

HAYVAN GÜBRESİNDEN BİYOGAZ ÜRETİMİ

Rapor Tarihi : 20.01.2023

İÇİNDEKİLER

1.	GİRİŞ.....	6
2.	BİYOGAZ OLUŞUMU	11
2.1.	Birinci Kademe: Hidroliz	12
2.2.	İkinci Kademe: Asit Oluşturma	13
2.3.	çnc Kademe: Metan Oluşumu	13
3.	BİYOGAZ ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN TEMEL KRİTERLER	14
3.1.	Reaktör Sıcaklığı.....	14
3.2.	Hidrolik Bekleme Süresi.....	16
3.3.	Organik Yükleme Hızı.....	17
3.4.	pH.....	18
3.5.	C/N Oranı.....	18
3.6.	Toksisite.....	21
4.	BİYOGAZ REAKTÖRÜ DİZAYNI.....	23
4.1.	Biyogaz Miktarının Hesaplanması	27
5.	BİYOREAKTÖR MODELLERİ	29
5.1.	Küçük Hacimli Reaktörler.....	29
5.1.1.	Yüzer Çatılı Hindistan Tipi Biyoreaktörler (KVIC).....	33
5.1.2.	Sabit Çatılı Çin Tipi Reaktörleri.....	35
5.1.3.	Yüzer Çatı Tipi Reaktörler.....	38
5.1.4.	Torba Tipi (Tayvan Çin) Reaktörler	39

5.1.5.	Balon Tipi Reaktörler.....	40
5.2.	Büyük Kapasiteli Reaktörler.....	41
5.2.1.	Tam Karışımli Reaktörler.....	42
5.2.2.	Lagun Tipi Reaktörler.....	44
5.2.3.	Piston Akımlı Reaktörler	46
6.	BİYOĞAZ BİLEŞİMİ VE YÖNETİMİ.....	48
7.	BİYOĞAZ İÇİNDEKİ KİRLETİCİLERİN ARITILMASI	52
7.1.	Nem	52
7.1.1.	Nem Bertarafı	52
7.1.1.1.	Kurutma Metotları	53
7.1.1.2.	Gazın Silika ile Adsorbsiyonu.....	53
7.1.1.3.	Glikol Kurutma Ünitesi (Glikol Kurutucu).....	53
7.1.1.4.	Küçük Kapasiteli Tesislerde Su Tutma.....	53
7.2.	Hidrojen Sülfür Bertarafı.....	54
7.2.1.	Hava-Oksijen Dozlama	55
7.2.2.	Çamura demir klorür.....	55
7.2.3.	Demir Oksit Peletleri Kullanılarak Adsorbsiyon	56
7.2.4.	Sulu Ortamda Adsorbsiyon	56
a.	Sodyum Hidroksit.....	56
b.	Demir Tuzları.....	57
c.	Demir Hidroksit (Fe(OH) ₃).....	57

8.	ARITMA ÇAMURUNUN KULLANILIŐI	58
9.	KAYNAKLAR	62

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.	Türkiye’de Bulunan BüyükbaŐ ve KüçükbaŐ Hayvan Sayısı (TÜİK).....	6
Tablo 2.	Gelişmekte Olan lkelerde Biyogaz Tesisi Sayısı	7
Tablo 3.	Bazı Organik Maddelerden Oluşan Biyogaz Miktarı.....	11
Tablo 4.	Organik Maddelerin C/N Oranı	20
Tablo 5.	Anaerobik Arıtmada eŐitli Engelleycilerin Engelleme Seviyesi	21
Tablo 6.	Amonyayın Metan retimi zerine Etkisi.....	22
Tablo 7.	Birim Gübre Ağırlığı Başına Biyogaz Oluşumu ve Seyreltme Oranı	24
Tablo 8.	Çeşitli Atık Türleri İçin Ortalama Gaz rn.....	26
Tablo 9.	Küçük Boyutlu Biyogaz Reaktörü Boyutlandırılması.....	27
Tablo 10.	Hayvan Başına retilen Biyogaz Miktarı	27
Tablo 11.	Doğal Gaz ve Biyogazın Kompozisyonu	48
Tablo 12.	p Depolama Alanında Oluşan Gazların Yakılması ile İlgili Sınır Değerleri	50
Tablo 13.	Hayvan Gübresi İçinde Bulunan Besi Maddesi Miktarı.....	60

ŐEKİLLER

Şekil 1.	Avrupa Topluluğu lkelerinde Biyogaz Tesisi (2015).....	7
Şekil 2.	Türkiye’de Kurulu Gücün Yıllar İtibariyle Gelişimi (MW)	8
Şekil 3.	OECD ve Avrupa Birliği lkelerinde Kişi Başı Elektrik Tüketimi.....	8
Şekil 5.	Hindistan’da Biyogaz Tesis Sayısındaki Gelişmeler	9
Şekil 6.	Almanya’da Biyogaz Tesis Sayısının Yıllara Göre Değerimi	10
Şekil 7.	Organik Maddelerin Anaerobik Őarlarda Sindirilmesi.....	11
Şekil 8.	Anaerobik rme Kademeleri	12
Şekil 9.	Kompleks Organik Maddelerin Basit Organik Maddelere Dönüşmesi.....	13

Œekil 10. Sıcaklığa Bağlı Olarak Gaz retimindeki ArtıŒlar	15
Œekil 11. Avrupa Topluluğu lkelerinde Hayvan Gübresi Miktarı.....	23
Œekil 12. Sıcaklığa ve Hidrolik Bekleme Süresine Bağlı Olarak Gaz retimi	25
Œekil 13. Biyoreaktörlerde Besi Maddesi Hareketi	30
Œekil 14. Hareketli gaz depolama tankı	32
Œekil 15. Yüzer atılı Biyoreaktörler	34
Œekil 16. Sabit atılı Çin Tipi Reaktörler	35
Œekil 17. 7.2 m ³ Reaktörün Detay Projesi.....	35
Œekil 18. Sabit atılı Reaktörlerde atı Detayı.....	36
Œekil 19. SıkıŒtırma Tankı Yksekliliğinin Doğru Seçilmesi.....	36
Œekil 20. Sabit atılı Reaktörlerde Gaz Dolması ve BoŒalması	37
Œekil 21. Sabit atılı Reaktörün Boyutlandırılması.....	37
Œekil 22. Hareketli Kubbe Tipi Reaktör.....	38
Œekil 23. Yüzer atının Detayı.....	39
Œekil 24. Sabit atılı Reaktörün Boyutlandırılması.....	39
Œekil 25 Torba Tipi (Tayvan-Çin) Reaktörler	40
Œekil 26. Yatay Balon Tipi Reaktör.....	40
Œekil 27. Balon Tipi Biyoreaktör.....	41
Œekil 28. Çamur Karakteri Ve Biyoreaktör zellikleri.....	42
Œekil 29. Tam KarıŒımlı Reaktörler.....	43
Œekil 30. Tam KarıŒımlı Anaerobik Arıtma Tesislerinden Görüntüler	44
Œekil 31. st rtl Lagnden Görüntü	45
Œekil 32. Isıtılmalı ve çatısı rtl Lagnden Görüntü.....	46
Œekil 33. Piston Akımlı Reaktörler	47
Œekil 34. Yemek PiŒirmede Kullanılan Biyogaz Ocakları	49
Œekil 35. Küçük Kapasiteli Reaktörlerde Basit Nem YoęunlaŒtırma Teknikleri.....	54
Œekil 36. rmŒ Sıvı Hayvan Gübresinin Toprağa Enjeksiyonlanması	59
Œekil 37. Sıvı Hayvan Gübresinin Tarım Arazisine Yüzeyden VeriliŒi.....	61

1. GİRİŞ

Türkiye'nin yzlm 770.000 km² ve nüfusu 79,8 milyondur. Türkiye'de büyükbaş ve kkbaş hayvan sayısı Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca Türkiye'nin değişik bölgelerinde onlarca tavuk çiftlikleri bulunmaktadır.

Tablo 1. Türkiye'de Bulunan Büyükbaş ve Kkbaş Hayvan Sayısı (TK)

Yıllar	Sığır (x10 ³)	Koyun (x10 ³)	Keçi (x10 ³)	Toplam (x10 ³)
2015	13.994	31.508	10.416	55.918
2016	14.080	30.983	10.345	55.408
2017	14.817	33.562	11.011	59.390

Türkiye'de tavukçuluk Marmara, Ege ve İç Anadolu bölgelerinde yaygınlaşmıştır. Özellikle Ankara, Balıkesir, Bolu, Bursa, Elazığ, Eskişehir, İstanbul, İzmir, Kayseri, Kocaeli, Manisa, Sakarya, Yozgat ve Çukurova'da piliç eti, Afyon, Balıkesir, Bursa, Çorum, İzmir, Konya ve Manisa'da yumurta üretimi yaygın olarak sürdürülmektedir. 2017 yılı TK verilerine göre Türkiye'de kümes hayvanları sayısı 350.770'tir.

Türkiye'de özellikle kırsal bölgelerde yemek pişirme ve ısınma amacı ile odun, tezek, LPG ve kömür, yakıt olarak kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda Türkiye'deki yakıt fiyatlarındaki artışlar, gelir düzeyi düşük kırsal bölgelerdeki halkı ekonomik olarak ciddi şekilde mağdur etmektedir. Kırsal bölgelerde ısınma amacı ile yeterli yakıtın olmaması zaten kısıtlı olan orman alanlarının tahribatına neden olmaktadır.

Türkiye bir tarım ve hayvancılık ülkesidir. Türkiye'de biyogaz ile ilgili çalışmalar 1957 yılında başlamıştır. 1975 yılından sonra toprak, su ve 1980'li yıllarda Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü kapsamında yürütülen biyogaz üretimi çalışmaları uluslararası bazı anlaşmalarla karşın 1987 yılında anlaşılmayan bir nedenle kesilmiştir. Türkiye'nin biyogaz potansiyelinin 17,3 milyon TEP/yıl düzeyinde olduğu tahmin edilmektedir. Buna karşılık yakacak tezek miktarı azalmaktadır.

Dünya'da kurulu hayvan gübresinden biyogaz tesislerinin %80'i Çin'de, %10'u Hindistan, Nepal ve Tayvan'da ve geri kalanı diğer ülkelerde kuruludur. Çeşitli ülkelerde kurulu biyogaz tesis dağılımı Tablo 2'de verilmiştir.

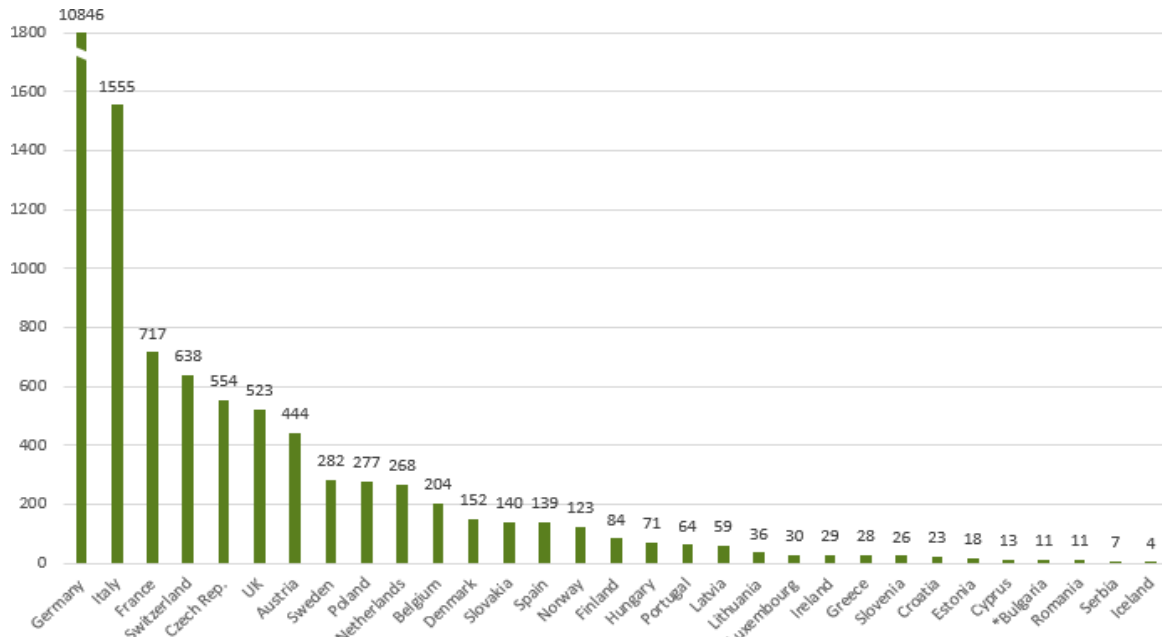
Tablo 2. Gelişmekte Olan Ülkelerde Biyogaz Tesisi Sayısı

Ülkeler	Tesis Sayısı
Çin	7.000.000
Hindistan	2.900.000
Kore	29.000
Brezilya	2.300
Bangladeş	566*
Nepal	49.500

*: Yarıısı Çalışmıyor.

Bangladeş'te kurulu çoğu tesislerin çalışmamasının sebebi, dizayn, inşaat ve bakım problemidir. Bangladeş'teki farklı uygulama otoritelerinin olması bu durumu daha da olumsuz etkilemektedir. Mevcut halde idari ve teknik içyapı bu sistemin gelişmesini engellemektedir.

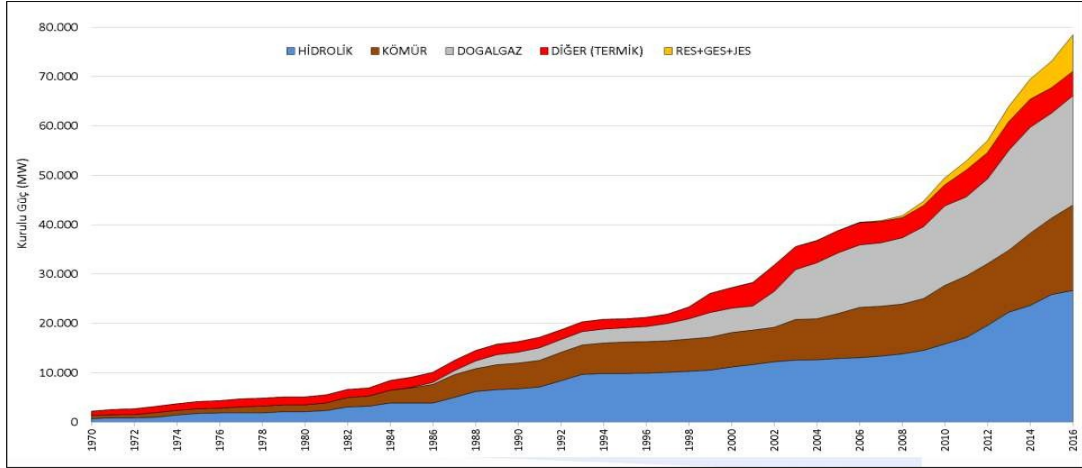
Avrupa Topluluğu ülkelerde hayvan gübresi kullanılarak inşa edilen biyogaz tesisi sayısı **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de verilmiştir.

**Şekil 1.** Avrupa Topluluğu Ülkelerinde Biyogaz Tesisi (2015)

Avrupa Birliği üye ülkelerde, biyogazdan üretilen toplam elektrik enerjisi miktarı yaklaşık 60.6 TWh olup bu değer yıllık 13.9 milyon hane halkının elektrik ihtiyacını karşılamaktadır.

2017 yılı eylül ayı sonunda Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücü 81.520,8 MW'a ulaşmıştır. Bunun %55,2'si termik, %33,2'si hidrolik ve %1,2'si jeotermal, %0,5'i biyokütle ve %7,6'sı rüzgar

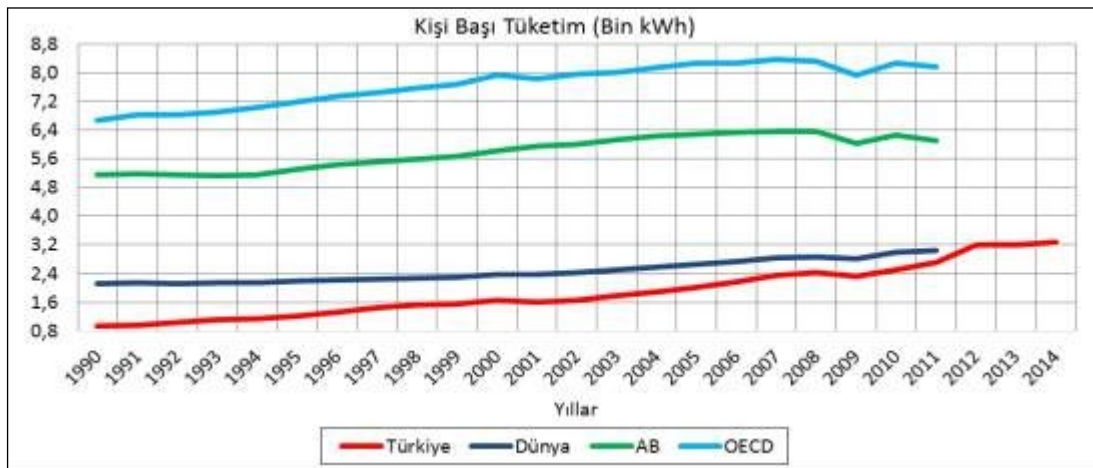
santralleridir. Türkiye’de Kurulu gücün yıllar itibariyle gelişimi **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**’te verilmiştir.



Şekil 2. Türkiye’de Kurulu Gücün Yıllar İtibariyle Gelişimi (MW)

Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı. incelendiği zaman özellikle 1970-1976, 1986-1990, 1994-2000, 2002-2016 yılları arasında enerji üretiminde ciddi artışlar söz konusudur. Ancak bu artışların özellikle ana kaynağı termik santrallerdir. 1965 yılında termik santrallerden enerji üretimi 985.4 MW iken, bu değer 1999 yılında 15.555.9 MW’a çıkmıştır. Artış oranı %1500 dir.

OECD ve Avrupa ülkelerinde kurulu güç ve kişi başına düşen elektrik enerjisi miktarı Şekil 3’te verilmiştir.



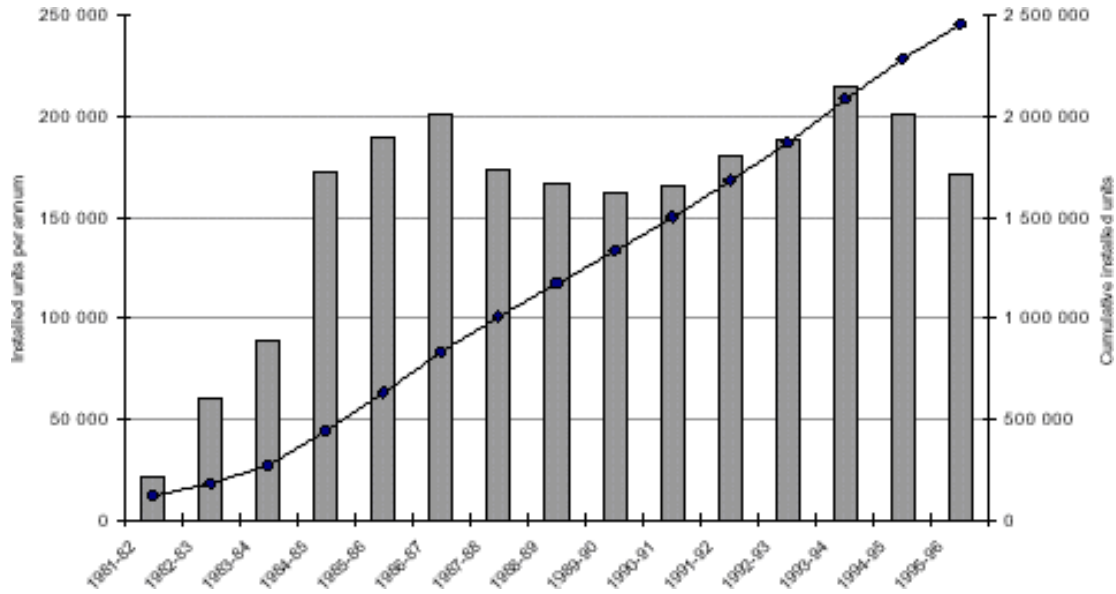
Şekil 3. OECD ve Avrupa Birliği Ülkelerinde Kişi Başı Elektrik Tüketimi

Şekil 3 incelendiği zaman kişi başına elektrik enerjisi tüketimi en düşük olan ülkenin Türkiye olduğu görülmektedir. Türkiye’nin sadece iki enerji üretim kaynağı söz konusudur. Bunlar hidrolik ve termik santrallerdir. Türkiye’de alternatif enerji kaynağı yok denecek kadar azdır.

Dünya’da birincil enerji tüketim kaynağı %15’lik oranla biyokütledir. Bu miktar gelişmekte olan ülkelerde %38 düzeyindedir. Özellikle biyo enerji gelişmekte olan ülkelerde kırsal bölgelerde enerji temin amacıyla kullanılmaktadır. Hindistan’da kırsal bölgelerde yemek pişirme enerjisi toplam enerjinin %80’nini oluşturmaktadır.

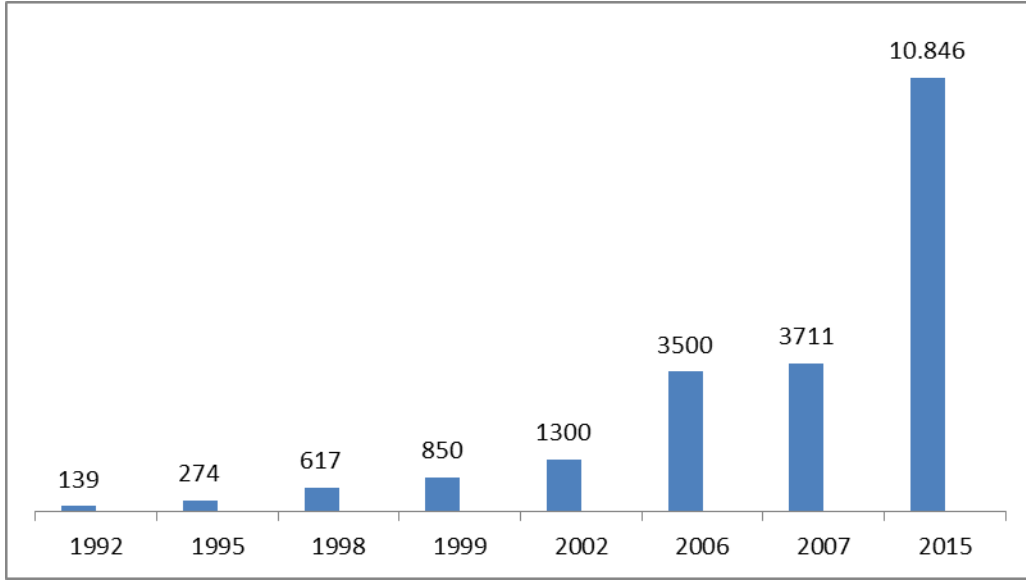
Çin’de konut tipi biyo reaktörlerde yılda 2 milyar m³ biyogaz üretilmektedir. Yani bir aile yılda 200-300 m³ biyogaz üretmektedir. Yine Çin’de 25 milyon insan biyogaz tesislerinden elde edilen gazları 8-10 ay yemek pişirme amacı ile kullanmaktadır. İyileştirilmiş ucuz biyogaz sobalar ve lambalar geliştirilmiştir. Bunlar her eve dağıtılmıştır. Lambalar ve yakıcılar 2 cm su basıncı gibi düşük basınçta çalışabilme özelliğine sahiptir. 800 biyogaz tesisinde 7800 kWh kapasiteli elektrik enerjisi üretim tesisi bulunmaktadır. Bu enerji 17000 aile tarafından kullanılmaktadır.

Hindistan’da ulusal bazda biyogaz tesisleri 1981 yılında gelişmeye başlamıştır. Bugün büyük çiftliklerde de biyogaz tesisi kurulmaktadır. Hindistan’daki biyogaz tesisindeki gelişmeler Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Hindistan’da Biyogaz Tesis Sayısındaki Gelişmeler

Almanya’da biyogaz tesis sayısının yıllara göre değişimi Şekil 5’te verilmiştir. Görüldüğü gibi Almanya’da biyogaz tesis sayısı artmıştır.



Şekil 5. Almanya’da Biyogaz Tesis Sayısının Yıllara Göre Değişimi

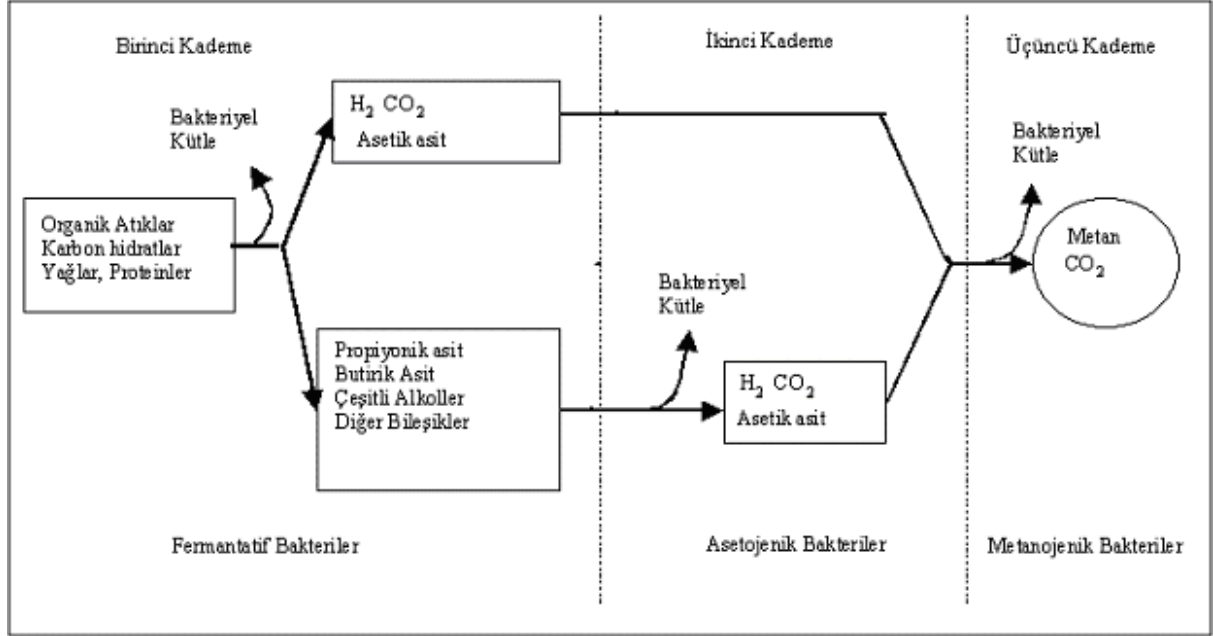
Bu çalışmada hayvancılık yapılan kırsal bölgelerde hayvan gübresinden biyogaz tesislerinin teknik özellikleri ve işletme Şartları verilecektir. Bu teknolojinin özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki uygulanışı incelenmiştir. Biyogaz reaktör dizaynındaki temel kriterler açıklanmıştır.

1974’e kadar petrol esaslı yakıt kullanımı özellikle çiftçilikte avantajlıydı. Ancak 1974 yılında yaşanan petrol krizi, gelişmiş ülkelerdeki çiftçilerin petrol esaslı yakıtlar yerine başka enerji kaynaklarına yneltmelerine neden olmuştur. Bunlardan biri de hayvan gübresinden elde edilen biyogaz tesisleridir.

Hayvan gübresinin gelişi güzel depolanması ciddi Şekilde koku problemine neden olur. Hayvan gübresinin depolanması esnasında anaerobik reaksiyon sonucu koku verici hidrojen sülfür gibi gazlar oluşur. Hayvan gübresinden ileri gelen koku problemini önlemede etkili metotlardan birisi anaerobik arıtmadır.

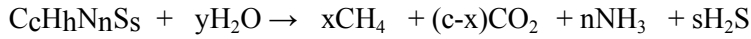
2. BİYOGAZ OLUŞUMU

Havyan gübresi içindeki organik maddelerin anaerobik şartlarda mikroorganizmalar vasıtasıyla sindirilerek metan üretimi 3 kademe gerçekleştirilmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Organik Maddelerin Anaerobik Şartlarda Sindirilmesi

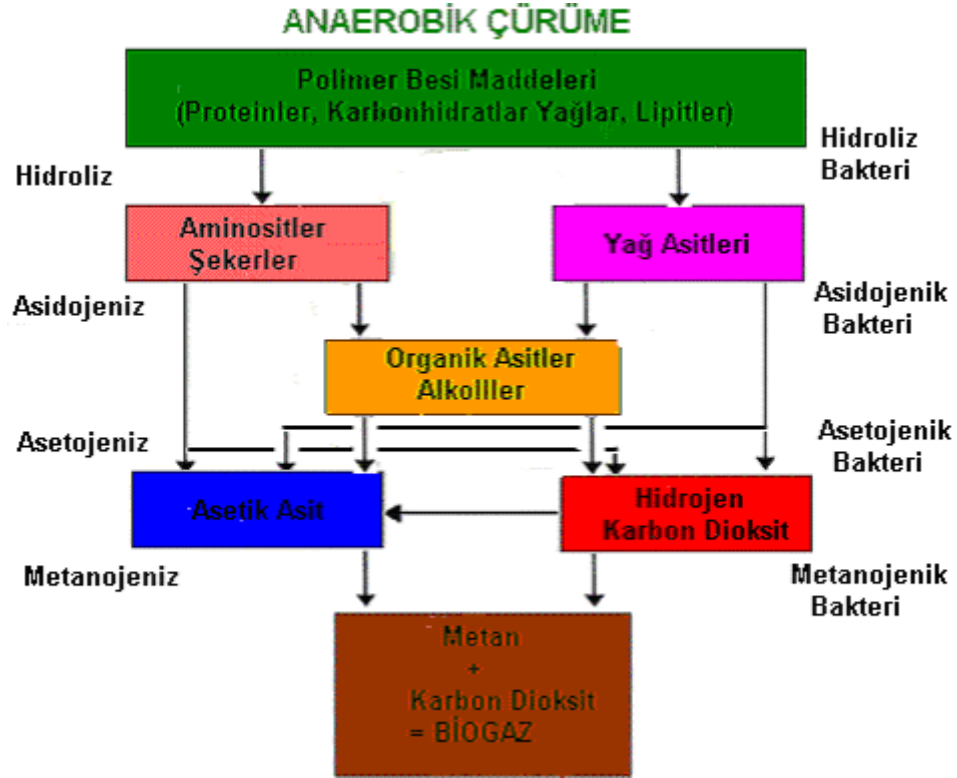
Organik maddeler anaerobik şartlarda çürüdüğü zaman reaksiyon teorik olarak aşağıdaki şekilde gerçekleşir.



Bazı organik maddelerin anaerobik şartlarda çürümesi sonucu oluşan biyogaz miktarı ve metan ile karbondioksit oranı Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Bazı Organik Maddelerden Oluşan Biyogaz Miktarı

Organik Maddeler	Spesifik Gaz Üretimi	Gaz Oranı
Karbonhidratlar	790 lt/kg	%50 CH ₄ , %50 CO ₂
Lipitler	1 250 lt/kg	%68 CH ₄ , %32 CO ₂
Proteinler	700 lt/kg	%71 CH ₄ , %29 CO ₂



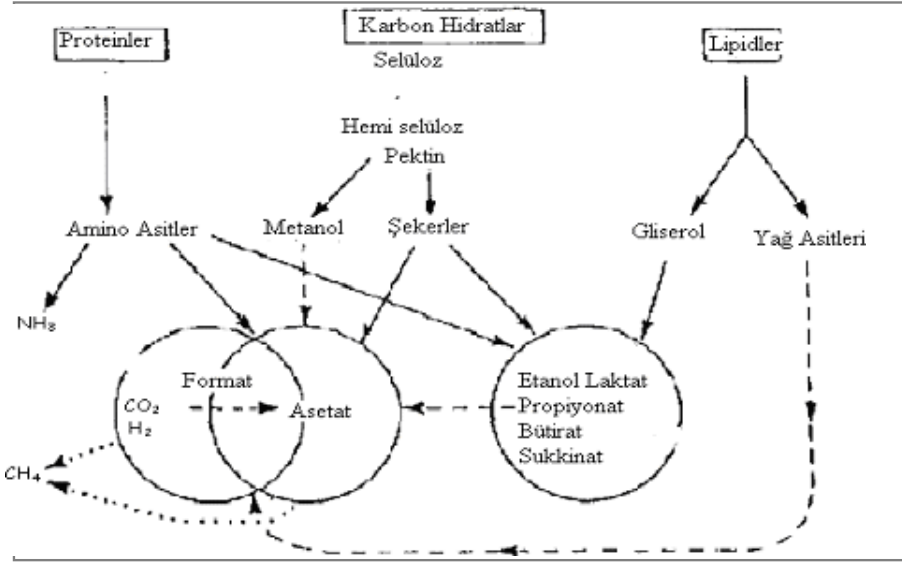
Şekil 7. Anaerobik Çürüme Kademeleri

2.1. Birinci Kademe: Hidroliz

Birinci kademe çamur içindeki çözünür olmayan organik maddeler mikroorganizmaların salgıladığı ekstra selular enzimlerle çözünür hale dönüştürülür. Bakteriler; uzun zincirli kompleks karbon hidratları, proteinleri, yağları ve lipitleri kısa zincirli yapıya dönüştürürler. Bazı lifli organik maddeler çözünür hale dönüştürülemez. Dolayısıyla bu maddeler biyoreaktörde birikebilir veya reaktörden bozunmadan çıkabilir. Su ve inorganik maddeler biyoreaktörde değişmeden birikebilir veya reaktörden çıkabilir. Sindirilmemiş organik maddeler koku problemi oluşturur.

Uzun zincirli polisakkaritler mono sakkkaritlere, proteinler peptidlere ve amino asitlere dönüşürler. Proteinlerin, karbon hidratların ve lipidlerin daha basit organiklere dönüşümü Şekil 8’de verilmiştir.

Selülöz ve lignin gibi kompleks maddeler zor hidrolize olurlar veya hiç hidrolize olmazlar. Bu tür maddelerin bozunma reaksiyon hızı çok düşüktür.



Şekil 8. Kompleks Organik Maddelerin Basit Organik Maddelere Dönüşmesi

2.2. İkinci Kademe: Asit Oluşturma

Asit oluşturuç bakteriler, çözünebilir hale dönüşmüş organik maddeleri asetik asit başta olmak üzere uçucu yağ asitleri, hidrojen (H_2) ve karbondioksit (CO_2) gibi daha küçük yapıdaki maddelere dönüştürürler. Bu bakteriler anaerobiktir. Asidik şartlarda büyürler. Asetik asit gibi uçucu yağ asit bakterilerinin büyümesi ve çoğalması için oksijene ve karbona ihtiyaçları vardır. Bakteriler, çözeltideki bağlı oksijeni kullanırlar. Asit oluşturuç bakteriler metan oluşturuç bakteriler için anaerobik şartlar oluştururlar. Uçucu yağ asitlerden başka asit bakterileri organik bileşikler daha düşük moleküllü alkollere, organik asitlere, amino asitlere, karbon dioksit, hidrojen sülfüre ve esas miktarda metana dönüştürürler. Havasız reaktörlerin işletmeye alınması safhasında uçucu yağ asidi konsantrasyonunun 1000-1500 mgHAC/l'ten fazla olması istenmez. Asit üretim hızı metan üretim hızına göre daha büyüktür. Organik madde konsantrasyonundaki ani artışlar asit üretiminin artmasına ve pH düşmesine neden olur. Buda metan bakterileri üzerinde inhibasyon etkisi yapar.

2.3. Üçüncü Kademe: Metan Oluşumu

Metan oluşturuç bakteriler, asetik asitlerini parçalayarak ve/veya hidrojen (H_2) ile karbon dioksitin (CO_2) sentezi sonucu biyogaza dönüştürürler. Havasız şartlarda üretilen metanın yaklaşık %30'u hidrojen gazı ile karbondioksit gazından, %70'i ise asetik asit'in parçalanmasından oluşur. Tüm uçucu organik asitler ve çözünen organik bileşikler biyogaza dönüşmez. Bazı organik maddeler arıtılmadan deşarj olur.

Metan üretim süreci yavaştır. Havasız arıtmada hız sınırlayıcı safha olarak kabul edilmektedir.

Metan oluşturuucu bakterilerin kullanılabilirleri besin maddeleri oldukça sınırlı olup bunlar asetik asit, hidrojen (H₂) ve tek karbonlu bileşiklerdir. Sulu ortamlardaki dip çamurları ve evsel çamur, çürütme tesislerindeki CH₄'in %70'i, asetik asitin metil grubundan, geri kalanı ise CO₂ + H₂'den üretilmektedir.

Metan oluşturuucu bakteriler asidojenik ve asetojenik bakterilerin aksine çevresel şartlara karşı çok hassastırlar.

3. BİYOGAZ ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN TEMEL KRİTERLER

Biyogaz tesislerinde hayvan cinsi, sayısı ve gübre toplama tekniği biyogaz tesisinin boyutlandırılmasını etkiler. Biyogaz tesislerinde hayvan gübreleri reaktörlere yarı sıvı halde verilir. Besi maddesi için de katı madde konsantrasyonu %5-12 arasında değişir. Biyoreaktörlere verilecek hayvan gübresindeki katı madde miktarı %5'den büyük olmamalıdır.

%20 den fazla katı madde içeren hayvan gübresini seyreltmeden biyoreaktöre vermek sakıncalıdır. Islak hayvan gübresi hayvan cinsine bağlı olarak 1:1 veya değişik oranlarda su ile karıştırılarak biyoreaktöre verilir. Böylece gübrenin reaktör içinde akışkanlığı sağlanır. Tüm sistemi rahatsız etmeden günde en az bir defa besleme yapılması tavsiye edilir.

Oluşan biyogaz sürekli olarak kullanılacaksa gaz depolama bölümü 24 saat biyogazı depolayacak kapasitede olmalıdır.

Hayvan gübresinden anaerobik şartlarda biyogaz üretiminde reaktördeki besi maddesinin sıcaklığı, pH, hidrolik bekleme süresi, yükleme hızı, organik yükleme hızı, C/N oranı ve katı madde konsantrasyonu önemlidir.

3.1. Reaktör Sıcaklığı

Metanojenik bakteriler çok yüksek ve çok düşük sıcaklık şartlarında aktif değildirler.

Biyokimyasal reaksiyonlar ve mikroorganizmaların büyümesi sıcaklık artışı ile artar. Metan oluşturuucu bakteriler sıcaklık değişimine karşı çok hassastırlar.

Biyo reaktörlerde biyokimyasal reaksiyon esnasında aşağıdaki sıcaklık aralıkları korunmalıdır.

Bunlar:

Psikofilik sıcaklık aralığı > 12-20 °C,

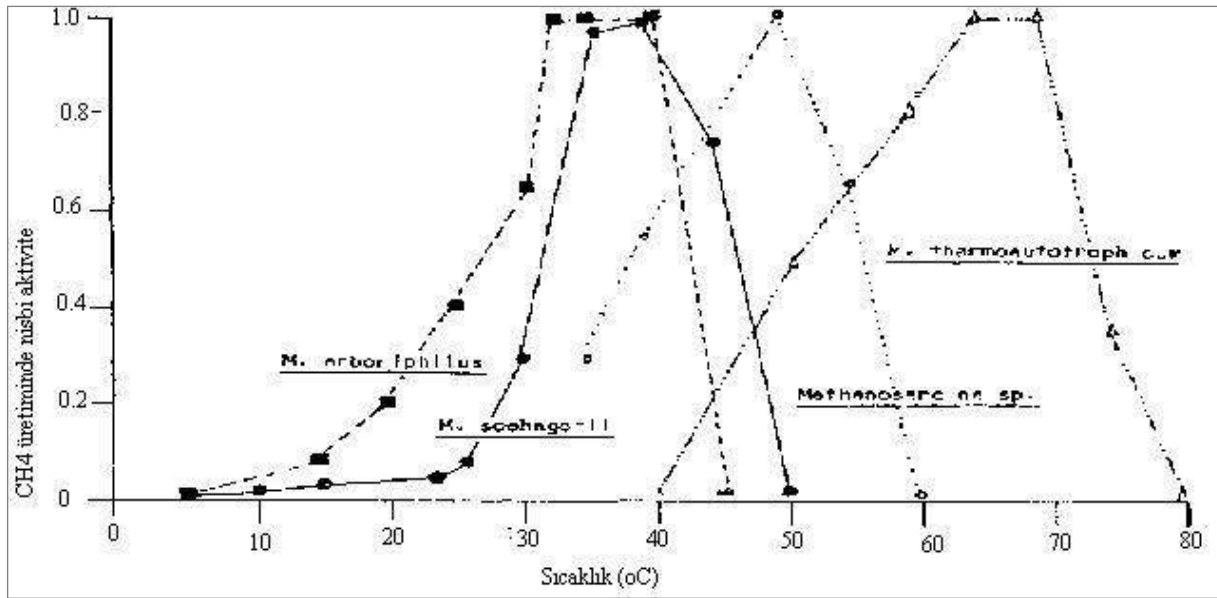
Mezofilik sıcaklık aralığı 20 °C - 40 °C

Termofilik sıcaklık aralığı 40-65 °C

dır. Mikroorganizmalar belli sıcaklık aralığında optimum büyüme sağlarlar.

Biyokimyasal reaksiyonla metan üretim hızı, sıcaklık artışı ile artar (Şekil 9). Termofilik sıcaklık şartlarında mezofilik sıcaklık şartlarına göre biyokimyasal reaksiyonlar daha hızlı gerçekleşir. Termofilik

şartlarda metan üretim hızı mezofilik şartlara göre 2 kat daha fazladır. Dolayısıyla reaktör hacmi mezofilik şartlara göre yarı yarıya daha küçüktür. Termofilik şartlarda mezofilik şartlara göre aynı hidrolik bekleme süresinde daha yüksek organik yükleme yapılabilir. %15.8 katı madde içeren hayvan gübresi termofilik şartlarda çalışan bir reaktörde çürütülürken gerekli hidrolik bekleme süresi 6.3 gün iken mesofilik şartlarda bu süre 10.4 gündür. Ancak biyoreaktörü termofilik şartlarda çalıştırmak için ilave ısıya ihtiyaç vardır. Yüksek sıcaklıkta çalışıldığı zaman serbest amonyak miktarı sıcaklık artışı ile arttığı unutulmamalıdır. Buda biyoreaktör performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Hatta verimliliği azaltabilir.



Şekil 9. Sıcaklığa Bağlı Olarak Gaz Üretimindeki Artışlar

Biyoreaktör sıcaklığı 22 °C nin üzerinde tutulduğu zaman daha iyi performans sağlanabilir. Biyoreaktör sıcaklığı 22 °C nin altına düştüğü zaman biyogaz üretimi düşer. Bu sıcaklıkta biyogaz tesisinin işletilmesi ekonomik değildir. Çevre sıcaklığı 10 °C'nin altına düştüğünde gaz üretimi durur.

Biyoreaktörlerde biyokimyasal reaksiyon esnasında sıcaklık;

Psikofilik şartlarda	±2 °C /saat
Mezofilik şartlarda	±1 °C/saat
Termofilik şartlarda	±0.5 °C/saat

aralığında korunmalıdır. Biyoreaktörlerde sıcaklığın ani olarak değişmesi bakterilerin faaliyetlerini olumsuz yönde etkiler. Bu da biyokimyasal reaksiyonu yavaşlatır. Biyogaz güç üretim tesisinin ısısından faydalanılarak reaktörün sıcaklığı sabit tutulabilir.

Biyoreaktörler yer altında kurulduğu zaman gece ile gündüz arasındaki sıcaklık dalgalanması büyük ölçüde önlenir. Mikroorganizmalar kısa süreli sıcaklık değişikliğine karşı dayanıklıdırlar. Tesisler mümkünse yerden bir metre derinlikte kurulmalıdır.

Çoğu küçük reaktörler mezofilik şartlarda çalıştırılmaktadır. Buradaki optimum sıcaklık 35 °C'dir.

Biyoreaktörlerin çevresel şartlardan minimum etkilenmesi ve ısısının korunması için yalıtılmasında yarar vardır. Çoğu Avrupa ve ABD'deki tesislerde reaktörler yalıtılır. Reaktörler zemin altına yapılırsa reaktör atmosferik sıcaklık değişiminden minimum etkilenir. Gelişmekte olan ülkelerde uygulama genellikle bu yöndedir.

Mezofilik şartlarda çürüme sonucu oluşan katı madde miktarı termofilik şartlara göre daha fazladır.

3.2. Hidrolik Bekleme Süresi

Hidrolik bekleme süresi (HBS), gübre içindeki organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülmesi sonucu biyogaz üretmesi için gerekli olan süre olarak tarif edilir. Bunu bir denklemle ifade edecek olursak;

$$HBS = \frac{\text{Reaktör hacmi (m}^3\text{)}}{\text{Günlük debi (} \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \text{)}}$$

şeklinde gösterebiliriz. Reaktör içindeki bazı organik maddeler tam olarak biyokimyasal reaksiyona girdiğinde zamanla gaz üretimi azalmaya başlar. Seçilen hidrolik bekleme süresi içinde besi maddelerinin %70-80 oranında biyokimyasal reaksiyona girerek bertaraf olduğu kabul edilir. Biyogaz tesislerinde işletme sıcaklığına bağlı olarak hidrolik bekleme süresi (HBS) 20 ile 120 gün arasında değişir. Tropikal bölgelerde H.B.S. 40-50 gündür. Çin'in soğuk bölgelerinde bu süre takriben 100 gündür.

Sürekli beslemeli sistemlerde, bakterilerin reaktörlerden kaçmasını önlemek ve bakterilerin iki katına çıkmasını temin için HBS süresi daha uzun seçilebilir.

HBS süresinin düşürülmesi, çürütülecek malzemeye bağlı olarak değişir. Hayvan atıklarında HBS'ni etkileyen en önemli basamak hidroliz kademesidir.

Hayvan gübresinde bulunan organik maddelerin çürümesi;

- ❖ Karbonhidratlar,
- ❖ Yağlar,
- ❖ Proteinler,
- ❖ Hemi selüloz,
- ❖ Selüloz,

sırasıyla gerçekleşerek hızlanır. Karbon hidratlar ve yağlar daha kolay hidrolize olurken selülozlar daha zor hidrolize olurlar.

Sonuç olarak domuz gübresi daha fazla yağ içerdiği için sığır gübresine göre daha kısa sürede çürür. Sığır gübresi daha fazla miktarda selüloz ve semi selüloz içerir. Mezofilik şartlarda ortalama HBS;

Saman Yataklı Sığır Gübresi	18 – 36 gün
Sıvı Domuz Gübresi	10 – 25 gün
Bitki ile Karıştırılmış Sığır Gübresi	50 - 80 gün
Sıvı Tavuk Gübresi	20 - 40 gün

dür.

Hidrolik bekleme süresi yeterli olmazsa reaktörden bakteriler daha hızlı kaçar ve uçucu yağ asidi konsantrasyonu artar. Bu da biyogaz üretiminin düşmesine neden olur. Fermantasyon tam olarak gerçekleşmez. Bu problem, tarımsal biyogaz tesislerinde nadiren gerçekleşir.

Reaktör sıcaklığı arttıkça hidrolik bekleme süresi düşer. Yüksek sıcaklıkta biyokimyasal reaksiyonlar daha kısa sürede gerçekleşir. Dolayısıyla hidrolik bekleme süresini uygulanacak sıcaklığa göre seçmek gerekir.

3.3. Organik Yükleme Hızı

Organik yükleme hızı, birim hacim (m³) biyoreaktörlere günlük olarak beslenen organik madde miktarı (KOI veya uçucu katı maddelerin (VS) olarak ifade edilir) olarak tarif edilir. Hayvan gübresi içindeki organik madde muhtevası,

$$\text{Organik Madde Muhtevası} = \frac{\text{Toplam Katı Madde (g)} - \text{Külün Ağırlığı (g)}}{\text{Toplam Katı Madde (g)}} \times 100$$

şeklinde bulunur.

Anaerobik arıtmada bakteriler organik yükleme hızına karşı oldukça hassastır. Anaerobik arıtma için organik arıtma hızı (kg/m³/gün),

$$\text{OYH} = \frac{\text{Günlük Uçucu Madde Kons.}}{\text{Sıvı Hacmi}} = \frac{\text{Gübredeki Uçucu Mad. Kons.}}{\text{HBS}} = \frac{1}{\text{HBS}} \times C_1$$

denklemleri ifade edilir. Burada C₁: Uçucu Madde Konsantrasyonudur.

Mezofilik şartlarda çalışan reaktörlerde optimum OYH (Organik Yük Hızı),

Sığır Gübresi	2.5-3.5 kgUM/m ³ .gün
İlave Besin Maddeli Sığır Gübresi	5.0-7.0 kgUM/m ³ .gün
Domuz Gübresi	3.0-3.5 kgUM/m ³ .gün

alınır.

Anaerobik arıtma esnasında mümkünse optimum organik yükleme hızı korunmalıdır. Organik yükleme hızı yüksek olduğunda biyoreaktör içinde asit birikmesi olur ve pH düşer. pH'ın düşmesi metanojenik bakterilerin faaliyetlerini olumsuz yönde etkiler. Bu da gaz üretim hızını düşürür. Hatta durdurur. Benzer şekilde organik besleme hızı düştüğü zaman gaz üretim hızı düşer.

Almanya'da yeni kurulan büyük biyoreaktörlerde OYH değeri, 1 kgUM/m³.gün'in altındadır. HBS ise yaklaşık olarak 50 günden büyüktür.

Danimarka'daki biyoreaktörler için 12-35 günlük HBS için OYH'ı 1.7-8 kgUM/m³ dr.

3.4. pH

Metan oluşturucu bakteriler nötr veya hafif alkali ortamda yaşarlar. Fermantasyon işlemi anaerobik şartlarda kararlı olarak devam ederken ortamın pH değeri, normal olarak 7-7.5 arasında değişir. Karbon dioksit-bikarbonat (CO₂-HCO₃⁻) ve amonyak- amonyum (NH₃- NH₄⁺) tamponlama etkisinden dolayı pH seviyesi nadiren değişir. Biyokarbonatlar pH'ın düşerek metanojenik mikroorganizmalar üzerine ters etki yapmasını önler. Çünkü bi karbonatlar çürüme esnasında oluşan uçucu yağ asitleri serbest yağ asitleri halinde değil de bağlı halde tutulacağı için pH düşürme etkisini önler.

Eğer biyoreaktörün pH'ı 6.7'nin altına düşerse, bu durum metan oluşturucu bakteriler üzerinde toksit etki yapar. Anaerobik artıma için ideal pH aralığı 6.8-7.8'dir. pH 6.5 altına düştüğü zaman gaz üretimi tamamen düşer. pH düştüğünde bu durumdan metan oluşturucu bakteriler olumsuz etkilenir. Dolayısıyla ortamda asit oluşturucu bakteri konsantrasyonunda artma olur. Reaktörde yağ asidi konsantrasyonu belli değerin üzerine çıktığında metan oluşumu tamamen durur. Bu durum aşırı organik yükleme ve sıcaklığın çok olarak düşmesinden dolayı meydana gelir.

Biyoreaktörlerde pH düştüğü zaman iki yaklaşım uygulanır. Birinci yaklaşımda organik madde beslemesi kesilmelidir. Böylece ortamda metanojenik mikroorganizmaların konsantrasyonu artırılarak yağ asidi konsantrasyonu azaltılabilir. pH kabul edilebilir seviyeye yükseldikten sonra (pH=6.8 gibi) amur beslenmesine tekrar devam edilir. İkinci yaklaşım pH'i yükseltmek ve tamponlama kapasitesini artırmak için ortama kimyasal maddeler ilave edilir. Kimyasal madde ilave etmenin en önemli avantajı pH derhal kararlı hale gelebilir. Dengesiz populasyonlar hızlı şekilde kendini düzeltmeye çalışır. Kimyasal madde olarak snmş kireç (kalsiyum hidroksit) ve soda (sodyum bi karbonat) zeltileri ilave edilebilir. Her iki madde de Türkiye'de bol bulunmaktadır. Sodyum bi karbonat biraz pahalıdır. Fakat kalsiyum karbonat gibi ilave bir katı madde oluşturmaz.

3.5. C/N Oranı

Tüm besi maddeleri, hayvan gübreleri, insan atıkları, mutfak atıkları vb belli oranlarda karbon, azot ve oksijen içerirler. Organik maddelerdeki karbon, anaerobik bakterilerin enerji ihtiyacı için gereklidir. Karbondan başka en önemli besi maddeleri azot ve fosfordur. Azot bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gereklidir.

Besi maddesinde azot bulunmasının iki faydası vardır. Birincisi, amino asitlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin sentezi için gerekli elementi sağlar. İkincisi, amonyağa dönüşen azotun uçucu yağ asitlerini

tamponlayarak pH'ın düşmesini önler. Böylece metan oluşturucu bakterilerin büyümesi için uygun pH Őartlarının sağlanması oldukca önemlidir.

Besi maddesindeki bileşikler, biyoreaktörde mevcut farklı bakteriler tarafından kullanılırlar. Metabolik işlemler için gerekli C/N oranı bakteriler için uygun olmalıdır. C/N oranı 23/1 den büyük olduğunda optimum çürüme için uygun değildir. Yine C/N oranı 10/1'den küçük olduğunda bakteriler üzerinde engelleyici etki yapmaktadır. alışmalar göstermiştir ki hayvan gübresinde azot (N) kaynağı idrardır. Deneysel çalışmalardan görülmüştür ki hayvan atığı içinde 5000 mg/lit. azotun bulunması biyokimyasal reaksiyon üzerinde olumsuz etki yapmadığı gözlenmiştir. Organik madde içinde azot 8000 mg/lit. ise azot amonyak azotuna dönüşür. Bu engelleyici etkide en önemli rolü amonyum iyonu yerine serbest amonyak azotu oynamaktadır. Serbest amonyak azotu özellikle hidrojen (H₂) ile karbon dioksit gazlarından metan üretimi üzerinde engelleyici etki yapmaktadır. Asetattan metan oluşumu üzerine amonyak, minimum etki yapar. Hidrojen (H₂) tüketiminin engellenmesi, propiyonik asitin parçalanmasını zorlaştırır. Buda metanojenik bakterilerin tükettiği asetatların engellenmesi gibi hareket eder.

Hayvan gübresinden biyogaz üreten atıklarda C/N oranı 15/1 ila 30/1 arasında değişir. Çoğu taze hayvan gübreleri bu oranı sağlar. C/N oranı 15/1 ila 30/1' i sağlıyorsa hayvan gübresini ayrıca ayarlamaya gerek yoktur. Çeşitli hayvan gbrelerine ve evsel/tarımsal atıklara ait kuru bazda C, N, C/N oranı ve nem miktarları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Organik Maddelerin C/N Oranı

Gübre	C %Kuru	N %Kuru	C/N Oranı	Taze Gübredeki Nem Oranı (%)	Su Seyreltme ile
Sığır Gübresi	30	1,66	18	80-85	01:01
Koyun Gübresi	83,6	3,8	22	75-80	01:01
Kümes Hav. Güb.	87,5	6,55	14	70-80	01:03
Domuz Güb.	76	3,8	20	75-80	01:02
At Güb.	33,4	2,3	15	80-85	02:03
Kaz	54	2	27	70-80	02:03
Güvercin Güb.	50	2	25	70-80	01:03
İdrar	15	15	1	90-95	
Kan	36	12	3	90-95	
Balık Atığı	56	7	8	55-75	
Kesim hane Atığı	64	8	8	55-75	
Çiftlik Güb.	42	3	14	75-80	
EVSEL VE TARIMSAL ATIKLAR					
İnsan Dışkısı	48	6	8	50-70	03:07
İdrarlı İnsan Dışkısı	70	7	10	50-70	
Patates Kabuğu	37,5	1,5	25	50-60	
Mutfak Atığı	62,5	2,5	25	5-15	
Ekmek	50	2	25	50-60	
Gazete	40	0,05	800	5-15	
Taze çim	48	4	12	40-60	
Yulaf samanı	50,4	1,05	120	20-40	
Pirinç samanı	18	0,3	60	20-40	
Yapraklar	55	1	55	25-40	
Yer fıstığı Kabuğu	40	2	20	25-40	
Soya fasulyesi sapı	64	2	32	25-40	
Ağaç yaprakları	75	1,5	50	40-60	
Şeker kamışı	45	0,3	150	25-40	
Soya fasulyesi	17,5	3,5	5	25-40	
Pamuk tohumu	12,5	2,5	5	10-15	
Hardal	39	1,5	26	10-15	
Su sümbülü	30,4	1,9	16	85-90	

C/N hesaplamalarında devamlı kuru madde esas alınır. Enerji üretiminde gübre içindeki su katkısı sıfırdır. Bakteriler organik maddeleri besi maddesi olarak kullanırlar.

Optimum C/N oranı farklı organik maddelerin karıştrılması ile elde edilebilir. Sabit karışım sürekli gaz üretimini garanti etmek için gereklidir.

3.6. Toksikite

Mineral iyonlar, ağır metaller ve deterjanlar anaerobik arıtmada mikro organizmaların büyümelerini engelleyerek toksik etki yaparlar. Az miktarda mineral iyonlar (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt) bakterilerin büyümeleri geliştirirken ağır metaller toksik etki yaparlar. 50-200 mg/lt. amonyum bakterilerin büyümesini ilerletirken 1500 mg/lt. amonyum bakteriler üzerinde toksik etki yapar. Benzer şekilde bakır, nikel, krom, çinko, kurşun gibi ağır metaller çok düşük konsantrasyonlarda bakterilerin gelişmesinde olumlu etki yaparken yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yaparlar. Sabun gibi deterjanlar, antibiyotikler, dezenfektanlar, organik solventler bakterilerin metan üretim kapasitelerini düşürürler. Bu maddelerin hayvan gübresine karışması önlenmelidir. Bakterilerin büyümesinde toksik etki yapan bazı maddelerin konsantrasyonları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Anaerobik Arıtmada eşitli Engelleyicilerin Engelleme Seviyesi

Engelleyiciler	Engelleme Seviyesi (mg/lt)
Sülfat (SO ₄ ⁻²)	5.000
Sodyum klorür ve genel tuzlar (NaCl)	40.000
Nitrat (N olarak hesaplanmış)	0
Bakır (Cu ⁺²)	100
Krom (Cr ⁺³)	200
Nikel (Ni ⁺²)	200-500
Sodyum (Na ⁺¹)	3.500-5.500
Potasyum (K ⁺¹)	2.500-4.500
Kalsiyum (Ca ⁺²)	2.500-4.500
Magnezyum (Mg ⁺²)	1.000-1.500
Mangan (Mn ⁺²)	1.500 zeri

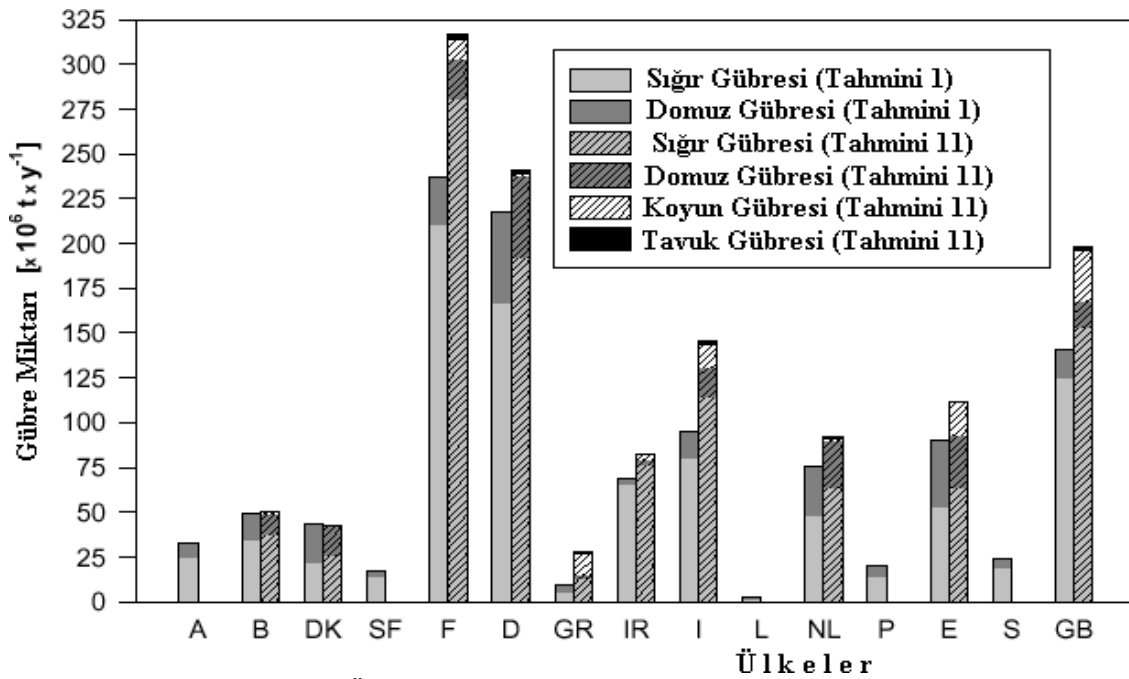
Anaerobik arıtmada metan üretimi üzerine amonyak konsantrasyonunun olumlu ve olumsuz etkisi Tablo 6'te verilmiştir.

Tablo 6. Amonyagın Metan retimi zerine Etkisi

Konsantrasyon (mg NH ₃ /lt)	Etkisi
5-200	Faydalı
200-1000	Ters etkisi yok
1500-3000	Yüksek pH değerlerinde muhtemelen engelleyici
>3000	Toksik

4. BİYOGAZ REAKTÖRÜ DİZAYNI

Biyogaz tesisi dizaynını etkileyen en önemli faktörler, hayvan türü, büyüklüğü, sayısı ve seçilen işletme sıcaklığı (mezofilik veya termofilik sıcaklık şartları)'dır. Bu şartlara bağlı olarak hidrolik bekleme süresi seçilir. Hayvan gübresi miktarı reaktör boyutlandırılmasını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Hayvan türüne, büyüklüğüne bağlı olarak günlük üretilecek gübre miktarı, gübredeki su muhtevası, biyolojik işlem sonucu oluşan biyogaz miktarı ve reaktöre besleme yapılırken seyreltme oranları Tablo 5'te verilmiştir. 1000 kg ağırlığındaki hayvan ve/veya hayvanlardan günde ıslak bazda 60-80 kg gübre oluşmaktadır. 630 kg ağırlığındaki bir sığırdan günde yaklaşık olarak 50 kg gübre oluşur. 450 kg ağırlığındaki bir inekten yaklaşık olarak 36 kg, 45 kg ağırlığındaki koyundan yaklaşık 1.8 kg, 90 kg ağırlığındaki domuzdan yaklaşık 4.5 kg ve 450 kg bir attan yaklaşık 20 kg ve 1.8 kg bir tavuktan yaklaşık 0.09 kg günlük gübre oluşmaktadır. Avrupa Topluluğu ülkelerinde yıllık oluşan tahmini hayvan gübresi miktarı Şekil 10'da verilmiştir. Burada sığırların 35 kg, domuzların 5 kg, koyunların 3 kg ve tavukların 0.1 kg günde hayvan gübresi ürettiği kabul edilmiştir.



Şekil 10. Avrupa Topluluğu Ülkelerinde Hayvan Gübresi Miktarı

Türkiye için hayvan sayıları kullanılarak yıllık olarak oluşan hayvan gübresi miktarı 157 milyon ton olarak hesaplanır. Dolayısıyla Türkiye'nin hayvan gübresi miktarı çok daha fazladır. Ülkemizdeki hayvansal atık miktarının yaklaşık olarak 157 milyon ton/yıl ve enerji eşdeğerinin 1,3 milyon TEP (ton eşdeğer petrol)/yıl, bitkisel atık miktarının 142 milyon ton/yıl ve enerji eşdeğerinin 16 milyon TEP/yıl olduğu dikkate alındığında, toplam biyogaz potansiyeli yaklaşık 17,3 milyon TEP/yıl'dır Bunun doğal gaza eşdeğeri 8,8 10⁹ MJ/m³'dür.

Tablo 7. Birim Gübre Ağırlığı Başına Biyogaz Oluşumu ve Seyreltme Oranı

Hayvan Türü	Nem Miktarı (% Islak bazda)	Fermantasyon Sonu Biyogaz Üretimi (lt/kg)	Seyreltme Oranı (gübre/su)
Sığır	80-85	40	1/1
Domuz	75-80	70	1/2
Kümes Hav.	70-80	60	1/3
Keçi	75-80	60	2/3
At	80-85	40	2/3
Koyun (45 kg)	75-80	50	2/3
Yetişkin İnsan(çocuk)	75-80 (75-90)	70 (70)	3/7

Anaerobik çürütme reaktörü hacmi (V_d), organik maddelerin hidrolik bekleme süresi (HBS) ve günlük beslenen çamur miktarı (S_d) esas alınarak;

$$V \text{ (reaktör hacmi)} = \zeta_m(m^3 / \text{gün}) \times HBS(\text{gün})$$

denklemini ile hesaplanır.

Burada: ζ_m : Günlük olarak beslenen atık miktarı ($m^3/\text{gün}$)

HBS: Hidrolik Bekleme Süresi (gün).

Hidrolik bekleme süresi, seçilen çürüme sıcaklığı ile tespit edilir. Isıtmasız biyogaz tesislerinde reaktör içindeki sıcaklık toprak içindeki sıcaklığın 1-2 °C üzerinde alınır.

Psikofilik sıcaklık şartlarında hidrolik bekleme süresi (HBS) 100,

Mezofilik şartlar için (20-35 °C) HBS 20,

Termofilik şartlarda ise (50-60 °C) HBS 8,

günün üzerinde alınır.

Mezofilik şartlarda çalışan basit biyoreaktörler için hidrolik bekleme süresi en az 20 gün olmalıdır. Pratik uygulamalar göstermiştir ki bu hidrolik bekleme süreleri 20-100 gün arasında değişmektedir. Reaktör sıcaklığı ile hidrolik bekleme süresine bağlı olarak gaz üretim hızı Şekil 10'da verilmiştir. Tablo 6 ve Şekil 11'deki veriler kullanılarak doğru gaz üretim hızı;

$$GY_{T,RT} = mGy \times f_{t,RT}$$

denklemini ile hesaplanır.

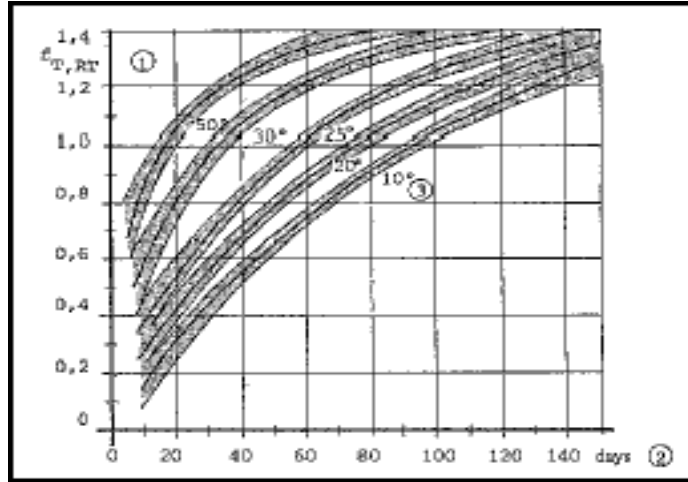
Burada;

$GY_{T,RT}$: Reaktör sıcaklığına ve bekleme süresine bağlı olarak gaz üretimi,

mGy : Ortalama spesifik gaz üretimi (Tablo 6),

$f_{T,RT}$: Reaktör sıcaklığına ve bekleme süresine bağlı olarak gaz üretimi için çarpan.

(Şekil 11)



Şekil 11. Sıcaklığa ve Hidrolik Bekleme Süresine Bağlı Olarak Gaz Üretimi

(1.Nisbi Gaz Üretimi (çeşitli hayvan gübresine ait değerler Tablo 8),

(2. Hidrolik Bekleme Süresi, 3. Reaktör Sıcaklığı)

Gübre içerisine ne kadar su ilave edileceği oldukça önemlidir. Çamur içinde katı madde konsantrasyonunun %3-9 arasında olması istenir. Bu konsantrasyonun altında ve üstünde fermantasyon süresi uzar. Hayvan gübrelere ilave edilmesi gerekli su miktarları Tablo 4’te verilmiştir. Çoğu kırsal bölgelerde hayvan gübresi ile birlikte tuvalet atık suları ile karıştırılarak reaktöre verilerek çamur içindeki katı madde konsantrasyonu %3-9 arasında tutulur. Dolayısıyla;

$$\text{Reaktöre ilave edilecek çamur miktarı} = \text{Biyokütle} + \text{Su}$$

şeklinde bulunur.

Biyokütle reaktöre verilmeden önce belli oranda idrar veya su ile seyreltilir. Bunlara göre çürümenin gerçekleştiği reaktör hacmi tespit edilir.

Kurak havalarda hayvan gübresini seyreltmek için hayvan idrarı yeterli olmaz. Bu durumda hayvan gübresinin seyreltilmesi gereklidir. Hayvan gübresini seyreltmede idrar kullanımı tavsiye edilir. Eğer yeterli miktarda idrar yoksa seyreltme için su kullanılır. Hayvan gübresini su ile seyreltme yerine hayvanlara daha fazla su içirerek hayvan idrarının seyreltme amacı ile kullanılması tavsiye edilir. Hayvanın daha fazla idrar üretmesi hem sağlığı hem de daha fazla süt üretmesi açısından önemlidir.

Hayvan gübresi içinde saman ve diğer katı maddeler (kum, kil vb.) bulunabilir. Bu tür maddelerin hayvan gübresinden giderilmesi için reaktöre verilecek hayvan gübresi akışkan hale getirildikten ve katı maddelerin çökmesi sağlandıktan sonra reaktöre verilmesi tavsiye edilir. Reaktörün giriş ve çıkışı nitesi günlük olarak temizlenmelidir.

Tuvalet suları seyreltme amacı ile kullanılacaksa bu sulara çamaşır suyu gibi maddeler kesinlikle karıştırılmamalıdır.

Çeşitli hayvan gübresi ve atıklar için reaktörde oluşan gaz miktarı da Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Çeşitli Atık Türleri için Ortalama Gaz rn

Besi Maddesi	Gaz retim Aralığı (lt/kgUM)	Ortalama Gaz retim Değeri (lt/kgUM)
Domuz Gübresi	340-550	450
Sığır Gübresi	150-350	250
Kümes HayvanlarıGbresi	310-620	460
At Gübresi	200-350	250
Koyun Gübresi	100-310	200
Ahır Gübresi	175-320	225
Tahıl Atığı	180-320	250
Mısır Samanı	350-480	410
Pirinç Samanı	170-280	220
im	280-550	410
Fil imeni	330-560	445
Bitkisel Atıklar	300-400	350
Su Smbl	300-350	325
Alg	380-550	460
Kanalizasyon amuru	310-640	450

Gaz bölümü hacmi genel olarak V_d/V_g (reaktörde çürüme bölümü hacmi/gaz toplama bölümü hacmi), 3:1 ila 10:1 veya 5:1 ila 6:1 arasında değişir.

Kırsal bölgelerde az sayıda hayvanı olan yerler için bir konutta günlük üretilen hayvan gübresi miktarı belirlenerek biyogaz tesisi kapasitesi belirlenir. Günlük oluşan hayvan gübresi miktarına göre gerekli biyoreaktör hacmi Tablo 9’de verilmiştir.

Tablo 9. Küçük Boyutlu Biyogaz Reaktörü Boyutlandırılması

İyimser Senaryo		Gerçekçi Senaryo	
Günlük Gübre Miktarı (kg)	Biyogaz Tesisi Kapasitesi (m ³)	Günlük Gübre Miktarı (kg)	Biyogaz Tesisi Kapasitesi (m ³)
d<20	0	d<25	0
20≤d<37.5	1	25≤d<50	1
37.5≤d<62.5	2	50≤d<75	2
62.5≤d<87.5	3	75≤d<100	3

200 inek besleyen bir çiftlikte günde 200 sığır*62 lt/gün/inek = 12400 lt gübre/gün oluşur. Gübreyi reaktöre vermeden akışkan hale getirmek için eğer hayvan idrarı gübreye karıştırılıyorsa hayvan başına 11.5 litre su ile karıştırmak yeterlidir. Buna göre günde gerekli su miktarı 200 inek * 11.5 litre/gün/inek = 2300 litre/gündür. Reaktöre verilecek seyreltilmiş hayvan gübresi miktarı 12400 litre gübre/gün + 2300 litre su/ gün = 14700 litre/gündür. Biyoreaktördeki hidrolik bekleme süresi 20 gün ise buna göre gerekli biyoreaktör hacmi 14700 litre/gün * 20 gün = 294000 litre olur. Gaz toplama bölümü, V_d/V_g, 5:1 olarak alınırsa gerekli reaktör yüksekliği 460 cm, çapı 1000 cm alınarak reaktör hacmi 362 m³ olarak bulunur.

4.1. Biyogaz Miktarının Hesaplanması

Anaerobik arıtmada biyogaz miktarının hesaplanması hayvan türüne, günlük olarak oluşan gübre miktarına ve gübre içindeki uçucu katı madde miktarına bağlı olarak değişir. Gübre içinde bulunan organik madde türü biyogaz oluşumunu etkiler. Organik maddenin yaklaşık

%50 nin biyogaza dönüşeceği kabul edilir.

Biyoreaktörün gaz toplama bölümünün hacmi en az bir günlük gazı depolayacak kapasitede olmalıdır.

Birim hayvan ağırlığı başına anaerobik reaktörlerde üretilen biyogaz miktarı Tablo 10'de verilmiştir.

Tablo 10. Hayvan Başına Üretilen Biyogaz Miktarı

Hayvan Türü	Biyogaz Üretimi	Hayvan Ağırlığı m ³ /gün/1000 kg.	Reaktör Hacmi m ³ /gün/m ³
İnek		3,28	1,1
Sığır		2,66	1,3
Domuz		2,62	1,1
Kümes Hayvanı		6,21	1,3

Az sayıda hayvanı olan bir yerleşimde günde 4 m³ biyogaz üretmek için Tablo 5'te verilen verilere göre yaklaşık olarak günlük 100 kg sığır gübresine ihtiyaç vardır. 610 kg ağırlığında bir sığır günde yaklaşık 50 kg gübre üretir. Bu kadar biyogazı üretmek için 2 adet sığıra ihtiyaç vardır. Sığır gübresi biyoreaktöre konmadan önce 1/1 oranında su ile seyreltilir. Buna göre günde biyoreaktöre konması gerekli çamur miktarı 200 kg dır. Çamurun biyoreaktörde hidroluk bekleme süresi 20 gün ise buna göre gerekli biyoreaktör hacmi $0.2 \cdot 20 = 4 \text{ m}^3$ olur. Bu hacim sadece gaz toplama bölümü hariç çamur kısmının hacmidir.

Anaerobik biyoreaktörlerde gaz bölümü hacmi çürüme bölümü hacmine göre belirlenebilir. Yani V_d/V_g oranı 3:1 ila 10:1 arasında alınabilir. Fiili uygulamalarda bu oran 5:1 ila 6:1 arasında alınır. Daha pratik bir ifade ile günlük oluşan gazın %40-60'ını depolama kapasitesine sahip olmalıdır.

Bazı biyogaz tesislerinde biyoreaktörün hacminin %10-20'sini gaz toplama hücresi oluşurmaktadır. Buna göre biyoreaktör hacmi gaz toplama bölümü dahil 4.8 m³ olmalıdır.

5. BİYOREAKTÖR MODELLERİ

Biyoreaktör modellerini iki grup altında toplamak çok sağlıklı olur.

- 1- Küçük Hacimli Reaktörler
- 2- Büyük Kapasiteli Reaktörler

Az sayıda hayvan besleyen yerleşimlerde, küçük kapasiteli ve basit biyoreaktörler kurulmaktadır. Bu tesisler daha az işletme maliyeti gerektirir. Çok sayıda hayvan yetiştiriciliği yapılan çiftliklerde ise daha büyük ve teknolojik biyoreaktör tesisleri kurulmaktadır.

Tüm reaktörler hava sızdırmaz olmalıdır. Reaktörde oluşan biyogaz kontrol altında tutulmalıdır. Reaktörler yalıtılarak ortam sıcaklığı kontrol altında tutulmalıdır. Reaktörlerde sıcaklık değişimleri önlenmelidir.

5.1. Küçük Hacimli Reaktörler

Dünyada yoğun olarak kullanılan dört tür biyoreaktör vardır. Bunlar:

1. Yığın Tipi,
2. Sabit Çatı Çin Tipi,
3. Yüzer Kapalı Hindistan Tipi
4. Torbalı Tip

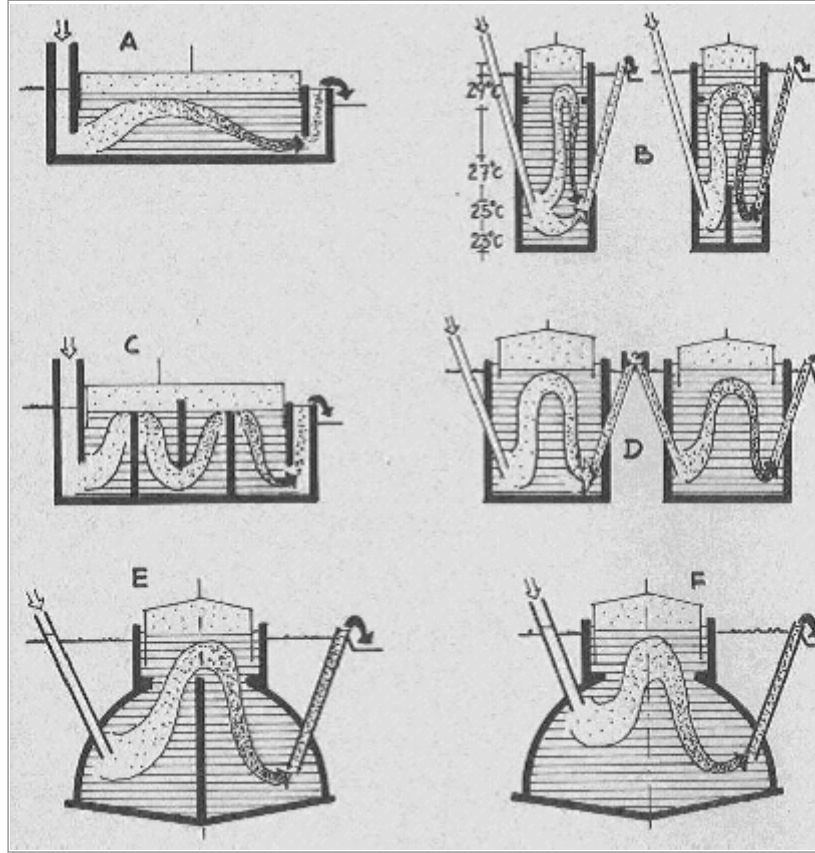
dir.

Çin ve Hindistan tipi modeller en yoğun kullanılan türlerdir. Son zamanlarda maliyetinin düşüklüğünden dolayı bazı ülkelerde Torba Tipi (Tayvan, Çin) reaktörlerin popülaritesi hızla artmaktadır.

Anaerobik reaktörlere hayvan gübresi verilmeden önce Tablo 5’te verilen oranlarda seyreltilmesi ve besi maddesi ile doldurulması gereklidir. Biyokimyasal reaksiyon sonucu gaz üremeye başladıktan sonra gaz odasında gazlar toplanır. Gazların toplandığı bölümde gaz basıncı yükselir. Su ile günlük olarak seyreltilen taze gübre günlük olarak reaktörde beslenir. Besleme borusunda bekleme süresi esnasında organik maddeler fermente olabilir. Fermente olmuş organik maddeler çıkış borusu arasından gaz basıncı ile çamur tankına itilir. Biyoreaktörlerde besi maddelerinin hareketi Şekil 12’de görüldüğü gibi olur.

Besin giriş ve çıkışını sağlayan giriş çıkış boruları, dik açıyla çürütücü içine doğru düz bir şekilde uzatılır. Sıvı besi maddesi için boru çapı 10-15 cm olmalıdır. Lifli substratlar için bu değer, 20-30 cm civarındadır. Giriş çıkış boruları çoğunlukla plastik veya beton malzemelerden yapılmaktadır. Pozisyonları serbest, erişilebilir konumda ve düzlükte olmalıdır. Borular, çürütücü duvarında en düşük çamur seviyesinin altında bir noktada olmalıdır. Gaz deposuna doğru olmamasına dikkat edilmelidir. Bu bağlantı noktaları harç ile kuvvetlendirilmeli, çatlama ve delikler engellenmelidir. Giriş borusu,

çıkış borusundan daha yüksek bir noktada tanka temas etmelidir. Burada amaç, substrat akımının daha uniform ilerlemesini sağlamaktır.



Şekil 12. Biyoreaktörlerde Besi Maddesi Hareketi

Küçük çaplı biyoreaktörler;

- Hayvan gübresinin kolay taşınacağı,
- Seyreltme suyuna yakın,
- İçme suyu kaynağından 15-20 metre uzak,
- Bina temelinden en az 2-3 metre uzak,

yerlere kurulmalıdır.

Sabit çatılı ve yüzebilir çatılı reaktörlerde çürümüş çamurun çıkış borusu tabandan itibaren 30-40 cm yukardan olmalıdır. Yüzebilir çatılı reaktörlerde çürümüş çamur çıkışı reaktör duvarından en az 8 cm aşağıda olmalıdır. Aksi durumda reaktör etrafından çamur sızıntısı meydana gelir.

Küçük hacimli reaktörlerde besi maddesi içindeki kum, taş gibi maddelerin reaktöre girişini önlemek için besleme girişi, karıştırma bölümü tabanından 3-4 cm yukarıda olmalıdır. Silindirik besleme tankları ile hem ucuz hem de daha iyi karıştırma yapmak mümkündür. Besleme tankı sabah gübre ile doldurulur ve üzeri şeffaf plastik malzeme ile örtülerek güneş ışığı ile ısınması sağlanır ve akşamüzeri kapatılır, vana açılır ve besleme yapılır.

Besleme borusunun girişi, reaktörün taban ortasına gelecek şekilde yapılması gereklidir.

Su ceketli yüzeyli çatılı reaktörlerin kenarları 2.5 mm ve tepesi 2 mm et kalınlığında çelik levhadan yapılabilir. Bu levhalar korozyona karşı korunmalıdır. Korozyona karşı çatı boyanmalıdır. Çatı 2.5 cm et kalınlığında demir destekli betondan da yapılmaktadır. Çatı hafif eğimli olmalıdır. Çatı malzemesinin üst örtü malzemesi kesilirken 2 cm fazla olacak şekilde kesim yapılarak, üst örtü 2 cm dışarı sarkmalıdır. Böylece yağmur suyunun reaktöre girmesi önlenmiş olur.

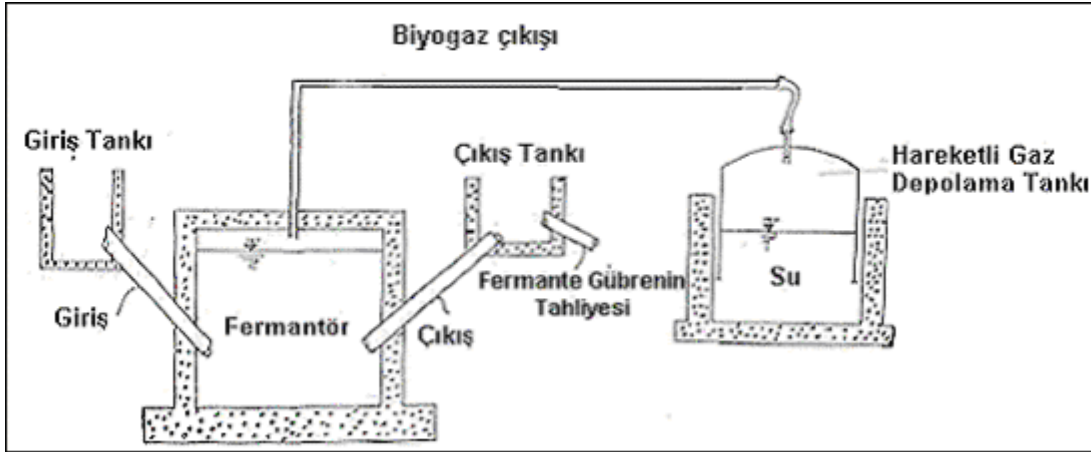
4 tip gaz tutucu bölme mevcuttur: (yüzer çatı gaz tutucu, sabit kubbe gaz tutucu, plastik ve ayrı gaz tutucular).

Yüzer çatı gaz tutucular: Pek çoğu 2-4 mm kalınlıkta çelik tabakadan yapılmaktadır. Önemli ölçüde korozyon etkilerine karşı koymak için kenar kısımları, tepe bölgesinden daha kalın inşa edilmektedir. Yüzer çatı döndüğü zaman, yüzeyde oluşan köpüğü dağıtmaya yarayan L şeklinde çubuk desteği, aynı zamanda yapının stabilitesini de sağlamaktadır. Bir çatı kılavuzu ile gaz bölümü dengede tutulur ve bu kılavuz ile eğilmelere karşı da dirençli bir yapı sağlanmış olur. Sıkça kullanılan iki tip çatı kılavuzu vardır: Beton gömmeli bir çapraz direkle sabitlenmiş boru kılavuzu ve giriş kolu ağaçtan yahut çelikten yapılmış üç adet bacakla desteklenmiş dış çatı kılavuzudur. Her iki tasarımda da çatının dönebilmesi için çok büyük kuvvet gerekmektedir. Özellikle yüzer köpükten oluşan ve ağır olan tabaka içine saplanma söz konusu olduğunda, hacmi 5 m³'ü geçen herhangi bir gaz tutucu, iç ve dış olmak üzere iki çatı kılavuzuyla desteklenmelidir.

Tüm çelik yapılarda, içte ve dışta neme duyarlı bu nedenle de paslanmaya açık bir durum söz konusudur. Bu sebeple uzun ömürlü olması istenen yapılarda şu yüzey koruma özellikleri sağlanmalıdır:

- Tam olarak paslanmaz ve kirlenmez bir yapı
- En az iki tabaka astar giydirme
- Ziftli boya (bitumin) ya da plastikten 2-3 örtü tabaka

Örtü tabakalar her yıl uygulanabilir olmalıdır. Metalden yapılmış bir gaz tutucu bölme, nemli bölgelerde 3-5 yıl ve kuru iklimlerde ise 8-12 yıl süreyle kullanılabilirler. Herhangi bir gaz sızdırmaz malzeme seçiminde, standartlara uygun alternatif çelik, galvaniz, metal, plastik vs yapılar dikkate alınmalıdır. Su ceketli (su üzerine dökülmüş yağ filmi kullanıldığında) gaz tutuculardan oluşan tesisler, uzun ömürlüdür.



Şekil 13. Hareketli gaz depolama tankı

Sabit kubbeli gaz tutucular: Silindirik çürütücünün konik tepesi ya da yarımküre şeklindeki çürütücünün en üst kısmı, sabit kubbeli gaz bölmesinden oluşmaktadır. Çürümüş çamur hacmi ile gaz toplama bölümü hacmi, bekletme süresi içerisinde yer değiştirir. İşletme ve tasarım aşamasında aşağıdaki konular göz önüne alınmalıdır:

- Tesisin taşmasını engellemek için, içte ve dışta, dengeleme tankının taşma boruları olmalıdır.
- Gaz borusunun tıkanmaması için, gaz çıkışı, taşma seviyesinden yaklaşık 10 cm daha yüksekte olmalıdır.
- Yeterli ters basınç sağlamak için, tesis kafi derecede toprakla örtülmelidir.

Taş, beton yapılar harç katkısıyla ya da katkısız, gaz sıkıştırmaz değıllerdir. Gaz sıkışmazlığı sadece iyi giydirme yapılarıyla ve dikkatli işçilikle sağlanabilir. Denenmiş bazı giydirme malzemeleri aşağıda verilmiştir:

- Çok katlı bitümen (zift); soğuk uygulanır (sıcak uygulandığında yanma, zehirlenme, patlayıcı buhar oluşumu, çözücülerin zararı gibi tehlikelere sahiptir). İki ya da dört kat giydirme yapılabilir.
- Alüminyum folyolu zift; hala yapışkan haldeki zifte, ince tabaka halinde alüminyum folyo uygulanır bunu, ziftin ikinci giydirmesi takip eder.
- Plastikler; epoksi reçine ya da akri boyama bunlara örnektirler. Çok iyi fakat pahalıdır.
- Parafin (gaz yağı), %2-5 kerosen ile seyreltilmiş 100 0C'ye ısıtılmış ön sıcaklıklı taşa uygulanır.
- Su geçirmez elementlerle desteklenmiş çok katlı sıvalı yapı tesis çalıştırılmadan önce, bir basınç testine tabi tutulur.

Plastik gaz tutucular: Plastik tabakadan yapılan gaz tutucular, diğer gaz tutucuların yaptığı işi yapmaktadır. Gaz bölümüne transfer olan elementler, balondan ya da torbadan yapılan gaz depolama bölümünde tutulurlar.

Ayrı gaz tutucular

- a) Düşük basınçlı, ıslak-kuru gaz tutucular (10-50mbar), pahalı ve uzun mesafelerde (en az 50-100m) kullanılırlar. Plastik gaz tutucularla özdeşirler.
- b) Orta ve yüksek basınçlı gaz tutucular (8-10bar/200bar), küçük ölçekli tesislerde kullanılmaktadırlar. Yüksek basınçlı gaz deposu çelik silindirler içindedir (taşıtların yakıt depoları gibi).

5.1.1. Yüzer Çatılı Hindistan Tipi Biyoreaktörler (KVIC)

KVIC tipi reaktörler esas olarak çürüme ve gaz toplama bölümü olmak üzere iki kısımdan ibarettir (Şekil 14) Reaktör yer altına yerleştirilir. Böylece reaktördeki ısı değişiminin meteorolojik şartlardan minimum etkilenmesi sağlanır. Reaktörün tabanı ve duvarları briket veya betonarme malzemelerden yapılabilir. Besleme atığının yapısına bağlı olarak derinliği

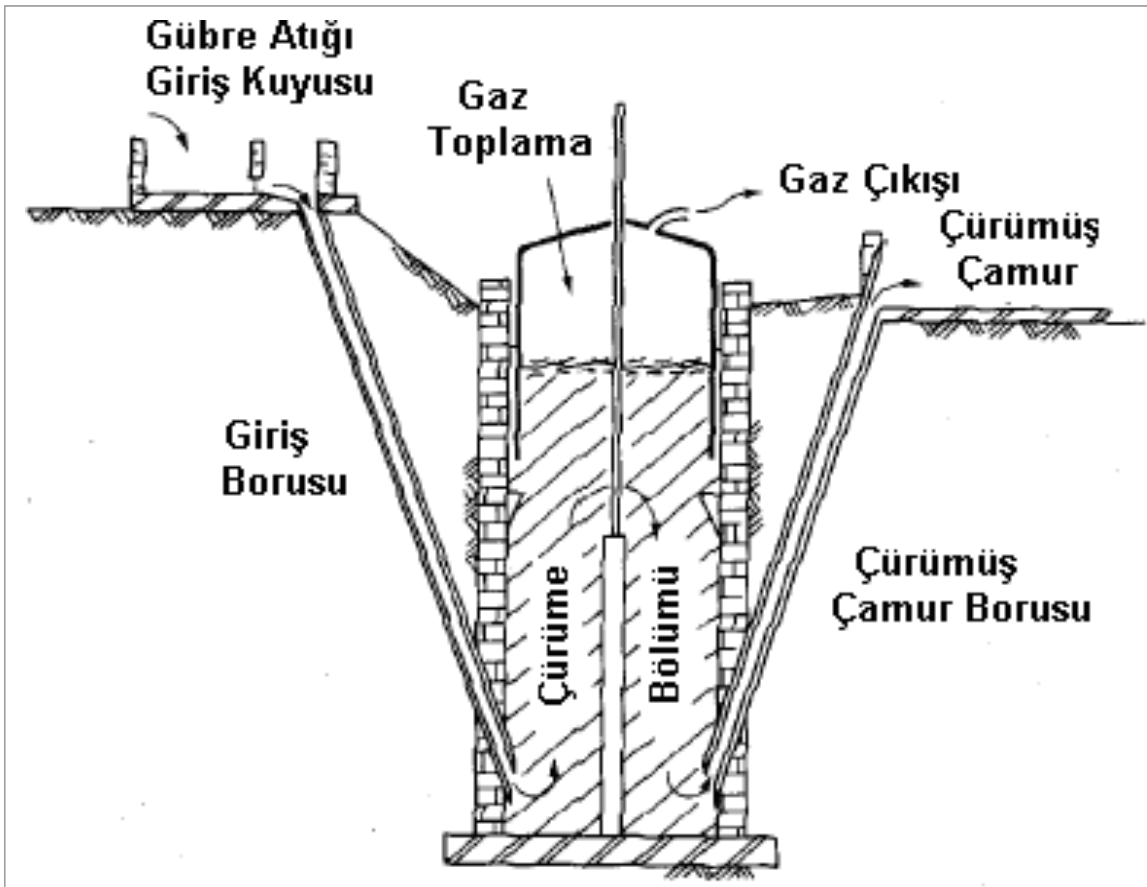
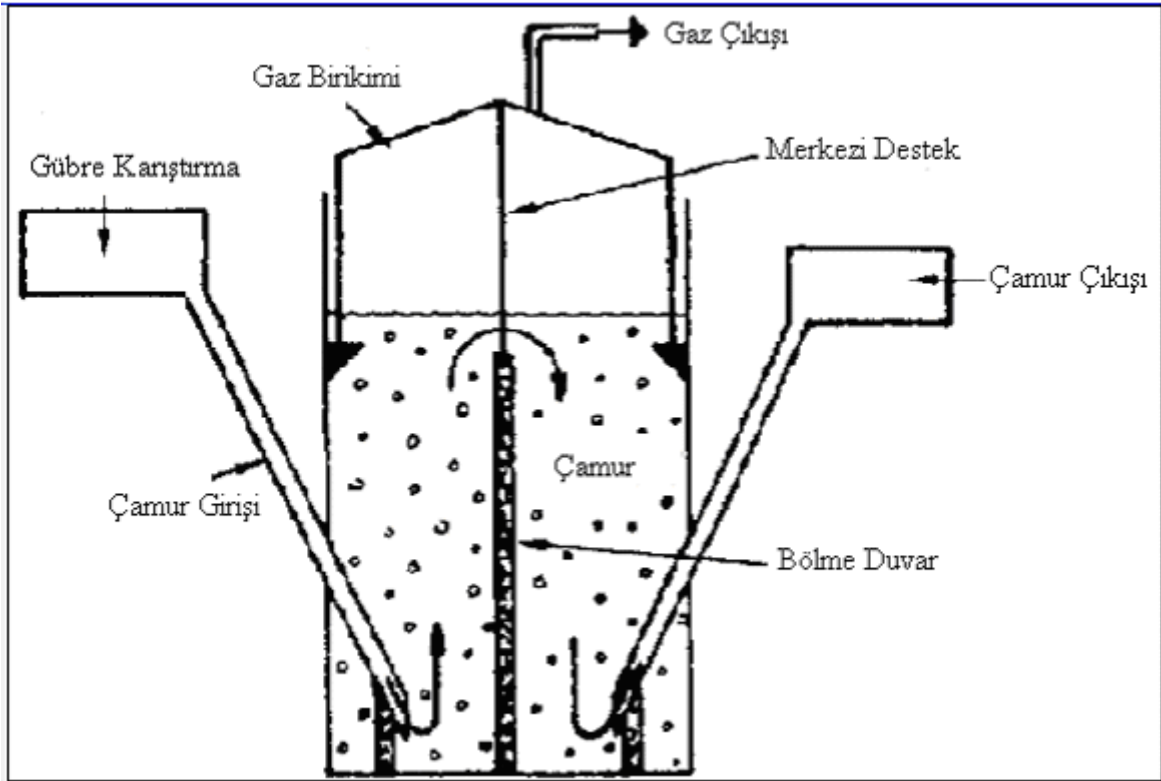
3.5 metre ile 6 metre, çapı ise 1.3 m ile 6 m arasında değişir. Çoğu reaktörlerde gaz üretim kapasitesi 6 ila 8 m³/gün ve gaz üretim hızı ise 0.32-0.34 m³/m³ reaktör olarak değişir. Reaktöre gelen çamuru giden çamurdan ayıran merkezi bir duvar vardır. Besleme yarı sürekli olarak yapılmaktadır. Gelen kısmın hacmi çıkan kısmın hacmine eşittir.

Gaz toplama bölümünün malzemesi genelde yumuşak demirdir. Korozyon probleminden dolayı bu bölümde son zamanlarda polietilen ve fiberglastan malzemeler kullanılmaktadır. Gaz toplama bölümünün hacmi, reaktörde günlük olarak oluşacak gaz miktarının en az

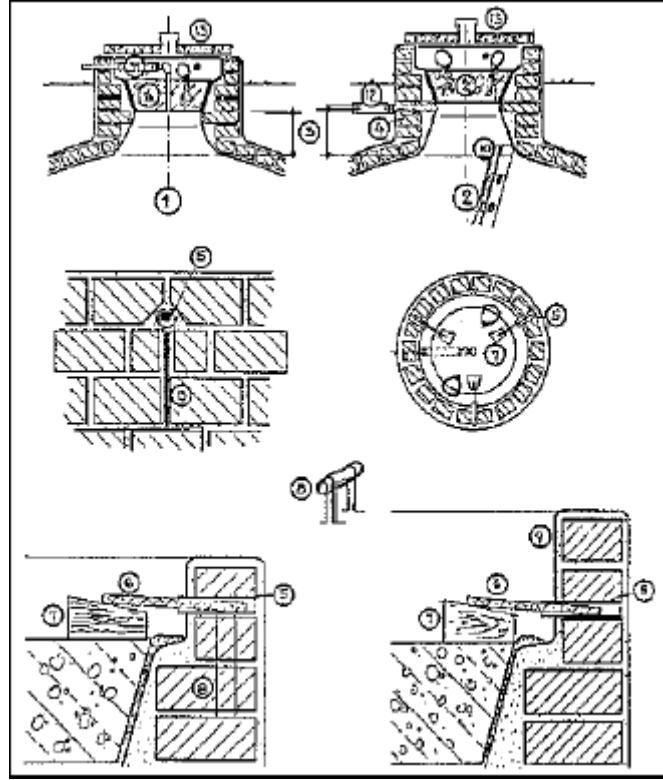
%50'sini depolayacak kapasitede olmalıdır. Reaktörde günlük oluşan gaz, gaz toplama bölümünde toplanır. Gaz basıncı, çatı ağırlığı ile eşdeğer olmalıdır. Çatılar korozyona dayanıklı demir destekli fiberglas veya plastik destekli ham demirden yapılabilir. Genelde çatılar demir destekli fiberglas plastiklerden yapılmaktadır. Gaz toplayıcı ağırlığı toplama alanında 90 kg/m² basınç verecek şekilde dizayn edilmelidir. Gaz depolama bölümü basıncı 4- 8 cm H₂O arasında değişir. Bu basınç, gazın ev aletlerine girmesini sağlaması için yeterlidir. Ham demir inşaat maliyetinin %40-50'sini oluştururken demir destekli fiberglas plastikler %5-10'unu oluşturmaktadır.

Bu tür reaktörlerde hidrolik bekleme süresi bölgenin meteorolojik şartlarına ve reaktörün yalıtılmasına bağlı olarak 30- 50 gün arasında değişir. Sıcak iklim bölgelerinde bu süre kısalabilir.

Genelde sığır gübresi besi maddesi olarak kullanılır. Su sümbülü gibi maddelerde gübre içine karıştırılarak kullanılabilir. Sulandırılmış gübrenin reaktöre giriş kısmı çıkıştan daha yüksek olmalıdır. Böylece çürütülmüş çamur üzerine hidrostatik basınç oluşumu sağlanmış olur. Reaktör iki bölüme ayrılarak taze gübre ile sindirilmiş gübrenin kısa devre yapması önlenir. Reaktör ortamında akışkanlık sağlanır. Çürümüş çamur yükselerek diğer bölüme geçer. Bu modelin benzeri Hindistan'da 80.000 adet kurulu durumdadır.



Şekil 14. Yüzer Çatılı Biyoreaktörler

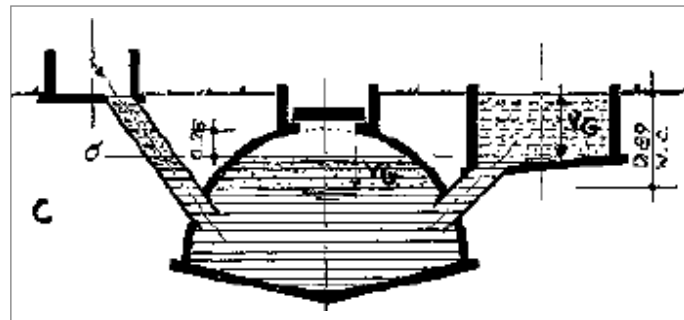


Şekil 17. Sabit Çatılı Reaktörlerde Çatı Detayı

Sıvı gübre giriş borusunun iç çapı 10 cm, çıkış borusunun iç çapı ise 15 cm olmalıdır. Çıkış borusu daima giriş borusundan daha geniş olmalıdır.

Bu tür reaktörlere besi maddesi beslenmesi, domuz veya büyük baş hayvan gübresi, su sümbülü, insan dışkısı ve tarımsal atıklar verilebilir. Karışımda C/N oranı istenen limitleri sağlamalıdır.

Sıkıştırma tankının taban seviyesi çürüme tankının dolu haldeki seviyesinde olmalıdır. Sıkıştırma tankı hacmi gaz depolama hacmine eşit olmalıdır. Çürüme tankının dolu olduğu seviye ile biyogazın deşarj kısmı arasındaki mesafe yaklaşık olarak 25 cm olmalıdır. Dolayısıyla sıkıştırma tankı yüksekliği doğru olarak seçilmelidir.

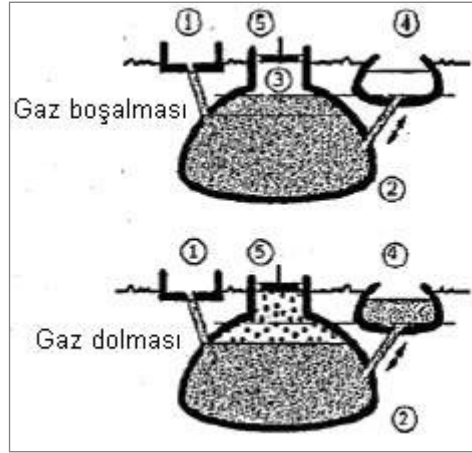


Şekil 18. Sıkıştırma Tankı Yüksekliğinin Doğru Seçilmesi

Gaz üretim hızı, 25 °C sıcaklıkta 60 gün hidrolik bekleme süresinde günde birim hacim reaktörden 0.1-0.2 hacim biyogaz üretilir. Reaktörde gaz basıncı 120 cm H₂O eşit veya altındadır. Burada anahtar nokta

reaktör çapının silindirin yüksekliğine oranı 2:1 olmalıdır. Bu oldukça yüksek yapı malzemesi gerektirir. Bu yüzden reaktörün tabanının ve tepesinin yarı silindirik olması bu yüzden. Biyogazın sabit hızda gelmesi isteniyorsa gaz basıncı regülatörü veya yüzebilir gaz haznesi kullanılmalıdır. Gaz depolama bölümü ve bağlantı elamanları gaz sızdırmaz olmalıdır.

Şekil 19'da görüldüğü gibi oluşan biyogaz reaktörün üst kısmında birikir. Gaz birikmeye başladıkça tanktaki çamurla yer değiştirir. Gaz basıncı iki çamur tankında seviyedeki artışla orantılı olarak biyogaz miktarı artar.



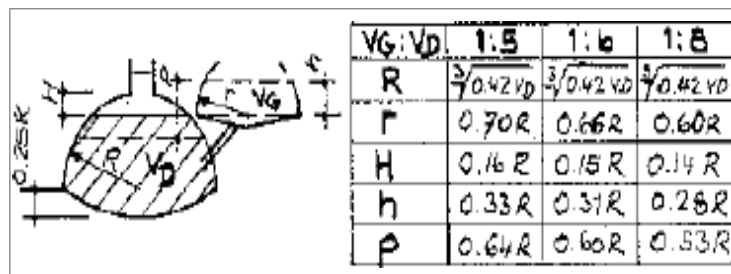
Şekil 19. Sabit Çatılı Reaktörlerde Gaz Dolması ve Boşalması

(1.Karıştırma havuzu, 2. Reaktör, 3. Gaz toplama bölümü,4.Yer değiştirme havuzu, 5. Gaz borusu)
Çinde 5 milyon adet 6, 8, 10 m³ lük bu model reaktör bulunmaktadır. En küçük boyutlu olan 5 m³ dür. 200 m³ kapasiteli tesisler yapılabilir.

Bu tür reaktörler yarı sürekli olarak beslenir. Günde bir defa besleme yeterlidir.

Sığır veya domuz gübreleri için hidrolik bekleme süresi 35-40 gündür. Toplam katı madde konsantrasyonu %5-8 veya %7 dir.

Sabit çatılı reaktörlerin boyutlandırılması ile ilgili veriler Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 20. Sabit Çatılı Reaktörün Boyutlandırılması

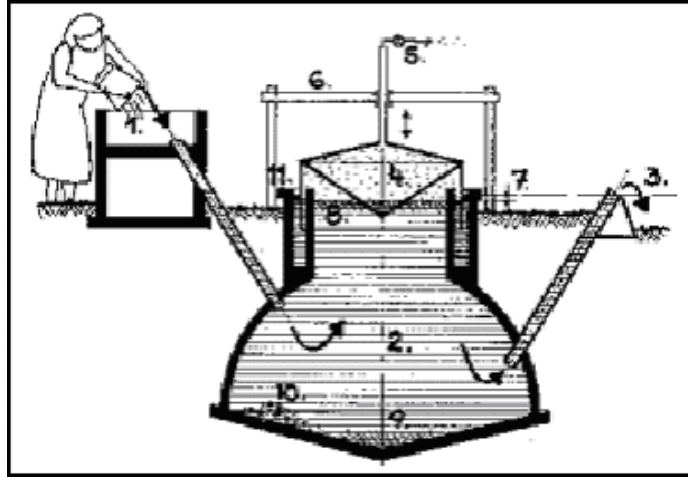
5.1.3. Yüzer Çatı Tipi Reaktörler

Yüzer çatı tipi reaktörler çürüme bölümü ile gaz depolama bölümünden oluşmaktadır. Gaz toplama bölümü su içinde hareket halindedir. Gaz oluşukça gaz toplama bölümü yukarı doğru hareket eder. Gaz tüketildikçe bölüm aşağı doğru iner (Şekil 21).

Gaz toplama bölümü normal olarak metaldir. Çatı malzemesi genellikle 2 veya 2.5 mm et kalınlığında çelik olabilir. Çatı malzemesi olarak son zamanlarda cam elyafı fiberle güçlendirilmiş plastik veya yüksek yoğunluklu polietilen de kullanılmaktadır. Maliyeti çeliğe göre biraz pahalıdır. Gaz toplama bölümünü PVC'den yapmak sağlıklı değildir. Çünkü PVC zamanla bozunmaktadır. Gaz toplama bölümü balon tipinde de yapılabilir. Böylece inşaat maliyeti düşürülebilir. Reaktör briket, taş veya betondan yapılmış gaz sızdırmaz odadan ibarettir. Reaktörler, silindirik, küresel ve elips şekilde inşa edilmektedir. Bu tür reaktörler kolayca inşa edilebilmektedir.

Bu tür reaktörlerin boyutları küçük kapasiteliler için 5-15 m³ arasında değişir. Sanayi tipi tesislerde ise 20-100 m³ arasında değişmektedir. Bu tür reaktörlerde ana besin maddesi sığır gübresidir. Sığır gübresi ile birlikte su sümbülü de besi maddesi olarak kullanılabilir.

Bu tür tesisleri kurmak kolaydır. Biyogazı sabit basınçta depolamak mümkündür. Gaz sızdırmazlık problemi yoktur. Gaz toplama bölümü kolayca boyanabilir. Gaz toplama bölümü mavi veya beyaz yerine siyah veya kırmızıya boyanırsa gaz üretimi daha fazla olabilir. Çünkü güneş ışığının absorblanması ile gaz üretimi artar.

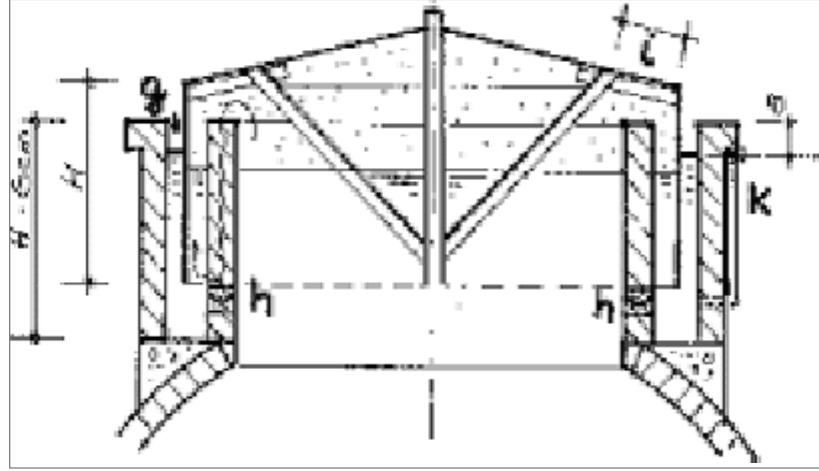


Şekil 21. Hareketli Kubbe Tipi Reaktör

(1. Çamur karıştırma ve çamur girişi, 2.Reaktör, 3. Çürümüş çamur çıkışı, 4. Gaz depolama bölümü, 5. Vanalı gaz çıkış borusu, 6. Gaz hücresi destek yapısı, 7. Gaz basıncındaki fark, 8. Yüzebilir atıklar, 9. Çamur birikintisi, 10. Taş, kum birikintisi, 11. Yağ filmli su ceketini)

Yüzebilir çatı su ceketini içinde kolayca yukarı aşağı hareket edebilmelidir. Su ceketini yüzeye kadar su ile doldurulmalıdır. Dış kısma suyun buharlaşmasını önlemek için kullanılmış yağ konmalıdır. Ceket içi sürekli kontrol edilerek su ile dolu tutulmalıdır. Aksi durumda gaz toplama yüzeyi azalır. Su ceketinin

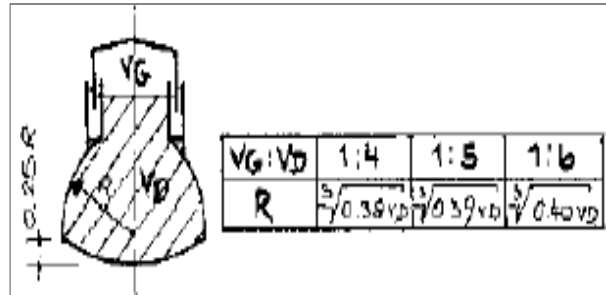
içinin kolayca temizlenebilmesi için yeterli ölçüde geniş olmalıdır. Yağmur suyunun uzaklaştırılmasına yardım etmelidir.



Şekil 22. Yüzer Çatımın Detayı

Gaz toplama boruları çelik, bakır, lastik veya set PVC olabilir. Lastik ve PVC'ler güneş ışığından etkilenerek çabuk bozunabilir.

Yüzer çatılı reaktörlerin boyutlandırılması Şekil 23'de verilmiştir.



Şekil 23. Sabit Çatılı Reaktörün Boyutlandırılması

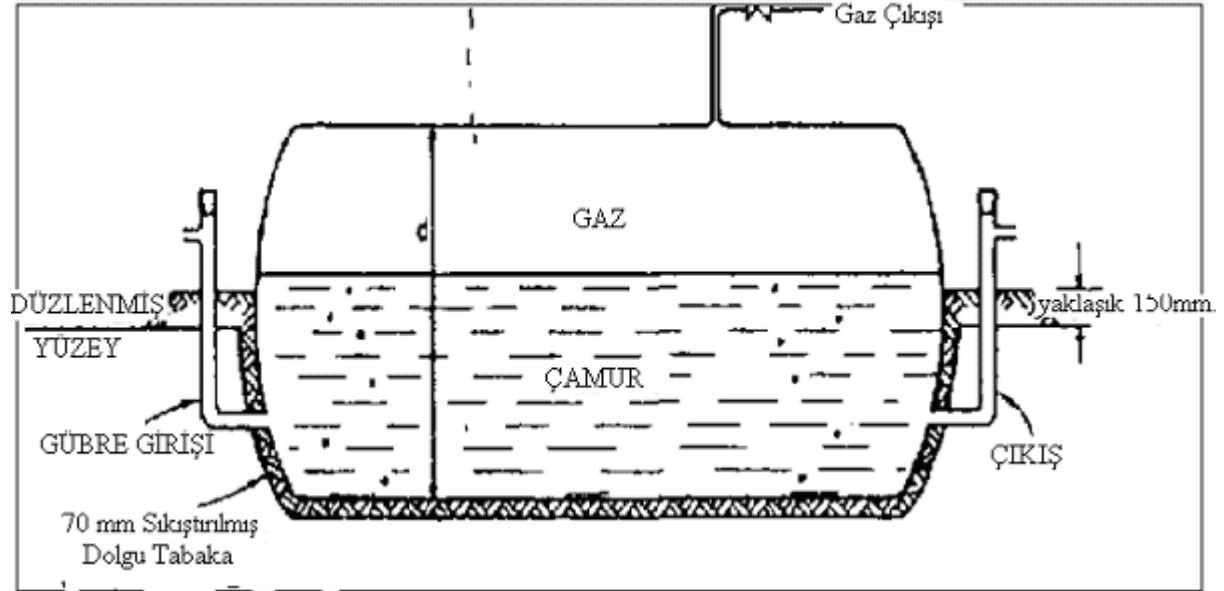
5.1.4. Torba Tipi (Tayvan Çin) Reaktörler

Bu tür reaktörler PVC veya kuvvetli naylon kumaş kaplı neoprenden yapılmış (uzunluk/çap oranı: 3:14) olan silindirlere dir. U tür reaktörler oldukça hafiftir. 50 m³ membran reaktörlerin ağırlığı 270 kg'dır (Şekil 24). Hayvan ahırına yakın yere kolayca inşa edilebilir ve yere belli derinlikte inşa edilmesi gereklidir. Besleme girişi, reaktörde yaklaşık 40 cm H₂O basıncını muhafaza edecek şekilde düzenlenir. Bu tür reaktörler, biyogazın ayrı olarak depolandığı, piston akımlı bir reaktör (karıştırmasız) gibi hareket eder. Kolay inşa edildiğinden dolayı Çin'de torba tipi reaktörlerin birim m³ bedeli 25 ila 30 dolardır. Dolayısıyla torba tipi reaktörler çok rekabet edebilir durumdadır. Ekonomik, dayanıklı ve kolay inşa edilebilir özelliğinden dolayı Çin'de bu reaktörler hızlı şekilde gelişmeye başlamıştır. Kore, Tayvan ve Fiji'de yaygın kullanılan reaktörlerden biridir.

Domuz atıkları için bu tür reaktörlerde bekleme süresi sıcak iklim bölgeleri için 20 gün, (30 ila 35 °C) soğuk iklim bölgelerinde (15-20 °C) 60 gündür. Reaktör duvarı ince olduğundan havaya doğru olan açık

kısmı, güneş ışığı ile kolayca ısınabilir. Böylece bekleme süresi kısaltılabilir. Dolayısıyla gaz üretimi %50-300 artırılabilir (0.24-0.6 gaz hacmi/reaktör hacmi/gün).

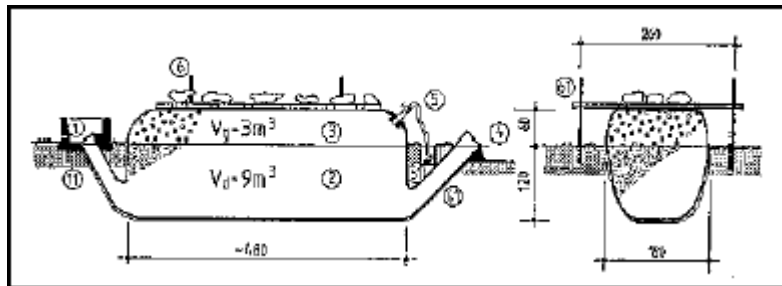
Yazın Kore'de gaz üretim hızı, 0.7 gaz hacmi/reaktör hacmi/gün iken, kışın bu değer 0.14 gaz hacmi/reaktör hacmi/güne düşmektedir.



Şekil 24 Torba Tipi (Tayvan-Çin) Reaktörler

5.1.5. Balon Tipi Reaktörler

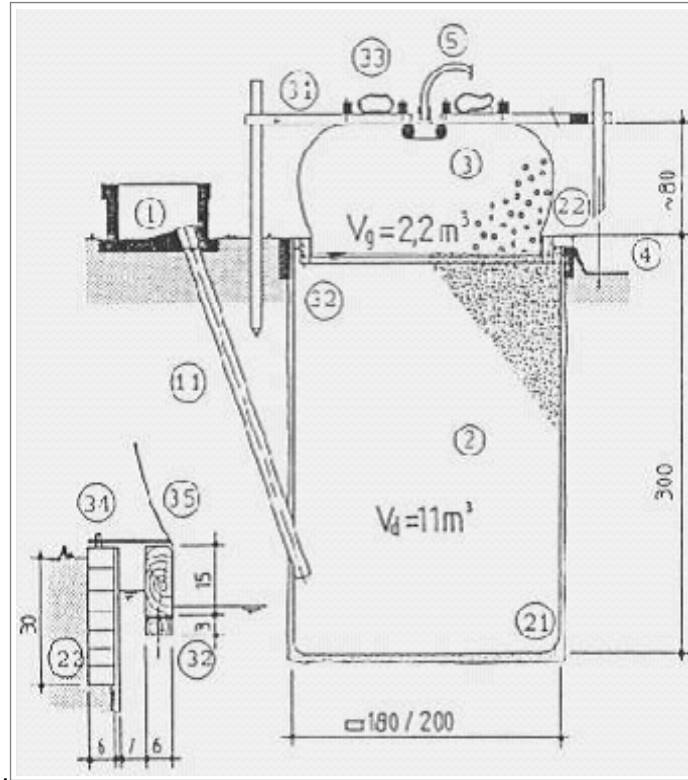
Balon tipi reaktörler plastik veya lastik karışımı malzemelerden yapılmaktadır. Gaz reaktörün üst kısmında depolanır. Giriş ve çıkış balonunun yüzeyine direk bağlıdır. Gaz balon yüzeyinde biriktiği zaman yerleşmeye başlar ve gaz basıncı artar. Reaktörde gaz dolduğu zaman tesis sabit çatılı reaktör gibi çalışır. Balon şişirilmemelidir. Çok elastik değildir. Gaz depolama bölümünde yeterli basınç ağırlık esasına göre sağlanır. Reaktörde aşırı basınç oluşumu önlenmelidir. Aksi durumda bu olay reaktör malzemesine zarar verebilir. Bunun için emniyet vanası kullanılmalıdır. Fermantasyon çamuru balon yüzeyinin hareketi ile hafifçe sallanabilir. Bu işlem çürüme için çok uygundur. (Şekil 25) Balon malzemesi güneş ışığına karşı dayanıklı olmalıdır. Faydalı kullanım ömrü 2-5 yıldır. Plastik balonların ömrü, mekanik araçlardan hasar görebileceği için, nispeten daha kısadır. Maliyeti oldukça düşüktür.



Şekil 25. Yatay Balon Tipi Reaktör

(1. Karıştırma haznesi, 11. Doldurma Borusu, 2.Reaktör, 3. Gaz Depolayıcı, 4. Çamur Depolama, 41. Çıkış Borusu, 5.Gaz Borusu, 51. Su Tutucu, 6. Ağır Yük, 61. Destek Çerçeve)

Duvar tipi reaktörler, stabil topraklarda (kırmızı kil) gerekli değildir (Şekil 26). Sıvama işleminden kaçınmak için ince çimento tabakası ile çukur astarlamak yeterlidir. Çukurun uçlarını beton halkaları ile güçlendirmek gerekir. Böylece halkalar gaz toplayıcı için kızak gibi hizmet verir. Gaz toplama bölümü demir veya plastik levhalardan olabilir. Eğer plastik levha kullanılacaksa plastik levha çamur içinde aşağı doğru uzanan ve sınırları belirlenmiş dairesel tahta çerçeveye bağlanır. Gaz toplama bölümünde yeterli gaz basıncı sağlanabilmelidir. Yeterli gaz basıncı gaz haznesi üzerine yeterli ağırlık konarak başarılabılır. Dairesel duvardaki oluklar çürümüş çamur çıkışı olarak kullanılabilir. Tesisin, su tabakası üzerindeki geçirimsiz tabaka üzerinde inşa edilmesi tavsiye edilir. Yüzer çatılı reaktörlere göre inşaat maliyeti 1/5 oranında daha düşüktür. Faydalı kullanım ömrü kısadır.



Şekil 26. Balon Tipi Biyoreaktör

(1.Karıştırma haznesi, 11. Doldurma borusu, 2.Reaktör, 21. Rendering, 22. Çevresel duvar, 3. Plastik levha gaz toplayıcı, 31.Cuide çerçeve, 32. Tahta çerçeve, 33. Ağırlık, 34. Çerçeve sabitleme yeri, 35. Plastik levhalama, 4. Çamur depolama, 41. Aşırı debi, 5. Gaz borusu)

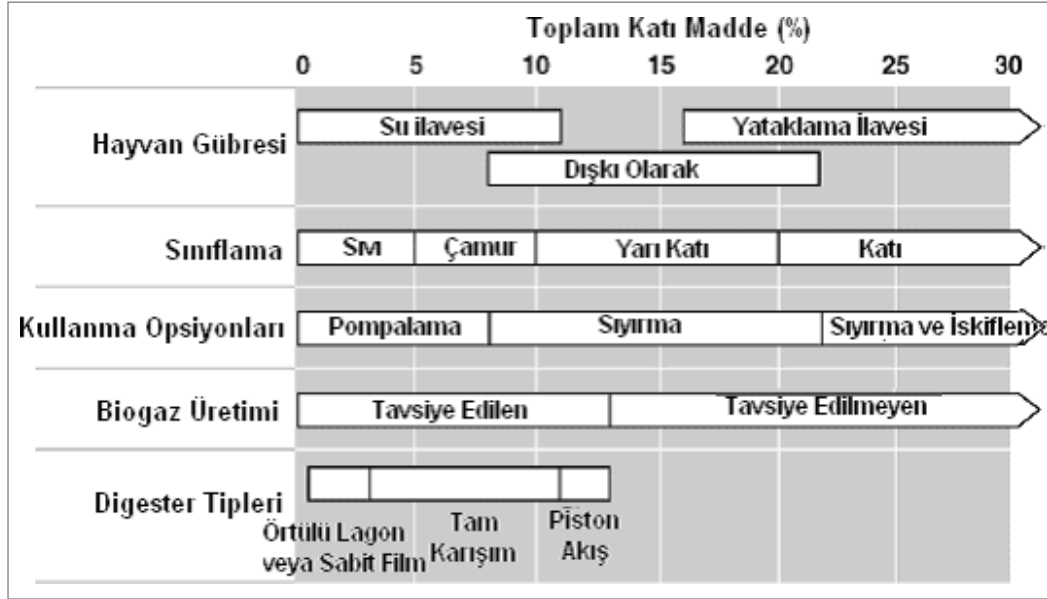
5.2. Büyük Kapasiteli Reaktörler

Hayvan gübrelerinin oluştuğu tesisler günlük olarak yıkanmalıdır. Yıkama sonucu oluşan sular bir tankta toplanmalı ve daha sonra bir pompa ile reaktöre verilmelidir.

Büyük kapasiteli hayvan gübresinin arıtılmasında genel olarak üç tür reaktör kullanılmaktadır.

Bunlar Tam karışımli reaktörler, piston akımlı reaktörler ve lagun tipi reaktörlerdir.

Büyük kapasiteli reaktörlerde kullanılacak hayvan gübresi özellikleri ve çamur besleme sistemleri Şekil 27'de verilmiştir.



Şekil 27. Çamur Karakteri Ve Biyoreaktör Özellikleri

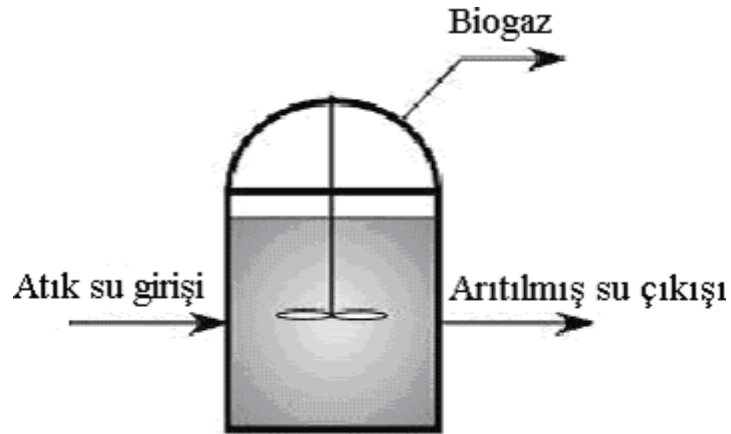
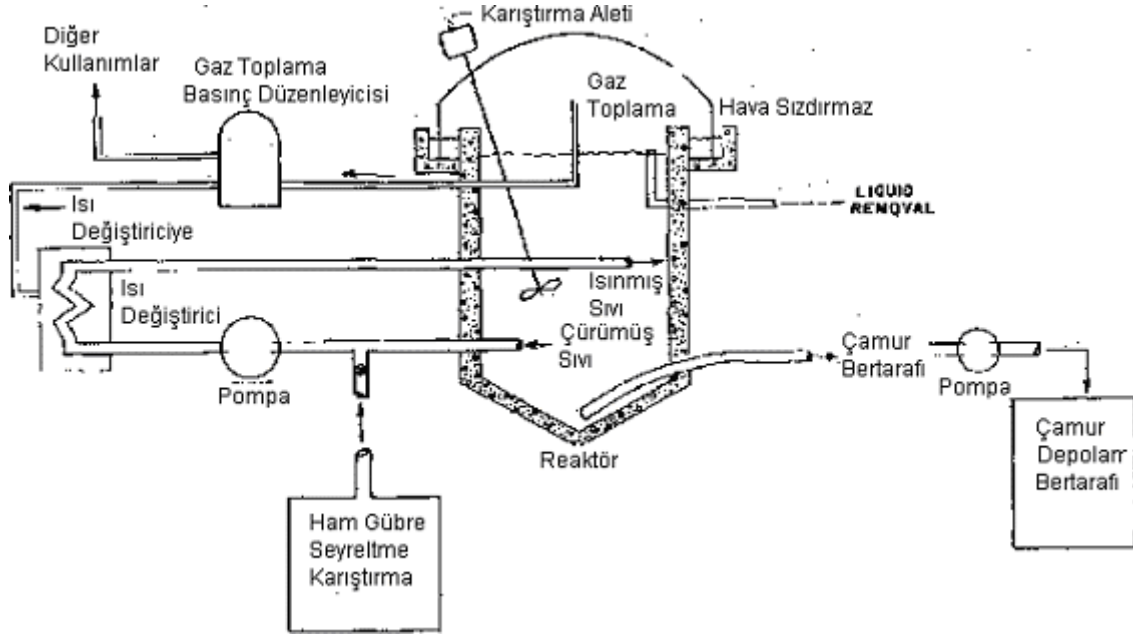
5.2.1. Tam Karışımli Reaktörler

Tam karışımli reaktörlerde çamur ısıtılarak reaktöre verilmektedir. Bu tür reaktörlerde yeterli uçucu organik katı madde konsantrasyonu %3-10 arasında değişen atıklar kullanılır. Reaktörler geniş, dikey ve sadece betonarme veya çelik silindirlere yapılmış konteynerlerdir. Reaktör tavanı düz veya konik olabilir. Reaktöre bir karıştırıcı konarak bakterilerin besi maddeleri ile homojen teması sağlanır. Çamur, karıştırma havuzunda toplanır. Burada gerekirse seyretme yapılır. Çamur reaktöre verilmeden önce gübre içindeki yabancı ve istenmeyen maddelerin çökmesi sağlanır ve ısıtılır. Çamur reaktöre ya pompa ya da cazibe ile akacak şekilde verilir. Reaktöre verilen çamur reaktörde karıştırılır. Karıştırma ile;

1. homojen bir ortam oluşturulur,
2. katı maddelerin askıda kalmaları sağlanır. Karıştırma ve ısıtma verimliliği artırır. Tam karışımli reaktörler ya mesofilik ya da termofilik şartlarda çalıştırılır. Tesisten elde edilen biyogazın bir kısmı reaktörü ısıtmak için kullanılır. Hidrolik bekleme süresi 10 ila 20 gün arasında değişir.

Anaerobik şartları muhafaza etmek için reaktör üzeri sabit olarak kapatılır. Biyogaz reaktörden alınır. Arıtılır ve kullanıma sevk edilir. Çoğu tam karışımli reaktörlerden elde edilen biyogazdan elektrik enerjisi üretilmektedir. Hem reaktör hemde karıştırma ünitesi motor soğutma sisteminden alınan atık ısı ile ısıtılmaktadır.

Tam karışımli reaktörlerin hacmi 100- 2000 m³ arasında değişmektedir. Daha büyük hacimli çamurlar için birden fazla reaktör kullanılabilir.



Şekil 28. Tam Karışımli Reaktörler

Tam karışımli 2 831 684 lt biyogaz ve 135 kW enerji üretim kapasiteli bir reaktörün görüntüsü Şekil 29'da verilmiştir.



Şekil 29. Tam Karışımli Anaerobik Arıtma Tesislerinden Görüntüler

5.2.2. Lagun Tipi Reaktörler

Anaerobik lagunlar, üstü örtülü havuzlardır. Gübre bir uçtan girer ve çürüme işleminden sonra diğer uçtan çıkar. Lagunlar genellikle psikofilik veya toprak sıcaklığına yakın sıcaklık şartlarında çalıştırılır. Dolayısıyla reaksiyon hızı, mevsimsel sıcaklık değişiminden etkilenir. Yazın kış aylarına göre %35 daha fazla biyogaz elde edilmektedir. Bu tür reaktörlerde katı madde konsantrasyonu %2'dir. Lagun tipi reaktörlerde katı madde konsantrasyonu düşük atık sularla çalışıldığı için domuz gübresi ile mandıra atıksularının bu tür sistemlerle arıtılması daha olumlu sonuçlar vermektedir. Hayvan gübresi bu tür tesislerde arıtılacaksa katı maddeler önceden arıtılmalıdır. Bu durum enerji potansiyelini önemli ölçüde azaltır. (Şekil 30) Isıtmasız lagun tipi reaktörlerde HBS 60 günü aşmaktadır.

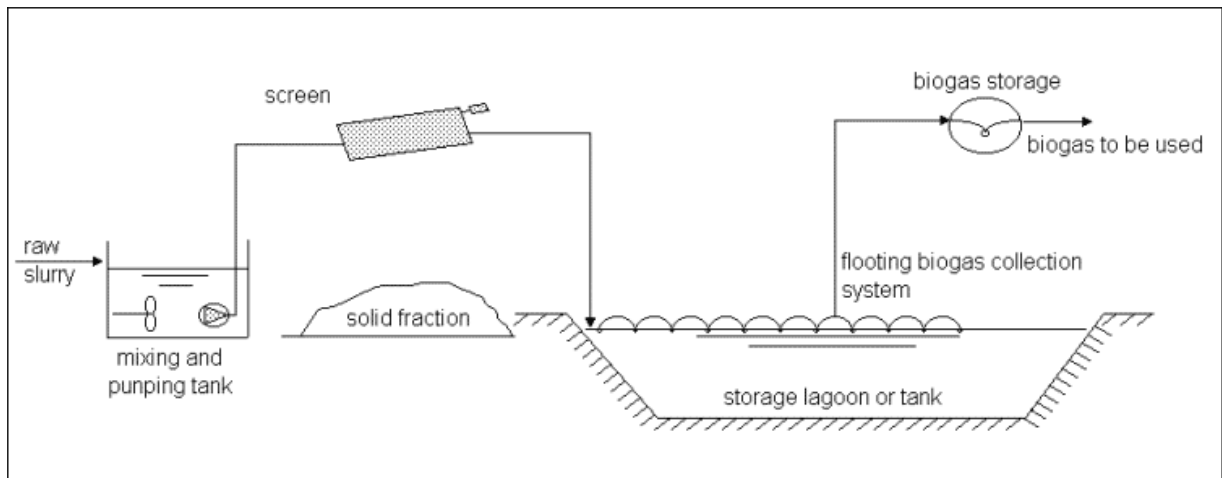
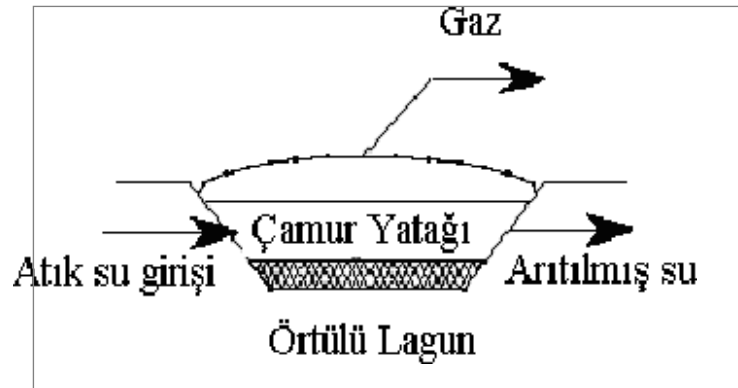
Reaktör sıcaklığı düşük olduğu zaman organik maddelerin biyogaza dönüşümü de düşük olmaktadır.

Çamur içindeki kum ve kil gibi çökebilir katı maddeler reaktöre verilmeden önce karıştırma ünitesinde bertaraf edilmelidir. Ayrıca büyük baş hayvan atıklarında bol miktarda bulunan lignin ve seluloz gibi malzemelerin anaerobik şartlarda bozunması zor olduğu için önceden giderilmesinde fayda vardır. Böylece lagün içinde katı madde birikmesi daha az olur.

Lagünler, dairesel, kare, dikdörtgen ve başka şekillerde olabilirler. Dikdörtgen lagünlarda atıkların düzgün şekilde dağılması için uzunluk /genişlik oranı 4:1'i aşmamalıdır. Lagünlarda anaerobik şartların sağlanması için reaktör derinliği en az 2 metre olmalıdır. Maksimum derinlik ise toprak özelliğine ve yer altı su seviyesine bağlı olarak 6 metre olabilir. Böylece daha az yüzey alanı gerekir. Bazı ülkelerde lagün duvarları kısmen poliüretan köpük (5 cm et kalınlığında) ve kısmen toprak seti ile yalıtılmaktadır.

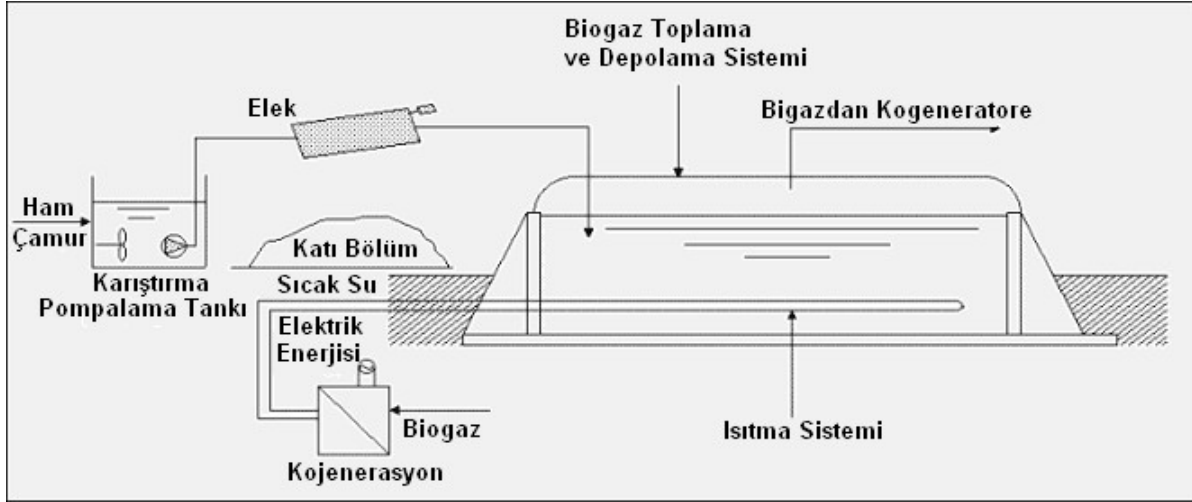
Lagünlerin üzerinde kullanılan yüzer çatı örtüsü malzemeler geçirimsiz plastik membranlardır. Yüzer çatı örtü altında oluşan gaz toplanır. Yüzer çatı örtüsü olarak kullanılan membran malzemesi genellikle HDPE veya polipropilendir. Yüzer çatı örtüsü altında toplanan biyogaz belli basınca ulaştığında gaz pompası ile kullanıma gönderilir.

Anaerobik lagünlerin en büyük avantajı düşük maliyetli olmasıdır. Düşük maliyet düşük enerji üretimi ve daha az verimle arıtılmış su kalitesi ile dengelenir. Lagünler sık aralıklarla temizlenmez. Temizleme esnasında koku şikayeti olur.



Şekil 30. Üstü Örtülü Lagünden Görüntü

Bazı lagunlar ısıtılmalıdır. Buna örnek bir lagun tipi Şekil 31’de verilmiştir.



Şekil 31. Isıtılmalı ve Çatısı Örtülü Lagundan Görüntü

5.2.3. Piston Akımlı Reaktörler

Piston akımlı reaktörler anaerobik çürümenin en basit şekli ve en ucuz olanıdır. Piston akımlı reaktörler yatay veya dikey şekilde olabilir. Çoğunlukla yatay, dikdörtgen modeller kullanılmaktadır. Gübre ahırdan sıyırma sistemi ile toplanır. Atık su reaktörün bir tarafından girer ve çürüme işleminden sonra diğer taraftan çıkar. Girişler korozyona, tıkanmaya, donma hasarına ve gaz kaybına dayanıklı olarak dizayn edilmelidir. Reaktör girişi, reaktördeki hakim su seviyesinin altında olmalıdır. Organik maddelerin bir kısmı bakteriyel kütleyle dönüşür. Bu tür reaktörlerde katı madde konsantrasyonu %11-14 arasında değişmektedir. Yüksek konsantrasyonda katı madde ile çalışılabileceği için geniş getiren hayvan gübresi artırılabilir. Domuz ve mandıra atıklarını arıtmak için uygun değildir (Şekil 32).

Dikdörtgen tipi olan reaktörlerde uzunluk, genişlik ve derinlikten daha büyük olmalıdır. Reaktör uzunluğunun genişliğe oranı 3.5:1 ila 5:1 arasında değişir. Derinlik ise en az 2.5 metre olmalıdır. Genişliğin derinliğe oranı ise 2.5:1den küçük olmalıdır. Taban ve duvarlar beton veya geçirimsiz membran olabilir. Özellikle zemin düz olmalıdır. Reaktör yüzeyi, duvarları ve tabanı ısı kaybını minimize etmek için yalıtılmalıdır.

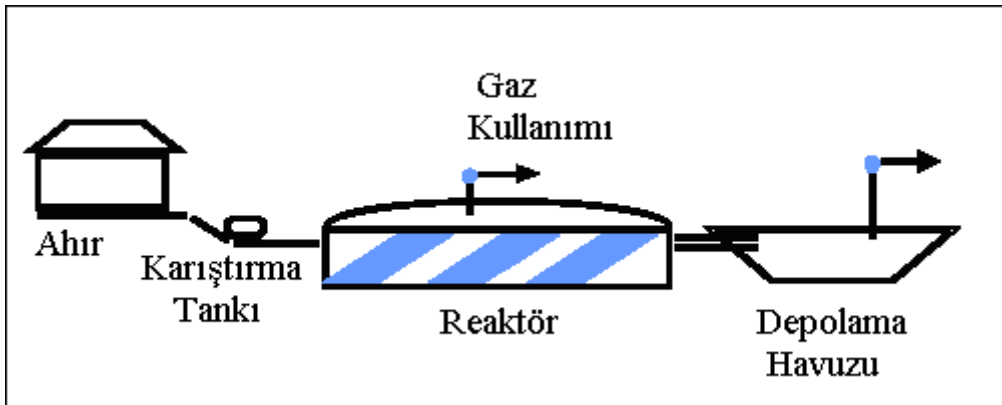
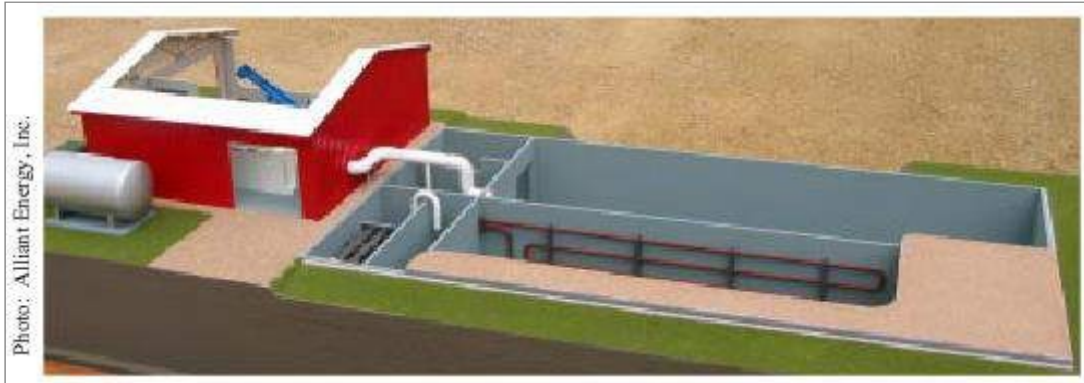
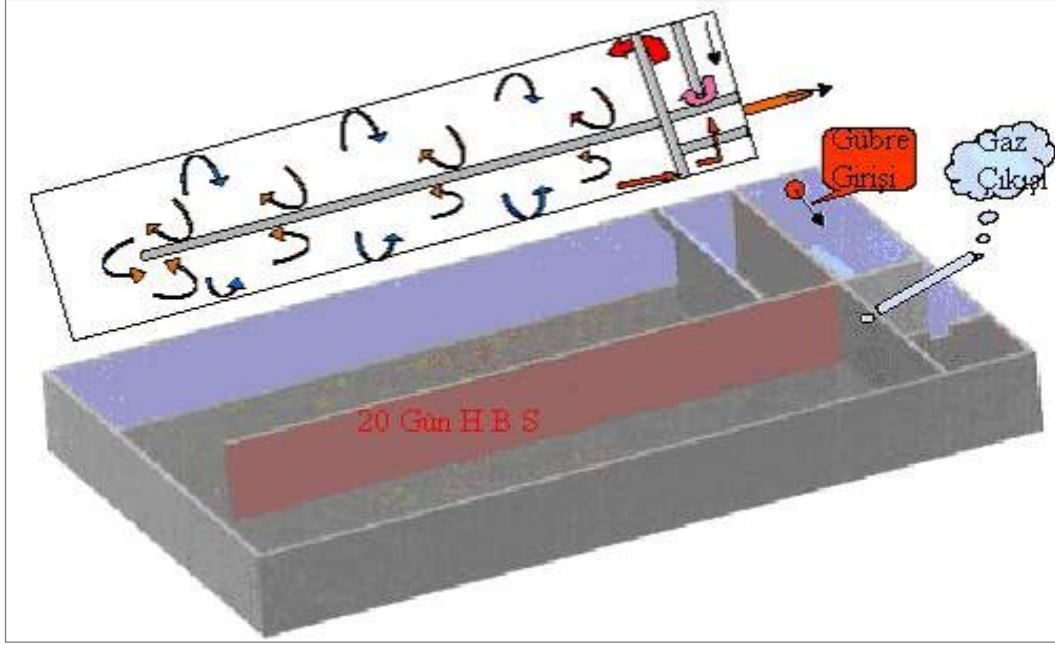
Piston akımlı reaktörler genellikle mesofilik şartlarda çalıştırılır. Hidrolik bekleme süreleri genelde 20 gündür. Katı madde bekleme süresi ise 25-30 gündür.

Piston akımlı reaktörlerde kum ve kil gibi maddeler reaktör tabanına çökelebileceğinden önceden giderilmelidir. Fiberler ise reaktör yüzeyinde yüzebilir.

Piston akımlı reaktörlerde yüzer çatı örtüsü malzemesi olarak esnek HDPE ve polipropilen kullanılır. Sabit çatı malzemesi olarak ise beton veya galvaniz saç kullanılmaktadır.

Reaktörde oluşan katı maddeler zaman zaman alınmalıdır. Temizleme işlemi kolay bir işlem değildir.

Bu tür reaktörler, reaktör içinden geçen sıcak su boruları siyah demir, çelik, bakır veya alüminyumdan yapılmış ısı değiştiricilerle ısıtılır. Isı değiştirici olarak galvaniz boru kullanılmamalıdır. Böylece yıl boyunca sabit sıcaklık elde edilebilir. Temizleme işlemi esnasında ısıtıcılarında temizlenmesi ve tamir edilmesi gereklidir.



Şekil 32. Piston Akımlı Reaktörler

6. BİYOGAZ BİLEŞİMİ VE YÖNETİMİ

Her yıl organik maddelerin mikro organizmalar vasıtasıyla anaerobik şartlarda çürümesi sonucu 590-880 milyon ton metan gazı atmosfere atılmaktadır. Atmosfere atılan metan gazının %90'nın biyojenik kaynaklar oluşturmaktadır. Geriye kalanlar fosil yakıtlardan ileri gelmektedir. Kuzey yarım kürede atmosferdeki metan konsantrasyonu takriben 1.65 ppm dir. Metan gazı karbon dioksit göre 21 kat daha fazla global ısınma potansiyeline sahiptir. Metan gazının yeryüzündeki sera etkisi %15 dir.

Doğal gaz ve biyogaz kompozisyonuna ait değerler Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Doğal Gaz ve Biyogazın Kompozisyonu

Parametreler	Birimleri	Doğal Gaz	Biyogaz
Metan	% Hacimce	92	55-70
Etan	“	5,1	0
Propan	“	1,8	0
Bütan	“	0,9	0
Pentan	“	0,3	0
CO ₂	“	0,61	35-45
Azot gazı	“	0,32	0-2
H ₂ S	mg/m ³	1	0-15.000
Amonyak (NH ₃)	mg/m ³	0	0-450
Su çığ noktası	oC	-5 de çığ noktası	Doygun
Net Kalorifik değer	MJ/NM ³		
	kWh/NM	39,2	23,3
	MJ/kg)	10,89	6,5
		48,4	20,2
Yoğunluk	Kg/NM ³	0.809	1,16
Nisbi Yoğunluk	(-)	0.625	0.863
Wobbe İndex (W)	mJ/nm ³	54,8	27,3

Metan gazı çok kıymetli bir yakıttır. Toksik değildir. Kokusuz bir gazdır. Havadan daha hafiftir. Yandığı zaman CO₂ ve suya dönüşür.

Karbon dioksit inert, renksiz, kokusuz ve havadan daha ağır bir gazdır. Karbon dioksit hafifçe toksit bir gazdır ve boğucudur. İşyerlerinde CO₂'e maruz kalma sınır değeri 5000 ppm dir. Biyogaz içinde CO₂ miktarı arttıkça kalorifik değeri düşer.

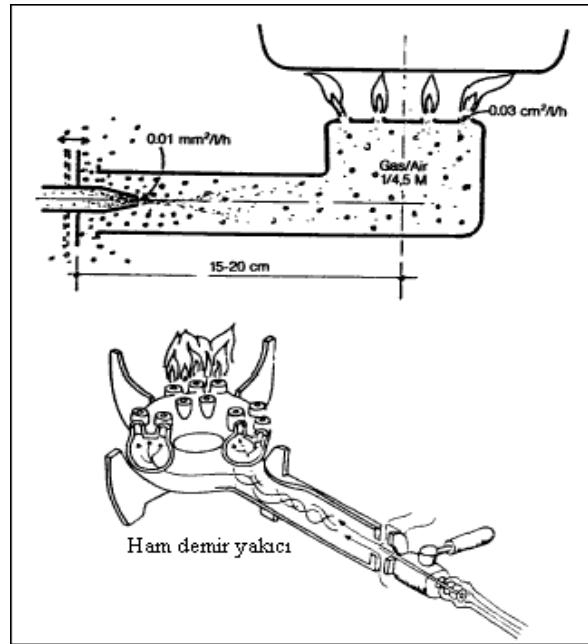
Amonyak havadan daha hafif bir gazdır. İş yeri ortamında 10 ppm'den fazla olması istenmez.

Biyogaz içinde NH₃ konsantrasyonu oldukça düşüktür.

Biyogaz içindeki toz, köpük, hidrojen sülfür ve karbon dioksit sırasıyla giderilir. Metan gazı kapalı bir ortamda %6-16 oranında hava ile karıştığında oldukça patlayıcı bir gaz haline dönüşür. Dolayısıyla bu gazın kullanıldığı yerde yeterli havalandırma olmalıdır.

Biyogazın kalorifik değeri yaklaşık 6 kWh/m³ veya 4.800-6.900 Kcal/m³ dür. Bu değer motorin ve benzinin kalorifik değerinin yarısıdır. Bir m³ biyogaz yaklaşık olarak 0.7 litre kerosen'e ve 4 kg oduna eşdeğerdir. Altı kişilik bir aile yemek pişirme ve aydınlatma amacı ile günde yaklaşık 2.9 m³ biyogaz tüketir.

Atmosferik tip yakıcılarda hava ile biyogazın önceden karıştırılması tavsiye edilir. Bu tür yakıtlar için daha az hava gereklidir. Yani bir litre bütan veya propan için sırasıyla 30.9, 23.8 litre hava gerekirken biyogaz için yaklaşık 5.8 litre hava yeterlidir. Yani daha az hava ile biyogazı yakmak mümkündür. Yemek pişirmede kullanılan ocakla ilgili detay Şekil 33'te verilmiştir.



Şekil 33. Yemek Pişirmede Kullanılan Biyogaz Ocakları

Biyogaz kullanılan aletlerde yeterli miktarda ve basınçta gaz temin edilmelidir. Pişirme aletleri için uygun basınç 20 cm H₂O'dır. Lambalar için gerekli basınç 10 cm H₂O'dır. Burada anahtar nokta; iki yetişkin sığırdan 4 kişilik bir ailenin yemek pişirme enerjisi sağlanabilir. Alev hızı, LPG'den daha düşük olduğu için yakıcı başlığında gaz hızı düşürülebilir. Bu durum delikli konik başlıkla sağlanabilir.

- 1 m³ biyogazla;
- 6 saat 60-100 watt'lık lambaya çalışır halde tutmak,
- 5-6 kişilik bir aile için 3 oğun yemek pişirmek,
- 0.7 kg benzine eşdeğer kalori elde etmek,
- Bir beygir gücündeki motoru 2 saat çalıştırmak,
- 1.25 kWh elektrik enerjisi elde etmek

mümkündür.

Özellikle motorinle çalışan sabit veya mobil iş makinelerde bazı düzenlemeler yapılarak % 80 oranında biyogaz ve %20 oranında motorin kullanmak mümkündür.

Büyük kapasiteli tesislerde biyogazdan elektrik enerjisi üretmek mümkündür.

Deponi gazının yanması sonucu bacadan atılacak kirletici emisyonu ile ilgili çeşitli ülkelerde sınır değerleri ile ilgili uygulamalar Tablo 10'da verilmiştir. Özellikle p depolama alanlarından elde edilen biyogazların yakılmasında kullanılacak aletlerin seçiminde Tablo 12'da verilen sınır değerlerini sağlaması istenebilir.

Tablo 12. p Depolama Alanında Oluşan Gazların Yakılması ile İlgili Sınır Değerleri

Kirleticiler	İngiltere (mg/m ³)	Almanya (mg/m ³)	Swiss (mg/m ³)
Karbon monoksit	50	50	60
Azot oksitler	150	200	80
Yanmamış Hidrokarbonlar	10	10	20
Toz	-	10	20
SO ₂	-	50	50
HCl	-	30	20
Cd	-	0,05	0,1
Hg	-	0,05	0,1
Dioksin ve Furanlar (TEQ)	-	0.18 (ng/m ³)	-

Danimarka'da biyogaz yakma tesisi ile ilgili sınırlama daha geniştir. Isıl gücü 120 kW'den küçük olan tesislerde yanma sonucu baca gazındaki karbon monoksit emisyonu 500 ppm, azot oksitler emisyonu 550 ppm ve yanmamış hidrokarbon emisyonu 1500 ppm'den yüksek olamaz. İspanyada ise biyogaz

yakma tesislerinde karbon monoksit emisyonu 625 ppm, azot oksitler 650 ppm ve kükürt dioksit 4300 ppm'den büyük olamaz.

Büyük boyutlu tesislerde biyogazdan elektrik enerjisi ve sıcak su üretimi söz konusudur. Burada kullanılan motor otto motorlardır. Elektrik retim verimliliği en az %34 olmalıdır. Biyogazı (%90) pistonla iyi bir Şekilde sıkıŐtırarak yakmak iēin ortalama %10 oranında mazot enjekte etmek iyi olur. Kēk motorlar iēin elektriksel verimlilik %33-34 arasında değişmektedir. Kēk boyutlu biyogaz tesisleri iēin elektrik üretimi oldukēa önemlidir. Bu tür motorların bir diğer avantajı, biyogaz tesisi tam kapasite ēalıŐtırılınca kadar, yakıt olarak motorin kullanılarak üretilen sıcak su, tesisi ısıtmak iēin kullanılır.

7. BİYOGAZ İÇİNDEKİ KİRLETİCİLERİN ARITILMASI

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

- Su sızdırmaz, yüzebilir gaz holder,
- Gaz torbaları,
- Yüksek basınçta depolamak için ayrı gaz tankları

dır.

7.1. Nem

Anerobik arıtma sonucu biyogazda bulunan su buharı (nem) ekipmanlara zarar verebilir. Bunun giderilmesi gereklidir. Nem, hidrojen sülfür gazı veya amonyak ile birlikte malzemeler üzerinde korozif etki yapar. Biyogazın nihai kullanımında olumsuz etki oluşturur.

Hidrojen sülfür toksik ve korozif olduğu için bertaraf edilmesi gereklidir. Giderilmediği zaman gaz ekipmanına zarar verebilir. Biyogaz içindeki hidrojen sülfür konsantrasyonu kullanılan ekipman için üreticinin tavsiye ettiği limitlerin altında olmalıdır. Daha olumsuz hidrojen sülfür yandığı zaman kükürt dioksit oluşur. Kükürt dioksit asit yağmuruna neden olur. Biyogaz yakma sistemi bacasında, kükürt dioksit sınır değerlerinin altında olmalıdır.

Biyogazı doğalgaz kalitesine çıkartmak için karbondioksitin bertaraf edilmesi gereklidir.

Biyogaz tesisinde su ve köpüğün korozyon etkisini, gaz yakma sistemine gelmeden önce gidermek mümkündür. Mevcut teknolojilerle biyogaz içindeki yeterli miktarda suyu gidermek için çok basit ve ekonomik metotlar vardır. Suyun bertarafı ile birlikte köpük ve toz da giderilir. Yüksek kalitede biyogaz elde etmek gerektiği zaman karbondioksit bertarafından sonra ilave toz bertarafı için spesifik metotlar uygulanır. Biyogaz, doğalgazın yerine kullanıldığı yerlerde veya hassas aletlerde kullanıldığı zaman karbondioksitin giderilmesi gereklidir.

7.1.1. Nem Bertarafı

Biyogaz içindeki nemi bertaraf etme metodu yoğunlaşmış suyun ayrışmasına veya gaz kurutma esasına dayanır. Biyogazda bulunan nemle birlikte köpük ve gaz gibi diğer safsızlıklarda bertaraf edilir.

Yoğunlaşmış suyu ayırma esası, su damlalarını yakalama esasına dayanır. Bertaraf ya elle veya mekanik olarak yapılır. Yoğunlaşmış suları ayırmada kullanılan aletler;

- Demisterlerde, likit partiküller mikro gözenekli çubuk elekli ortam arasından geçirilerek bertaraf edilir.
- Siklonseparatörler; birkaç yüz yoğunluğa eş değer santrifüj kuvvet kullanarak su damlalara ayrıştırılır.
- Nem Kapanları; biyogazın genişlemesiyle suyun yoğunlaşması esasına dayanır.
- Boruda Su Tuzakları; biyogazdaki yoğunlaşmış su, gazdan ayrıştırılır.

Yukarıdaki metotlardan en basiti gaz borusunda suyun tutulmasıdır. Normal olarak bu gaz motorlarında kullanılacak gazdaki suyun bertarafı için yeterlidir.

7.1.1.1.Kurutma Metotları

Gaz kurutma esasına dayanan metotlar; gaz soğutulduğu zaman su buharı ile aşırı doymun hale gelir. Gazın sıcaklığı 20°C'den 2°C'ye indiğinde çığ noktasına ulaşılır. Sonuç olarak gazdaki su yoğunlaşır. Yoğunlaşmış su bir demisterde tutulur. Daha yüksek verimlilikte sonuç almak için demisterler mikro gözeneklerle donatılır.

7.1.1.2.Gazın Silika ile Adsorbsiyonu

Absorbsiyon kurutucuları kullanılarak suyun yüksek oranda bertarafı mümkündür. Gaz çığ noktasına (-10 ila -20 derece) ulaşarak silikayla dolu kolondan geçirilir. Genelde 2 kolon kullanılır. Bir kolon rejenere edilirken diğer kolonda absorbsiyon gerçekleştirilir. Rejenerasyon suyu ısıtarak uzaklaştırma esasına dayanır. Silikaya alternatif olarak aktif karbon veya moleküler elekler bu amaçlar için kullanılabilir.

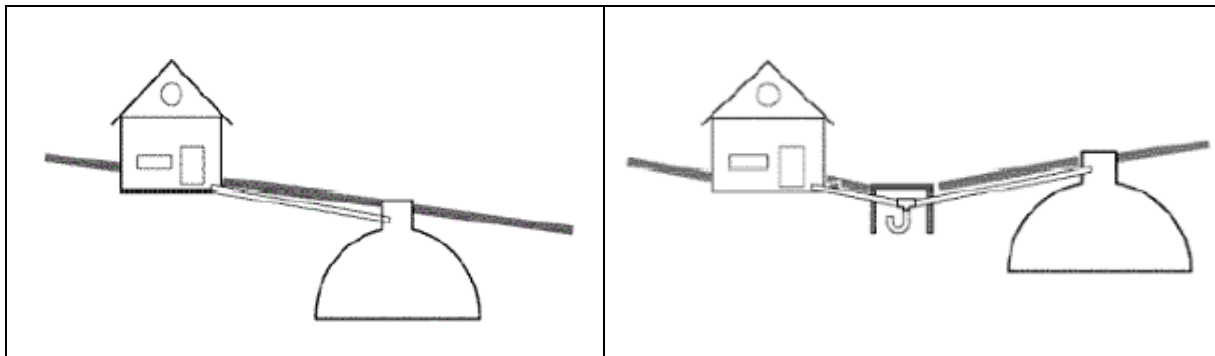
7.1.1.3.Glikol Kurutma nitesi (Glikol Kurutucu)

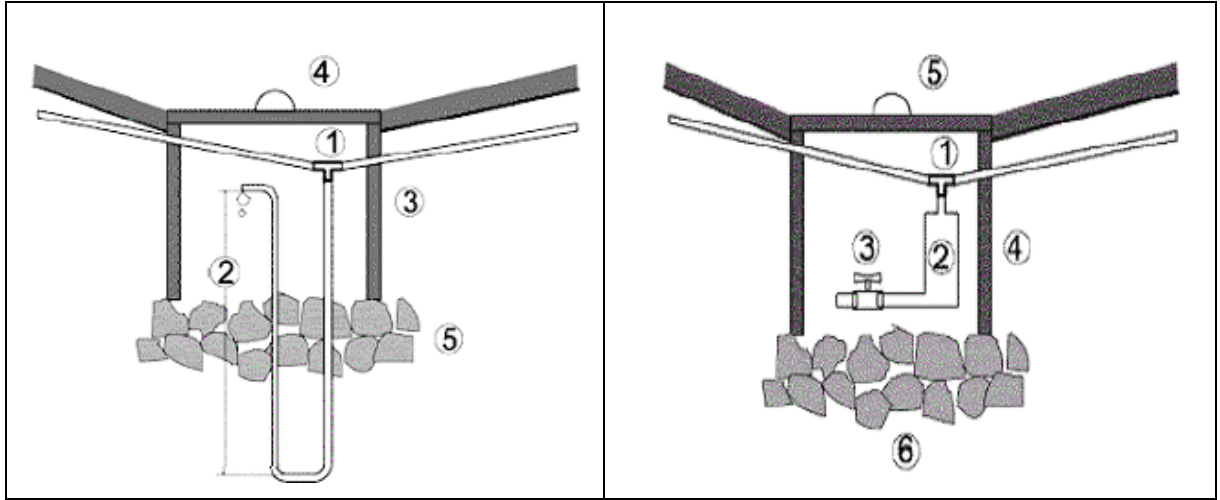
Kurutma işlemi tri-etilen glikol kullanılarak gerçekleştirilebilir. Çığ noktası -5 °C derece ile -15 °C dereceye ulaşır. Kullanılan glikol rejenerasyon ünitesine pompalanarak 200 °C sıcaklıkta rejenere edilir.

7.1.1.4.Küçük Kapasiteli Tesislerde Su Tutma

Küçük tesislerde nem giderme kısıtlıdır. Genelde hat üzerinde nem tuzakları sistemleri kullanılır. Bu metotlar gaz motorları sistemlerinde uygulanmaktadır.

Küçük yerleşim merkezlerinde nem tuzakları Şekil 34'te verilen metotlardan biri ile yapılabilir. Meyilli sistemlerde meylin %1 den az olmaması gereklidir. Meyilli sistemlerin yeterli olmadığı yerlerde elle veya otomatik metotlarla su yoğunlaşması sağlanır.





Şekil 34. Küçük Kapasiteli Reaktörlerde Basit Nem Yoğunlaştırma Teknikleri

7.2. Hidrojen Sülfür Bertarafı

Biyogaz içinde bulunan H_2S , gübre içinde bulunan kükürt içeren proteinlerin ve inorganik sülfatın anaerobik şartlarda dönüşümü sonucu oluşur.

Hidrojen sülfür çok zehirli, korozif ve renksiz bir gazdır. H_2S havadan daha ağır olduğundan dolayı düşük seviyelerde dahi extra tehlikeye neden olur. 0.05 ila 500 ppm gibi düşük konsantrasyonlarda bu gaz çürük yumurta kokusuna sahiptir. Yüksek konsantrasyonlarda böyle bir koku söz konusu değildir. Suda çözünerek zayıf asit formuna dönüşebilir. Havadaki konsantrasyonu 1.2-2.8 mg H_2S /lt (%0.117)'e ulaştığında ani ölümlere neden olur. Bu değer 0.6 mg H_2S /lt (%0.05) olduğunda 30-60 dakika içinde ölüm kaçınılmazdır. Hidrojen sülfürle kirlenmiş hava bulunduğu zaman hidrojen sülfür kırmızı kan pigmentini değiştirir. Kanı kahverenginden zeytin rengine dönüştürür. Oksijenin taşınmasını engeller. Kişi derhal boğulur.

Hollanda'da biyogaz içindeki hidrojen sülfür konsantrasyonu 50 ppm'den yüksek olduğu zaman hidrojen sülfürün arıtılması gerekmektedir.

H_2S 'in toksik etkisine ilaveten yanma sonucu SO_2 gibi korozif gaz oluşur. Bu gaz ayrıca asit yağmuruna neden olur. Biyogaz güç ekipmanların işletilmesi esnasında yoğunlaşmayı ve sülfürik asit oluşumunu önlemek için sürekli yüksek sıcaklıkta çalışma yapmak gerekir. Sülfürik asit çok korozif bir maddedir. Motorlara ve buhar kazanlarına ciddi zararlar verebilir. Sobalarda ve buhar kazanlarında direk yakıldığında bacalara zarar verebilir. Hollanda'da biyogaz yakma tesislerinde hidrojen sülfür konsantrasyonu 50 ppm'i geçemez. Biyogaz en az 900 °C sıcaklıkta yakılır. Baca gazı yanma odasında 900 °C sıcaklıkta en az 0.3 saniye kalmak zorundadır.

H_2S 'li biyogaz yakma sistemlerinde yağ değişimi daha sık aralıklarla yapılmak zorundadır. Çünkü yanma sonucu oluşan SO_2 , yağı zamanla asidik yapar. Yağın özelliğini bozar. Kayganlık özelliğini kaybettirir. Yağ değişim süresi fiili çalışmada 200-300 saate düşer.

Hidrojen sülfür çok zararlı ve korozif bir madde olduğundan demir ve galvaniz sacı reaksiyona girerek aşınmasına neden olur. Dolayısıyla basınç regülatörleri, gaz metreler, vanalar ve diğer parçalar H₂S'e dayanıklı malzemelerden olmalıdır.

Biyogaz içindeki H₂S miktarı %0.5 ve üzerinde ise H₂S'in artırılması gereklidir. Biyogaz içindeki H₂S miktarı %0.1'in altında ise arıtma yapmaya gerek yoktur. Küçük ve orta büyüklükteki tesisler için %5-10 oranında Fe(OH)₃ içeren bir absorban içinden gazı geçirmek yeterlidir. Böylece bir kg çözelti ile 15 gram kükürdü absorbe etmek mümkündür.

Hidrojen sülfür, reaktöre FeCl₃ ilave ederek FeS halinde veya biyogaz Fe₂O₃ taneleri arasından geçirilerek Fe₂S₃ halinde, kostik veya demir bileşiği çözeltisi içinden geçirilerek adsorbe edilir. Aktif karbondan ve moleküler elekten geçirilerek membran ayırma ile giderilebilir. Küçük kapasiteli tesislerde kuru işlemler uygundur. Küçük kapasiteli tesislerde H₂S, kuru kireç, ıslak kireç arasından geçirilerek bertaraf edilir. Büyük kapasiteli tesislerde bu mümkün değildir. Çünkü CO₂ bu maddelerle reaksiyona girerek fazla madde tüketimine neden olur. Ancak kireci ucuz olan ülkelerde bu metot kullanılabilir. Biyogaz içindeki karbon dioksit adsorbsiyon, membranla ayırma ve adsorbsiyon teknikleri ile bertaraf edilir.

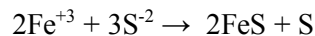
7.2.1. Hava-Oksijen Dozlama

Bu teknikte özel mikro organizmalar yardımıyla aerobik şartlarda hidrojen sülfürün elementer kükürde indirgenme esasına dayanır. Biyogaz sisteminde gelişmiş bakteriye sahip olmak için sıvı-gübre-ıslak yüzey gerekir.

Bu sistemde yaklaşık olarak biyogaz üretiminin %2-5 oranında hava biyogaz depolama bölümüne hava pompasıyla pompalanarak gerçekleştirilir. Tam oksidasyon için gerekli hava deneme yolu ile tespit edilir. Sonuç olarak biyogaz içindeki sülfür reaktör yüzeyinde kükürde okside olur ve gaz içerisindeki hidrojen sülfür konsantrasyonu düşer. Hava içindeki oksijen katalizör etkisi yapar. Bu metotla elde edilen sonuç oldukça iyidir. Bu metot basit ve az işçilik isteyen bir metottur. Çürümenin gerçekleştiği reaktörün hemen yüzeyinde uygulanabilir. Bu reaksiyonu gerçekleştiren bakteriler için yeterli nem, besi maddesi ve sıcaklık (optimum 37 °C) gereklidir. Bu metotla hidrojen sülfür miktarı 20-200 ppm'e (30-150 mg H₂S/l) düşer. Hidrojen sülfürü giderme verimliği %80-99'dur. Bu metotla elde edilen gaz direk gaz yakma motorlarında kullanılabilir.

7.2.2. Çamura demir klorür

Giriş çamuruna demir klorür ilave ederek çamurda çözünürü olmayan demir sülfür bileşiği oluşturma esasına dayanır. Demir tuzunun çökeltme reaksiyonu,

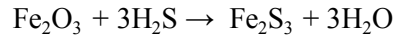


şeklinde gerçekleşir. Çökelek oluştuğundan dolayı biyogaz içinde hidrojen sülfür gazlarının oluşması önlenir. Bu metotla biyogaz içinde hidrojen sülfür konsantrasyonu 100 ppm'in altına düşürülebilir. Bu metodun avantajları;

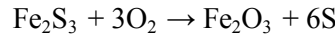
- işletme maliyeti düşüktür,
- işletme, izleme, bakım ve dikkat edilmeyen işletmeyi realize etme işlemleri kolaydır,
- hidrojen sülfürün biyogaza karışması önlenir.

7.2.3. Demir Oksit Peletleri Kullanılarak Adsorbsiyon

Biyogaz demir 3 oksit peletler içinden geçirilerek hidrojen sülfür tutulur. Hidrojen sülfür demir oksitle reaksiyona girerek;



şeklinde reaksiyon gerçekleşir. Oluşan demir sülfür bileşiklerinin rejenerasyonu için ortama oksijen ilave edilerek,

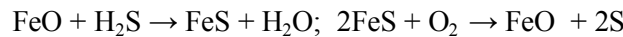


şeklinde kükürt giderilir ve demir oksit elde edilir.

Normalde iki pelet bölümü kullanılır. Bir bölümde hidrojen sülfür arıtımı yapılırken diğerinde rejenerasyon gerçekleştirilir. Demir peletler tam olarak kükürtle kaplandığı zaman peletler yer değiştirilir.

Demir bölümler kullanılarak hidrojen sülfürün adsorbsiyonu basit, ucuz ve kolaydır. Yüksek verimde bertaraf gerçekleştirilebilir. Bu metodun dezavantajı rejenerasyon esnasında yüksek miktarda ısı gerektirmesidir. Peletleme tozu toksit olabilir. Yüksek oranda su içeren biyogazlara karşı bu sistemler hassastır.

Biyogaz demir 2 oksit filtresi arasından geçirilerek;



şeklinde bertaraf edilir.

Büyük hacimli gaz üretim tesislerinde sık aralıklarla filtrenin değiştirilmesi gereklidir. Motorlarda kullanılacak gazı filtre etmeye gerek yoktur.

7.2.4. Sulu Ortamda Adsorbsiyon

a. Sodyum Hidroksit

Sodyum hidroksit ile hidrojen sülfür reaksiyona girer ve sodyum sülfür oluşur. Sodyum sülfür maddesini rejenere etmeye gerek yoktur.

b. Demir Tuzları

Demir tuzu zltisi arasından hidrojen sülfür içeren biyogaz geçirilerek zlti içinde znr olmayan FeS bileşiği elde edilir. Oluşan keleği rejenere etmeye gerek yoktur.

c. Demir Hidroksit (Fe(OH)₃)

Demir hidroksit bileşiği, kapalı ortamda kullanılarak Fe₂S₃ bileşiği elde edilir.

8. ARITMA ÇAMURUNUN KULLANILIŐI

Hayvan gübresi kararlı hale getirilmeden, geçici olarak depolandığında; gübre içinde bulunan azot bileŐikleri kontrolsüz Şartlarda bozunarak yaklaşık % 50-70'i kaybolmaktadır. Bu ise önemli miktarda besi maddesi kaybı demektir.

Anaerobik rmeden sonra elde edilen gübrede organik maddelerin önemli miktarı kararlı hale dnmektedir. Anaerobik iŐlemden sonra gübre içinde bulunan organik maddelerin

%40-60'ı metan ve karbon dioksite dnerek karbon miktarında önemli azalma olmaktadır. C/N oranında azot lehine artışla sonuçlanmaktadır. Bir gübre örneğinde baŐlangıçtaki gübrede amonyak azotu 2.9 g/lit iken anaerobik rme iŐleminde sonra bu miktar 3.7 g/lit çıkmıştır. C/N oranı da 8 den 4'e inmiŐtir. Gübrenin besi maddesi kalitesi artmıştır.

Anaerobik rme iŐleminde sonra gübre içinde amonyum konsantrasyonu artmaktadır. Arıtılmış gübre mineral gübre gibi hareket etmektedir. Bitki kökleri tarafından daha bol olarak kullanılmaktadır. Bitkiler arıtılmış çamurdaki znr haldeki azotu daha iyi kullanırlar. rmŐ çamur kullanıldığında ürün verimliliği %3-5 oranında artar. Sıvı gübre ekim yapmadan önce kullanıldığında ve toprağa enjekte edilip üzeri toprakla rtldğu zaman etkisi daha fazla artar. Anaerobik olarak rtlmŐ sıvı gübre toprağa 20 cm derinlikte verildiğinde bitkilerin azotlu maddeleri tam olarak besi maddesi olarak kullanması mümkündür. İnjeksiyon veya iz baŐlıklı aletlerle bu baŐarılabilir (Şekil 35).





Ŗekil 35. rmŖ Sıvı Hayvan Gübresinin Toprağa Enjeksiyonlanması

Bitki kökleri nitrattan ziyade amonyak azotunu kullanmayı tercih eder. Bitkilerin büyümesi safhasında sıvı gübre toprağa ilave edilmektedir. Toprağa ilave edilecek gübre miktarı, bitkiler tarafından kullanılacak N, P, K bakımından dengeli olmalıdır. Bu da bitkilerin büyümesini hızlandırır. Amonyum bitkiler tarafından daha kısa sürede absorbe edildiğinden amonyumun nitrata dnŖerek yer altı suyuna karışması önlenir. Böylece yer altı sularının nitrat bakımından kirlenmesi önlenir.

1-1.2 ton yer fıstığı veya süpürge darısı üretmek için hektar başına 33 kg N, 11 kg P₂O₅ ve 48 kg K₂O kullanmak gerekir. rtlmŖ sıvı gübre içindeki azot, fosfor ve potasyum miktarına bakılarak bitki türüne göre toprağa ilave edilir. Normalde rtlmŖ sıvı gübre sulu olduğu için hektar başına 30-60 ton sıvı gübre kullanmak yeterlidir. Bir hektar yer fıstığı için kabaca 6-8 m³ kapasiteli bir tesisten elde edilen rmŖ çamur yeterlidir. rmŖ çamurun imen üzerinde kostik etkisi taze gübreye göre daha dŖktr.

Anaerobik arıtma tesislerinde oluşan rtlmŖ sıvı gübre içindeki amonyak azotu kaybını minimize etmek için sıvı gübre depolama tankı kapasitesi, rtme tankı hacminin %50'i byklğinde olmalıdır. Anaerobik arıtma sonucu oluşan sıvı gübre tarım arazisinde yılda 2-4 defa kullanılabilir. Bazı çalışmalara göre ise anaerobik arıtma çamurunun arazide sürekli kullanılabilceği söylenmektedir. Sıvı gübrenin arazide yüzeyden püskürtülerek kullanım Ŗekli Ŗekil 36'da verilmiştir.

Çeşitli hayvan gübresi toplam katı madde içinde bulunan besi maddeleri miktarları

Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. Hayvan Gübresi İçinde Bulunan Besi Maddesi Miktarı

Hayvan Cinsi	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Sığır Gübresi	2.3-4.7	0.9-2.1	4.2-7.6	1.0-4.2	0.6-1.1
Domuz Gübresi	4.1-8.4	2.6-6.9	1.6-5.1	2.5-5.7	0.8-1.1
Tavuk Gübresi	4.3-9.5	2.8-8.1	2.1-5.3	7.3-13.2	1.1-1.6

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

Gübre içindeki kokuya sebep olan maddeler azalır. Reaktörden çıkan gübre kokusuz ve kahve renkli olur. Hastalık yapıcı patojen mikroorganizmalar ölür. Anaerobik rme sonucu çamur içindeki patojenler en az %90 oranında azalır. Haşerelerde önemli oranda azalma olur.

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

Çürümüş gübrenin aşırı derecede uygulanması bitkilerin yanmasına sebep olabilir. Çünkü gübre içinde bulunan çözünmüş haldeki tuzlar toprakta birikerek toprağın tuzlaşmasına neden olur. Dolayısıyla çürümüş gübre bitkinin köküne ulaşmalıdır.

Çürümüş gübrenin geçici olarak depolanması, metan gazı üretimini devam etmesini sağlar. Depolandığı yerde bazı katı maddeler çökelir. Çürümüş amuru arazide kullanmadan önce karıştırılması tavsiye edilir.

Anaerobik olarak çürütülmüş çamur kimyasal gübre yerine kullanıldığında %30 ekonomik değer kazanır. rtlş gübre kimyasal gübreye ek olarak kullanılır. Anaerobik rme sonucu elde edilen sıvı gübre ile aerobik komposta göre daha fazla ürün elde edilir. Bunun sebebi; anaerobik şartlarda gübre içinde bulunan tüm azot türlerinin amonyak azotuna dönüşmesidir. Anaerobik rtlmş çamur, yıllık meyve ürününü artırır.

635 kg ağırlığındaki bir sığırdan yaklaşık 50 kg taze sığır gübresi oluşur. Bu gübrenin KOI değeri; 5.7 kg, TKN değeri; 0.286 kg, TP değeri; 0.0445 kg ve toplam potasyum değeri; 0.163 kg dır. Anaerobik rme sonucu bu gübre içindeki karbon miktarı azalırken azot değişmez. Gübre içinde bulunan nitrat türü azotlar, denitrifikasyon sonucu amonyum azotuna dönüşürler. Böylece C/N oranında anaerobik çürüme sonucu azot lehine artış olur. Gübre miktarı ise değişmeden 100 kg çıkar. Çünkü gübre reaktöre verilmeden önce 1/1 oranında seyreltilmiştir. Gübre sıvı formdadır.

Arıtma amurunun spring metodu ile arazide kullanılmasına rnek Şekil 36'da verilmiştir. Spring nozullarının çapları ¼ in veya daha büyük olmalıdır. Yüksek miktarda katı madde içeren arıtılmış sıvılar için ¾ veya 2 in nozullar kullanılmalıdır. Tek spring veya düz boru springlerin kullanılması tavsiye edilir. ¼ in'ten küçük çaplı döner etkili nozulların düşük basınçlı sistemlerde kullanılması tavsiye edilmez.



Şekil 36. Sıvı Hayvan Gübresinin Tarım Arazisine Yüzeyden VeriliŐi

Çin'de çürümüş hayvan gübresi düşük dereceli fosforit ile karıştırılarak yeni bir gübre türü elde edilmektedir. Çürümüş amur fosforit ile 1:10 ila 1:20 oranında karıŐtırılmaktadır. Böylece toprağın fosfor ihtiyacı problemi de çözülmektedir. Bu metotla topraktaki fosfor miktarı %20 oranında artırılmaktadır.

Avrupa Birliği lkeleri başta olmak üzere çoğu ülke sıvı fermente ürünün yağmurlama veya pŐkrtme halinde kullanılmasını yasaklanmıŐtır.

9. KAYNAKLAR

1. Rehling, U., 'Small Biyogaz Plants', SESAM Sustainable Energy Systems and Management, Germany, 2001.
2. Werner U., Störh U., Hees N., 'Biyogas Plants in Animals Husbandry', A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, GATE, a Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH- 1989.
3. Sasse L., Kellner C., Kimaro A., 'Improved Biyogas Unit for Developing Countries', A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, GATE in: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH- 1991.
4. Sasse L., 'Biyogas Plants', A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, GATE in: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH- 1988.
5. Rahman M.H., Mottalib M.A. and Bhuiyan M.H., 'A Study on Biyogas technology
6. in Bangladesh', Reaching the Unreached: Challenges for the 21 st Century, 22 nd
7. WEDC Conference, New Delhi, India, 1996.
8. Leggett J., Graves R. E., Lanyon L.E., 'Anaerobic Digestion: Biyogas Production and Odor Reduction from Manure', Agricultural and Biyological Engineering, College of Agricultural Sciences, Cooperative Extension.
9. Anaerobic Digestion of Agro-Industrial Wastes: Information Networks, Technical Summary on Gas Treatment, AD-NETT, Project Fair-CT96, Final Version, 2000.
10. Steffen R., Szolar O., Braun R., 'Feedstocks for Anaerobic Digestion', Institute for
11. Agrobiyotechnology Tulln University of Agricultural Sciences, Viences, 1998.
12. Wellinger A., 'Process Desing of Agricultural Digesters', Nova Energie GmbH,
13. Elggerstrasse 36, 1999.
14. Fulhage C. D., Sievers D., Fischer J.R., 'Generating Methane Gas from Manure', Agricultural Publication G01881, Department of Agricultural Engineering, University of Missouri-Columbia, 1993.
15. Jensen J.K., Jensen A.B., 'Biyogas and Natural gas Fuel Mixture for the Future', 1
16. World Conference and Exhibition on Biyomass for Energy and Industry, Sevilla, 2000.
17. Lanbruary J., 'Biyogas Technology in India: More than Gandhi's Dream', HE230: Energy in the natural environment dissertation, 2002.
18. Bui Van Chinh, Le Viet Ly, Nguyen Huu Tao and Nguyen Giang Phuc., 'Biyogas technology transfer in small scale farms in Northern provinces of VietNam', Proceedings Biyodigester Workshop March 2002.
19. Kalia A. K., Singh S. P., 'Case Study of 85 m3 Floating Drum Biyogas Plant Under

20. Hilly Conditions', Energy Conversion and Management 40, 693-702, 1999.
21. Balsam J., 'Anaerobic Digestion of Animal Waste: Factors to Consider', Farm Energy
22. Technical Note, www.attra.ncat.org. 2002.
23. Marchaim U., 'Biyogas Process for Sustainable Development', Migal Galilee
24. Technological Centre Kiryat Shmona, Israil, 1992.
25. S. Piccinini, C. Fabbri, F. Verzellesi, 'Integrated biyo-systems for biyogas recovery from pig slurry: Two examples of simplidified plants in Italy', Integrated Biyo-Systems in Zero Emissions Applications, Proceedings of the Internet Conference on Integrated Biyo-Systems, 1998.
26. Don D. Jones, John C. Nye and Alvin C. Dale, 'Methane Generation From Livestock Waste', Department of Agricultural Engineering, Purdue University, 2001.
27. Burke D. A., 'Options for Recovering Beneficial Products from Dairy Manure',
28. Environmental Energy Company, Olympia, 2001.
29. James C. Barker., 'Lagoon Design and Management For Livestock Waste Treatment and Storage', North Carolina Cooperative Extension Service, 1996.
30. F. A. Moog, H. F. Avilla, E. V. Agpaoa, F. G. Valenzuela and F. C. Concepcion, 'Promotion and utilization of polyethylene biyodigester in smallhold farming systems in the Philippines', Livestock Research for Rural Development, Volume 9, Number 2, 1997.
31. ÖZTÜRK, M., (2003), Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi Yüksek Lisans Ders Notları, İstanbul, 2003.
32. ENTÜRK, E., Tavuk Çiftliklerinden Kaynaklanan Gübre Atıklarının İncelenmesi Ve Uygun Arıtma Sisteminin Önerilmesi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.