

# TARIMSAL ATIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN BİYOGAZ ÜRETEÇ TİPLERİ

Öncel, Suphi; İkizoğlu, Erdinç; Öngen, Gaye; Vardar Sukan, Fazilet  
E. Ü. Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Bornova – İZMİR  
Tel/Fax: 0232.3884955 e-mail: biotech@bornova.ege.edu.tr

## ÖZET:

Ülkemizde entegre bir anlayışla, tarımın yanısıra büyükbaş hayvancılık ya da tavukçuluk yapılan büyük modern çiftliklerin sayısı artmaktadır. Bu tür çiftliklerin enerji ihtiyaçlarının tamamı tarımsal atık/artıkların ve gübrenin anaerobik çürütülmesi ile elde edilecek biyogazla karşılanabilir. Örnekleri ABD, Avrupa ülkeleri ve Japonya'da görülen biyogaz üretimi ile entegre kojenerasyon tesisleri yaygınlaşmaktadır.

Biyogaz üretiminde kullanılan üreteçler, yapım malzemelerine ve şekillerine ya da karıştırma tiplerine göre farklılıklar göstermektedir. Sistemin başarısı ve ekonomisi kullanılan üreteç tipi ile yakından ilgilidir. Bu sunumda halen, biyogaz üretiminde kullanılan farklı üreteç tipleri karşılaştırmalı olarak tartışılmaktadır.

## GİRİŞ:

Günümüzde dünya genelindeki enerji ihtiyacının artması, çevresel sorunlar ve ekonomi insanları farklı arayışlara yöneltmektedir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları enerji potansiyellerinin yanında çevre ile uyumlu oluşları nedeniyle önemli bir ilgi odağı olmaktadır. Çevresel sorunlar yaratan atıkların işlenerek zararsız hale getirilmesi ve enerji eldesinde kullanılabilmesini sağlayan biyogaz teknolojisi, yenilenebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynamaya adaydır.

Biyogaz organik materyalin oksijensiz ortamda (anaerobik) farklı organizmalar yardımıyla parçalanması sonucunda açığa çıkan yanıcı bir gaz karışımıdır. Bu karışım metan (%50-70), karbondioksit (%30-40), hidrojen (%5-10), nitrojen (%1-2), su buharı (%0,3) ve eser miktarda hidrojen sülfür içerir. Biyogaz üretimi özel olarak tasarlanmış üreteçlerde gerçekleştirilmektedir. Üreteçler; kullanım alanları, kullanılan atıkların türleri gibi faktörler doğrultusunda çeşitlilik gösterirler.

## BİYOGAZ ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN TEMEL FAKTÖRLER

Atıklardan gaz üretiminin gerçekleştirilmesi işlemi çeşitli parametrelerin etkin rol aldığı bir bütündür. Bu faktörler çevresel etkilerden, organizmaların davranışına, kullanılan atıklardan, konsantrasyonlara kadar geniş bir yelpazede incelenebilir. Biyolojik parçalanmayı gerçekleştiren mikroorganizmalar açısından bu faktörler sıralanacak olursa:

**Sıcaklık:** Sıcaklık, anaerobik mikroorganizmaların üremeleri belli bir noktaya kadar artırdığı gibi, vizkoziteyi, yüzey gerilimlerini, kütle transferini ve üretim verimini de doğrudan etkiler. Parçalanmanın ilk basamaklarında gerçekleşen hidroliz ve fermentasyon işlemlerinde görev alan bakterilerin farklı sıcaklıklara dayanıklı olması nedeniyle sıcaklığın etkisi net olarak görülmesi de, daha sonraki basamaklardaki bakterilerin sıcaklığa karşı daha duyarlı olmaları sıcaklıktaki değişimlerin etkilerini arttırmaktadır. Artan sıcaklıklar metan üretimini arttırdığı gibi inhibisyona neden olan amonyak üretimini de tetikler. Fakat 15 oC altındaki sıcaklıklarda, mikroorganizmaların adaptasyonları kolay da olsa, gaz üretimi oldukça yavaşlamakta ve üreteç sistemi ekonomik olmaktan çıkmaktadır. Bu nedenlerle optimum sıcaklığın belirlenmesi önem taşır. Günümüzde modern biyogaz üreteç sistemleri mezofilik (20-40oC) ve termofilik (40-70oC) sıcaklık aralıklarında işletilebilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda atıkların parçalanma hızı artar ve sistemdeki bekleme süreleri kısalmış ve böylece daha küçük hacimlerdeki üreteçler kullanılabilir.

**pH:** Anaerobik işlemler pH değerleriyle doğrudan bağlantılıdır ve pH 6-8,5 aralığında gerçekleşebilmektedir. Anaerobik parçalanma işlemlerinde rol alan her mikrobiyal grup kendisine özgü bir pH aralığında optimum verimi sağlamaktadır. Metan üreten bakteriler ortalama pH 6,8-7,2 aralığında optimum verimi sağlarken, asit üretenler pH 4-6 aralığında verimlidirler. Asit üreten bakteriler metan üretenlerden daha hızlı çoğaldıklarından asit üretimi sistemde artarak metan üreten bakterilerin aktivitesini düşürebilir. Bu nedenlerle üreteçler pH açısından kontrol altında tutulmalıdır.

**Karbon/azot/fosfor oranları:** Temel besin elementlerinden olan azot, karbon ve fosforun kullanılan atıklardaki oranları üreteç sistemlerinin optimum koşullarının sağlanmasında önem taşımaktadır. Karbon/azot oranının 50'den, karbon/fosfor oranının 200'den düşük olması istenilen bir özelliktir. Eğer karbon/azot oranı çok yüksekse azot, metan üreten bakteriler tarafından protein ihtiyaçlarının karşılanması için hızla tüketilir, azalan miktar bakterilerin verimini düşürür ve sonuçta gaz çıkışı yavaşlar. Ters durumda ise azot amonyak olarak açığa çıkar ve bu pH'ı yükselterek toksik etki oluşmasına neden olur. C/N/P oranları anaerobik işlemler için ortalama 100/3/0,6 olarak benimsenmektedir. Bu oranları sağlamak amacıyla farklı atıkların karıştırılarak biyogaz üreteçlerine beslenmeleri tercih edilen bir yöntemdir.

**Alıkonma süresi:** Atıkların üreteç içinde kaldığı süreyi ifade etmektedir. Üreteç hacminin günlük besleme miktarına bölünmesiyle hesaplanır. Organik materyalin parçalanarak gaz açığa çıkarması ve bu işlemleri gerçekleştiren bakterilerin üreme hızlarının bu zamana bağlı olması alıkonma süresinin önemini göstermektedir. Kullanılan atığın türüne, üreteç çeşidine göre değişmekle birlikte istenilen, kısa sürelerde optimum gaz çıkışının sağlanmasıdır.

**Atıkların seyreltilmesi:** İstenilen özellikteki atık konsantrasyonlarına ulaşmak için seyreltme yapılır ve inhibisyona neden olabilecek maddelerin konsantrasyonları zararsız limitlere çekilebilir. Bu, özellikle katı içeriği fazla olan atıkların kullanılmasında üreteçte çalışma rahatlığı yaratır. Seyreltme oranının artırılması ile atık maddelerin üreteçlerin tabanlarına çökmesi nedeniyle seyreltme üreteç içinde farklı katmanların oluşmasını önleyecek şekilde yapılmalıdır, gerekirse destek olarak karıştırma sistemleri kullanılabilir.

Üreteç yükleme miktarı: Seyreltilmiş veya konsantre haldeki atıkların kullanımına bağlı olarak gaz verimleri farklılık gösterir, bu nedenlerle üreteçlerin uygunluğunun yükleme miktarıyla ilişkilendirilmesi daha sağlıklı bir yöntemdir. Yükleme, birim üreteçteki atık miktarıdır, alıkonma süresi ve besleme konsantrasyonu kullanılarak hesaplanabilir.

## BİYOGAZ ÜRETEÇ ÇEŞİTLERİ

Üreteçler, içlerinde optimum koşulların sağlandığı, gerekli kontrollerin yapılabilmesine olanak sağlayan fiziksel yapılardır. Diğer bir deyişle biyogaz üreteçleri anaerobik koşullar oluşturarak mikroorganizmaların atıkları parçalayıp biyogaz çıkışını sağlamalarına ev sahipliği yapan sistemlerdir. Bu üreteçlerin istenilen kriterleri sağlama için uzun yıllar süren denemeler, araştırma ve geliştirmeler yapılmıştır. Üreteç sistemlerinden beklenenler; katı miktarının azaltılması, atıklarda koku giderilmesi, işlenmiş atıkların patojenlerinden olabildiğince arındırılması, atıkların çevresel zararlarının azaltılması, atıklardan enerji üretimi ve farklı ekonomik faydaların sağlanması olarak sıralanabilir. Günümüzde üreteçlerin sınıflandırılması temel tasarım özelliklerine göre yapılmaktadır. Bu sayede en basit olanlardan en karmaşık olanlara kadar farklı üreteçler geniş bir yelpazede incelenebilmektedir.

1)Sabit kubbeli üreteçler: Özellikle kırsal bölgelerde biyogaz üretimi için uzun zamandır kullanılan çok basit üreteçlerdir. 1930'larda Çin'de kullanılmaya başlanmış, ülkemizde de denemeleri yapılmıştır. Sistem toprağa gömülü olarak inşa edilmiş su ve hava sızdırmazlığı sağlanmış, tuğla veya betonarme, kapalı haznelere oluşur. Besleme ve atık çıkarma için kapaklar konulmuştur. Sabit kubbede biriken biyogaz evlerdeki basit sistemlerle gündelik ihtiyacı karşılamakta kullanılmaktadır. Bu üreteçler kırsal bölgelerdeki malzemelerle yapılabildiğinden kurulumu ve işletimi rahat olsa da verimleri düşüktür, bu nedenle büyük çapta kullanılmalarında ekonomik engeller bulunmaktadır.

2)Hareketli kubbeli üreteçler: Bu üreteçler, sabit kubbeli üreteçlerin geliştirilmiş tasarımlarıdır. 1950'lerde Hindistan'da kullanılmaya başlanmıştır. Bu üreteçlerde gazın biriktiği kubbenin hareketli oluşu basıncın kontrolünü sağladığından sistemlerin verimi sabit kubbelilere göre daha yüksektir. Fakat hareketli sistem için gereken işçilik ve kubbe için kullanılan metal türü ağır parçalar maliyeti arttırarak ekonomik yük getirmektedir.

3)Torba üreteçler: Bu tasarım 1960'larda Tayvan'da geliştirilmiştir. Ülkedeki inşaat malzemeleri ve işçiliğin maliyetli oluşu nedeniyle, daha ucuz olan PVC, plastik gibi sızdırmaz malzemeler kullanılarak bu maliyet aşılmaya çalışılmıştır. Torba üreteçler içlerine atıkların doldurulduğu kapalı sistemlerdir, gaz çıkışı yine kırsal bölgelerdeki evsel ihtiyaçları karşılamakta kullanılır, büyük ölçeklerde kullanıma çeşitli modifikasyonlar yapılarak adapte edilmişlerdir.

4)Sabit film üreteçleri: Bu üreteçlerde anaerobik işlemleri gerçekleştiren bakteriler üreteçlerin içindeki plastik, kum, PVC, seramik veya toksik olmayan farklı destek maddelerinden oluşan dolgu materyallerinin üzerine tutunurlar. Atıklar üreteç içindeki

dolguda tutunan bakterilerin üzerlerinden akarken bakteriler çözünür organik atıkları gaza çevirirken, partikülleri büyük olan katıları parçalamaya fırsat bulamazlar. Bu tip üreteçler özellikle atık suların işlenmesiyle biyogaz eldesine uygundur çünkü yüksek oranda katı içeren atıkların dolgu materyaline tutunarak sistemi bozması mümkündür. Kuruluşları kolaydır, mekanik karıştırma gerektirmezler, yüksek oranlardaki yüklem miktarlarına ve toksik şoklara dayanıklıdır, organizmaların sürüklenme riskleri azaltılmıştır. Fakat hacimleri, dolgu materyaline ve kapasiteye bağlı olduğundan, genelde yüksektir.

5)Yukarı akışlı anaerobik üreteçler: “Upflow anaerobic sludge blanket” olarak da bilinen 1980’lerde Hollanda’da geliştirilmişlerdir. Yüksek konsantrasyonlarda immobilize bakteri içerirler. Herhangi bir dolgu materyali olmasa da bakteriler üretecin tabanında örtü şeklinde tabaka oluşturan büyük granüllü artıklara tutunurlar ve sisteme beslenen atıklar sistemin tabanındaki bu katmandan geçerken gaz çıkışını sağlayan reaksiyonlar gerçekleşir. Endüstride yaygın olarak kullanılan üreteçlerdir. Distilasyon üniteleri, gıda üretim üniteleri, kanalizasyon sistemleri ve mandıra ünitelerinden çıkan atıklarla çalışmaya uygundur. Çözünebilen organik maddelerin, özellikle partikül boyutları da küçükse, gaza dönüştürülmesinde çok verimlidirler. Tasarımı sayesinde yüksek yüklem miktarlarına dayanıklıdır ayrıca işletme maliyetleri, çok farklı atıklarla çalışmaya olanak verdiği için uygundur. Granüler katmanlı, flokulant katmanlı veya genişletilmiş granüler katmanlı olarak geliştirilen alt türleri vardır.

6) Yatay-engelli üreteçler: Bu tür üreteçler yukarı akışlı anaerobik üreteçlerin benzerleridir. Üreteçlerin içlerinde bulunan engeller sayesinde, sisteme giren atıklar engellere takılarak üreteç içinde ilerlerken aynı anda aşağı ve yukarı yönlü hareket imkanı bulur. Aşağı hareket sırasında üreteç tabanında oluşan anaerobik katmanlardaki bakterilerle temas edip reaksiyonlar gerçekleşmesi sağlanırken, sürüklenme riski engeller ile aşılma çalışılır. Üreteçlerin seri olarak çok basamaklı kullanılabilme avantajı olsa da, karşılan sorunların başında özellikle katı partiküllü atıkların işlenmesinde çökelmelerden dolayı sistemde oluşan tıkanmalar ve düzensizliklerdir. Yüksek miktarlarda bakteri konulmasına rağmen bu sistemlerin verimlerinin artırılması için beslenen atıkların partiküllerinden ayrılmasını sağlayacak ayırma işlemlerine tabi tutulması, üreteç verimini arttırmaktadır.

7) Anaerobik havuz üreteçleri: Bu üreteçler üzerleri gaz sızdırmaz örtülerle kapatılmış basit havuzlardır. Besleme bir taraftan sağlanırken belli reaksiyon süresi sonunda artıklar diğer taraftan dışarı alınır. Bu tip üreteçler özellikle mevsim koşullarının düşük sıcaklık aralığını sağladığı bölgelerde sıcaklık kontrolüne ihtiyaç olmadan normal ortam koşullarında kullanılabilirler. Biyolojik oksijen ihtiyacı 500mg/lt gibi düşük kuvvetteki atık sularla çalışılırken başarı sağlamışlar, basit işletimleri ve düşük maliyetleri ile avantajlarını ortaya koymuş sistemlerdir. Üreteçlerin dezavantajları, verimin dış ortam sıcaklık değişimine bağlı olarak mevsimsel olarak değişmesi, gaz üretimlerinin düşük oluşu, karışmanın neredeyse hiç olmaması, katıların dibeye çökerek verimi etkilemesi olarak sıralanabilir. Maliyetleri düşüktür, fakat temizlenmeleri sırasında zorluklarla karşılaşılır.

8) Karıştırmalı Üreteçler: Amerika ve Avrupa’da yerel hayvan çiftliklerinde çok yaygın kullanılan bir üreteç sistemidir ayrıca kanalizasyon atıkları ve endüstriyel atık işleyen

ünitelerde de bu sistem kullanılmaktadır. Isıtma ve karıştırmanın eşliğinde optimum koşullar sağlanmaktadır. Mezofilik ve termofilik aralıklarda çalıştırılabilirler. Yükseklikleri az, taban alanları fazla olabilir, veya tam tersi tasarımlar kullanılabilir. Sabit kubbeli, hareketli kubbeli tasarımları vardır. Gaz karıştırmalı, mekanik karıştırmalı ve farklı ısı değiştirici sistemli üreteçler bulunmaktadır. Karıştırmalı üreteçlerin en önemli avantajları çok farklı koşullara adapte edilebilmeleri, hızlı gaz dönüşümünü sağlamaları ve sistem içindeki homojeniteyi korumaları olarak sıralanabilir. Fakat kuruluş ve enerji maliyetleri açısından sakıncaları vardır, bakteri kayıpları nedeniyle ek besleme gerekebilir.

9) Tapa Akışlı Üreteçler: Bu üreteçler 1957'de Güney Afrika'da kullanılmaya başlanmıştır. Kuruluş maliyeti en düşük üreteçlerden biridir, yatay veya dikey olabilir. Atıklar sisteme beslenirler ve dışarı çıkarlar. Bu üreteçler karıştırmalı üreteçler gibi mikroorganizma büyümesinin esas alındığı sistemlerdir, bu nedenle gaz verimleri düşüktür. Sistemden ayrılan atıklarla birlikte mikroorganizma kaybı olduğu için sisteme mikroorganizma beslemesi gerekebilir. Katıların çökmesinden dolayı oluşacak katmanları önlemek için sistemin düzenli temizlenmesi gerekmektedir, bu gibi işlemler ek mali yük getirmektedir.

10) Temas Üreteçler: Bu üreteçlerde (Contact Digesters) katılar farklı bir üniteye ayrılır ve konsantre edilir ve daha sonra üretece beslenirler. Bakteriyel biyokütle üreteçte alıkonularak korunduğu için gaz verimi artar. Termofilik ve mezofilik aralıklarda kullanılabilir. Seyrelmiş veya konsantre atıklarla, özellikle 1000-2000 mg/l COD aralığındaki orta kuvvetli atıklarla, çalışmaya uygundur, çünkü sistemde ayırma işlemi kullanılmaktadır. Bu tip üreteçlere karıştırma sistemi de adapte edilebilir.

11) Temas Stabilizasyon Üreteçleri: Bu üreteç sistemleri daha verimlidir. Üreteçlerde selüloz gibi yavaş parçalanın materyaller yüksek konsantrasyonlu tankta dönüştürülürler, daha hızlı parçalanın materyaller ise temas üreteçlerinde işlenirler.

12) Asit Fazlı Üreteçler: Bu üreteçler asit üreten mikroorganizmaların metan üretenlere göre daha hızlı büyümesini temel alırlar. Sistemde entegre üreteçler kullanılmaktadır. İlk üreteç asit üreten bakteriler için uygun asidik ortam sağlar ve boyutları küçük olabilir. Diğer üreteç ise metan üreten bakteriler için uygun koşulların sağlandığı bölümdür. Bu sistemler asit sayesinde parçalanmanın hızlandığı ve parçalanın atıkların diğer bir tanktaki metan üreten organizmaların işini kolaylaştırdığı için verimlidir. Kanalizasyon ve şehir sularının işlenmesinde kullanılmışlardır.

13) Sıcaklık Fazlı Üreteçler: İki entegre üreteçten oluşan sistemlerdir. İlk ünite termofilik aralıkta diğerinde mezofilik aralıkta çalışılır. Termofilik ortamda patojenler yok edilirken, mezofilik aralıkta bakteriler oluşan organik asitleri kullanırlar.

14) Anaerobik Akışkan Yataklı Üreteçler: Bakterilerin tutunduğu dolgu materyali (aktif karbon, pelletler, kum v.s). Beslenen atıklar ile her an akışkan halde tutulurlar. Bu sayede her parçacık yüzey alanını tamamen kullanma fırsatı bularak bakteri tutunmasını artırır ve dolayısıyla biofilm oluşumu artarak verim artar. İnhibisyona ve yüksek yüklenme miktarlarına dayanıklıdır. Akışkan yataklı üreteçler, sabit yataklı sistemlere

göre daha verimlidirler. Çünkü mikroorganizmaların substratlarla daha iyi etkileşimi gerçekleşebilir ve maliyetleri, daha düşük hacimlerle çalışmaya uygundur.

15) Yukarı Akışlı Anaerobik Filtre Üreteçler: Bu üreteçler 20 yıldan bu yana kullanılmaktadırlar. Genel tasarım olarak uzunlamasına (yükseklik/tabana çapı oranı 8-10) kapalı üreteçlerdir. İçlerinde sabit bir elek tarzında geçirgen yapının altında tutulan, biyolojik aktivitenin gerçekleştiği, anaerobik bir artık örtüsü bulunmaktadır. Bu üreteçler temelde sabit film üreteçleri ile yukarı akışlı anaerobik üreteçlerin kombinasyonudurlar. Sistem işletim açısından sabit bir ortam sağladığından kontrolü kolaydır, uzun süre çalıştırılmasa da kısa zamanda yeniden başlatılabilir, enerji kullanımları düşüktür. Bu üreteçlerde en önemli kısıtlama ise geçirgen yapının tıkanma riskidir, fakat bu risk düzenli temizleme ile azaltılabilir. Tıkanmaların önlenmesi adına sistemin yukarıdan aşağıya doğru beslenmesi de yapılmaktadır ancak sistemden çıkan artıklarda biyokütle kaybı riski arttığından yukarı akıştan daha az verim elde edilmektedir.

16) Ardışık kesikli anaerobik üreteçler: Bu üreteçler Amerika'da geliştirilen farklı tür temas üreteçleridir. Anaerobik sistemlerde karşılaşılan, yüksek inokulasyon miktarı, karıştırma verimi, reaksiyon dengesizlikleri gibi sorunların giderilmesi için tasarlanmışlardır. Üreteçte hem ayırma hem biyolojik dönüşümler gerçekleşir. Ayırma işlemi çökeltme ile gerçekleşir. Genelde iki veya daha fazla tank sistemi doldurma ve boşaltmada destek sağlar.

17) Hibrit üreteçler: Hibrit üreteçler farklı tasarımların avantajlarını bünyelerinde toplayarak maximum verim eldesini ve sorunların giderilmesini sağlamak amacıyla tasarlanan sistemlerdir. Örneğin yukarı akışlı anaerobik üreteçler, anaerobik filtre üreteçleri veya yatay akışlı engelli üreteçlerin özelliklerini bir üreteçte birleştiren hibrit sistemler üzerinde çalışılmaktadır.

## BİYOGAZ ÜRETİM SİSTEM ELEMANLARI

Biyogaz üretiminde kurulan sistemlerin bir bütün olarak düşünülmesi gerekmektedir. Sistem elemanlarının uyumu arttıkça üretimdeki verim artacak ve karşılaşılan sorunlar daha çabuk giderilebilecektir. Bir biyogaz sistemini meydana getiren başlıca elemanlar:

Karıştırma elemanları: Karıştırma sistemleri biyogaz üretiminde çok önemli bir rolü olan sistemlerdir. Karıştırma, metanojenlerin ürettiği metabolitlerin dağıtılmasında, taze substratın bakteri popülasyonlarına homojen olarak karışmasında, çökelmelere ve heterojeniteye engel olunmasında, sıcaklık bakımından farklı katmanlar oluşmasının engellenmesinde, bir bakteri popülasyonunun üreteç içine iyice dağılmasında ve üreteç içinde heterojen ölü bölgelerin önlenmesinde önemli bir rol oynayarak verimin artışı sağlamaktadır. Bu doğrultuda uygun bir karıştırma elemanının seçimi önem kazanmaktadır. Basit üreteçlerde, özellikle kırsal alanda kullanılan küçük hacimlilerde, karıştırma eklenen ve sistemden alınan atıklar sayesinde veya ek olarak kol gücü ile çalışan küçük karıştırma çubuklarıyla sağlansa da, gelişmiş sistemler daldırılmalı motorlara bağlı bıçaklarla, kürek şaftlı motor sistemleriyle, hidrolik karıştırma sağlayan pompalama sistemleriyle veya gaz enjeksiyonuyla oluşan pnömatik karıştırma sistemleriyle gerçekleştirilir.

**Isı Transfer Elemanları:** Isı transferi mezofilik ve termofilik sıcaklıkların çevresel olarak sağlanamadığı, özellikle sıcaklığın korunması gereken biyogaz üreteçlerinde, ısı transfer elemanları büyük önem taşımaktadır. Plakalı ısı değiştiriciler, shell-tube ısı değiştiriciler, ve çift borulu ısı değiştiriciler yanında kapalı devre ısı pompaları, güneş enerjili ısıtıcılar biyogaz üretim sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu elemanların seçiminde korozyon tehlikesi, kullanılan atığın özellikleri, besleme ve çıkış debileri, yalıtım ihtiyaçları, ekonomik girdiler ve maliyet gibi çeşitli etkenler rol oynar.

**Ayrırma ve Filtrasyon Elemanları:** Bu sistemler atıkların taşınmasına, sınıflandırılmasına, katı – sıvı ayırımına olanak sağlayan mekanik elemanlardır. Başlıca kullanılanlar; sabit elekler, vibrasyonlu elekler, rotasyonlu ve konveyör tipi elekler, dekantör santrifüjler, elekli santrifüjler, hidrosiklon seperatörler, filter presler, roller presler, belt presler, vidalı preslerdir. Ayrıca üreteçlerin içinde doğal olarak oluşan gravimetrik ayırma yöntemi ve daha hassas membran ve özel filtrelerde biyogaz sistemlerde kullanılır.

**Biyogaz Temizlenmesi:** Biyogazın temizlenmesi kalorifik değerini arttırmada, korozif özelliğinin giderilmesinde, çevre ve insan üzerindeki potansiyel zararlarını azaltmada önemli bir rol oynar. Ayrıca sülfür seviyesinin % 0.05 oranlarından daha aşağılara çekilerek enerji üretim motorlarına uygun hale getirmede, su buharının giderilmesi sülfür, karbondioksit ve diğer eser miktarda elemanların karışımdan ayrılarak biyogazın metan oranının olabildiğince yükseltilmesinde ve bu sayede boru hatlarında sorunsuz transferi ve elektrik üretim jeneratörlerinde kullanılması amaçlanır. Bu nedenle kullanılan temizleme elemanları başlıca: fiziksel absorpsyonu sağlayacak katı ve sıvılardan, membran ayırıcılardan, farklı kimyasallardan oluşur. Su tutulmasında silika jel, alümina veya moleküler elekler, korozif sülfür ve karbondioksit tutulması için demir oksit kullanımı yaygındır.

**Biyogazın ve Atıkların Depolanması:** Sistemin ihtiyaç duyduğu veya sistemden çıkan atıkların sağlıklı depolanması için tanklara ve özel biriktirme alanlarına ihtiyaç vardır. Bu depolama elemanları dikkatle kurularak gerekli çevresel ve işletme kriterlerini sağlamalıdır. Bunların yanında biyogazın temel yapıtaşı olan metanın depolanması önemli sorunlardan biridir. Metan gazı – 82,2 °C'ye soğutulmadan sıvılaşmaz, bu nedenle biyogaz üreteçten çıktığı anda kullanılmayacaksa depolama genelde büyük hacimli düşük basınç tanklarında yapılır. Depolamalarda yüksek basınçlı sistem elemanları tehlikeli olabileceği için tercih edilmez. Depolama sorunu biyogazın temizlenerek, düşük basınç tanklarında depolanıp, gereken basınç sağlanınca jeneratör sisteminde enerjiye dönüştürülmesiyle giderilmiştir.

**Biyogazdan Enerji Eldesinde Kullanılan Elemanlar:** Biyogaz üreteçlerden çıktığında farklı şekillerde kullanılır. Bunlar doğrudan yakılarak gereken ısı ihtiyacının karşılanması, jeneratörler aracılığıyla elektrik elde edilmesi, kojenerasyon sistemlerinde hem ısı hem de elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Bu kullanım amaçlarının yerine getirilmesinde farklı tip yakma elemanları ve motor sistemleri kullanılmaktadır. Kırsal bölgelerde kullanılan basit ocaklar, ısıtma sistemleri küçük miktarların değerlendirilmesinde kullanılır. Modern sistemler ise, biyogaza uygun modifiye edilmiş motor sistemleriyle takviye edilmiştir.

## MODERN BİYOGAZ ÜRETİM SİSTEMLERİ

Modern sistemler, farklı atıkların kullanılmasına ve değişik üreteçlerin entegre bir şekilde çalıştırılmasına olanak vermektedirler. Bu tip sistemler, kentsel, endüstriyel atıkların işlenmesinin yanında enerji üretiminde de, maksimum verimi sağlamaktadır. Örnekler verilecek olunursa, Finlandiya'nın Waasa şehrinde kurulu olan, kentsel atıkların, atık suların, balık ve hayvan atıklarının birlikte işlendiği, modern bir üreteç sistemi bulunmaktadır. Toplam katı yüzdesi 10-15 aralığında atık işleyen bu sistem hem mezofilik hem de termofilik aralıklarda çalışabilen iki paralel üreteçten oluşur. Bu sistemin özelliği düşük katı oranlarında çalışan ana üreticinin içinde ön bir hazne yerleştirilerek farklı bölgelere ayrılmasıdır. Karıştırma biyogazın tabandan sisteme pompalanmasıyla pnömatik olarak sağlanır ve bu sayede biyogaz hem enerji eldesi hem de karıştırma işleminde kullanılır. İsveç'in Kil şehrinde, Tokyo'da ve Hollanda'nın Groningen şehrinde bu sistemle çalışan biyogaz üretim ve atık değerlendirme işletmeleri bulunmaktadır.

Fransa'da geliştirilen ve toplam katı oranları %35 gibi yüksek atıklarla çalışabilen VALORGA sistemi de mezofilik aralıkta çalışarak önemli başarılar sağlanmıştır. Atıklar, ayırma, eleme gibi ön işlemlerden geçtikten sonra geri beslenecek ünite suyuyla karıştırılıp üretece verilmektedir. Ünite suyu dışarı atılan atıkların filtrasyon, sentrifugasyon gibi işlemlerle ayrılmasından elde edilir, böylece dışarıdan temiz su kullanımı önlenerek çevreye yük getirilmemiş olur, ayrıca karıştırma biyogazın sisteme pompalanması ile sağlanır. Fransa'da Amien's (85000 ton/yıl) şehrinde yaklaşık on yıldır çalışan ilk örnekte, işlenen katı atık tonu başına 146 normal m<sup>3</sup> (eklenen uçucu katı tonu başına 210-240 m<sup>3</sup>) luk bir üretim gerçekleştirilmektedir. Ayrıca Fransa'da Grenoble (16000 ton/yıl), Hollanda'da Tilburg (52000 ton/yıl), Tahiti'de Papeete (90000 ton/yıl), Fransız Polinezyası'nda Tamara (92000 ton/yıl) bölgelerinde farklı atık işleme potansiyeline sahip sistemler kurulmuştur.

Kuru anaerobik kompost sistemleri de denen DRANCO işlemi, kuru ve yüksek oranda katı içeren atıklarla çalışan diğer bir önemli sistemdir. Özellikle şehirsal katı atıkların organik kısımlarının işlenmesinde ve biyogaz eldesinde kullanılır. Termofilik aralığın sağlandığı üreteç dikey bir tapa akışlı üreteçtir. Üreteç içinde herhangi bir karıştırma işlemi yapılmaz. Sistemin tam anlamıyla kuru bir ortama gerek duyması ve karıştırmanın sıvılaşma riskini arttırması tapa akışı etkileyeceğinden karıştırma işlemi uygulanmaz. Üretecten çıkan artıkların üçte biri sisteme beslenen atıklarla karıştırılıp beslemenin inokulasyonu için gerekli aşı olarak kullanılır. Belçika'nın Gent şehrinde pilot çaplı işletimine 50m<sup>3</sup>'lük bir üreteçle başlanmış ve 1984-1991 yılları arasında farklı atıklarla denemeler yapılmıştır. Yine Belçika'nın Brecht şehrinde 1992'den bu güne 12000 ton/yıl atık işleyen 808m<sup>3</sup>'lük üreteçten elde edilen enerji sistemin ihtiyacının %80'inin karşılamasının yanında 280kW'lık jeneratörü çalıştırarak elektrik üretimini yapmaktadır. Avusturya'nın, Salzburg (20000ton/yıl), Almanya'nın Bassum 13500 (ton/yıl) ve Keiserslautern (20000ton/yıl) şehirlerinde bu sistem kullanılmaktadır.

Bu sistemlere ek olarak çok basamaklı sistemler de kullanılmaktadır. Bu sistemlerin amacı anaerobik işlemlerin farklı basamaklarını farklı üreteçlerde gerçekleştirerek verimin arttırılmasını sağlamaktır. Almanya' da geliştirilen BTA sistemde atıklar



sistemden geri beslenen atık suyla karıştırılır. Organik maddeler çözünürken yüzeydeki veya tabandaki çözünmeyen artıklar sistemden uzaklaştırılırlar. Atıklar sisteme alınırken uygulanan ön işlemlerle, toplam katı içeriği %10'luk bir karışım sağlanır, bu karışım asit ile muamele edilir ve sentrifügasyon ile sıvılardan arındırılır. Karıştırmadan çıkan ince katman biofilm üreticisine aktarılarak mezofilik ortamda metan üretiminde kullanılır. Bu katmanın %35 katı içeriği ve ton başına ortalama 0,2-0,3 kg azot değeri bulunmaktadır. Artık sistem suyu ise ton başına ortalama 4-8 kg azot içerir. Bu atıklar gübre olarak tarımda geri kazanılabilmektedir

## TÜRKİYE'DEKİ DURUM VE SONUÇ

Ülkemizde artan nüfus, ekonomik gelişmeler ve üretim potansiyeli her geçen gün enerji talebini arttırmaktadır. Bunun yanı sıra ülkemizde kırsal alanlardaki insanların kendi ihtiyaçlarını sağlayacak kadar enerjiyi üretebilmeleri için çok önemli faydalar sağlayacaktır. Ülkemizde biyogaz konusunda ilk çalışmalar 1960'lı yıllarda başlatılmış, çeşitli kurum ve kuruluşların işbirliği ile bir dönem araştırmalar hızlansa da daha sonraki yıllarda organizasyon bozuklukları ve koordinasyon eksikliği nedeniyle bu çalışmalar bir sonuca ulaşamamıştır. Özellikle sanayi, şehir ve evsel atıkların artması ile açığa çıkan sorunların karşısında alternatif olabilecek biyogaz sistemlerinin kullanımları değerlendirilmesi gereken bir husustur. İstanbul belediyesinin kurduğu katı atıklardan elektrik üretim santrali, İSKİ tarafından Tuzla'da ve ASKİ tarafından Ankara'da kurulan atık su biyolojik arıtma tesislerinde biyogazdan üretilen elektrik kullanılması, Pakmaya firmasının sistem atıklarından ürettiği biyogazı ısıtmada kullanması ülkemizden güncel örneklerdir. Ayrıca ülkemizdeki gübre değerlendirme, mandra ve kesimhane atıklarının da bu sistemlerde değerlendirilmesi önemli faydalar sağlayacaktır. Böylece ülkemiz tarımsal ve endüstriyel potansiyeli, iklim avantajlarını da kullanarak, farklı üreteç sistemlerinin kurulumuyla enerjiye dönüştürebilmesi verimli ve faydalı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- 1) "Methane production from agricultural wastes", C.L. Griffis, R.Mote, E. Kienholz, 1980.
- 2) "Biyogaz araştırması ve fizibilite etüdü", T.C sanayi ve ticaret bakanlığı, 1987.
- 3) "A system approach to biogas technology", FAO,1997.
- 4) "Biogas applications for dairy operations: alternatives to conventional engine generators", D.T. Mears, 2001.
- 5) "Biomass energy potential in Turkey", K.Kaygusuz, M.F. Türker, 2001.
- 6) "Perspectives for anaerobic digestion", B.K. Ahring.
- 7) "Appraisal of farm waste management options", A.Silsoe, 1993.
- 8) "Ruminant livestock manure quantities by electricity company region with consideration for its use for fuel or fertiliser", ADAS.
- 9) "Conversion of biomass to fuels by anaerobic digestion phase 1: review and preliminary assesment", Ader Associates, 1981.
- 10) "Anaerobic digestion: a credible source of energy", K.M. Richards,1984.
- 11) "Research into the development of prototype units for the production of biogas methane from farm wastes and energyu crops", Department of microbiology, University college Cardiff, 1986.

- 12) "A microbiological study into process controlling anaerobic digestion", Department of microbiology, University college Cardiff, 1986.
- 13) "Limits to process intensity in methane (biogas ) generator systems", Department of chemistry, University of Manchester, 1987.
- 14) "A survey of existing methods of biogas scrubbing and utilisation", BABA ltd., 1987.
- 15) "A detailed investigation into possible ways of achieving heat recovery from anaerobic digestion of effluent", The Polytechnic of Wales, 1987.
- 16) "Renewable energy potential and utilization in Turkey", K.Kaygusuz, A. Sari, 2002.
- 17) "Aerobic treatment of semi-solid organic waste", V.K. Sharma, C.T. Castelluccio, 1997.
- 18) "State of the art of anaerobic digestion technology for industrial waste water treatment", K. Rajeshwari, M. Balakrishnan, A.Kansal, K.Lata, V.V.N. Kishore, 1999.
- 19) "Environmental aspects of biogas technology", B.Klingler, 1998.
- 20) "Mechanical solid liquid separation of livestock manure literature review", M.Ford, R.Fleming, 2002.