

BIYOGAZ

Biyogaz çok amaçlı olarak kullanılabilen, görece temiz bir enerji kaynağı. Üretimi en yaygın olarak, konutlardan ve hayvan üretme çiftliklerinden kaynaklanan organik atıklardan yapılıyor. Gerçi mikroorganizmalar tarafından parçalanabilen her türlü organik maddeden elde edilebilir. Fakat hammaddesi ne olursa olsun, eldesi aynı ve 'havasız sindirim' sürecine dayalıdır. Dolayısıyla hayvan üretim çiftliklerindeki uygulamalarına bakarak bu süreci incelemek, teknoloji hakkında gerekli ve yeterli fikri verir.

Havasız Sindirim

Elinize altı açık, üstü zaten öyle bir tüp alın ve yan yüzeyine iğneyle üç delik açın. Başta memeliler olmak üzere hayvanların çoğu, örneğin bir inek, elde ettiğiniz şekle, topolojik açıdan özdeştir. Tüpün içindeki boylamasına boşluk, ağızdan başlayan sindirim kanalını, üzerindeki üç delik de, bu kanala bağlı olan, orta kulak çıkışlı östaki borularıyla burun deliğini temsil eder. Tüpün dış yüzeyi, muhteşem bir mekanik koruyucu olan deriye, iç yüzeyi ise sindirim kanalının, muhteşem bir kimyasal işlemler cambazı olan mukoza zarına karşılık gelir. Çok farklı görünmelerine rağmen, her iki tabakanın da kökeni epitel dokudur.

Canlı organizmanın yaşamını sürdürülebilirliği için bu tüpün içinden, ara sı-

ra bir şeylerin geçirilmesi lazımdır. Buna bilindiği gibi beslenme denilir ve alınan besin maddeleri sindirim kanalı boyunca parçalanarak, vücudun bakım onarımı için gerekli yapıtaşları, yani aminoasitlerle, bunların hücrelerde amaca uygun şekillerde sentezlenmeleri sırasında kullanılacak olan enerji hammaddeleri temin edilir. Sindirim işlemi, sindirim kanalındaki mikroorganizmaların yardımıyla gerçekleşir. Bu bakteriler kabaca üç gruba ayrılabilir. Birinci grup, besin maddelerindeki katı organik bileşenleri sıvılaştıran, 'sıvılaştırıcı' bakterilerdir. İkinci grup, beslenmeleri sırasında yan ürün olarak asit üreten bakterilerden oluşur ve ürettikleri asitler, mukoza zarı hücrelerine zor bir hayat yaşatıyor olmalarına rağmen, besin maddelerinin parçalanmasında önemli işlev sahibidir. Üçüncü grup bakterilerse, ikinci grubun ürettiği asitlerle beslenerek, sindirme işleminin devamını getirir ve bu arada metan gazı üretir. Bu gazın arada bir salınması ve tüpün dibine, yani sindirim kanalının sonuna gelen besin artıklarının da dışarı atılması lazımdır. Öyle yapılır...

Atık, sindirim kanalını terketmiş olmakla beraber, aslında sindirimi hâlâ devam etmektedir. Çünkü içeriğinde, bu olayı sürdüren bakterilerden bol miktarda vardır. O kadar ki; ağırlığının yaklaşık %5 kadarı, asitli ortama daha fazla dayanamayıp ölen mukoza zarı hücreleriyle, bu yararlı bakteri hücrele-

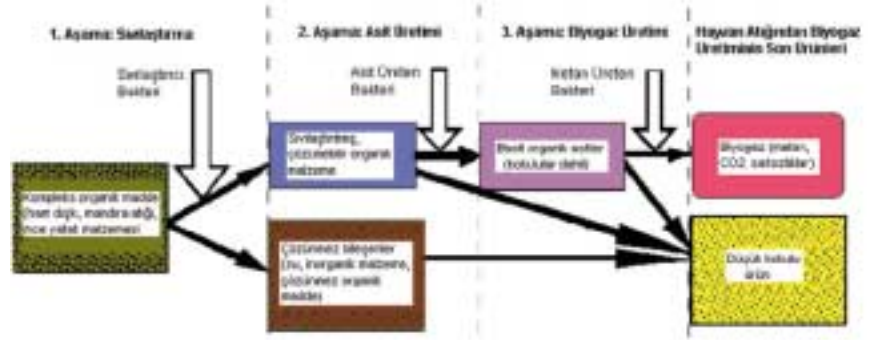
rinden oluşur. Gerçi, besin maddelerinin kolay parçalanabilir olanları sindirilmıştır. Fakat, kalanların sindirimi, giderek artan yüksek düzeylerde asitli bir ortam gerektirmektedir ve bu, üçüncü grup bakterilerin daha fazla metan üretebilmesi anlamına gelir. Böyle bir tam sindirim, 'kontrollü' bir süreçle başarılabilir. Fakat sindirim kanalında kesintiye uğratılıp, kalanların atık olarak dışlanması, bir bakıma isabet olmuştur. Çünkü, bir yöntemin bulunup da tam sindirimin başarılması halinde; ineğimiz ya balon gibi şişip patlayacak, ya da artan gaz hacmini salarken; tahrikli dev çekirgeler gibi, arada bir zıplayıp duracaktır.

600 kg ağırlığındaki cins bir süt ineği, günde ortalama 60 litre veya 60 kg kadar atık üretir. Bir o kadar da idrar. Bu günlük katı atık miktarında, değerli gübre unsurlarından; 160 g'dan fazla nitrojen, 120 g'a yakın potasyum, 50 g kadar da fosfor vardır. Tek bir inek olsa neyse; bazı ileri tarım ülkelerindeki besi çiftliklerinde, iribaş hayvan stoğunun sayısı 60.000'i bulur. Bu her gün; 9,6 ton nitrojen, 7,2 ton potasyum, 3 ton fosfor içeren; 3.600 ton veya bir o kadar metreküp katı atık ve idrar demektir. Bu atıklar, en basit olarak; dinlenme çukurlarında bekletilip kompost haline getirildikten sonra gübre olarak değerlendirilir. Ancak, uygun bir tasfiye sistemiyle işlenmedikleri takdirde; vazgeçiniz çiftlik sakinlerinden; yakın

kasaba nüfuslarının dahi, hoş olmayan biçimlerde eriyip yok olmaları olasılığı vardır.

Sözkonusu atıkların hemen tamamı ahırlarda oluşur ve hayvanların gerisinde duran atık oluklarına bırakılır. Yere düşenlerse bakıcılar tarafından, ortamı sağlıklı tutabilmek amacıyla kürekle-nip, bu oluklara atılır. Atığa bu arada bir miktar da, hayvanların altını kuru tutmak amacıyla zemine serilen, ince talaş gibi 'yataklama malzemesi;' bazen de biraz toz, toprak ve hayvan tüyü, vb karışır. Oluklar hemen sürekli olarak basınçlı suyla yıkanmakta ve çamur haline gelen atıklar, boru hattı ağları üzerinden pompalanarak, dinlenme çukurlarına aktarılmaktadır. Atık çamuru çukurlarda bir süre bekletilir ve devam eden sindirim sürecinin sona ermesi beklenir. Nitekim bir hafta on gün sonra, çamurdaki kimyasal etkinlikler sona erecek, çünkü atıktaki faydalı bakterilerin hemen hepsi ölecektir.

Bunun nedeni, sözkonusu mikroorganizmaların, 'anaerobik,' yani 'havasız ortam' bakterileri olmalarıdır. Açık ortamda uzun süre yaşayamazlar ve oksijenle karşılaştıklarında, hemen her koşulda tepkimeye girmeye şiddetle tartar olan bu element tarafından 'oksitlenip,' zamanla öldürülürler. Çünkü bu bakteriler; dünyadaki yaşamın erken aşamalarında, 4 milyar yıl kadar önce ortaya çıkmışlardır ve o zamanki dünyayı tümüyle saran, ilk tek hücreli organizmalardır. Atmosferde henüz oksijenin bile bulunmadığı 'kambriyen-öncesi'ne, yani jeolojik ölçekteki antik döneme aittirler. 3,5 milyar yıl kadar önce fotosentezin 'keşfi'yle birlikte ve 'cyanobakteri' de denilen 'mavi-yeşil algler' ailesinden ilk bitkisel tek hücrelilerin sahneye çıkmasından sonra, atmosferde oksijen birikmeye başlayınca sıkıntıya düşmüş ve bu yeni oluşuma ayak uydurmak için; ya toprağa karışıp yeraltına inerek, ya da daha sonra ortaya çı-



Şekil 1: Biyogaz üretiminin üç aşaması

kan çok hücreli canlıların sindirim sistemlerine gizlenip, onlarla karşılıklı yararlı dayalı 'simbiyotik' ilişkilere girerek, varlıklarını günümüze kadar sürdürebilmişlerdir. Hepsisi yararlı değildir ve 'botulizm'e yol açan (*Clostridium botulinum*) ve tetanoza yol açan (*Clostridium tetani*) gibi bazıları ölümcüldürler.

Neyse... Atık çukurundaki, kimyasal etkinliği giderek azalan malzemeye kompost denilir. Besin değeri yüksek olduğundan, değerli bir organik gübredir ve tarım alanlarına serpiştirilerek kullanılabilir. Aynı çiftlikte kullanılmadığı takdirde bu gübrenin satışı, besi çiftliğinin önemli gelir kalemlerinden birini oluşturur. Ancak, asit üreten bakteriler, metan üreten gruba oranla açık hava ortamı koşullarına karşı daha dayanıklıdır ve oksijenin varlığında, onlara göre çok daha yüksek sayılarla hayatta kalabilirler. Ürettikleri uçucu asitler üzerinde çalışan metan grubu bakterilerin nüfusu bu arada azalmış olduğundan, biriken asit buharları birbirine karışıp etrafa yayılır. Bu, kötü kokulara yol açar ve hele atık çukuru üstü açık tiptense, çiftlikte ciddi bir sorun oluşturur. Koku sorunu, atığın gübre olarak ekin alanlarına serpilmesinden sonra da, hafifleyerek devam eder. Halbuki sindirim işlemini tamamına erdirerek, sözkonusu kokulu bileşenlerin miktarını azaltmak ve bu arada, atıktan biyogaz elde ederek, çiftliğin enerji gereksi-

niminin, hiç değilse bir kısmını bu kaynaktan karşılamak mümkündür. Bu işlem, atık malzemesinin miktarını veya içerdiği besin değerini azaltmayacağından, ek bir kazanç sağlar.

Biyogaz eldesi için, bir kere; sindirim sürecine yardımcı olan bakterilerin ölmesini engellemek, bunun için de atık malzemesini, örneğimizdeki ineğin sindirim kanalındaki koşullara geri döndürmek gerekir. Ancak, atığın orijinal sahibi bu işe gönüllü olmayacağından, sözkonusu ortam koşullarının yapay olarak sağlanması lazımdır. Bu amaçla, ahırla atık çukuru arasında, havasız ortamlı bir 'sindirme' veya 'mayalanma' tankı inşa edilir ve atıklar çukura doğru yollarına devam ettirilmeden önce, yirmi gün kadar süreyle bu tankta bekletilir. Tipik sindirme tankları; basık ve silo benzeri veya yeraltında inşa edilmiş, dikdörtgen veya silindirik şeklindeki beton yapılarıdır. 20 günlük atık ve küçük bir miktar biyogazı depolayabilecek hacimde tasarlanırlar. Tankta yer alacak olan sindirim süreci 'kontrollü' bir şekilde yönlendirilecek olursa; hem biyogaz elde edilecek, hem de atıklar, daha düşük koku düzeyli bileşenlerine indirgenecektir.

Öncelikle tankın içinde havasız bir ortam sağlanması gerektiğinden, ayrıca içinde biyogaz biriktireceğinden; tankın içeriye veya dışarıya doğru hava veya gaz sızıntılarına ve ışığa karşı yalıtılmış olması lazımdır. Ancak biyogaz üretimine yönelik 'kontrollü sindirim' için, havasız ortam tek başına yeterli değildir. Havasız sindirim veya organik maddenin oksijen yokluğunda bakterilerce bozunması, biyogaz tesisi bulunmayan sıvı atık sistemlerinde doğal olarak zaten gerçekleşir. Çünkü sıvı atıktaki oksijen yokluğunun yanı sıra organik madde bolluğu, havasız ortam bakterilerinin yaşaması için uygun koşulları





sağlar. Fakat kontrolsüz bozunma, sıvı atığın depolanma ve uygulanmasına eşlik eden kötü kokulara yol açabilir. Halbuki 'kontrollü havasız bozunma,' sıvı atık sistemindeki kokuyu azaltmakla kalmayıp, kokulu bileşikleri ve organik maddeyi enerjiye dönüştürebilir. Böyle bir 'kontrollü havasız sindirim' sistemi çok basit olarak, hayvanın sindirim sisteminin; tıpkı hayvanın yemi enerji ve atığa çevirmesi gibi, atığı enerji ve çıktıya dönüştüren bir devamı gibidir. Ancak havasız ortama ek olarak, bu işlem için gereken diğer koşulların da sağlanmış olması gerekir.

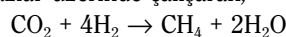
Her ne kadar asit üreten bakteriler; oksijenin varlığına veya yokluğuna, geniş bir sıcaklık aralığına ve farklı asit konsantrasyonlarına karşı dayanıklıysalar da, metan üreten bakterilerin yaşamlarını sürdürebilmeleri için; ortamın oksijenden yoksun olması, sıcaklığının 35°C - 55°C arasında tutulması ve asit düzeyinin ölçüsü olan pH değerinin de, 6-8 aralığında kalması gerekir. Aksi halde asit üretilir, fakat biyogaz üretilmez ve asit buharlarının birikimi bir çürüme kokusuna yol açabilir. Asit düzeyi, daha ziyade sıcaklığın belirlediği nüfus oranlarının bir sonucu olduğundan, seyrek olarak müdahale gerektirir. Fakat sıcaklığın gereken aralıkta sürdürülebilmesi için, tank içeriğinin ısıtılması lazımdır. Bu amaçla, örneğin tankın iç yüzeyine ısıtıcılar yerleştirilir. Isıtma sistemi havasız bir sindiricinin kritik bileşenini oluşturur. İçinde sıcak su dolaşan ısıtma boruları, sindiriciye giren malzemenin tamamını ısıtabilmelidir; ayrıca, atıktaki ve özellikle de biyogazın içeriğindeki oksitleyici bileşenler nedeniyle, paslanmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Atıkların, hayvanlar tarafından oluşturulmalarından

sonra, mümkün olan en kısa zamanda sindiriciye gönderilmesi, ısıtma gereksinimini en aza indirecektir.

Kontrollü Havasız Sindirim

Biyogaz oluşumunu sağlayan 'kontrollü havasız sindirim,' Şekil 1'de görüldüğü gibi, üç aşamadan oluşur. Birinci aşamada sıvılaştırıcı bakteriler, ham atık, mandıra atığı ve ince yatak malzemesinden oluşan karmaşık organik çamur üzerinde çalışır ve çamurdaki karbohidratlar, yağlar ve proteinler gibi çözünmez elyaflı malzemeyi çözünür maddelere dönüştürürler. Böylelikle, çamur daha da akışkan bir hale gelir. Fakat, bazı elyaflı maddeler sıvılaştırılmadığından, sindiricinin içinde birikebilir veya dönüşüme uğramaksızın sindiriciden geçebilir. Sindiricide su ve diğer inorganik malzeme de birikebilir veya sindiriciden, keza değişmeksizin geçebilir. Sindirilmemiş malzeme, düşük kokulu sıvılaşmış çıktıyı oluşturur. Sıvılaşmış ve çözünabilir bileşenlerin çoğuysa, bu sürecin 2. ve 3. aşamalarında, asit ve metan üreten bakteriler tarafından biyogaza dönüştürülür.

İkinci aşamada, çözünmüş organik maddeler, asit üreten bakterilerin beslenmeleri sırasında şeker, aminoasitler, gliserin ve yağ asitleri gibi molekül bileşenlerine parçalanır. Bunlar, depolanmış sıvı atıkta kokuya yol açan uçucu organik asitleri de içerir ve bu arada yan ürün olarak açığa karbondioksit ve hidrojen gazları çıkar. Nihayet üçüncü aşamada, metan üreten bakteriler bu gazlar üzerinde çalışarak,

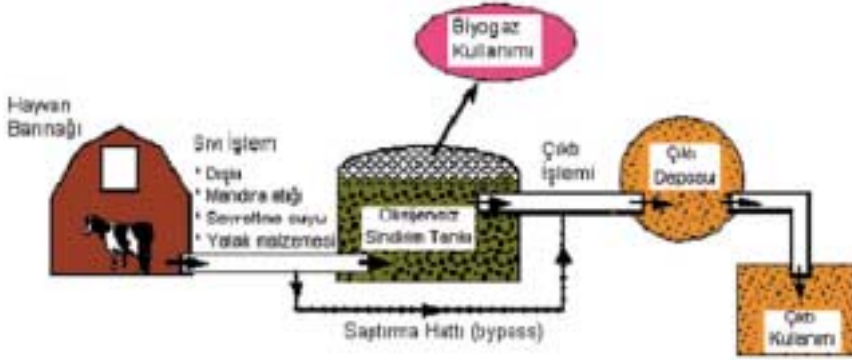


tepkimesi kanalıyla, metan gazı ve

su buharı üretirler. Sonuç olarak; kokuya yol açan uçucu asitler, yaklaşık %60 metan ve %40 karbondioksit ve az miktarda su buharı, hidrojen sülfid ve amonyaktan oluşan biyogaza dönüştürülür. Ancak, uçucu asitlerin ve çözünür organik bileşenlerin tümü biyogaza dönüştürülmez. Bazıları, sıvı çıktının parçasıdır. Kontrollü havasız bozunmadan geriye kalan ve girdi miktarına hacimce eşit olan çıktı, sıvı halde ve düşük kokulu olup besin maddeleri açısından hâlâ zengindir.

Biyogazı oluşturan karışım, sindirilmekte olan atık içerisinde kabarcıklar halinde yükselir ve tankın üst tarafında, giderek büyüyen bir balon şeklinde birikir. Bu arada atık içeriğindeki hayvan tüyleri veya ince talaş gibi hafif yatak malzemeleri de keza yükselerek, yukarıda bir tabaka oluşturur. Müdahale edilmediği takdirde bu tabaka, zamanla sertleşip kabuklaşarak, gaz çıkışını engellemeye başlar. Dolayısıyla periyodik olarak kırılması, bunun için de atığın sürekli olarak karıştırılması gerekir. Bu karıştırma işlemi, ya ısıtıcı boruların uygun döşenmesi sonucu oluşan doğal taşınımla, ya da yatay pervaneli mekanik bir karıştırıcının sağladığı zorlamayla başarılabilir. Mekanik bir karıştırıcı, sistemi karmaşıklaştırmakla beraber, daha iyi bir tercihtir. Çünkü, örneğin katı ve sıvı kısımların sindiricinin içinde kolayca tabakalara ayrışabildiği yıkamalı sistemler gibi bazı sistemlerde zaten zorunlu olabilir; ayrıca malzemenin sıcaklığını her yerde aynılaştırır. En iyisi, ısıtıcıyı karıştırıcının bünyesine inşa etmek suretiyle, doğal ve zorlamalı taşımının paralel çalışmasını sağlamaktır.

Tabii, tankta bir yandan bakterilerin beslenmesini sağlayacak düzenli bir organik madde girişinin sağlanması ve diğer yandan, havasız sindirimde hacim azalması olmadığından, sindiriciden her gün ilave edilen miktar kadar malzemenin çıkartılması lazımdır. Malzeme girişi, tankın dibine yakın yükseklikteki bir boru ağzından sağlanır. Bu ağzın, dibe fazla yakın olmaması gerekir. Çünkü çamurdaki sindirilemeyen, toz ve toprak gibi katı inorganik bileşenler, dibe çökerek birikir ve bu katı malzeme birikimi, tankın etkin hacmini azaltarak, tamamlanmamış bir sindirim sürecine veya koku problemlerine yol açabildiği gibi, girişi de zamanla tıkayabilir. Birikimi tahliyenin en etkin yolu, çamur pompa-



Şekil 2: Tipik bir havasız sindirim sisteminin, kabaca çizimi.

ları kullanmaktır. Fakat, eğer zaten varsa mekanik karıştırıcı bu açıdan da faydalıdır ve çökmeyi zorlaştırır. Yine de, tankın periyodik olarak temizlenerek, bu birikimden arındırılması gerekir. Tankın atık çıkışıysa, sindirilmiş malzeme daha ziyade yukarıda, biyogazla ara yüzeyin altına yakın konumlarda bulunacağından, bu ara yüzeyin denge konumunun biraz altından yapılır.

Girdi malzemesinde, tanktaki biyolojik yaşamı olumsuz etkileyebilecek, örneğin antibiyotik veya diğer ilaçlar gibi, 'mikrobiyolojik kısıtlayıcı' unsurların, aşırı miktarlarda bulunmaması gerekir. Öte yandan, girdi miktarının fazla gelmesi veya temizlik gibi diğer nedenlerle, tanka ilave atık girişinin istenmemesi hallerinde, girdinin tanka girmeksizin yoluna devam edebileceği bir 'saptırma hattı' da gereklidir. Son olarak, tankın üst kısmında, oluşan biyogazın sistemden çekilmesini sağlayan, dışarıya doğru tek yönlü vana çıkışlı bir boru hattı daha vardır. Bu vananın, açıklığını o anki biyogaz talebine ayak uydurabilecek şekilde ayarlayabilme becerisine sahip olması tercih edilir. Tankın kapağı, sert veya esnek olabilir. Kapak eğer esnense, biyogaz biriktikçe tankın hacmi küçük bir miktar genişler ve bu durum, tanktaki olası aşırı basınç birikimlerine karşı ek bir güvence sağlar.

Tankın atık çıkışı saptırma hattıyla birleştikten sonra, keza gaz sızdırmaz olan bir sıvı atık deposuna ulaşır. Sindirilmiş sıvı atık burada bir süre bekletilip çökelttilerek, kullanıma hazır gübre haline getirilir. Bu malzeme artık biyolojik açıdan kararlı olup, normal koşullar altında depolandığında, daha fazla parçalanmaya ve koku üretimine karşı dirençlidir. Dolayısıyla, son kullanım alanına veya deposuna gönderilebilir. Böylelikle Şekil 2'deki; havasız sindirimli ve biyogaz üretimli bir atık işleme tesisinin

yapı elemanları, kabaca tamamlanmış olur. Görüldüğü gibi, havasız sindirim sistemi; olağan atık taşıma zincirine, ahır ile depolama arasında, atığın işlenmesi için ilave edilmiş bir adımdır ve tipik bir atık taşıma sisteminin herhangi bir parçasının yerini almaz.

Biyogaz Kullanımı

Elde edilen biyogaz; yaklaşık %40-75 metan (CH₄), %25-60 karbondioksit (CO₂) ve %2 kadar, hidrojen, hidrojen sülfid (H₂S) ve karbonmonoksit gibi diğer gazların karışımından oluşur. Burada enerji üretimi için kullanılacak olan bileşen metandır ve söz konusu karışım tutuşucu olmayıp, çok amaçlı kullanıma yatkın bir enerji kaynağıdır. Ancak, enerji yoğunluğu düşüktür ve çoğunlukla metandan oluşan doğal gazın %60'ı, yani metreküp başına yaklaşık 5400 kilokalori kadardır. Sıvı yakıtlar gibi düşük özgül hacme sahip olmadığından, taşıt yakıtı olarak kullanılmaya uygun değildir. Çünkü, örneğin 1 litre 'fuel oil'in enerji içeriği, 1800 litre biyogazinkine eşdeğerdir. Bu düşük enerji yoğunluğu nedeniyle de hacminin sıvılaştırılarak küçültülmesi, ekonomik açıdan anlamsızdır.

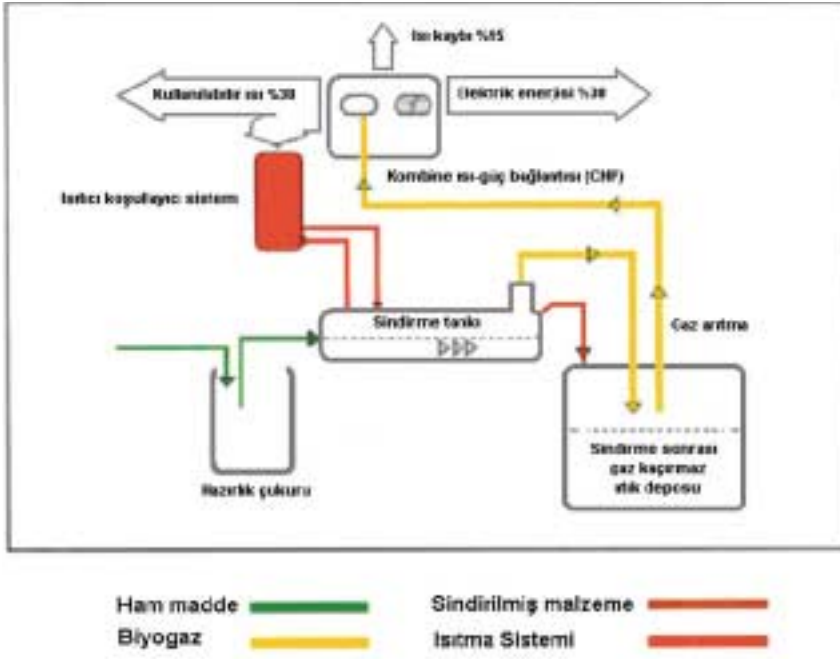
Biyogaz, donanımda yapılacak ufak tefek uyarlamalarla; LPG, propan veya doğal gazın kullanıldığı tüm işlerde kullanılabilir. Ancak, içerdiği hidrojen sülfid yanma sırasında kükürtdioksit, bu da daha sonra, su buharlarının varlığında sülfürik asite dönüşür. Sülfürik asitse güçlü bir paslandırıcı olup, pahalı motorları ve kazanları çürütebilir. Dolayısıyla biyogazın her türlü kullanım donanımı, paslanmayı önlemek amacıyla, sindiriciden ayrı bir odaya yerleştirilmelidir. Gücünü biyogazdan alan donanımın sürekli çalışma halinde olması, su yoğunlaşması ve sülfürik asit

oluşumunu engelleyecek kadar yüksek sıcaklıkta kalmalarını sağlar, bu da paslanmayı geciktirir.

Bir gaz kazanında yakıt olarak kullanılmak, biyogazı değerlendirmenin ucuz ve verimli bir yöntemidir. Bunun için, gaz yakıtlı bir kazan ve ilgili tesisat yeterlidir. Üretilen ısı doğrudan iç hacimlerin ısıtılmasında veya ılık su hazırlamada, sindirme tankının ısı gereksinimini karşılamada kullanılır. Hatta bazı durumlarda, kısa veya uzun mesafeli ısıtma ağlarına da yönlendirilebilir. Fakat özellikle yaz aylarında, üretilen ısı için kullanım alanı bulmak zorlaşabilir. Halbuki düşük enerji yoğunluğu, içerdiği bazı safsızlıkların paslandırıcı niteliği ve sabit üretim hacmi nedeniyle biyogaz en çok belli bir hızda sürekli tüketim gerektiren işler için uygundur. Isı ile çalışan havalandırma sistemleri, fazlalık ısıyı kullanabilmek açısından ümit veren bir teknoloji olmakla birlikte, başlangıç maliyetleri şimdilik yüksektir.

Dolayısıyla, biyogaz içten patlarlı bir motorda yakılarak, mekanik enerji elde edilebilir ve bu enerji, hidrolik veya hava pompalarının çalıştırılmasında kullanılabilir. Ayrıca, motor bir jeneratöre bağlanarak elektrik de üretilebilir. Sürekli işletimi başarabilmek için, motor girişindeki düzenleyici vana; biyogaz kullanımını, üretimiyle dengeleyecek şekilde ayarlanır. Motordan çıkan atık ısı, sindiriciyi ısıtıp doğal taşınımıyla karıştırmak veya çiftliğin diğer ısı gereksinimlerini karşılamak için kullanılabilir. Nitekim, biyogazın en fazla tercih edilen kullanım biçimi; Şekil 3'te çizimi verilen, bu türden, 'bileşik ısı-güç' üretim tesisleri şeklindedir.

Böyle bir tesisin toplam enerji verimi %80-90 arasındadır. Çoğu sistem, 650 kg'lık inek başına, günde yaklaşık olarak 2kWS elektrik üretir. Elektrik, tesislerin güç ihtiyacını karşılamak için kullanılır ve fazlası, güç şebekesine verilir. Ancak, elektrik üretim şirketleri, böyle küçük miktarlar için birim başına, kendi satış fiyatlarının bir hayli altında ödeme yaparlar. Dolayısıyla çiftlikte elektrik üretimi açısından en ekonomik yaklaşım, üretilen elektriğin, şebekeden sağlanan elektriğin olabildiğince büyük bir kısmının yerini almasıdır. Bir diğer seçenek, biyogazı karbondioksit ve hidrojen sülfid içeriğinden arındırıp, doğal gaz olarak satmaktır. Biyogazın temiz-



Şekil 3: Bileşik ısı-güç üretimli bir atık işleme tesisi çizimi.

lenmesi, içerdiği hidrojen sülfidin (H_2S) aşırı paslandırıcı etkisi nedeniyle önerilir. Bunun için ilke olarak, iki temel yöntem vardır: Hidrojen sülfidin demir oksit tarafından emilmesi veya sülfürün hava ilavesiyle, uygun bakteri türleri tarafından ayrıştırılması. Bu ikinci yöntemde, biyogaza bir hava pompasıyla yaklaşık %4 oranında hava karıştırılır ve bakteriler bu havayı kullanarak, hidrojen sülfidi kükürt elementine indirger. Kükürt daha sonra çökeltilmeye dönüşür.

Ancak, gazı ayrıştırıp temizlemek, bir pazar bulmak, alıcıya güvenli olarak gaz sağlamak, dağıtım ağının bakımı; parasal kaynak, zaman, bakım ve yönetim hizmetleri gerektirir. Ayrıca, doğal gaz elektrikten çok daha düşük fiyatla satılabilecektir. Dolayısıyla; biyogazı değerlendirmek için çeşitli seçenekler var olmakla beraber, elektrik, biyogazdan elde edilen en kullanışlı ve değerli enerji ürünüdür.

Güvenlik

Biyogaz tehlike potansiyeli taşıyan bir gazdır. Örneğin, içeriğindeki metan gazı havayla %5-15 oranında karıştığı takdirde patlayıcıdır ve gaz hattındaki bir kaçak, yangın tehlikesi yaratır. Dolayısıyla atık depolamanın, biyogaz üretim ve kullanımının olası zararlarını kontrol altında tutup, en aza indirmek için, bazı güvenlik donanımının

bulundurulması ve gerekli güvenlik önlemlerinin alınıp uygulanması gerekir. Bu amaçla; gaz kaçağı belirleyicileri, alev tuzakları, fiziksel engeller ve Şekil 4'te örneği verilen uyarı işaretleri gibi güvenlik araçları kullanılır.

Güvenlik açısından en önemli bileşen, havasız sindiricinin varlığı yanında, bakım ve onarımdır. Çünkü havasız sindiriciler, insan hayatına yönelik ciddi potansiyel tehdit oluşturabilecek kapalı hacimlere hapsedilmişlerdir ve daha fazla değilse bile, en azından atık çukurları kadar tehlikelidirler. İçlerinde hidrojen sülfid ve amonyak gibi zehirli gazlar birikir. Oksijen girişine karşı yalıtılmış olduklarından, girişten sonra saniyeler içerisinde, havasızlıktan boğulma sonucu ölüme yol açabilirler. Doğal havalandırma tek başına, zehirli gazların sindiriciden çıkarılması veya solunabilir hava sağlanması açısından yeterli değildir. Çünkü, yoğun hidrojen sülfid gazı tankın dibine çökerken, daha hafif olan amonyak, tankın üst kısmında dolacaktır ve bu gazlardan hiçbiri, mekanik havalandırma olmaksızın kaçmayacaktır. Bu yüzden, boş bir sindiriciye; mekanik vantilatörlerle kapsamlı havalandırma sağlanmaksızın, gaz dedektörleriyle zehirli gaz kontrolü yapılmaksızın ve güvenli giriş talimatlarına uyulmaksızın girilmemelidir. Güvenlik ve güvenli işletme süreciyle ilgili olarak, ilgili kurumlardan bilgi almak gerekir.

Tasarım ve Planlama

Hayvan üretme çiftliği uygulamalarında, biyogaz üretim tesisinin, ta baştan inşa edilmiş olması gerekmez. Eğer bir çiftliğin genişletilmesi veya yeni birinin tesisi planlanıyor, fakat tasarımda bir havasız sindirim sistemi bulunmuyorsa, böyle bir sistem için yeterli boş alan bırakmak ve atık tasfiye sistemini, sindirici ilavesine uygun tipte seçmek, gelecekte esneklik sağlayabilir. Çünkü daha sonra, çiftliğe bir sindirici ilavesinin yerinde olacağı kanaatine varılabilir. Hatta, halen işletilmekte olan bir çiftliğe dahi, uygun bir yer bulunması halinde, sindirici ilavesi mümkündür. Çünkü bir atık işleme sistemi, her çiftliğin tasarımında zaten vardır ve bu sistem, en önemlisi ve yer kaplayan sindirime tankı olmak üzere, bazı ilavelerle biyogaz üretim tesisine dönüştürülebilir.

Her iki durumda da, havasız sindirim tercihinin değerlendirirken, karar aşamasında göz önünde bulundurulması gereken, tercihin uygunluğu açısından yeterli olan ve fakat hepsi birden gerekli olmayan, bazı önemli faktörler vardır. Bir kere, atıkların sıvı olarak işlem görüyor olması, biyogaz sistemine geçişi kolaylaştırır. İşlem gören atıkların, çok az miktarda yataklama malzemesi veya çözünmez katı atık içeriyor olması, fakat yüksek bakır sülfat ve antibiyotik düzeylerine sahip bulunmaması lazımdır. Aksi halde, bu olumsuz girdilerin azaltılması veya atıkta ön ayrıştırma yapılması gerekecektir. Koku kontrolü önemli bir sorun oluşturuyorsa, havasız sindirim tercih edilmelidir. Öte yandan, mevcut atık işleme sistemini, ahırdan havasız sindiriciye veya sindiriciden atık deposuna yerçekimiyle akış sağlayacak biçimde genişletme olanağı varsa; pompalama gereksinimi azalacak, hatta belki de tümüyle ortadan kalkacaktır. Çiftlikteki elemanlar arasında; havasız sindirim süreci hakkında bilgi edinecek, tamirlerde bulunacak ve ilgili ekipmanın genel bakımını yapacak ilgi, zaman ve teknik yeteneklere sahip bir eleman bulunmalı, aksi halde işe uygun bir yeni eleman alınmalıdır. Olumlu yönde karar verilmesi halinde, sistemin finansmanını sağlayacak kaynakların bulunması gerekir. Son olarak, önerilen güvenlik önlemlerinin gözetimi, çiftlikte olağan uygulama haline getirilmelidir.

Sistem, yukarıda da ayrıntılandırıldı-đı üzere; sıvı atık taşıma donanımı, ısıtılmış bir havasız sindirici, gaz kullanımı ve güvenlik donanımı, çıktı depolama ve taşıma alt sistemlerinden oluşur. Taşıma sistemi, sıvı atığı ahırdan depoya taşıyana benzer bir sistem olup; atığı hayvan ahırından havasız sindiriciye, sonra da sindiriciden depo veya dağıtıcıya nakleder. Bileşenlerinin, atık ortamında paslanmaya karşı dayanıklı olması gerekir. Mümkün olduğu takdirde, enerji tüketimini azaltmak ve taşıma sistemini basitleştirmek için, yerçimiyle akışın tercih edilmesi önerilir. Bir saptırma (bypass) hattı atığı, sindirici için uygun olmadığı veya sindiricinin çalışmadığı zamanlarda, sindiricinin etrafından dolandırır. Sindirme tankı, sistemin kalbini oluşturur. İçerdiği atık ortamındaki ve özellikle de biyogaz bileşenlerinin sunduğu paslandırıcı etkilere karşı dayanıklı olması gerekir. Bu amaçla paslanmaz çelikten, hem de yüzeyi çift katlı olarak yapılabilir. Pahalı bir seçenek olmakla beraber, bu durumda ısıtma sistemi, ya tankın çift kaplı yüzeyine veya karıştırıcı pervane sistemine yerleştirilebilir. İstenmeyen maddeler tankın alt kısmından kolaylıkla tahliye edilebilir.

Tankın hacmi, 20 günlük sulandırılmış atıkla, bir miktar da biyogazı depolayabilecek büyüklükte seçilir. Örneğin 50 süt ineği barındıran bir tesis için; günlük katı atık miktarı, inek başına 60 litreden, $50 \times 60 = 3.000$, seyreltme suyunun hacmi ise, günde hayvan başına yaklaşık 12 litreden, $50 \times 12 = 600$ litredir. Yani 20 günlük toplam malzeme hacmi, $20 \times (3.000 + 600) = 72.000$ litre ve-



Şekil 4: Havasız bir sindiricinin dışına yerleştirilen örnek bir uyarı işareti.

ya 72 metreküpü bulur. Bu miktardaki atığı işleyecek olan silindir şeklindeki bir tankın, yaklaşık bir metrelik bir yüksekliğinin de biyogaz depolamak amacıyla kullanılacak olduğu düşünülürse; 5m çapında ve 5m yüksekliğinde olması yeterlidir.

Havasız sindiricinin düzenli çalışması için, bakterileri besleyen atıkların uygun niteliklere sahip olması gerekir. Gerçi asit üreten bakteriler, oldukça hoşgörülüdürler ve tekrarlamak gerekirse eğer; sıcaklık değişimleriyle, geniş bir pH koşulları aralığında, oksijenle veya oksijensiz, besin kaynağı olarak geniş bir organik bileşenler çeşniyle yaşayabilirler. Fakat metan üreten bakteriler yalnızca; eğer sıcaklık görece sabitse, dar bir pH koşulları aralığında, oksijensiz ortamda ve besin kaynağı olarak basit organik asitlerle hayatta kalabilirler. Dolayısıyla atık; aşırı ilaç, besin katkıları veya kimyasal temizleyici miktar-

ları içermemeli ve sindiriciye günde en az iki kez, taze olarak iletilmelidir. Katı halde olmamalı, kolayca ayrıışmayan, iyi karışmış çamur halinde olmalıdır. Pompalama ve akış gereksinimleri açısından, %12'si veya daha azı katı olan akıcı bir sıvı en uygundur. Örneğin; küreyerek süpürme sistemlerinden gelen ve az miktarlarda, talaş gibi ince organik yatak malzemesi, besi artıkları, süt merkezi atıkları veya seyreltme suyu içerebilen mandıra atıkları, yaklaşık %10 katı düzeyine seyreltilmiş ve kumu çökerilmiş tavuk atığı bu şartları sağlar.

Eğer atıktaki çözünmeyen katı miktarı yüksekse, sindirme tankına ulaşmadan önce ayrıştırılmaları seçeneği vardır. Havasız sindirim öncesinde katıların ayrıştırılması ve atığın sadece sıvı kısmındaki organik maddenin sindirimi, daha kaliteli biyogaz üretimi sağlayabildiği gibi, çökme ve kabuk bağlama sorunlarını da azaltır. Bu tür uygulamalarda, %70'e varan metan içeriği gözlenmiştir. Bu ön işlem sırasında elde edilen katılar, tümüyle değersiz değildir; ekin alanlarına gübre olarak serpilebilir, satılabilir veya hayvanlar için yatak malzemesi olarak kullanılabilir. Katıların ayrıştırma ve pazarlaması, çiftliğe ek gelir dahi sağlayabilir. Eğer halen büyük miktarlarda yatak malzemesi satın alınıyorsa ve çiftlikte bir katı ayrıştırıcısı zaten varsa; kompostlanmış katıların, satın alınan yatak malzemesi yerine kullanmak tasarruf sağlayabilir. Fakat eğer bir katı ayrıştırıcı satın alınması gerekiyorsa, yatak malzemesinden sağlanacak tasarruf, ayrıştırıcının maliyetini karşılayamayabilir.

Artıları ve Eksileri

Kontrollü havasız sindirimli bir biyogaz tesisi, doğrudan depolama seçeneğine oranla önemli yararlar sağlar. Bir kere, biyogazdan elde edilen enerji, yatırım maliyetini karşılar. Öte yandan, sindirilmiş atığın besin içeriği, ham atığınkine eşittir. Halbuki doğrudan depolanan sıvı atığa oranla, kayda değer miktarda daha az kokusu vardır. Ek olarak, biyolojik açıdan bir denge durumundadır ve koku sorunu doğurmaksızın, uzun sürelerle depolanması daha kolaydır. Daha fazla sıvı içerir ve uzun mesafelere pompalanması, ham atığa oranla daha az enerji gerektirir. Sıvı atık depolama alanlarındaki metan sal-



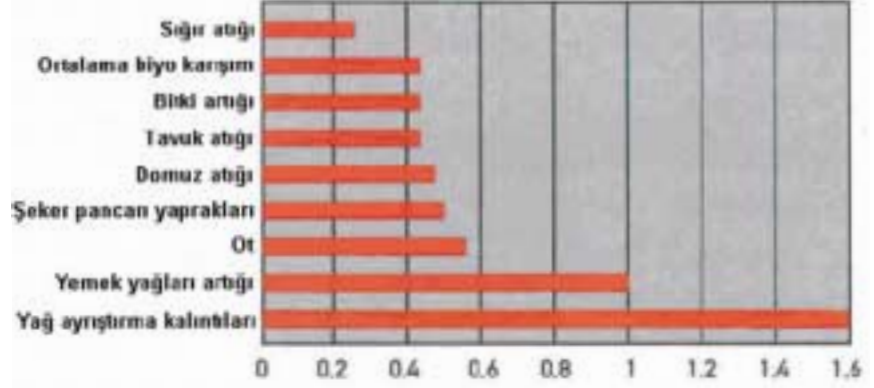
Şekil 5: İspanya'nın Vatnamo kasabasındağı 8MW'lik biyokütle kombine çevrim santrali.

gıları azaltılmış olur. Homojen sindirilmiş atık, ekin alanlarındaki son kullanım sırasındaki sıvı uygulama sistemlerinde iyi sonuç verir. Son olarak, kemiricilerle sinekler için daha az çekicidir.

Ancak böyle bir sistem tercihinin olumsuz yanları da yok değildir. Bir ke-re, sindirim sistemi için başlangıç yatırımı maliyetlidir ve bu tür sistemler için kredi bulmak zor olabilir. Sindirici, tıpkı bir canlı organizma gibi, özenli bakım ve besleme gerektirir. Sindirim süreci hakkında teknik bilgi ve iyi yönetim yanında, önleyici veya program dışı bakım için kaliteli işçilik lazımdır. Gerçi günlük bakım uğraşı, yok denecek kadar azdır. Fakat haftalık yağ değişimleri, düzenli motor bakımı ve sindiricide periyodik temizlik şarttır. İdeal olarak, sindiriciden sorumlu bir eleman bulunacak ve sindirici, bu kişinin çiftlikteki diğer sorumluluklarına göre öncelik taşıyacaktır. Öte yandan, uğraş konusu olan atık hacminde bir azalma olmadığı gibi, sisteme su ilave edilmesi halinde, bu hacim artacaktır. Halbuki, aşırı miktarda gübre üreten bir çiftlikte, gübre depolamak sorun oluşturabilir. Bir başka olumsuzluk; ham atıktaki nitrojenin çoğunun, organik formundan çıkartılıp, amonyuma (NH₄) dönüştürülmüş olmasıdır. Gerçi amonyum, amonyak (NH₃) gazına veya nitrata (NO₃) dönüştürülebilir. Fakat amonyak, ekim alanlarına yüzeysel olarak uygulandığında, kaybedilir. Nitratsa topraktan sızarak, zamanla yeraltı su tabakasına ulaşabilir. Dolayısıyla, nitrojen kayıplarını azaltmaya yönelik alan uygulamaları ve yönetimi, işlenmemiş sıvı atığa oranla, sindiriciden çıkan atık için daha fazla uğraştırıcı olabilir. Son olarak; havasız sindiriciler, çiftlik güvenliği açısından tehlike oluşturabilir.

Enerji Bitkileri ve Biyokütle

Gerçi bu noktaya kadar biyogaz eldesinin hep, hayvan üretim çiftliklerindeki olası uygulamaları konu edilmiş bulunuyor. Fakat biyogaz aslında, mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanabilen her türlü organik maddeden türetilir. Bu organik hammadde; canlı hayvan atıkları, ekin fazlalıkları veya bitkisel yağ kalıntılarında, konutlardaki organik atık toplama



Şekil 6: Kuru organik maddenin kilogramı başına metreküp biyogaz.

bidonlarına kadar çok değişik kaynaklardan sağlanabilir. Nitekim, yakın geçmiş yıllarda Avrupa'da, birkaç yüz biyogaz santrali işletmeye alınmış olup, bu santrallarda, sanayi ve konut atıkları sindiriliyor. Fosil yakıt bağımlılığının yol açtığı çevre ve insan sağlığı hasarlarıyla ilgili tartışmalarla birlikte, alternatif arayışları da yoğunlaşıyor. Bilinen maddeler dışında, sindirim yöntemlerindeki ilerlemeler sonucu, ot dahi sindirilebilir hale gelmiş durumda. Biyokütle genel başlığı altında ve sırf enerji üretiminde kullanılmak üzere, çeşitli 'enerji bitkileri'nin geniş alanlarda yoğun tarımı planlanıyor.

Hammadde seçeneklerini genişletmek için, yeni sindirici tipleri üzerinde çalışılıyor. Bunlardan birisi 'sabit film' sindiricisi. Bu tür bir sistemde sindirici, taş parçaları veya plastik ağ gibi bir malzemeyle doldurulur ve bu malzemenin yüzeyi, bakteriler için bir büyüme ortamı oluşturur. Bakterilerin çoğu, yıkanma sırasında çıktıyla birlikte dışarı çıkmak yerine, sindiricinin içindeki ortama bağlı kalır. Sabit film sindiricisinde tutulmaları sonucu, bakteriler olağan sindiricilere oranla daha fazla organik madde tüketirler. Dolayısıyla, daha küçük bir sabit film sindiricisi kısa bir sürede, daha büyük bir olağan sindiricinininkiyle aynı miktarda atığı işleyip, onun ürettiği kadar biyogaz üretebilir. Böyle bir sindiricide, bekleme süresi 20 günden, 1-3 gün arasına indirilebilir ki, bu da sindirici hacmini ve maliyetini büyük oranda azaltır. Sabit film sindiricisinde katıların, sindirim öncesinde yüklenen çamurdan ayrıştırılıp alınması gerekir. Fakat bu sindiriciler halen laboratuvar araştırması aşamasında olup, tam ölçekli bir çiftlik sindiricisi denenmek üzeredir.

Çeşitli maddeler, biyogaz eldesinde kullanımları açısından, Şekil 6'da örnekleri verilen, ulaşılabilir potansiyel verimlerine bağlı olarak değerlendirilir. Farklı hammaddeleri kullanan biyogaz tesislerinin hepsi, birbirine benzerdir. Yalnız, ot veya diğer enerji bitkilerinin sindirimi sırasında sindirici, katı veya sıvı atıkla beslenen olağan biyogaz tesislerine oranla daha yüksek teknik taleplere yanıt verebilmek zorundadır. Çünkü çok kısa bir süre içerisinde, çok büyük miktarlarda madde sindirilmektedir. Öte yandan girdiyi oluşturan ot akışı, daha az homojen ve düzensiz bir yapıya sahip olduğu gibi, sindirim sonrasındaki çıktı hacmi daha yüksektir. Bu arada, örneğin uzun otlar gibi bazı malzemeler, yüzen tabakalar oluşturabilir. Ayrıca, girdi akışıyla birlikte gelen ve taş gibi istenmeyen malzemenin giderilmesi sorun yaratabilir, ön ayrıştırma gerektirebilir. İlave güçlüklerine rağmen, otun sindirimi gelecekteki enerji üretimine, ekolojik ve ekonomik açıdan akılcı bir katkı sağlayabilecek gibi görünüyor. Kolaylıkla nakledilebilen bu kaynak, otlaklardan temiz enerji sağlanmasına imkan verecek ve tehlikeli sera gazı salımlarının azalmasına katkıda bulunabilecek. Çiftçiler de yeşil malzemenin sindirimi sayesinde 'enerji üreticileri' haline gelebilecek...

Anlaşılan, antik jeoloji döneminin evlatları olan havasız ortam bakterileriyle el ele verip birlikte başarabileceğimiz daha çok şey var.

Prof. Dr. Vural Altın

Kaynaklar
<http://www.energy.ca.gov/development/biomass/anaerobic.html>
http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/biolec.html