Dünyada bilinen metan üretebilen canlı grubu sadece Metanojen Arkeler'dir.



Şekil 6 Anaerobik bozunmanın şematik tanımı [7]

3.2 Çevre Koşulları

Organik bazlı atık/artıkların anaerobik (oksijensiz ortamda) fermentasyonu kuru/katı ve yaş olmak üzere ikiye ayrılır. Her iki işlem arasında su miktarı, besin maddesi içeriği ve materyal transferi bakımından farklılık olacağından çevre koşullarının tarif edilmesinde bu iki tip arasında ayrım yapılması gerekir. Uygulama da yaygınlığı pratik olarak daha fazla olduğundan bu çalışmada yaş fermentasyona yer verilmiştir.

3.2.1 Oksijen

Atmosferin oluşmasından önce oluşan metanojen arkeler fermentasyon sırasında oksijene gereksinim duymazlar yani oksijensiz ortama muhtaçtırlar. Metanojen arkelerin birçok türü oksijenin çok az olduğu ortamlarda bile yaşamlarını sürdüremezler. Fakat fermentasyon ünitelerine oksijen girişinin engellenmesi tamamen mümkün değildir. Bu yüzden fermentasyon ünitelerinde oksijen tüketen bakteriler ile bir arada yaşamaları sağlanır. Hem oksijenli ortamda hem de oksijensiz ortamda yaşayan metanojenlerde bulunmaktadır ve bunlar fakültatif metanojen arke olarak adlandırılmaktadırlar.

3.2.2 Sıcaklık

Kimyasal reaksiyon hızı, çevre ısısına paralel olarak artar. Biyolojik indirgenme ve bozunmanın olduğu durumlarda bu durum kısmen uygulanabilir. Çünkü prosese katılacak mikroorganizmalar farklı sıcaklık değerlerine ihtiyaç duyar. Bu yüzden gereksinimler göz önünde bulundurularak optimal bir sıcaklık değeri belirlenir. Optimal sıcaklığın altına düşülmesi ve üstüne çıkılması kimi zaman mikroorganizmaların geri dönüşü olmayacak şekilde zarara uğramalarına sebebiyet vererek sürecin sekteye uğramasına sebep olur.

Bozunmaya katılan mikroorganizmalar sakrolifik, mezolifik ve termolifik olmak üzere üç farklı sıcaklık grubunda incelenir. [8] Sakrolifik mikroorganizmalar, organik atığın ısıtılmaya ihtiyaç duymadığı, bozunma performansı veya gaz üretiminin düşük olduğu 25 °C altındaki sıcaklıklarda yaşamlarını sürdürürler. Bu sıcaklık değerlerinde biyogaz tesislerinin ekonomik olarak varlık göstermesi mümkün değildir. Kullanımda en yaygın olan mezolifik mikroorganizmalar nispeten yüksek bir gaz verimliliği ve iyi bir proses istikrarı sağlanabilen 37 ve 42°C arasında sıcaklığa ihtiyaç duyar. 40 ve 70 °C arasındaki sıcaklık değerlerine ihtiyaç duyan termolifik mikroorganizmalar ise genelde hijyenleştirmeye ihtiyaç duyulan prosesler için uygundur. Termolifik mikroorganizmaların varlığını sürdürebilmeleri için genelde fermentasyon prosesinin ısıtılması gerekir. [7] [8] [9]

Mezofolik ve termolifik sıcaklıkların çevresel olarak sağlanamadığı, özellikle sıcaklığın korunması gereken biyogaz tesislerinde ısı transfer elemanları büyük önem taşırlar. Plakalı ısı değiştiriciler, shell-tube ısı değiştiriciler yanında kapalı devre ısı pompaları, güneş enerjili ısıtıcılar kullanılmaktadır. [2]

3.2.3 pH Değeri

Biyogaz üretiminde sıcaklıkta olduğu gibi pH değerinde reaksiyon hızı ve diğer parametreler üzerinde önemli bir etkisi vardır. Fermentasyon için pH 5-8 arasındadır. Hidrolizde faydalanan bakteriler ve asit üreten bakteriler için uygun pH 5,2 ile 6,3 arasındaki iken asetik asit üreten ve metanojenik arkeler için pH 6,5 ile 8 arasında değerler uygundur. Genel olarak proses incelendiğinde asit üreten bakteriler metan üreten bakterilerden daha hızlı çoğaldıkları için asit üretimi sistemde artarak metan üreten bakterilerin aktivitesini düşürebilir. Bu yüzden prosesin pH değeri sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Normal proses süresince pH değeri genelde 7 civarında seyreder. Proses ısısının artması ve besleme miktarının değişmesi bu değerde dalgalanmalara sebep olur. Asit üretiminin artması pH'ı düşüreceğinden metan üretimi de bu azalmaya oranla azalarak durur. Bu yüzden üretilen biyogazda CO₂ miktarı artar. CO₂ miktarındaki artış, gazın yakılması sonucu oluşacak

sarımtırak alevden anlaşılabilir. Bu durumda sistemdeki dengeyi sağlamak için metan üretici bakterilerin ortamdaki asidi tüketmeleri için besleme azaltılmalı ya da durdurulmalı veya pH değerindeki düşme devam ediyorsa sisteme nötralizasyon için alkali maddeler ilave edilmelidir. [7] [9] [10]

3.2.4 Besin Değeri

Anaerobik bozunmada mikroorganizmalar türlerine göre besin ve vitaminlere ihtiyaç duyarlar. Besinlerin ve vitaminlerin ortamdaki miktarı mikroorganizmaların büyüme hızlarını ve aktivitelerini etkiler. Ayrıca kullanılan malzemeden de maksimum miktarda metan üretmek için de mikroorganizmalar için uygun besin değerlerine sahip ortamların oluşturulması gerekir. Üretilen metan miktarı kullanılan besin içerisindeki karbonhidrat, yağ ve protein miktarına bağlıdır. Bazı organik maddelerden oluşan biyogaz miktarı ve organik maddenin üç temel ögesinden elde edilecek biyogaz ve metan miktarı aşağıda tablo ile verilmiştir.

Tablo 2 Bazı Organik Maddelerden Oluşan Biyogaz Miktarı [11]

Organik Maddeler	Spesifik Gaz Üretimi (l/kg)	Gaz Oranı
Karbonhidratlar	790	%50CH ₄ , %50CO ₂
Lipitler	1250	%68CH ₄ , %32CO ₂
Proteinler	700	%71CH ₄ , %29CO ₂

Tablo 3 Organik Maddenin Üç Temel Ögesinden Elde Edilecek Biyogaz ve Metan Miktarlarıyla Hacimsel ve Ağırlık Yüzdesi Olarak Gaz Bileşimleri [12]

Organik Madde	Ağırlık %'si olarak biyogaz karışımı		Birim organik kuru gaz maddeden üretimi (m ³ /kg)		Hacimsel olarak % metan
	%CO ₂	%CH ₄	Biyogaz	Metan	
Karbonhidrat	73	27	0,75	0,37	50
Yağ	52	48	1,44	1,04	72
Protein	73	27	0,98	0,49	50

Prosesin sürekliliği için karbon ve azot beslemesinin düzenli yapılması önemlidir. Çünkü anaerobik bakteriler için karbon enerji elde edilmesinde kullanırken, azot ise bu mikroorganizmaların büyümeleri ve çoğalmaları için gereklidir.

Prosesin optimal düzeyde devam edebilmesi için karbon ve azot beslemesi belirli oranlarda yapılması gerekir. Karbon ve azot arasındaki bu oran (C/N oranı) biyogaz üretiminin sürekliliğinin sağlanmasında büyük öneme sahiptir. Örneğin bu oran aşırı yükselirse, yetersiz metabolizma nedeniyle var olan karbonlar tümüyle dönüştürülemediğinden maksimum metan verimliliğine ulaşılamaz. İdeal bir proses için C/N oranı 20 ile 30 aralığında olmalıdır.

3.2.5 Zararlı Maddeler

İşletme süresinde meydana gelen olaylar veya zararlı maddeler yüzünden proses süresince gaz üretimindeki akışta azalma ya da durma olabilir. Zararlı maddeler kaynaklı problemlerde materyal ilavesiyle fermentöre giren ve ara ürün olarak bozunma aşamalarında oluşan zararlı

maddeler arasında ayırım yapılması gerekir. Fermentöre aşırı materyal eklenmesi de prosesin durmasına sebep olabilir. Aşağıdaki tabloda anaerobik bozunma prosesinde zararlı maddeler ve bunların konsantrasyonları verilmiştir.

Tablo 4 Anaerobik bozunma proseslerinde zararlı maddeler ve zararlı konsantrasyonları [13]

Zararlı Madde	Engelleme Konsantrasyonu	Açıklama
Oksijen	>0,1 mg/l	Bağlayıcı metanojen engellemesi anaerobik arkelerin
Hidrojen Sülfür	>50 mg/l	pH değeri düştüğü zaman engelleme etkisi artar
Uçucu yağ asitleri	>2000 mg/l (pH=7,0)	pH değeri düştüğü zaman engelleme etkisi artar. Bakterilerin yüksek adaptasyon yeteneği
Amonyum azot	>3500 mg/l (pH=7,0)	pH değeri düştüğü ve sıcaklık yükseldiği zaman engelleme etkisi artar. Bakterilerin yüksek adaptasyon yeteneği.
Ağır metaller	Cu>50 mg/l Zn>150 mg/l Cr>100 mg/l	Sadece çözünebilir metaller engelleyici etkiye sahiptir. Sülfidin çökeltmesi ile zehirden arındırma.
Dezenfeksiyon Antibiyotikler	aracı Veri yok	Ürüne özgü engelleme etkisi

Elde edilen biyogazın kalorifik değerinin artırılması ve korozif özelliğinin giderilmesinde, çevre-insan sağlığı üzerindeki potansiyel zararlarının azaltılması oldukça önemlidir. Ayrıca biyogaz bileşimindeki sülfür oranının %0,05 den daha aşağılara çekilmesi istenir. Bu amaçla fiziksel absorpsiyonu sağlayacak katı ve sıvılar, membran ayırıcıları ve farklı kimyasallar kullanılır. Biyogaz içindeki olası su moleküllerinin tutulmasında ise silika jel, alümina veya moleküler elekler kullanılır. Korozif sülfür ve karbondioksit tutulması için demiroksit kullanımı yaygındır. [2]

3.3 İşletme Parametreleri [13]

Bir biyogaz tesisinin işletilmesinde belirli parametrelere uymak prosesin sürekliliği açısından büyük önem arz eder. Bu parametrelere fermentörün yükleme oranı, bekleme süresi, biyogaz reaktörünün üretkenliği, verimi, bozunma derecesi, fermentörün karıştırılması, gazın oluşum potansiyeli ve metanojenik aktivitesi dâhildir.

Fermentörün organik yükleme oranı, birim hacme (m^3) belirli zaman aralığında kaç kg kuru organik madde miktarı eklenmesini belirler. pH seviyesinin düşerek gaz oluşumunu

durdurmaması için bu değer optimum düzeyde tutulmalıdır. Yükleme oranı kg OKM(organik materyal konsantrasyonu) olarak verilir.

$$B_R = \frac{\dot{m} \cdot c}{V_R \cdot 100} [kg OKM m^{-3} d^{-1}]$$

$$\dot{m} = \text{birim zamanda eklenen materyal miktarı} \left(\frac{kg}{d} \right)$$

$$c = \text{Organik materyal konsantrasyonu} [\% OKM]$$

$$V_R = \text{biyogaz reaktörünün hacmi } m^3$$

Fermentörde bekleme, hidrolik bekleme süresi (HRT; hydraulic retention time) biyogaz reaktöründe kullanılacak tank büyüklüklerinin boyutlandırılması için önemlidir. Bu, eklenen bir materyalin matematiksel olarak tekrar çıkartılıncaya kadar fermentörde kaldığı ortalama süredir.

$$HRT = \frac{V_R}{\dot{V}} [d]$$

$$V_R = \text{biyogaz reaktörünün hacmi } m^3$$

$$\dot{V} = \text{hergün eklenen materyal hacmi}$$

Üretkenlik, verim ve bozunma derecesi biyogaz reaktörünün performansını belirlemede öne çıkar. Fermentör hacmine bağlı olan gaz üretimi, üretkenlikle doğrudan ilişkilidir. Üretkenlik günlük gaz üretiminin reaktör hacmine oranıdır. Üretkenlik hem toplam biyogaz üretimi için hem de metan için ayrı ayrı hesaplanır.

$$P_{CH_4} = \frac{\dot{V}_{CH_4}}{V_R} [Nm^3 m^{-3} d^{-1}]$$

$$\dot{V}_{CH_4} = \text{metan üretkenliği} [Nm^3 d^{-1}]$$

$$V_R = \text{biyogaz reaktör hacmi} [m^3]$$

Üretkenlik gibi verimde hem biyogaz üretimi için hem de metan için ayrı ayrı hesaplanır.

$$A_{CH_4} = \frac{\dot{V}_{CH_4}}{\dot{m}_{oTS}} [Nm^3 t^{-1} OKM]$$

$$\dot{m}_{oTS} = \text{eklenen organik kuru madde} [t/d]$$

Bozunma derecesi kullanılan materyalin ne kadarının değerlendirildiği hakkında bilgi veren bir parametredir. Bozunma derecesi;

$$\eta_{oTS} = \frac{oTS_{sub} \cdot m_{zu} - oTS_{Abl} \cdot m_{Abl}}{oTS_{sub} \cdot m_{zu}} \cdot 100 [\%]$$

$\eta_{oTS} = \text{Biyokütlenin bozunma derecesi}$

$oTS_{sub} = \text{ilave edilen ham maddenin organik kuru madde oranı } [\frac{kg}{t} YM]$

$m_{zu} = \text{İlave edilen ham maddenin kütlesi [t]}$

$oTS_{Abl} = \text{Fermentör çıkışında organik kuru madde oranı [kg/t YM]}$

$m_{Abl} = \text{Fermentasyon artıklarının kütlesi [t] 'dir.}$

Karıştırma, biyogaz üretiminde çok önemli role sahiptirler. Karıştırma ile metanojenlerin ürettiği metabolitlerin dağıtılması, taze hammaddenin bakteri popülasyonuna homojen olarak karışması, çökelmelere ve heterojeniteye engel olunması, sıcaklık dağılımının homojen olması, bakteri popülasyonlarının fermentör içinde iyice dağılması, fermentör içinde heterojen ölü bölgeleri oluşturmaması amaçlanmaktadır [10]. Bunlara ek olarak gaz oluşum potansiyeli ve metaojenik aktivite de karıştırma işleminin önemli rollerindendir. Bu doğrultuda uygun bir karıştırma elemanının seçimi önem kazanmaktadır. Modern biyogaz tesislerinde, daldırmalı motorlara bağlı mekanik marine tip karıştırıcılar, hidrolik karıştırma sağlayan pompalama sistemleri veya gaz enjeksiyonuyla oluşan pnömatik karıştırma sistemleri kullanılır. [2]

4 Biyogaz Tesis Teknolojisi

Biyogaz üretimi farklı yöntemlerle gerçekleşir. Biyogaz üretimi materyalin kuruluğu, besleme türü, proses aşamalarının sayısı ve proses ısısı olmak üzere bir kaç farklı kritere göre sınıflandırılır. Aşağıdaki tablodan bu sınıflandırmaya ulaşılabilir.

Tablo 5 Biyogaz üretim yöntemlerinin farklı kriterlere göre sınıflandırılması [13]

Kriter	Ayırıcı özellikler
Materyallerin kuru madde miktarları	• Yaş fermantasyon • Kuru fermantasyon
Besleme türü	• Sürekli olmayan besleme • Kesik besleme • Sürekli besleme
Proses aşamalarının sayısı	• Tek aşamalı • İki aşamalı
Proses ısısı	• Sakrofil • Mezofil • Termofil

4.1 Fermantasyon materyallerinin kuru madde oranı [13]

Fermantasyonun kuru veya yaş olduğunu belirlemek için kesin bir sınırlama mevcut değildir. Örneğin, Almanya Federal Çevre Bakanlığının yaptığı sınıflandırma düzenlemelerinde bu sınıflandırma belirli koşullara bağlanmıştır ve bu sınıflandırmada materyal içerisindeki kuru madde oranı en az %30 ve fermentöre yükleme oranı en az 3,5 kg OKM/(m³.d) olması gerekmektedir. Bu sınıflandırmaya rağmen fermentör sıvısının pompalanabilmesi için bu oran %12 olmalıdır.

4.2 Besleme Türü [2]

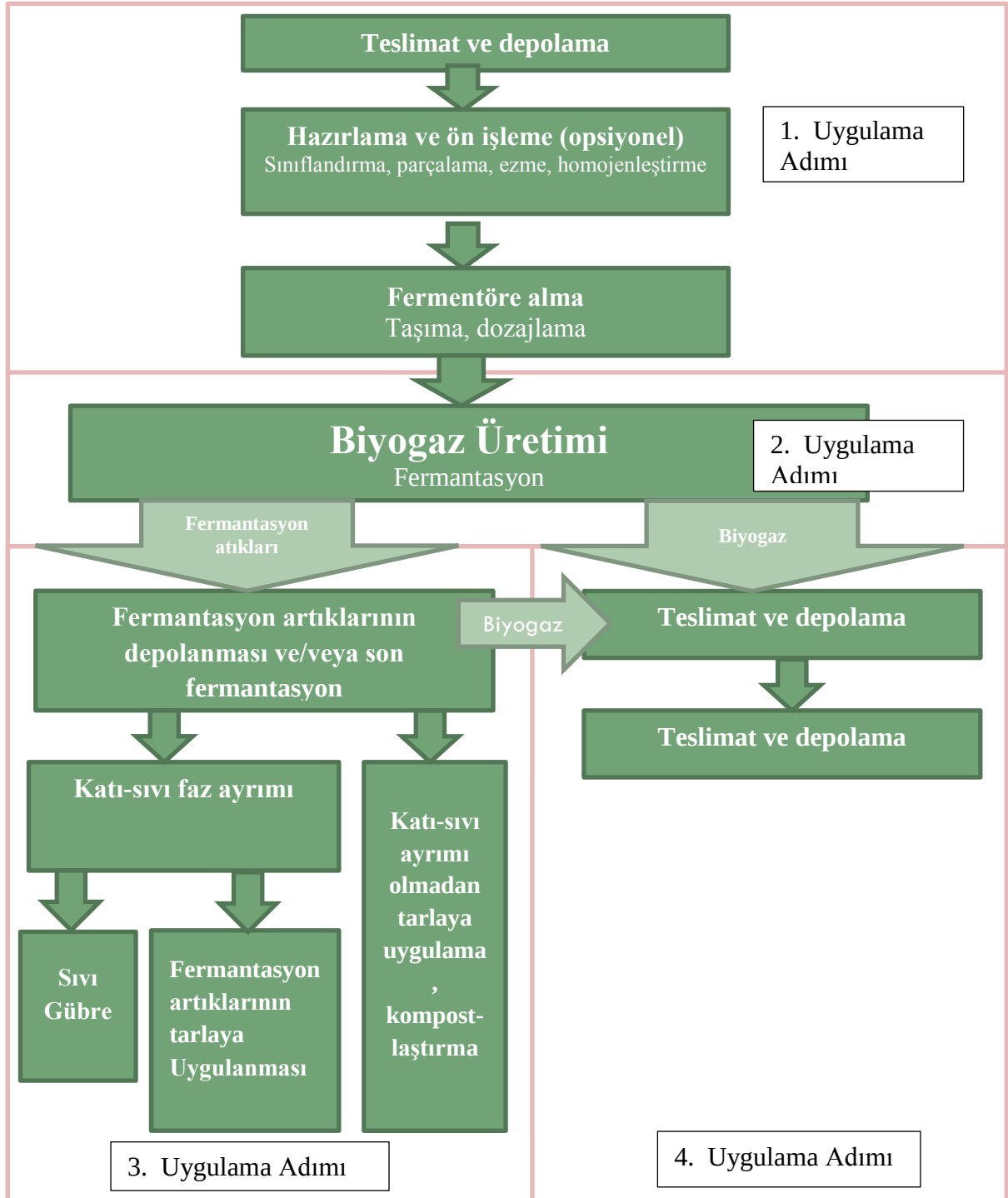
Kesikli (Batch) Fermantasyon, tesisin fermentörü (üretim tankı) hayvansal ve/veya bitkisel atıklar ile doldurulmakta ve alıkoyma - bekletme süresi kadar bekletilerek biyogazın oluşumu tamamlanmaktadır. Kullanılan organik maddeye ve sistem sıcaklığına bağlı olarak bekleme süresi değişmektedir. Bu süre sonunda tesisin fermentörü (reaktörü) tamamen boşaltılmakta ve yeniden doldurulmaktadır.

Beslemeli - Kesikli Fermantasyon, Burada fermentör başlangıçta belirli oranda organik madde ile doldurulmakta ve geri kalan hacim fermantasyon süresine bölünerek günlük miktarlarla tamamlanmaktadır. Belirli fermantasyon süresi sonunda fermentör tamamen boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.

Sürekli Fermantasyon, Bu fermantasyon biçiminde fermentörden gaz çıkışı başladığında günlük olarak besleme yapılır. Sisteme aktarılan karışım kadar gazı alınmış çökelti sistemden dışarıya alınır. Organik madde fermentöre her gün belirli miktarlarda verilmekte, alıkoyma süresi kadar bekletilmekte ve aynı oranlarda fermente olmuş materyal günlük olarak

Şekil 7 Biyogaz Üretim Tesisi Şeması [2]

Şekil 8 Biyogaz üretiminde genel uygulama süreci [13]



5 Biyogaz Üretimde Kullanılan Hammaddeler

Biyogaz üretimi için organik içerikli atık/artık hammadde olarak kullanılır. Bu atıklar hayvansal ve bitkisel olabildiği gibi organik içerikli endüstriyel ve şehir atıkları da biyogaz üretiminde kullanılabilir.

5.1 Hayvansal Atıklar

Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar biyogaz tesislerinde kullanılmaktadır. Bu tesisler özellikle kırsal kesimler ve metropol şehirlere yakın bölgelerde bulunan çiftliklere yakın bölgeler için uygundur. Aşağıdaki tablodan hayvansal atıkların biyogaz verimine ve metan oranına ulaşabilirsiniz.

Tablo 6 Hayvansal Atıklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri Ve Biyogazdaki Metan Miktarları [14]

Hammadde	Biyogaz Verimi (l/kg)	Metan Oranı (hacim %'si)
Sığır gübresi	90-310	65
Kanatlı gübresi	310-620	60
Domuz gübresi	340-550	65-70

5.2 Bitkisel Atıklar

Bitkisel atıkların yoğun olduğu bölgelerde direk bitkisel atıklar ve dolaylı yoldan elde edilecek endüstriyel bitkisel atıklar biyogaz üretimi için büyük bir önem ihtiva eder. Aşağıdaki tablodan bazı bitkisel atıkların biyogaz verimine ve metan oranına ulaşabilirsiniz.

Tablo 7 Bitkisel Atıklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri Ve Biyogazdaki Metan Miktarları [14] [2]

Hammadde	Biyogaz Verimi (l/kg)	Metan Oranı (hacim %'si)
Buğday samanı	200-300	50-60
Çavdar samanı	200-300	59
Arpa samanı	290-310	59
Mısır sapları ve artıkları	380-460	59
Keten	360	59
Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze atıkları	330-360	Değişken
Yerfıstığı kabuğu	365	-
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290	58
Alg	420-500	63

5.3 Endüstriyel Atıklar

Biyogaz üretiminde endüstriyel atıkların kullanımı da uygundur. Endüstriyel atıklara zirai atıklar, orman endüstrisinde elde edilen atıklar, deri ve tekstil endüstrisinden elde edilen atıklar, kağıt endüstrisinden elde edilen atıklar, gıda endüstrisi atıkları, sebze, tahıl meyve ve yağ endüstrisinden elde edilen atıklar, şeker endüstrisi atıkları, evsel katı atıklar, atık su arıtma tesisi atıkları örnek verilebilir. Aşağıdaki tablodan bazı endüstriyel atıkların biyogaz verimine ve metan oranına ulaşabilirsiniz.

Tablo 8 Endüstriyel Atıklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri Ve Biyogazdaki Metan Miktarları [14] [2]

Hammadde	Biyogaz Verimi (l/kg)	Metan Oranı (hacim %'si)
Atık su çamuru	310-800	65-80
Ziraat atıkları	310-430	60-70

6 Hayvansal Veriler ve Bu Kaynaklardan Elde Edilebilecek Enerji Miktarları

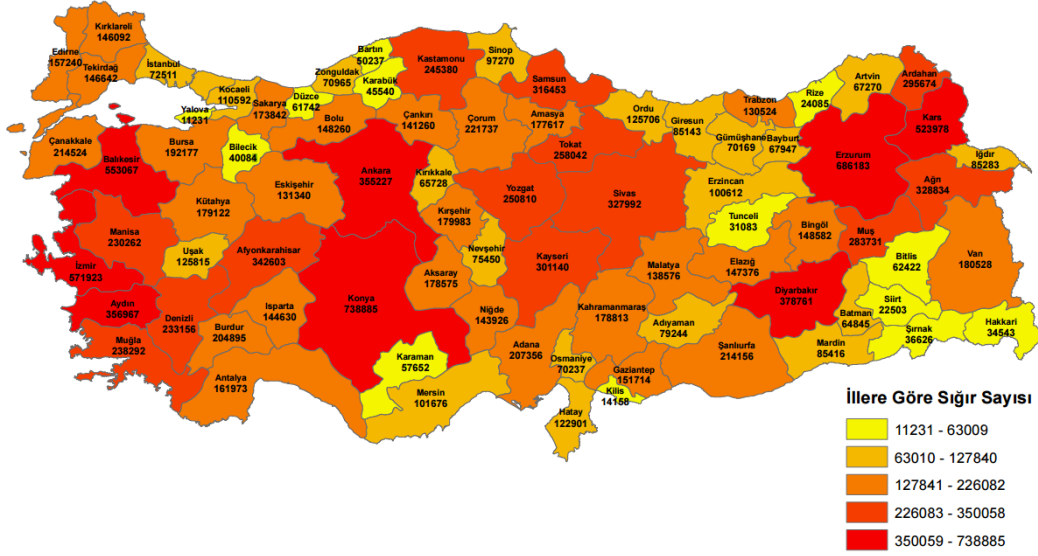
6.1 Bölgemiz TRB1 için Hayvansal Veriler

Hayvansal atıklar biyogaz üretiminde büyük bir öneme sahiptirler. Bölgemiz TRB1'de de hayvancılık önemli bir gelir kaynağıdır. Bu açıdan bakıldığında bölgemiz biyogaz üretimi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Türkiye İstatistik Kurumu web sitesinden yararlanarak derlenen veriler aşağıda sıralanmıştır. Bu veriler büyükbaş hayvan sayısı, küçükbaş hayvan sayısı için tablolar halinde TRB1 bölgesi bazında ve iller bazında, kümes hayvanı sayısı için ise tablo halinde aşağıda verilmiştir.

Tablo 9 Yıllık Büyükbaş Hayvan Sayısı (Sığır (Melez+Kültür+Yerli)+Manda [15]

Yıl	Düze2 kod	Düze2 adı	Yetişkin	Genç-Yavru	Toplam
2010	TRB1	Malatya, Elazığ, Bingöl, Tunceli	233.937	71.578	305.515
2011	TRB1	Malatya, Elazığ, Bingöl, Tunceli	277.196	81.838	359.034
2012	TRB1	Malatya, Elazığ, Bingöl, Tunceli	314.189	89.987	404.176
2013	TRB1	Malatya, Elazığ, Bingöl, Tunceli	343.110	105.617	448.727
2014	TRB1	Malatya, Elazığ, Bingöl, Tunceli	342.191	108.547	450.738

İllere Göre Sığır Sayısı (Baş) - 2015

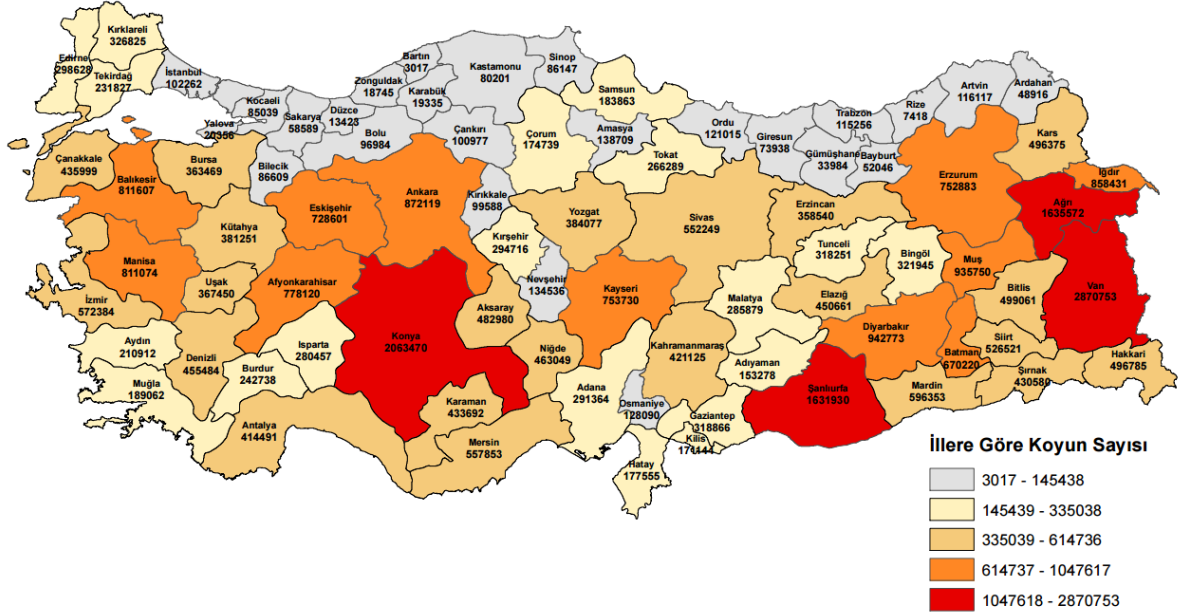


Şekil 9 İllere Göre Sığır Sayısı [15]

**Tablo 10 Yıllık Küçükbaş Hayvan Sayısı
(Koyun(Yerli)+Koyun(Merinos)+Keçi(Kıl)+Keçi(Tiftik)) [15]**

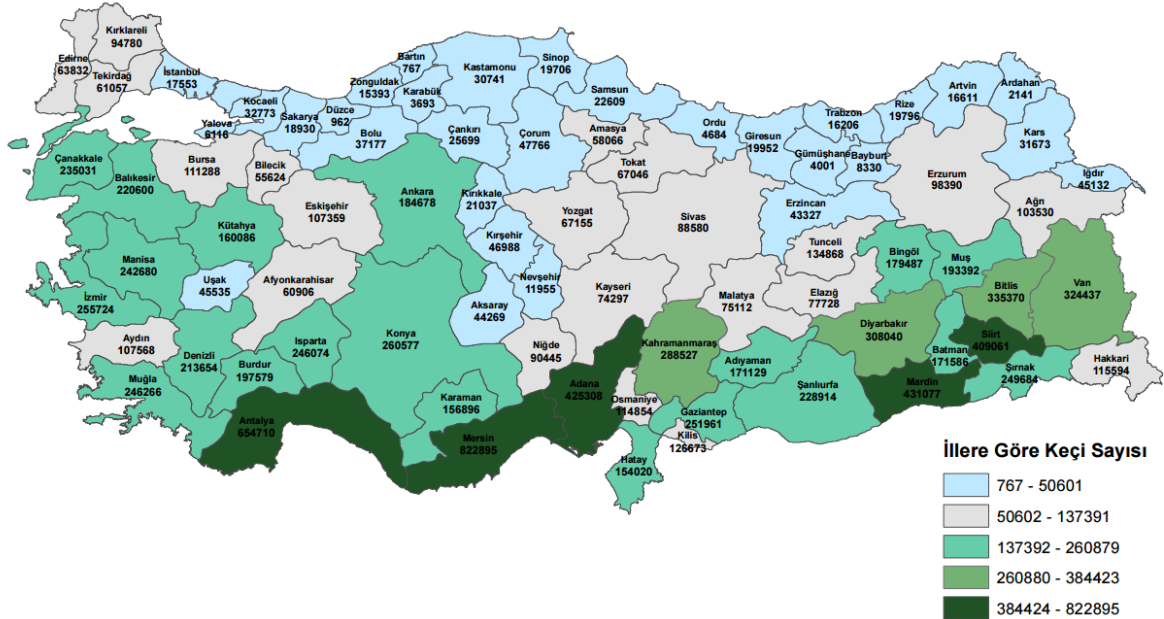
Yıl	Düzey2 kod	Düzey2 adı			Yetişkin	Genç-Yavru	Toplam
2010	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	943.337	340.918	1.284.255
2011	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	1.061.005	478.163	1.539.168
2012	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	1.323.729	387.523	1.711.252
2013	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	1.294.370	360.378	1.654.748
2014	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	1.370.060	305.795	1.675.855

İllere Göre Koyun Sayısı (Baş) - 2015



Şekil 10 İllere Göre Koyun Sayısı [15]

İllere Göre Keçi Sayısı (Baş) - 2015



Şekil 11 İllere Göre Keçi Sayısı [15]

Tablo 11 Yıllık Kumes Hayvanı Sayısı (Yumurta Tavuğu, Ördek, Et Tavuğu, Hindi, Kaz)

Yıl	Düzy2 Kodu	Düzy2 Adı			Mevcut sayı
2010	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	4.035.286
2011	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	4.389.138
2012	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	4.479.004
2013	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	6.574.953
2014	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	6.837.109

Tablo 12 Yıllık Hayvan Sayısı [15]

Yıl	Düzy2 kod	Düzy2 adı			Büyükbaş	Küçükbaş	Kumes Hayvanı
2010	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	305.515	1.284.255	4.035.286
2011	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	359.034	1.539.168	4.389.138
2012	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	404.176	1.711.252	4.479.004
2013	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	448.727	1.654.748	6.574.953
2014	TRB1	Malatya, Tunceli	Elazığ,	Bingöl,	450.738	1.675.855	6.837.109

6.2 Hayvansal Kaynaklardan Elde Edilebilecek Ortalama Gübre Ve Biyogaz Miktarları

Hayvan ağırlığı bazında üretilebilecek günlük ve yıllık yaş gübre miktarları;

- Büyükbaş hayvan canlı ağırlığının % 5-6'sı kg-yaş gübre/gün
- Koyun-Keçi canlı ağırlığının % 4-5'si kg-yaş gübre/gün
- Tavuk canlı ağırlığının % 3-4'si kg-yaş gübre/gün

Tablo 13 Hayvan cinsine göre üretilebilecek yaş gübre miktarı [16]

Hayvan Adedi	Hayvan Cinsi	Yaş Gübre Miktarı (ton/yıl)
1	Büyükbaş	3,6
1	Küçükbaş	0,7
1	Kümes	0,022

Tablo 14 Gübre cinsi ve gübre miktarına göre üretilebilecek biyogaz miktarı [16]

Gübre Cinsi	Gübre Miktarı	Elde Edilebilecek Biyogaz Miktarı (m ³ /yıl)
Sığır	1 ton	33
Koyun	1 ton	58
Kümes Hayvanı	1 ton	78

6.3 TRB1 Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretim Potansiyeli

Bu bölümde TRB1 bölgesinde oluşan hayvansal atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplama TÜİK web sitesinden elde edilen TRB bölgesi hayvan sayıları kullanılmıştır. Hayvan cinsine göre gübre miktarı ve gübre miktarına göre elde edilebilecek biyogaz miktarı için Enerji Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü web sitesinden elde edilen bilgiler kullanılmıştır.

Bunlara ek olarak, diğer fosil yakıtlarla bir karşılaştırma yapılabilmesi açısından elde edilecek biyogaz miktarının elektrik enerjisi olarak eşdeğeri, bütan, motorin, benzin ve propan olarak eşdeğerleri hesaplanmıştır.

6.3.1 TRB1’de Hayvansal Atıklardan Üretilebilecek Biyogaz Miktarı

Tablo 12 TRB1 bölgesi hayvan sayıları, Tablo 13 hayvan cinsine göre üretilebilecek gübre miktarı ve tablo 14 gübre miktarına göre elde edilebilecek biyogaz miktarı kullanılarak TRB1 bölgesinde hayvansal atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 15 TRB1 Üretilebilecek Biyogaz Miktarı

Üretilebilecek Biyogaz Miktarı (m ³ /yıl)			
Yıl	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes Hayvanı
2010	36295182	52140753	6924551
2011	42653239	62490221	7531761
2012	48016109	69476831	7685971
2013	53308768	67182769	11282619
2014	53547674	68039713	11732479

6.3.2 TRB1 Bölgesinden Elde Edilebilecek Biyogaz Miktarlarının Eşdeğerleri

Bu kısımda TRB1 bölgesinden elde edilebilecek biyogaz miktarının diğer enerji kaynaklarına eşdeğerleri hesaplanmıştır.

Aşağıdaki tabloda TRB1 bölgesinden elde edilebilecek biyogaz miktarının kWh eşdeğeri hesaplanmıştır.

Tablo 16 kWh Eşdeğeri

NOT: Bu hesaplamada 1m³ biyogazın yakılması sonucu elde edilebilecek ısı enerji miktarına denk gelen elektrik enerjisini vermektedir. Lakin bu biyogaz yakılmasında kullanılan santralin termal verimine göre bu değerin düşmesi beklenir.

Elektrik Enerjisi Eşdeğeri (kWh/yıl)			
Yıl	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes Hayvanı
2010	170587355	245061539	32545389
2011	200470224	293704038	35399276
2012	225675711	326541107	36124063
2013	250551208	315759013	53028311
2014	251674070	319786651	55142652

Aşağıdaki tabloda elde edilebilecek biyogazın bütan ve propan eşdeğerler hesaplanmıştır.

Tablo 17 Bütan ve Propan Eşdeğeri (m³)

Bütan Eşdeğeri (m ³ /yıl)				Propan Eşdeğeri (m ³ /yıl)		
Yıl	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes Hayvanı	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes Hayvanı
2010	15606928	22420524	2977557	9073796	13035188	1731138
2011	18340893	26870795	3238657	10663310	15622555	1882940
2012	20646927	29875037	3304967	12004027	17369208	1921493
2013	22922770	28888591	4851526	13327192	16795692	2820655
2014	23025500	29257077	5044966	13386919	17009928	2933120

Aşağıdaki tabloda elde edilebilecek biyogazın benzin ve motorin eşdeğerleri hesaplanmıştır.

Tablo 18 Benzin ve Motorin Eşdeğeri (litre)

Yıl	Benzin Eşdeğeri (litre/yıl)			Motorin Eşdeğeri (litre/yıl)		
	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes Hayvanı	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes Hayvanı
2010	27221387	39105565	5193413	23954820	34412897	4570204
2011	31989929	46867666	5648821	28151138	41243546	4970962
2012	36012082	52107623	5764478	31690632	45854709	5072741
2013	39981576	50387077	8461965	35183787	44340627	7446529
2014	40160756	51029785	8799359	35341465	44906211	7743436

6.4 Değerlendirme

Bir üst bölümde bölgemiz TRB1 için hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarları hesaplanmıştır. Bu miktarlar bize hayvansal atıklardan elde edebileceğimiz maksimum biyogaz miktarlarını göstermektedir. Yani gerçekte elde edilebilecek biyogaz miktarları, kurulacak bir tesisin çevresinde bulunacak hayvan sayısı ile doğru orantılı olacaktır. Buna ek olarak bir tesise getirilecek hayvansal atıkların tesisten yaklaşık en fazla yaklaşık olarak 20 km kadar uzakta olması tesisin kazanç sağlayabilmesi için büyük önem ihtiva eder. Bunlar göz önünde bulundurulduğunda hayvansal atıklar için biyogaz üretim tesislerinin büyük çiftliklerin yakınına kurulması daha mantıklı olacaktır.

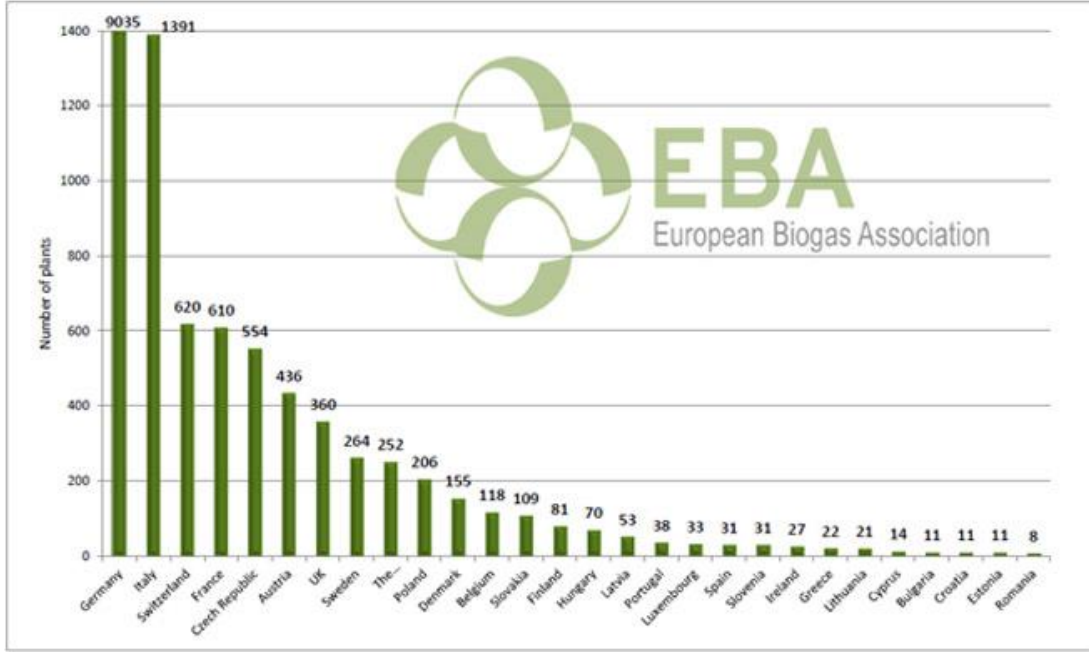
Hayvansal atıkların yanı sıra bu raporda detaylı bir şekilde incelenmese de bölgemizde bulunan atık arıtma tesislerinin yakınlarında, şeker fabrikaları gibi organik atık bırakan tesislerin yakınlarında da biyogaz üretimi yapılabilir.

Biyogaz üretim tesislerinde biyogaz üretimine ek olarak fermantasyon artıkları kompostlaştırma sonucu organik gübre olarak kullanılabilir. Bu organik gübre günümüzde zararları ön planda olan suni gübrenin yerine kullanılması durumunda suni gübre kaynaklı olası zararları azaltmak ve engellemek adına büyük öneme sahiptir. Ayrıca bu organik gübre tarımda verimin artmasına da yardımcı olur.

7 Avrupa’da ve Ülkemizde Biyogaz Üretimi

7.1 Avrupa’da Biyogaz Üretimi

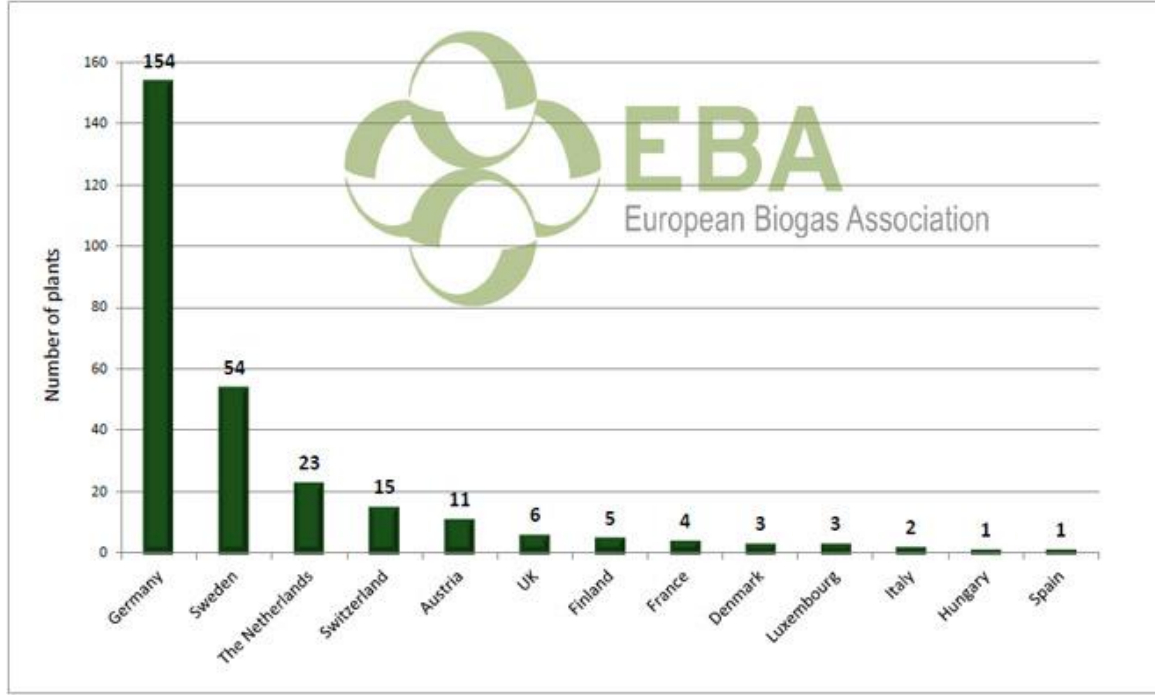
Aşağıdaki grafikte Avrupa’daki 14563 biyogaz santralinden üretilen biyogaz santrallerinin Avrupa’daki ülkelere göre dağılımı verilmiştir.



14 563 biogas plants in Europe with total installed capacity of 7 857 MWe (2013)

Şekil 12 Avrupa’da bulunan biyogaz tesis sayıları [17]

Aşağıdaki grafikte 1.303 milyar m³ biyogaz (metan) üreten 282 tesisin ülkelere göre dağılımı verilmiştir.



**282 biomethane plants in Europe
producing 1.303 billion m³ of biomethane annually (2013)**

Şekil 13 Avrupa'daki Biyogaz Tesislerinin Ülkelere Göre Dağılımı [17]

7.2 Ülkemizde Biyogaz Üretimi

Ülkemizde bulunan 301 MWe Kurulu güce sahip, yıllık 1.323 GWh'lık elektrik üretimi yapan 58 adet Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Pirolitik Yağ Enerji Santrali bulunmaktadır [18]. Aşağıdaki tabloda ülkemizde bulunan biyogaz, biyokütle, atık ısı ve pirolitik yağ enerji santrallerinin listesi bulunmaktadır.

Tablo 19 Ülkemizde Bulunan Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Pirolitik yağ Enerji Santralleri [18]

	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç
1)	Odayeri Çöp Gazı Santrali	İstanbul	Ortadoğu Enerji	28 MW
2)	Mamak Çöplüğü Biyogaz Tesisi	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	25 MW
3)	Sincan Çadırtepe Biyokütle Enerji Santrali	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	23 MW
4)	Adana Yüreğir Sofulu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Adana	ITC Katı Atık Enerji	16 MW
5)	Akçansa Çimento Atık Isı Santrali	Çanakkale	Enerjisa Elektrik	15 MW
6)	Kömürcüoda Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	Ortadoğu Enerji	14 MW
7)	Eti Alüminyum Atık Isı Elektrik Santrali	Konya	Cengiz Enerji	13 MW

8)	Etı Maden Bandırma Atık Isı Santrali	Balıkesir	Etı Maden	12 MW
9)	Bağfaş Gübre Fabrikası Biyogaz Santrali	Balıkesir	Bağfaş Gübre Fabrikası	9,92 MW
10)	Hamitler Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bursa	ITC Katı Atık Enerji	9,80 MW
11)	Çimsa Atık Isı Santrali	Mersin	Enerjisa Elektrik	9,56 MW
12)	Batıçim Atık Isı Santrali	İzmir	Batıçim Batı Anadolu	9,00 MW
13)	Prokom Pirolitik Yağ ve Pirolitik Gaz Tesisi	Erzincan	Prokom Madencilik	7,04 MW
14)	Modern Biyokütle Enerji Santrali	Tekirdağ	Eren Enerji	6,00 MW
15)	Samsun Avdan Biyogaz Elektrik Santrali	Samsun	Avdan Enerji	6,00 MW
16)	Trakya Yenişehir Cam Atık Isı Santrali	Bursa	Trakya Yenişehir Cam	6,00 MW
17)	Kayseri Çöplüğü Biyogaz Elektrik Santrali	Kayseri	Her Enerji	5,78 MW
18)	Aslım Enerji Üretim Tesisi	Konya	ITC Katı Atık Enerji	5,66 MW
19)	Gaziantep Çöp Gazı	Gaziantep	CEV Enerji	5,66 MW
20)	ITC-KA Biyokütle Gazlaştırma Tesisi	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	5,43 MW
21)	Batisöke Söke Çimento Atık Isı Elektrik Santrali	Aydın	Batisöke Söke Çimento	5,34 MW
22)	Kocaeli Çöplüğü Biyogaz Santrali	Kocaeli	Ortadoğu Enerji	5,09 MW
23)	Hasdal	İstanbul	İSTAÇ	4,02 MW
24)	Afyon Biyogaz Santrali	Afyonkarahisar	Afyon Enerji	4,02 MW
25)	Gönen Biyogaz Tesisi	Balıkesir	Gönen Yenilenebilir Enerji	3,62 MW
26)	Aksaray OSB Gübre Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	Sütaş Süt Enfaş Enerji	3,20 MW
27)	Belka Çöp Gazı Biyogaz	Ankara	Ankara Belediyesi Enerji	3,20 MW
28)	Konya Atıksu Biyogaz Santrali	Konya	Konbeltaş	2,44 MW
29)	Arel Enerji Biyokütle Tesisi	Afyonkarahisar	Arel Enerji	2,40 MW
30)	Manavgat Çöp Gazı Santrali	Antalya	Arel Enerji	2,40 MW
31)	Senkron Efeler Biyogaz Santrali	Aydın	Senkron Grup	2,40 MW
32)	Mauri Maya Bandırma Biyogaz Santrali	Balıkesir	Mauri Maya	2,33 MW
33)	Karacabey Biyogaz Tesisi	Bursa	Sütaş Süt Enfaş Enerji	2,13 MW
34)	Bandırma Edincik Biyogaz Santrali	Balıkesir	Telko Enerji	2,13 MW
35)	Eses Enerji Biyogaz Santrali	Eskişehir		2,04 MW
36)	Albe Biyogaz Santrali	Ankara	Era Grup	1,81 MW
37)	GASKİ Atıksu Biyogaz Elektrik Santrali	Gaziantep	Gaziantep Büyükşehir Belediyesi	1,66 MW

38)	Karma Gıda Biyogaz Santrali	Sakarya	Karma Gıda	1,49 MW
39)	Polatlı Biyogaz Tesisi	Ankara	Polres Elektrik Üretim	1,47 MW
40)	Aksaray Çöp Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	ITC Katı Atık Enerji	1,42 MW
41)	Pamukova Katı Atık Biyogaz Santrali	Sakarya	Biosun Pamukova	1,40 MW
42)	Amasya Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Amasya	Boğazköy Enerji Elektrik Üretim	1,20 MW
43)	Ekim Grup Gübre Gazı	Konya	Ekim Grup Elektrik	1,20 MW
44)	Bolu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bolu	CEV Enerji	1,13 MW
45)	Kırıkkale Çöp Gazı	Kırıkkale	Zarif Enerji Üretim	1,00 MW
46)	Sigma Suluova Biyogaz Tesisi	Amasya	Sigma Elektrik Üretim	1,00 MW
47)	Kemerburgaz Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	Ekolojik Enerji	0,98 MW
48)	Hayat Biyokütle Elektrik Üretim Santrali	Kocaeli	Hayat Enerji	0,96 MW
49)	Adana Batı Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	Adana Büyükşehir Belediyesi	0,80 MW
50)	Adana Doğu Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	Adana Büyükşehir Belediyesi	0,80 MW
51)	Beypazarı Biyogaz Tesisi	Ankara	Derin Enerji Üretim	0,79 MW
52)	Frito Lay Gıda Biyogaz Santrali	Kocaeli	Frito Lay Gıda	0,70 MW
53)	Frito Lay Gıda Kojenerasyon Santrali	Mersin		0,66 MW
54)	Kumkısıık Çöplüğü Biyogaz Santrali	Denizli	Bereket Enerji	0,64 MW
55)	Sezer Bio Enerji	Antalya	Kalemirler Enerji	0,50 MW
56)	Denizli Atıksu Arıtma Tesisi Biyogaz Elektrik Üretim Santrali	Denizli	Denizli Büyükşehir Belediyesi	0,48 MW
57)	Solaklar İzaydaş Çöp Gazı	Kocaeli	İzaydaş	0,33 MW
58)	Cargill Tarım Bursa Bioenerji Santrali	Bursa	Cargill Tarım	0,12 MW

8 Biyogaz Hakkında Hazırlanan Bir Fizibilite Raporunun Sonuçları [19]

Bu kısımda Karacadağ Kalkınma Ajansı ve Harran Üniversitesi'nin Şanlıurfa Biyogaz ve Kompost Tesisi Fizibilitesi çalışmasının sonuç kısmı alıntı yapılmıştır. Çalışma kapsamında toplam 15000 büyükbaş hayvan atığı ve günlük 180 ton kentsel organik atığın (mutfak atığı) kullanılabileceği 5 farklı senaryo için tesislerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu senaryolar:

- **Senaryo 1-** Sadece biyogaz tesisi kurulması ve tesiste üretilen elektrik ve ısı enerjisi ile fermente gübrenin satılması,
- **Senaryo 2-** Sadece biyogaz tesisi kurulması ve tesiste üretilen elektrik enerjisi ile fermente gübrenin satılması,

- **Senaryo 3-** Sadece Kompost tesisinin kurulması ve tesiste üretilen kompost gübrenin satışı
- **Senaryo 4-** Biyogaz ve kompost tesislerinin kurulması ve tesislerde üretilen elektrik ve ısı enerjisi ile kompost gübrenin satılması,
- **Senaryo 5-** Biyogaz ve kompost tesislerinin kurulması ve tesislerde üretilen elektrik enerjisi ile kompostun satılmasıdır.

Aşağıdaki çizelgede yukarıda verilen 5 senaryonun ekonomik değerlendirme parametreleri verilmiştir.

Ekonomik Değişken	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5
Yatırım bedeli (Euro)	5 482 251	5 482 251	1 085 000	5 896 601	5 896 601
Yıllık kar (Amortismansız) (Euro)	2 499 042	1 889 251	574 750	2 713 497	2 103 706
NBD (Euro) (Net Bugünkü Değer) (Euro)	17 423 201	11 858 527	4 180 056	18 974 446	13 408 883
İç Verim Oranı (%)	46	34	53	46	36
Fayda/masraf Oranı	2,92	2,31	2,29	2,84	2,30
Projenin geri dönüş süresi (yıl)	2,37	3,23	2,01	2,34	3,1
20 yıl sonu toplam kar (Euro)	49 980 840	37 785 020	11 495 000	54 269 994	42 074 120

Yapılan değerlendirmelerde tüm senaryolarda kurulması öngörülen tesislerin ekonomik açıdan fizibil olduğu sonucuna varılmıştır. Biyogaz tesislerinde ısı enerjisi satışının olmadığı durumlarda karlılığın bir miktar azaldığı, ancak tesislerin yine de ekonomik açıdan fizibil olduğu belirlenmiştir. Senaryo 3’de değerlendirilen sadece kompost tesisi kurma alternatifi de ekonomik yönden karlılığı yüksek bir seçenektir. Kompost tesisinin geri dönüş süresi düşük, iç verim oranı ve fayda masraf oranı yüksektir. Ancak bu senaryoyu değerlendirirken tesisin yatırım bedelinin ve net nakit akımının diğerlerinden düşük olduğunu göz önünde bulundurmak gerekir. Biyogaz ve kompost tesislerinin beraber değerlendirildiği senaryo 4 ve 5’te ekonomik göstergelerin kompost tesisi kurulması öngörülme senaryo 1 ve 2’ye göre

daha iyi olduğu gör÷lmektedir. Bu gerçekten hareketle biyogaz tesislerinin kompost tesisleriyle beraber kurulmalarının ekonomik açıdan en yüksek faydayı sağlayan işletme modeli olduğu söylenebilir. Ayrıca kompost tesisinden üretilen gübrenin ülkemizde mevcut bir piyasasının bulunması ve yapısal özelliklerinin dolayı biyogazdan çıkan fermente gübreye göre pazarda alıcı bulma ihtimalinin daha fazla olduğunu göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Tesislerin ekonomik ömürleri sonunda toplam net gelir karşılaştırmalarında en yüksek net gelirin 54 269 994 Euro seviyesinde senaryo 4'te gerçekleştiği gör÷lmektedir. Bunu senaryo 1 izlemektedir. Ekonomik ömür boyunca üçüncü karlı seçenek senaryo 5, daha sonra senaryo 2 ve 3 sırasıyla onları izlemektedir. Sadece kompost üretilen senaryoda yatırım miktarının diğerlerine göre çok düşük olması nedeniyle ekonomik ömür boyunca elde edilen gelir de en düşüktür.

Elektrik ve ısı enerjisi ile kompostlaştırılmış gübrenin satış seçeneği en yüksek kar getirmesine rağmen ülkemizde, özellikle Şanlıurfa'da ısı enerjisi satış imkânlarının çok iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Isı enerjisinin satılamaması durumunda biyogaz üretilerek elektrik enerjisi ve kompostlaştırmadan elde edilen gübrenin satılacağı seçenekler ile (senaryo 5) elektrik enerjisi ve biyogazdan çıkan gübrenin satılacağı seçenekler (senaryo 2) karlı gör÷lmektedir. Ancak tesisler planlanırken ısı enerjisini kullanabilecek bir yapılanma veya kullanabilecek bir tesisin yakınına yapılması düşünülmelidir.

9 Sonuç

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı enerjide dışa bağımlılığı yüksek olan ülkemiz için bir kaçınılmazdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyogaz enerjisinden faydalanmak ise hem tarımsal hem de hayvansal organik atıkların fazla bulunduğu ülkemiz için ayrı bir öneme sahiptir. Biyogaz üretimi, hayvansal ve tarımsal atıklardan meydana gelen kokunun azaltılmasında, atmosferdeki metan ve amonyak miktarının azaltılmasında da önemlidir. Ayrıca fermentasyon atıklarından elde edilecek organik gübrenin faydası da azımsanmayacak kadar çok olduğunu belirtmek gerekir.

10 Kaynakça

- [1] [Çevrimiçi]. Available: <http://mebig.marmara.edu.tr/Presentations/BiyogazUretimi.pdf>.
- [2] [Çevrimiçi]. Available: http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/biyoenjeri/01-biyogaz/bg_hammadde.html.
- [3] [Çevrimiçi]. Available: www.biyogaz.web.tr.
- [4] [Çevrimiçi]. Available: <http://mebig.marmara.edu.tr/Presentations/BiyogazUretimi.pdf>.
- [5] [Çevrimiçi]. Available: <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx>.
- [6] «IEA Bioenergy,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.ieabioenergy.com/>.
- [7] [Çevrimiçi]. Available: biogasportal.info.
- [8] P. G. d. M. Weiland, Biologie und Substrate, 2001.
- [9] .. D. C. İlkılıç, «Biyogazın Oluşumunu Etkileyen Fiziksel ve Kimyasal Parametreler,» %1 içinde 6. *International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Türkiye, 2011.
- [10] H. A. Jale GÜLEN, «BIOGAS,» *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 2005.
- [11] Ö. M, Hayvan Gübresinden Biogaz Üretimi, Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005.
- [12] Ç. Ç. Jale GÜLEN, «BİYOGAZ HAKKINDA GENEL BİLGİ VE YAN ÜRÜNLERİNİN KULLANIM ALANLARI,» *EÜFBED - Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, cilt 5, no. 1, pp. 70-70, 2012.
- [13] F. N. R. - FNR, «Biyogaz Kılavuzu».
- [14] F. Ç. KILIÇ, «Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye'deki yeri,» *Mühendis ve Makina*, cilt 52, no. 617, pp. 94-106, 2011.
- [15] «Türkiye İstatistik Kurumu,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: www.tuik.gov.tr.
- [16] [Çevrimiçi]. Available: http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/biyoenjeri/01-biyogaz/bg_haykay.html.
- [17] [Çevrimiçi]. Available: <http://www.biofuelstp.eu/biogas.html>.
- [18] [Çevrimiçi]. Available: <http://www.enerjiatlas.com/biyogaz/>.
- [19] [Çevrimiçi]. Available: <http://www.investsanliurfa.com/SayfaDownload/KOMPOST%20VE%20B%C4%B0YOGAZ%20TES%C4%B0S%C4%B0%20F%C4%B0Z%C4%B0B%C4%B0L%C4%B0TE%20RAPORU.pdf>. [%1 tarihinde erişilmiştir25 Ocak 2016].
- [20] [Çevrimiçi]. Available: <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx>.
- [21] [Çevrimiçi]. Available: http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/biyoenjeri/01-biyogaz/bg_yan_urun.html.

